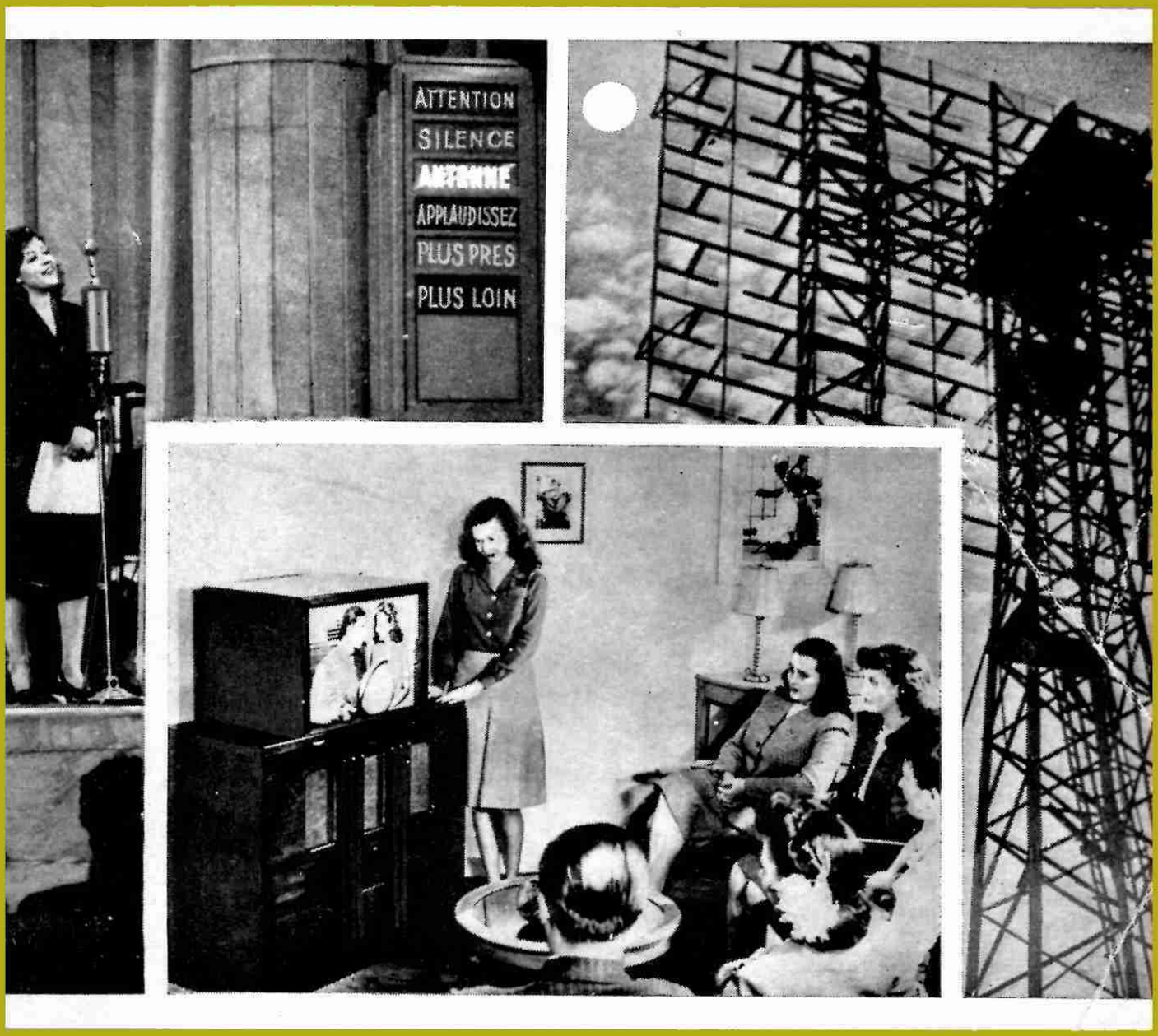
RADIO. RADAR TÉLÉVISION

par Marcel BOLL



LAROUSSE — PARIS-VI^e^

Avec mon meilleur souvenir,

Marcel Boll

16 mai 1950

RADIO
RADAR
TÉLÉVISION

OUVRAGES DU MÊME AUTEUR A LA MÊME LIBRAIRIE

Des volumes brochés du format 13,5 × 20 cm, sous couverture en couleurs.

Qu'est-ce que... le hasard? l'énergie? le vide? la chaleur? la lumière? l'électricité? le son? l'affinité? 152 gravures.

Pour connaître... la relativité, l'analogie, l'inertie, la gravitation, le choc, l'incandescence, la luminescence, la fréquence. 145 gravures.

Idées nouvelles sur... l'électron, les piles, les dynamos, l'alternatif, l'induction, la radiophonie, la télévision, les ultrasons. 180 gravures.

L'Électricité à la ville, à la campagne, en auto. 174 gravures, 2 hors-texte, index.

La Chance et les Jeux de hasard : loterie, boule, roulettes, baccara, 30 et 40, dés, bridge, poker, belote, écarté, piquet, manille. 155 gravures, 108 tableaux, index.

La Chimie au laboratoire et à l'usine, dans la nature et dans la vie. 250 gravures, 20 tableaux, 2 index.

Les Deux Infinis : galaxies, étoiles, planètes, micelles, réseaux, noyaux, neutrons, ultrasons. 162 figures, 42 tableaux synoptiques, index.

Le Mystère des nombres et des formes. 354 gravures, index.

La Mécanique du visible et de l'invisible : mouvements mécanismes, moteurs. 243 gravures, index.

En collaboration :

La Science, ses progrès, ses applications. Deux volumes (*Collection in-4° Larousse*, 25 × 32 cm).

RADIO
RADAR
TÉLÉVISION

par MARCEL BOLL
Professeur d'électricité appliquée
à l'École des Hautes Études Commerciales,
Membre du Comité Scientifique
de la Télévision Française

240 GRAVURES
INDEX

LIBRAIRIE LAROUSSE — PARIS (VI^E)
13 à 21, rue Montparnasse, et boul^d Raspail, 114

TOUS DROITS DE REPRODUCTION,
DE TRADUCTION, D'ADAPTATION ET D'EXÉCUTION RÉSERVÉS
POUR TOUS PAYS.

Copyright 1950
BY AUGÉ, GILLON, HOLLIER-LAROUSSE, MOREAU ET C^ie^
(Librairie Larousse), Paris.

Numérisé en Juillet 2025 par F1CJL , 300dpi

INTRODUCTION

Il se crée subrepticement, comme le rappelle avec force le biochimiste Jacques Duclaux, un monde nouveau, sans commune mesure avec celui de nos ascendants. Aussi la fabuleuse extension des théories scientifiques et de leurs retentissements réitérés a-t-elle démesurément élargi le fossé qui se creusait entre les savants et leurs contemporains. D'où cette conséquence, digne de remarque et déjà notée par Léon Brunschvicg aux environs de 1930 : abstraction faite d'une toute petite avant-garde, qui acquiert effectivement la plus juste conception du réel, *les sciences du monde matériel et des faits humains sont à peu près refusées aux hommes, emprisonnés qu'ils sont dans le* concret, *donc obsédés tant par les espoirs de confort et d'amusements que par les menaces de souffrances et d'annihilation.*

Ces convoitises et ces angoisses, ravivées par la « science atomique » , sont également nettes dans le domaine de la radioélectricité, dont les profanes ne discernent que l'aspect superficiel : les recettes qui ont fait leurs preuves; la manipulation, au bon moment, du bouton qu'il faut.

*A vrai dire, bien peu de livres et d'articles sont jusqu'à présent parvenus à détromper le grand public, à lui présenter une vue saine et synthétique des choses, bref à préciser le rôle de l'*électronique *dans l'activité et dans la pensée d'aujourd'hui. Et ceci tantôt par incompétence, tantôt par défaut d'application, tantôt par inaptitude à s'imposer le niveau qu'il convenait d'adopter. Pour rester dans l'esprit de cette Collection, le mieux sera de se tenir à mi-chemin entre les deux extrêmes, recommandables dans leur genre, que sont :* La radio? mais c'est très simple, *par l'ingénieur Eugène Aisberg (dialogue destiné à de jeunes débutants) et les* Leçons de radioélectricité *du physicien René Fortrat, lesquelles postulent le maniement du calcul infinitésimal, faute de quoi aucune science exacte ne saurait être*

approfondie. La réussite est alors subordonnée, d'une part, à un choix entre ce qu'il est nécessaire de dire et ce qu'il est préférable de taire et, d'autre part, à la transcription — dans ce mode si pauvre *d'expression qu'est le langage — des faits effroyablement complexes, qui constituent néanmoins l'essentiel.*

Comme à l'ordinaire, nous nous appuierons sur une science solide et rendue attrayante, pour aboutir progressivement à quelques types *de réalisations actuelles, après avoir éliminé de gaieté de cœur tout ce qui est désormais caduc. Notre exposé doit, en principe, se suffire à lui-même, sans exiger le recours aux autres ouvrages de la présente Collection. En revanche, il est vivement conseillé de s'astreindre à ne sauter aucun passage, surtout dans les sept premiers chapitres. En se dispensant de ce minimum d'attention et de persévérance, en s'excitant sans acquis préalable sur des innovations subalternes, on serait malvenu à se plaindre de conserver, en ces matières, la mentalité du Français moyen... Une seule dérogation : les notes en bas de pages — souvent nombreuses, en raison des énormes difficultés d'un tel dévoilement — peuvent être fréquemment laissées de côté en première lecture (chacun décidera, par lui-même, des éclaircissements dont il éprouvera le besoin, ce qui lui sera somme toute très profitable). Grâce à la généralité des faits décrits et interprétés, grâce à un luxe inaccoutumé d'illustrations claires et suggestives, par quoi les explications sont canalisées, grâce enfin à un index très complet, pour consolider les liaisons entre les notions connexes, le lecteur dispose ici d'un* instrument de culture, *qui, sans jamais l'importuner par les formules mathématiques sous-jacentes, doit l'entraîner à comprendre n'importe lequel des mille et un montages utilisés dans la pratique.*

MARCEL BOLL.

Note sur le titre. — Le rapprochement de deux dates suffit à dissiper toute apparence de confusion :

Avril 1947. A la page 194 de *l'Électricité à la ville, à la campagne, en auto* (8e édition; du 37e au 48e mille, Larousse), j'ai écrit : « Ouvrage en préparation dans la même collection : *Radio, Radar, Télévision* ».

Mars 1948. Le même titre (*Radio, Radar, Télévision*) figure sur le fascicule de la revue *Science et Vie.*

Note sur la couverture. — Les illustrations qui ornent la couverture se rapportent aux pages 197 (émission *radio*phonique publique [Phot. *Radio 50*]), 342 (réflexion d'un signal *radar* sur la Lune) et 334 (réception familiale de *télévision*) [Phot. *U.S.I.S.*].

Chapitre premier.

LE CONCRET ET LE RÉEL

1. ***Expliquez-nous donc la radio.*** — Parler au départ, entendre à l'arrivée (*fig.* 111-115).

Voilà, pour tout le monde, l'essentiel des trois accompagnements de la vie contemporaine que sont la conversation habituelle, le téléphone et la radiodiffusion. Si la conversation remonte à un passé qui se chiffre par milliers de siècles, le téléphone date de Graham Bell (1876) et la « T. S. F. » n'est vraiment entrée dans les mœurs qu'au cours de l'entre-deux-guerres.

Nous rencontrerions des différences analogues, si nous cherchions à évaluer le nombre de nos compatriotes qui saisissent en gros ce qui se passe dans chacun des trois cas : il suffit d'avoir fréquenté l'école primaire pour avoir entendu parler du son; un certain nombre de collégiens ont étudié la théorie du téléphone (généralement en ne s'en souvenant plus), tandis que les autres Français auraient tendance à voir, dans une canalisation téléphonique, l'analogue d'un tuyau acoustique; quant à la radio, personne n'y comprend rien (à part quelques milliers de privilégiés) et tout le monde se satisfait à bon compte en prononçant le mot « ondes », sans que ce mot évoque grand chose de plus que la chute d'un caillou sur une eau tranquille.

Parler à un bout, entendre à l'autre. Jusqu'ici, cela « se comprend », mais expliquez-nous donc ce qu'il y a *entre*.

Avant toutes choses, je voudrais montrer clairement combien cette demande est saugrenue. Et, pour commencer par le commencement, comment faire autrement que d'expliquer ce que veut

TOILES DE FOND

INERTIE	Courbure générale de l'Univers
GAZ	Fourmillement désordonné des molécules
SOUFFLERIE D'ORGUE	Entraînement d'ensemble des molécules
CORPS SOLIDES	Frémissement désordonné des atomes
ÉTAT MÉTALLIQUE	Fourmillement désordonné des électrons
ONDES PORTEUSES	Champ électromagnétique alternatif
MATIÈRE NORMALE	États stationnaires des atomes
ÉNERGIE INTRANUCLÉAIRE	Énergie constituant la matière
ENTRETIEN DE LA VIE	Métabolisme basal
MÉCANISMES VÉRITABLES	Déterminisme psychologique

FIG. 1. — Pour la science contemporaine, les ap
modification d'une réalité

PREMIERS PLANS

urbures locales de l'Univers.....		GRAVITATION
traînement d'ensemble des molé-ules		COURANTS D'AIR
rations cohérentes des molécules..		TUYAUX SONORES
rations cohérentes des molécules..		CLAVIER D'ORGUE
rations cohérentes des atomes....		CORDES et PLAQUES VIBRANTES
traînement d'ensemble des électrons.		COURANT ÉLECTRIQUE CONTINU
rations cohérentes des électrons..		COURANT ÉLECTRIQUE ALTERNATIF
Variations mplitude : modulation	acoustique	RADIODIFFUSION
	optique	TÉLÉVISION
nsitions d'électrons.....		ÉMISSION DE LUMIÈRE
		ABSORPTION LUMINEUSE
iations d'énergie.....		TOUTES les APPARENCES SENSIBLES
nportement		MANIFESTATIONS DE LA VIE
tifs conscients.....		EXPLICATIONS BANALES

es (*à droite*) se présentent comme une légère
t *gauche*), sous-jacente.

dire *expliquer?* Problème préjudiciel, dont personne — ou presque — ne soupçonne les embûches.

Expliquer, au sens vulgaire du terme, c'est exprimer une analogie (ou, pour être plus précis, une identité sous certains rapports, avec, bien entendu, des différences,... que l'on néglige en général). Ainsi croit-on « expliquer », en reprenant une ineptie — bien excusable — d'Aristote, que les mouvements s'amortissent (que la « force » s'épuise) à peu près comme la chaleur d'un corps chaud se dissipe dans l'air. Ainsi, de même, compare-t-on la radio à des ronds dans l'eau.

Tout cela n'est pas sérieux, car comparaison n'est pas raison.

Au point de vue logique, expliquer un fait F (ou, ce qui revient au même, énoncer les *raisons* de F), c'est introduire *deux* types de raisons :

une ou plusieurs raisons *générales* G ou lois;

une ou plusieurs raisons *singulières* S (faits caractérisant le cas isolé dont on s'occupe et appelés souvent « conditions initiales »).

Le fait F est alors dit la *conséquence* des raisons G **et** des raisons S (en d'autres termes, on pourra démontrer le fait F, en *partant* de G **et** de S).

« Expliquer » prend aujourd'hui deux sens assez différents :

a) Donner la loi G (les raisons S étant des faits du même genre — « à la même échelle » — que ce qu'il s'agit d'expliquer) [1];

b) Décrire *en outre* une réalité sous-jacente (2), dont le comportement est relié par des lois G aux faits de l'expérience concrète (§ **2**).

En particulier, il s'ensuit immédiatement qu'une raison générale quelconque est, ou bien la conséquence d'autres raisons, ou bien que cette raison doit être considérée (jusqu'à nouvel ordre)

---

(1) *Exemple banal :* Rendant visite à un ami, vous appuyez sur un bouton, près de la porte d'entrée, et une sonnerie électrique retentit, que vous entendez.

Explication vulgaire : La poussée sur le bouton est la « cause » de cet « effet ».

Idée de l'explication correcte : Il y a des raisons G (les lois du courant électrique et l'électromagnétisme; les lois de la production, de la propagation et de la perception du son). Il y a des raisons S (l'installation domestique de votre ami, laquelle est reliée métalliquement à un secteur d'électricité, fonctionnant en ce moment; la fermeture du circuit par la poussée que vous avez exercée; la proximité suffisante de la sonnerie; votre audition normale).

(2) Nous en trouverons maints exemples dans le tableau de la figure 1 (pp. 8 et 9). Par là, l'explication correcte (mais superficielle) de la note précédente pourrait être considérablement approfondie.

comme un point de départ, comme un fait simple et général, à partir duquel les autres faits pourront être démontrés (avec l'adjuvant de certaines raisons générales ou singulières). Dans l'état actuel de la science (1), on ne remonte pas au-delà de ce « fait simple et général », que l'on érige en principe d'explication.

L'activité intellectuelle de l'humanité, depuis trois siècles, aboutit à cette double affirmation :

1° On ne gravit pas indéfiniment la suite ascendante des raisons. A chaque génération, *on s'arrête quelque part :* on s'arrête à un fait, assez simple et assez général, d'où l'on tire le plus grand nombre possible de conséquences (vérifiées **expérimentalement**), ces vérifications assurant (inductivement) la validité du fait pris comme point de départ. (Il subsiste naturellement des faits provisoirement irréductibles, dont on laisse, bon gré mal gré, l'explication aux descendants.)

2° L'examen logique de la méthode scientifique a établi, sans conteste, que les *causes* (causes formelles, causes matérielles, causes efficientes et causes finales) ne sont que des trompe-l'œil, des résidus — encore extrêmement vivaces — d'une mentalité enfantine : la prétendue relation de « cause à effet » (2) se ramène à la relation — seule correcte — de *raisons à conséquence,* dont les applications les plus concluantes nous sont fournies par la mécanique.

---

(1) Au début du XIXe siècle (à l'époque de Dalton), l'atome fut pris — d'une façon fort légitime et féconde — comme principe d'explication. Au milieu du XXe siècle, on est remonté plus haut, avec l'électron, le proton et le neutron notamment. Il est inepte d'*imaginer* où l'on s'arrêtera en l'an 2000.

(2) Il arrive fréquemment qu'une des raisons singulières et sa conséquence *soient réversibles* dans le temps. Et alors, que pourrait bien signifier un effet qui précéderait sa cause?

Donnons un exemple emprunté à l'électricité (§ **14,** note).

On applique la tension du secteur (115 volts) à cinq fils identiques (I, II, III, IV, V) en série. Le physicien, qui a toujours tort de se souvenir qu'il est aussi un homme de la rue, dira couramment que la tension (115 volts) est la « cause » du courant (mettons : un ampère) et que ce courant est l'« effet » de la tension.

Mais si, ensuite, il veut utiliser la tension (23 volts), qui existe aux bornes de la résistance III, le physicien (avec la même mentalité naïve de l'homme de la rue) dira maintenant que le courant (un ampère) est la « cause » de la tension et que cette tension est l'« effet » du courant.

Tout se clarifie, toute ambiguïté disparaît, quand on prend l'élémentaire précaution de considérer *exclusivement* des raisons (générales et singulières) et des conséquences.

L'intelligence humaine, après maints faux pas, adopte le vieux programme socratique (1).

Nous sommes maintenant armés pour examiner utilement la demande « saugrenue » : *Expliquez-nous donc la radio.*

Dans l'esprit de ceux qui la posent, il y a sans doute un désir plus ou moins confus de voir ramener la radio à l'un des phénomènes ou objets matériels auxquels ils sont accoutumés : une chute d'eau, l'émission d'un son, l'évaporation d'un liquide, le refroidissement d'une bouillotte, un bouton-pression, un vélo-moteur, que sais-je? Ils voudraient une analogie, même boiteuse, qui pût les tranquilliser. Mais, par malheur, cette analogie n'existe pas. Tout au plus peut-on leur dire qu'une communication radioélectrique a pour « support » quelque chose (chapitre V) qui ressemble à la lumière, mais une lumière bien bizarre, bien différente de la lumière de tous les jours, puisqu'une telle « lumière » est invisible, qu'elle traverse le bois aussi facilement que l'air et que, seuls, les métaux lui opposent une infranchissable barrière. Mais la divulgation de ces faits — scrupuleusement exacts — ne nous mène pas bien loin.

La condition préalable pour comprendre la physique en général et la radioélectricité en particulier, c'est de faire un effort sur soi-même, pour abandonner le « préjugé réaliste ». Je m'explique. Tous les enfants et la plupart des adultes sont imprégnés de l'idée invétérée qu'ils perçoivent directement le monde extérieur et qu'ils le perçoivent « comme il est » : « la superstition des évidences par laquelle l'homme reste à tort fidèle à l'adolescent qu'il fut, décèle une nature plus obstinée que raisonnable » (Léon Brunschvicg, 1934).

Le « réalisme » naïf ne peut résister aux progrès de la physiologie des sensations, dont les mécanismes sont effroyablement complexes; comme dit Henri Piéron (1945), c'est à la suite d'une longue habitude que nous avons appris à donner une interprétation et une signification à des phénomènes biologiques, qui

(1) « C'est en mesurant ses risques d'impopularité que le savant se refuse à faire l'aumône d'une promesse illusoire et que sa charité ne propose aux autres que de les élever jusqu'à lui, afin qu'ils osent, comme le voulait Socrate, affirmer ce qu'ils ont compris et ignorer ce qu'ils ne savent pas » (Léon Brunschvicg, 1934). Pour aussi étrange que cela puisse paraître, Socrate a trouvé un disciple en ... Bossuet, le jour où ce dernier écrivit la phrase célèbre : « Le plus grand dérèglement de l'esprit, c'est de croire les choses parce qu'on veut qu'elles soient, et non parce qu'on a vu qu'elles sont en effet. »

n'étaient que des « signaux », des « symboles » dans les premières années de l'existence. Ces symboles, devenus familiers par une adaptation empirique et communs à tous, se nomment le *concret;* et nous n'avons que trop tendance à leur conférer une valeur absolue, à les considérer comme supérieurs aux systématisations de la physique moderne, qui, elles, constituent le *réel* (à une époque donnée). Nous n'avons que trop tendance à « confondre, avec le moi intellectuel de la science, le moi physiologique de la perception, lequel se fie naïvement à son regard et espère expliquer les phénomènes d'après leur apparence immédiate » (Léon Brunschvicg, 1934) [1]. C'est là un état d'esprit qui se retrouve dans la *mentalité technicienne,* dont les exemples les plus fameux, en l'occurrence, nous sont donnés par Edouard Branly (§ **23**) et par Thomas-Alva Edison (§ **30**). Une telle confusion est particulièrement redoutable dans la question qui fait l'objet de cet ouvrage, car, en la commettant, on s'interdit par là-même à rien comprendre de ce qu'*est* la radioélectricité.

Pour indispensables qu'ils soient, ces développements sont un peu arides, j'en conviens. Ils seront heureusement illustrés par un parallèle désormais classique dû à l'ingéniosité du savant anglais Arthur Eddington (1882-1944). C'est en y recourant que l'on peut le mieux distinguer « le concret, donné par la perception immédiate, d'avec le réel, dont la science — et la science seule — s'approche de plus en plus » (2).

---

(1) Cet éminent penseur français (1869-1944), victime des nazis, se rencontre ici avec le physicien américain Robert Andrews Millikan (né en 1868; lauréat Nobel 1923). Celui-ci, bien qu'il n'ait pas dépisté les illusions — encore bien plus importantes du système nerveux central —, n'en a pas moins écrit : « Le témoignage de nos yeux est peut-être le moins sûr que nous possédions. A chaque instant, nous voyons des choses qui n'existent pas, même si l'éducation de notre œil a été irréprochable. » Il aurait fallu ajouter : à chaque instant, nous avons des croyances qui ne correspondent à rien, ce dont on ne peut se prémunir que par la systématisation et les recoupements de la méthode scientifique. D'ailleurs, Brunschvicg notait, dès 1920 : « Il appartient au redressement de la psychologie de l'intelligence de prévenir le recours aux puissances occultes, trop souvent invoqué afin de convaincre, par le témoignage des sens, de ce que l'on désespérait de faire entendre à la raison ».

(2) Robert Blanché (1948), qui écrit également : « La physique est l'ensemble des méthodes qui permettent une connaissance toujours plus objective, c'est-à-dire dépouillée de toute apparence anthropomorphique et valable pour tout esprit en général, indépendamment de nos modes humains de perception et de représentation... » La physique est devenue le modèle de tout savoir dans tous les domaines, même en psychologie (Paul Guillaume, 1942). Le concret s'apparente au sens commun (ou bon sens), tandis que le réel correspond au scientisme (à l'esprit scientifique, appliqué sans faiblesses) [§ **103**].

2. *Les deux tables d'Eddington.* — Spontanément, pour l' « homme de la rue », tous les objets qu'il voit et manipule seraient des témoins dévoués, qui ne demanderaient qu'à lui faire connaître — sans fard et sans détour — l'univers dans sa *véritable* quintessence; il n'y aurait pas à discuter (« les faits sont là ») : une orange serait ronde et rouge, elle « posséderait » une odeur et une saveur particulières, etc. Ce à quoi Léon Brunschvicg rétorquait pertinemment : « On est dupe de la magie des mots — d'un langage tendancieux et inexact —, quand on dit qu'un colis est pesant ou qu'un chien respire; la pesanteur et la respiration sont tout autre chose que des qualités (au sens d'Aristote) d'un objet. Ces deux prétendues propriétés (1) sont : l'une, une conséquence de la proximité de la masse terrestre; l'autre, une fonction de l'échange chimique avec l'atmosphère. »

Mais voici, d'après Eddington (1929), la mentalité du savant : il considère, plus ou moins explicitement, tous les objets comme *doubles*, par le fait même que sa vie est double (c'est d'abord un homme comme les autres, qui marche, se rase et dort, mais c'est aussi un esprit éveillé, qui a percé bien des secrets et en tire profit à l'occasion). Le savant est assis sur deux chaises, devant deux tables, avec deux stylos pour écrire,... Par exemple, sa table n° 1 (la table C, la table concrète) lui est familière depuis longtemps : elle a de l'étendue, elle est relativement durable, elle a une certaine couleur, elle ne cède pas quand on s'appuie sur elle. Mais sa table n° 2 (la table R, la table réelle) est toute différente : elle est surtout faite de *vide*, où sont répartis, çà et là, des corpuscules électrisés, animés de grandes vitesses; si l'on pouvait juxtaposer ses constituants côte à côte, sans interstices, une grande table de bureau se trouverait réduite à beaucoup moins qu'une tête d'épingle. En dépit de cette constitution stupéfiante, la table R rend strictement les mêmes services que la table C. J'y pose un encrier? Les petits corpuscules s'élancent à corps perdu pour le soutenir, en le frappant par en dessous, de telle sorte que l'encrier est constamment maintenu au même niveau, à la manière d'un volant sur une raquette. J'appuie mon

(1) Le verbe *avoir* (telle ou telle propriété) est aussi pernicieux que le verbe *être* (telle ou telle chose). Ils sont responsables d'une multitude de calembours, de contresens et de non-sens (comme chez Hegel) : la pensée correcte devrait les bannir sans pitié, en les remplaçant, selon les cas, par l'un de leurs trois ou quatre équivalents *distincts*.

coude sur la table? Il ne s'y enfonce pas; ou, pour mieux dire, les chances qu'il a de passer au travers sont si faibles que l'on peut complètement les négliger dans la vie de tous les jours. Etc.

L'humanité existe depuis au moins cent mille générations, dont la plupart n'ont pas connu de tables du tout; puis, durant de nombreux siècles, on s'est contenté — faute de mieux — de la table C; et la table R a surgi il y a quelques décades, aux alentours de 1900. Nos bons « réalistes », qui — soit dit en passant — ne se préoccupent guère de la réalité, ne manqueront pas de railler toutes ces complications. A qui sait l'interroger congrûment, l'histoire fournit une réponse décisive : la table R rend les mêmes services que la table C, mais *elle en rend d'autres.* L'Univers des apparences (Univers n° 1, Univers C) correspondait à l'âge des diligences et des métiers à tisser; l'Univers des réalités (Univers n° 2, Univers R) nous a dotés de la radio, du radar et de la télévision, sans rappeler les inépuisables richesses de l'énergie intranucléaire.

Des esprits aussi différents que Paul Langevin, Maurice de Broglie (1), Hans Reichenbach ou Jacques Duclaux sont unanimes sur ce point :

> On a l'impression que la nature s'ingénie, non sans quelque malice, à nous présenter la réalité par son aspect le plus complexe et qu'un grand effort est nécessaire pour dégager les raisons simples et générales à partir desquelles notre pensée bâtira une image adéquate du monde; c'est vraisemblablement une nécessité de notre adaptation.
>
> Ce qui caractérise les recherches modernes dans leur activité bouillonnante et féconde, c'est que leurs pas si rapides bouleversent le cadre immuable de notre courte existence. Une génération n'a pas eu le temps de s'accoutumer à une nouvelle découverte, elle n'a pu encore y adapter sa vie et ses mœurs que déjà celle-ci fait figure de vieillerie et doit céder la place à une nouveauté plus récente. Toute l'organisation sociale de l'humanité, ses habitudes séculaires, dont les assises, durcies par

(1) Son frère, Louis de Broglie, a pris soin de calmer les dénigrements des sceptiques professionnels : « Quand les physiciens d'une époque ont étudié un certain nombre de faits avec les moyens dont ils disposent, ce résultat est *définitivement* acquis ».

> le temps, ont demandé des millénaires pour s'établir, tout cela doit maintenant se plier à des conditions que l'on n'aurait même pas imaginées quelques générations auparavant : les distances disparaissent, l'absence tend à s'abolir, la Terre entière semble, à certains points de vue, moins étendue qu'une petite cité d'autrefois; la pensée, la parole, les nouvelles se transmettent avec la rapidité de l'éclair et par le même agent naturel.
>
> Les choses sont aujourd'hui si différentes de ce qu'elles étaient autrefois que, très franchement, on ne peut à peu près rien demander aux Anciens. Nous ne sommes pas libres de choisir notre sort; il faut nous accommoder de ce qui est, si nous voulons vivre. Quand on a bien compris cet état de choses, on secoue la tutelle du passé et l'on adopte, sans arrière-pensée, les méthodes d'un travail scientifiquement organisé.
>
> Si la grandeur matérielle de l'homme est invariable, sa grandeur intellectuelle croît en proportion du champ qu'il est, à tout moment, parvenu à mettre en culture (1).

A l'apparence et au sens commun s'opposent donc la réalité et l'esprit scientifique. Au monde illusoire de la perception brute se substitue peu à peu le monde véritable de l'intelligence explicative. Tel est le fin mot des progrès fulgurants qui sont l'œuvre de la première moitié du XX^e^ siècle.

3. *Toiles de fond et premiers plans.* — Le meilleur moyen d'éliminer, dans l'esprit du lecteur, le caractère mystérieux de la radio qu'il lui prête gratuitement, c'est de passer en revue quelques-uns des plus importants phénomènes de la vie moderne, ce qui nous permettra de situer la radioélectricité à sa place, tout en éclaircissant les précédents développements sur le réel et le concret.

---

(1) Jacques Duclaux (1949) pense d'ailleurs que (sans doute par suite d'un inévitable retard des sciences humaines) la grandeur morale de l'homme est loin de suivre sa grandeur intellectuelle, et il ajoute d'autre part : « Pendant des siècles, l'impuissance de l'homme à prendre, sur ses ennemis, un avantage décisif, l'a poussé, sous la conduite des prophètes, à chercher un asile dans les religions, qui lui promettaient, pour un autre monde, les victoires dont il était privé dans celui-ci. Ces religions ont mis comme condition que, sur Terre, son esprit s'endorme et renonce à poser des questions à l'Univers. »

I. *Inertie et gravitation.* Sur notre route, nous rencontrerons Albert Einstein, qui est une des plus profondes intelligences de tous les temps et de tous les pays.

Les Anciens (sauf Archimède) n'avaient rien compris à la mécanique : ne s'étaient-ils pas figuré que l'on pouvait reconstituer l'Univers par des phrases, alors qu'il faut l'étudier laborieusement par des expériences? Le genre humain dut attendre Galilée et Newton avant d'acquérir des idées nettes sur ces deux faits, incorporés à l'existence quotidienne, que sont l'inertie et la gravitation. Toutefois — nous le savons aujourd'hui — l'œuvre admirable de ces deux pionniers restait entachée d'anthropomorphisme (1) : l'inertie rappelait une certaine langueur, un certain entêtement, une certaine paresse à se mettre en train ou à s'arrêter; la gravitation s'apparentait à la force musculaire des animaux, et la Terre, notre planète, faisait l'effet d'une personne gourmande, qui amenait à elle tout ce qui lui tombait sous la main...

Pour Einstein, l'Univers R, le vrai, est fini et, en quelque sorte, replié, recroquevillé sur lui-même. Chaque échantillon de matière (objets et êtres vivants) a une masse, pour cette simple raison qu'il est au milieu de tous les autres. L'inertie devient ainsi, tout naturellement, une propriété absolument générale, tandis que la gravitation est une caractéristique locale (2).

En adoptant une comparaison qui fait image et que nous utiliserons dans la suite, l'inertie est une « toile de fond » devant laquelle se présente, au « premier plan », la pesanteur, cas particulier de la gravitation.

L'Univers d'avant Einstein était commodément décrit dans les termes de cette bonne vieille géométrie (3) d'Euclide, auxquels

---

(1) C'est la tendance — irrésistible chez les cerveaux frustes (sauvages, enfants, ignorants) — de doter le monde extérieur de désirs, d'intentions, de besoins,... du même genre que ceux qu'ils ressentent en eux-mêmes (dans leur vie humble et simplette).

(2) Si, pour fixer les idées, on assimile l'inertie à la courbure du globe terrestre, on peut considérer la gravitation comme l'équivalent des vallons et des collines qui parsèment irrégulièrement la surface de la Terre.

(3) En dépit de préjugés extraordinairement vivaces, contre lesquels d'éminents mathématiciens (comme Émile Picard) ont vigoureusement protesté, cette géométrie est, elle aussi, une science *expérimentale :* « Si les Grecs n'ont pas eu trop de peine à faire de la géométrie une science exacte, c'est par suite de la petitesse extrême des dilatations thermiques et des déformations élastiques des corps solides » (Edmond Bauer, 1949), d'où l'habitude de manipuler et de considérer des objets qui conservent leur forme et leurs dimensions quand on les déplace.

on était cependant obligé de surajouter deux facteurs inattendus (l'inertie et la gravitation), qui avaient tout l'air de « tomber du ciel ». *Il a suffi* d'étudier l'Univers avec un arpentage qui ne fût pas tout à fait euclidien : rien n'a été changé à ce qu'une expérience millénaire nous avait appris sur la *forme* des corps solides, mais, du même coup, Einstein et ses émules ont élucidé, sans plus, tous les *mouvements* dont ces corps peuvent être animés : la mécanique n'est rien d'autre qu'une géométrie plus large, plus générale.

II. *L'énergie intranucléaire.* Il ne se passe rien dans le monde sans qu'il y ait échange d'énergie : qu'il s'agisse du déplacement d'un camion ou d'un autorail, de l'émission d'une lampe ou d'un tube à rayons X, de la combustion d'un poêle ou de la respiration d'un animal, l'énergie ne fait que changer de forme, d'apparence; c'est là le « premier plan », l'Univers directement perceptible, celui que nous avons appelé l'Univers C.

Mais où est la « toile de fond », l'Univers R, dans tout cela? C'est à nouveau Einstein qui a pris sur lui de répondre, en créant (1911) la théorie de l'inertie de l'énergie. Jusqu'alors, on ne connaissait que des *variations* d'énergie, mais on ne soupçonnait pas *ce qui* pouvait bien varier. Une synthèse imposante, étayée sur une foule de données expérimentales, établit que ce « fond », c'est la matière elle-même, laquelle s'identifie avec une forme particulière de l'énergie. Nous savons maintenant que cette réserve d'énergie se cache dans la substance même des noyaux atomiques; aussi l'a-t-on baptisée énergie intranucléaire. Nous savons aussi que tous les phénomènes actuellement connus — même les explosions les plus violentes, de sinistre mémoire — ne concernent que des modifications infimes de l'énergie disponible. Lorsque nous aurons réussi à contrôler et à diriger cette énergie tout entière, la « toile de fond », l'Univers réel aura livré son plus important secret, et la grande relève de l'homme par la machine sera résolue par surcroît.

III. *L'état gazeux.* Les gaz habituels — comme l'air atmosphérique ou le gaz de houille — nous offrent des exemples tout aussi suggestifs d'une « toile de fond », agrémentée de divers « premiers plans ».

L'air, par exemple, est essentiellement formé *par du vide,* où se déplacent frénétiquement quelques rares molécules. « Rares »

signifie qu'un millième de l'espace offert comporte de la matière; mais ces molécules sont si petites qu'un centimètre cube d'air en contient un nombre à peine imaginable. Rappelons, en effet, que, si l'on entreprenait de compter les molécules présentes dans un centimètre cube d'air, en en séparant une à chaque seconde, ce recensement durerait dix milliards de siècles (1). On nous croira sans peine, quand nous en conclurons que l'Univers R « ne tombe pas sous les sens ». Et cependant les laboratoires photographient tous les jours des corpuscules individuels ou les font « parler », chaque fois que l'un d'entre eux franchit le trou percé par une épingle dans une feuille métallique.

C'est de la « toile de fond » que provient la sensation de *température*. Dans l'air au repos, les molécules zigzaguent isolément en tous sens, frappent les objets, les bêtes et les gens, puis rebondissent, heurtent leurs voisines, et ainsi de suite, en conservant toujours la même vitesse moyenne, qui est du même ordre que celle d'un obus quittant son canon. Il nous arrive d'ouvrir la fenêtre de notre chambre et de mettre la main dehors pour décider si nous prendrons notre manteau : sans nous en douter, nous cherchons, par là, à apprécier la vitesse des molécules de l'air de la rue.

Nous nous rendons compte combien l'Univers R « tourne le dos » à l'Univers C. Lorsque le profane parlait de « chute » d'un corps (en **I**), le savant lui répondait : *courbure*. Maintenant, nous nous plaignons, dans notre jargon défectueux, d'avoir « trop chaud » ou de prendre « froid », et l'écho railleur nous souffle : « Vous êtes le jouet d'apparences fallacieuses; vous ne voyez donc pas que ce n'est qu'une question de vitesse... »

Sur cette « toile de fond » se greffent deux « premiers plans ».

1° Le fourmillement moléculaire a lieu même dans l'air le plus calme; il persiste aussi dans les vents, dans les courants d'air, mais alors il se superpose un *déplacement d'ensemble* tout d'un bloc, à peu près comme ce qui se passe quand une personne, agitant un liquide dans un flacon bouché, se met à marcher (l'agitation du liquide ressemble à la température, et la marche est analogue au courant d'air).

2° Ne quittons pas encore la personne en question, car

(1) A titre de comparaison, il est hors de doute que la Terre (en tant qu'étoile minuscule) s'est détachée du Soleil il y a seulement vingt millions de siècles.

son agitation de liquide est riche en enseignements. Maintenant, elle ne marche plus, mais, par un pivotement autour de ses hanches, elle incline le buste tantôt à droite, tantôt à gauche, et ainsi de suite indéfiniment, sans d'ailleurs s'interrompre de secouer son flacon : l'agitation du liquide reste, bien entendu, une image de la température, mais le dandinement régulier n'est rien d'autre que l'équivalent d'un son. Le son, de même que le vent, se superpose au fourmillement moléculaire, mais le son consiste en *oscillations locales.*

Et voilà comment l'Univers R, l'Univers réel, répond à cette question suggestive, qui semble un défi au bon sens : quelle différence y a-t-il entre un ouragan et un *ré* bémol?

IV. *Les métaux et la radio.* Nos « toiles de fond » et « premiers plans » se retrouvent en électricité (y compris la radioélectricité).

Les métaux sont des gaz ou, plus précisément, des piles de boulets, perméables aux électrons et baignés dans un gaz particulier, le gaz électronique. La lame d'un canif, le boîtier d'une montre sont sillonnés d'électrons, corpuscules extraordinairement légers, circulant en tous sens avec la vitesse respectable d'un millier de kilomètres à la seconde (de plusieurs millions de kilomètres à l'heure). Telle est la « toile de fond », contraire au sens commun, donc presque universellement inconnue, des phénomènes électriques...

Toute l'électrotechnique en découle, comme par enchantement. De même que le vent (dans le gaz) s'adjoint au fourmillement des molécules, de même le courant électrique *continu* se ramène à un déplacement d'ensemble de minuscules électrons : pour qu'une ampoule électrique répande une lumière éblouissante, il n'y a qu'à gratifier les électrons (de son filament) d'un supplément de vitesse égal au dix-millionième de leur vitesse spontanée (à froid). Et le correspondant du son dans les gaz n'est rien d'autre que le courant électrique *alternatif,* où le nombre d'oscillations par seconde s'échelonne entre 50 (pour les réseaux de distribution) et 30 milliards (pour les ondes ultracourtes du radar) [1].

---

(1) Comme nous le dirons bientôt, la *fréquence* s'échelonne entre 50 *cycles* et 30 *gigacycles* (milliards de cycles).

La radioélectricité nous met derechef en présence du « tandem » *toile de fond-premier plan.* Le courant alternatif, rapidement variable, est maintenant promu au grade de réalité sous-jacente; mais il faut obligatoirement que ce courant soit parfaitement régulier, ce qui s'obtient grâce aux bons soins de la « lampe merveilleuse » (chapitre IV) : ces « oscillations entretenues » engendrent ce que les sans-filistes appellent les « ondes porteuses (chapitre V) de la T. S. F. », dont l'amplitude est rigoureusement invariable.

Il n'y a plus alors qu'à leur faire subir la *modulation.* Moduler une onde porteuse, c'est préalablement agir sur son amplitude :

acoustiquement, par un microphone, si l'on veut radiodiffuser;

optiquement, par un iconoscope, si l'on veut téléviser.

Au poste récepteur, cette onde modulée est retransformée en oscillations électroniques, de même fréquence fondamentale. Et enfin ces oscillations (d'amplitude variable) actionneront :

soit un haut-parleur (en radiodiffusion);

soit un tube cathodique (en télévision).

Ne manquons pas de remercier, au passage, l'Univers R des physiciens, qui nous a permis un premier déblayage du terrain, tandis que l'Univers C des profanes ne nous avait suggéré (§ **1**) qu'un vague et futile rapprochement des ondes porteuses avec les rayons lumineux.

Le tableau de la figure 1 (pp. 8 et 9) reproduit schématiquement la confrontation de l'Univers R (toiles de fond) et de l'Univers C (premiers plans). Le lecteur y reconnaîtra tous les exemples que nous avons évoqués, ainsi que quelques autres — du même style —, qu'il n'aura aucune difficulté à comprendre (1).

---

(1) Au sujet de la dernière ligne de ce tableau, nous emprunterons d'abord les citations suivantes de Paul Guillaume (1942) : « Que dire des romans dits psychologiques et de leur prétention de mettre à nu les ressorts secrets de l'âme? Le contrôle final se réduit à l'acceptation, par le lecteur, de la vraisemblance de la version de l'auteur; mais cet accord prouve seulement l'existence d'une mentalité commune, d'une psychologie du sens commun, qui rend l'œuvre intelligible et sympathique à son public; il ne prouve rien quant à la valeur de cette psychologie... En général, l'état intellectuel est déterminé par l'état affectif, qui n'est pas une donnée consciente; ainsi, le mélancolique imagine des causes de tristesse, parce qu'il *est* triste, et il se justifie par là cette tristesse qu'il ne pouvait comprendre ». L'obscur poète qui écrivit le vers (devenu fameux pour les raisons précédentes)

L'ennui naquit un jour de l'uniformité

4. *L'explication scientifique.* — Par les quelques pages qui précèdent, le lecteur aura mesuré l'abîme qui sépare le monde spontanément perçu de l'Univers découvert par la science. Cette opposition entre le concret et le réel ne peut qu'aller en s'accentuant, non seulement en physique, mais en biologie et en psychologie, au fur et à mesure que ces sciences progresseront en surface et en profondeur.

D'une manière très schématique, on peut dire que la science actuelle met en avant une grandeur physique plus importante que les autres, l'**énergie** (§ **3, II**), pour rendre compte de l'évolution de l'Univers. Quant à *ce qui* évolue, il se subdivise en trois catégories :

I. Les corpuscules de faible vitesse (1), parmi lesquels le présent ouvrage ne retiendra guère que l'*électron;*

II. Les corpuscules (dénommés « photons »), qui ne peuvent se mouvoir qu'à raison de 300 000 kilomètres par seconde, et qui disparaissent quand on essaie de les arrêter (2);

III. Les champs ou espaces compris entre les corpuscules; ici, nous ne parlerons pas du champ gravifique (pesanteur), mais seulement du *champ électromagnétique.*

était doublé d'un piètre psychologue, car c'est l'uniformité qui naît de l'ennui.

Ajoutons, d'autre part, que les moralistes contemporains sont à peu près tous d'accord sur un point essentiel : la *seule* liberté désirable se caractérise par l'acte délibéré, mûrement réfléchi, décidé en connaissance de « cause ». La liberté est plus qu'une longue patience : une conquête permanente, exigeant le maximum de savoir, de documentation, de concentration d'esprit. « Elle n'est possible que dans et par le déterminisme psychologique » (Jules Payot, 1893).

Des esprits chagrins vont à nouveau nous reprocher ces incursions dans le domaine de la culture générale. C'est avec aisance que nous les renvoyons à... l'Abbaye de Port-Royal, dont notre génération est encore loin de combler les vœux (1665) : il est, certes, utile de se servir de l'intelligence pour acquérir la science, mais, pour l'homme moyen, il est préférable de perfectionner son intelligence au contact de la science.

(1) C'est pour cela que Francis Perrin (1939), interprétant l'opinion générale des physiciens, a proposé cette phrase lapidaire : « La matière est l'ensemble des corpuscules, auxquels il arrive de se présenter au repos par rapport à nous ». Et Alexandre Dauvillier (1947) définit la « matière vivante » comme une juxtaposition de ces précédents corpuscules, lorsqu'il y a une structure capable de la déplacer spontanément, en mettant à profit l'énergie que dégage sa réaction avec l'oxygène libre. Le mot « matérialisme » et son opposé, le mot « spiritualisme », perdent toute espèce de signification, chez qui cette conception synthétique de la réalité est devenue familière.

(2) C'est la lumière (au sens le plus général du terme).

Notre but, jusqu'à présent, a été de « faire sentir » en quoi consiste ce monde véritable, dont nos sens ne nous suggèrent aucune idée; cette préparation est indispensable à quiconque voudra savoir **ce qu'il y a** à comprendre, avant d'aborder une initiation sérieuse à la radioélectricité.

Il y a déjà longtemps (1791) que Condorcet l'avait pressenti : « Si, par des vues trop étroites, on voulait séparer, dans chacune des sciences, ce qui est utile de ce qui ne l'est pas, on nuirait à cette utilité même et on ne ferait que consacrer des erreurs et des routines. » C'est parce que le savant a conçu un Univers fantastique (aux yeux du profane) que le technicien a mis au point des applications inouïes : toutes les *idées,* classiques ou nouvelles, sont puisées exclusivement dans l'arsenal accumulé par la recherche scientifique pure de tous les pays. C'est aussi et surtout parce que cet Univers (1) ne peut être convenablement exprimé que par le langage admirablement précis des mathématiques, y compris le calcul des probabilités.

Au savant qui l'interroge, la réalité répond parfois par des limitations catégoriques (« tout n'est pas toujours possible ») :

le principe de Carnot interdit de dépasser telle valeur pour le rendement des moteurs thermiques;

la diffraction s'oppose à ce que la lumière nous renseigne sur la forme de parcelles trop ténues;

le principe de Heisenberg nous défend — dans l'état actuel de la microphysique — de suivre exactement les pérégrinations d'un électron à l'intérieur d'un atome.

Mais il est une autre limitation, sur laquelle je voudrais revenir ici, parce qu'elle n'est qu'un reflet de l'humaine nature et qu'elle concrétise l'esprit même de la science. Il faut se méfier de la question : « Et après? » posée à tout propos et hors de propos, en ignorant que la base de tout savoir est la méthode expérimentale, seule source de vérité. Un mathématicien, comme Henri Poincaré, et un biologiste, comme Claude Bernard, sont d'accord pour l'affirmer. Dans les conditions rigoureuses où il est établi, un fait d'expérience est une *conquête définitive :* il n'a jamais existé aucune loi qui, dans la signification et avec l'approximation dans lesquelles elle a été énoncée, ait jamais dû être rejetée. Quand quelqu'un s'acharne à souligner les erreurs de tel ou tel

(1) Qui — comme l'écrivait, en 1931, le savant anglais James Jeans (1877-1946) — est suprêmement « indifférent à toute vie pareille à la nôtre ».

savant (1), soyez assuré qu'il s'apprête à prôner, dans un instant, les fantaisies inconsistantes de la métapsychie, de l'astrologie ou de la radiesthésie (2). L'explication scientifique a uniquement pour but de ramener le plus grand nombre de faits au plus petit nombre possible de principes généraux, suivant les illustres exemples d'Einstein (1912), qui ramena la gravitation à la géométrie, ou de Maxwell (1865), qui fit de l'optique un chapitre de l'électromagnétisme.

---

(1) Erreurs qui ne sont *jamais* homologuées d'une façon durable par l'ensemble des spécialistes compétents.

(2) Au sujet des balivernes imaginées pour rapprocher cette pseudo-science de la radioélectricité, on consultera (mais avec beaucoup de précautions, car la vigueur intellectuelle de l'auteur est *à éclipses*) les pages 79-82 de : Jean Jarricot, *Pendule et médecine* (Doin, 1948). On y verra, par exemple, que les pendulisants répètent l'assemblage de mots « longueur d'onde », sans le définir et sans se douter de sa signification en physique; ils ont inventé (p. 88) « hauteur d'onde » et n'ont plus besoin que d'un tout petit effort pour nous proposer « largeur d'onde ».

Chapitre II

AUX DEUX BOUTS DU SANS-FIL

5. *Le champ électrique.* — Les Français du milieu du XX[e] siècle se servent de « l'électricité »; la plupart machinalement, sans savoir comment (mais cela importe peu ici, car nous le leur dirons). Ils sont les « usagers » d'un réseau de distribution (d'un *secteur*), qui, moyennant finances, leur fournit des *volts* (1) : au départ (2) de l'installation domestique d'un abonné, il existe, entre deux bornes métalliques, une *tension* (3) de 115 volts.

Spécifions tout de suite qu'il y a deux sortes de tensions :

1° La tension alternative (« 115 volts alternatifs »), adoptée à peu près partout, pour des raisons de commodité (*fig.* 2);

2° La tension continue (« 115 volts continus »), qui ne se rencontre qu'exceptionnellement à l'heure actuelle, sans qu'il soit légitime de penser que cet état de choses persistera indéfiniment (*fig.* 3).

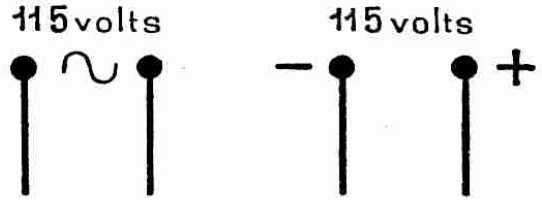


FIG. 2 et 3. — Tension alternative et tension continue.

Si vous êtes relié à un secteur alternatif, vous avez néanmoins

(1) Encore une expression qui va être précisée (§ 6). Le mot « volt » est une abréviation du nom de l'Italien Alessandro Volta.

(2) Départ (appelé « poste de commande »), qui comporte notamment un interrupteur général et un compteur.

(3) Ou « différence de potentiel ».

l'occasion de rencontrer une tension continue : c'est celle qui existe normalement dans une auto, entre les bornes de sa *batterie* d'accumulateurs. Lorsque les « accus » sont chargés, il donnent, par exemple (1), 8 volts, soit environ quatorze fois moins de volts qu'un secteur continu. Retenons seulement pour l'instant que cette batterie (8 volts) fournira — dans les mêmes conditions de fonctionnement — quatorze fois moins de travail (ou de chaleur) que le secteur continu (115 volts).

Quoi qu'il en soit, nous supposerons d'abord que nous disposons d'un secteur continu à 115 volts. On réunit métalliquement les deux bornes — et + de ce secteur à deux plaques carrées d'aluminium (2) : la partie inférieure de la figure 4 (page 28) représente, en vraie grandeur, la coupe de ces deux plaques (carrés de 6 cm de côté; écartement de 3 cm; l'épaisseur de chaque plaque n'a aucune importance, non plus que la nature du métal dont elles sont faites).

Il est plus simple de mettre tout bonnement les plaques (N négative et P positive) dans l'air; mais elles auraient pu aussi bien être disposées dans le vide, comme celui qui se trouve à l'intérieur des lampes à incandescence, et rien n'aurait été changé à tout ce que nous allons dire.

L'intervalle (air ou vide) entre les plaques est un parallélépipède ayant pour volume 108 cm^3 (6 cm × 6 cm × 3 cm). Lorsque les plaques N et P *ne sont pas* sous tension, ce volume ne se distingue en rien (au point de vue électrique) de l'espace ambiant. Mais, dès qu'on leur applique une tension (ici : 115 volts continus), l'air (ou le vide) acquiert des propriétés nouvelles : on dit alors que l'air (ou le vide) est le siège d'un *champ électrique* (constant ou invariable). Un champ électrique, cela ne se voit pas, cela ne s'entend pas, cela ne se touche pas. Cela n'est pas concret, mais cela n'en est pas moins réel, puisque cela se mesure et que sa présence peut être constatée par ses effets, qui sont l'attraction et la répulsion des corps « électrisés ».

C'est précisément dans ce but qu'ont été dessinées (en vraie grandeur) les figures 4, 5 et 6 (page 28).

Regardons à nouveau la figure 4. En plus des plaques (ou pla-

---

(1) Pour une batterie de quatre éléments en série (2 volts par élément).

(2) En d'autres termes : les deux plaques sont « mises sous tension », sont « connectées » avec le secteur.

teaux) N et P, elle comporte une baguette horizontale d'ébonite, sur laquelle peut coulisser un anneau ou support S, auquel est fixé un fil très mince (1), long de 3 cm et portant une petite boule B très légère (2).

Décrivons schématiquement la suite des opérations qui permettent de constater (voire de mesurer) le champ électrique présent dans les 108 cm^3 compris entre les plateaux N et P.

1° En B (*fig.* 4), le fil de cocon est vertical, qu'il y ait ou non tension entre N et P. Cet échec n'indique qu'une chose, c'est que la petite boule B, à l'état normal (3), est impropre à déceler un champ électrique (au même titre qu'un ruban métrique ou une montre).

2° On amène (*fig.* 5) la boule en contact B′ avec le plateau de gauche, désigné par N′ et sous tension (4).

3° On replace (*fig.* 6) le support dans sa position primitive S″, et l'on remarque alors (5) que le fil de cocon *n'est plus vertical* : le déplacement de la boule est, par exemple, de 3 mm vers la droite.

Telle est la façon la plus intuitive de mettre en évidence la présence d'un champ électrique. Dans le cas qui nous occupe, ce champ électrique est horizontal (puisqu'il provoque des déplacements horizontaux), dirigé, par convention, de P vers N et partout le même dans les 108 cm^3.

Il y a d'ailleurs deux manières de faire varier ce champ électrique, en admettant (pour simplifier au maximum) que l'électrisation de B″ (*fig.* 6) ne varie pas :

I. On peut supprimer la tension de 115 volts continus et la remplacer par les 8 volts (continus) d'une batterie

---

(1) Fil de cocon ou cheveu (un dixième de mm de diamètre).

(2) En liège ou en moelle de sureau (diamètre : un mm); elle sera rendue conductrice en la recouvrant de raclures de mine de crayon (poudre de graphite).

(3) Ou — comme on dit — à l'état neutre.

(4) Le contact de B′ avec N′ a pour conséquence d'électriser la boule négativement. En réalité, cette dernière *emprunte* au plateau touché deux millions d'électrons (supplémentaires).

Dans le cas où l'on aurait appliqué la boule contre le plateau de droite P′, elle lui aurait *cédé* deux millions d'électrons, parmi ceux qu'elle contenait (en réserve pratiquement indéfinie) : c'est en cela que consiste une électrisation positive. Bien entendu, en replaçant *après cela* le support en S″ (*fig.* 6), la boule prendrait alors la position symétrique de B″ par rapport à la verticale.

(5) Le mieux est d'observer avec une petite lunette (ou viseur) : le déplacement est très net quand on coupe, puis remet la tension (la boule, qui est *isolée*, reste électrisée). Le déplacement serait encore doublé, si l'on *inversait* la tension.

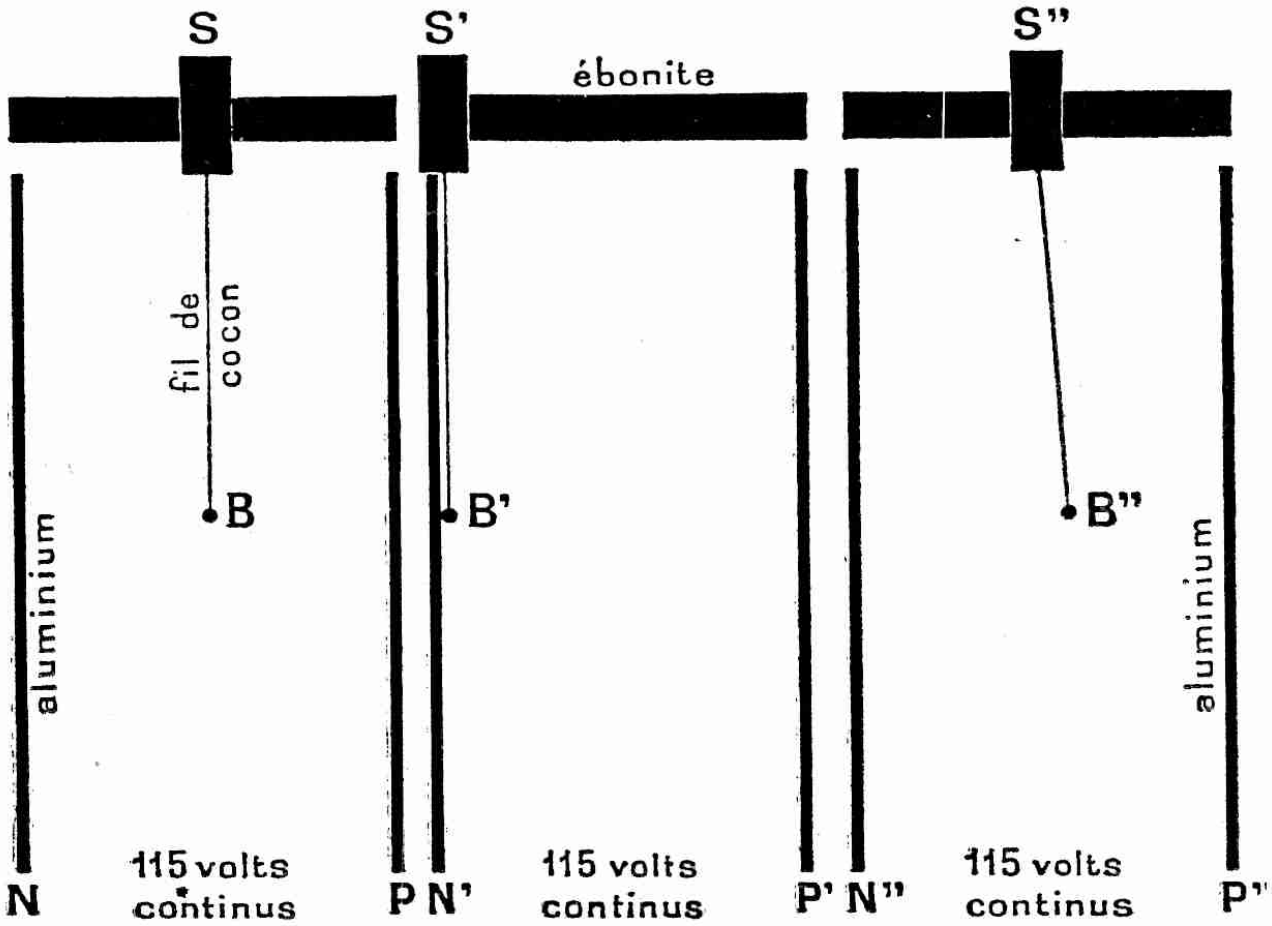


FIG. 4, 5 et 6. — Ce que c'est qu'un champ électrique.
Le fil de cocon (*fig.* 4) reste vertical si la boule B n'est pas électrisée (ou si les plateaux N et P n'étaient pas sous tension).
La figure 5 indique un moyen commode d'électriser B' (ici négativement).
Le support ayant été replacé à sa position primitive S" (*fig.* 6), le fil de cocon est dévié vers la droite.

d'auto, soit par une tension quatorze fois plus faible : le déplacement (1) se trouverait réduit dans le même rapport.

II. On peut (*fig.* 6 et tension 115 volts) rapprocher les plateaux N" et P" chacun de 5 mm. L'écartement n'est plus que de 2 cm (au lieu de 3 cm). Et l'on observe que le déplacement de la boule est maintenant 4 mm 5, soit une fois et demie plus grand.

La conclusion est facile : le champ électrique entre deux plateaux varie en raison directe de la tension appliquée **et** en raison inverse de l'écartement. Si l'on préfère, le champ électrique est d'autant plus grand (dans l'air ou dans le vide) qu'il y a

(1) Qui n'est perceptible qu'avec un viseur (en opérant comme il est dit à la note précédente).

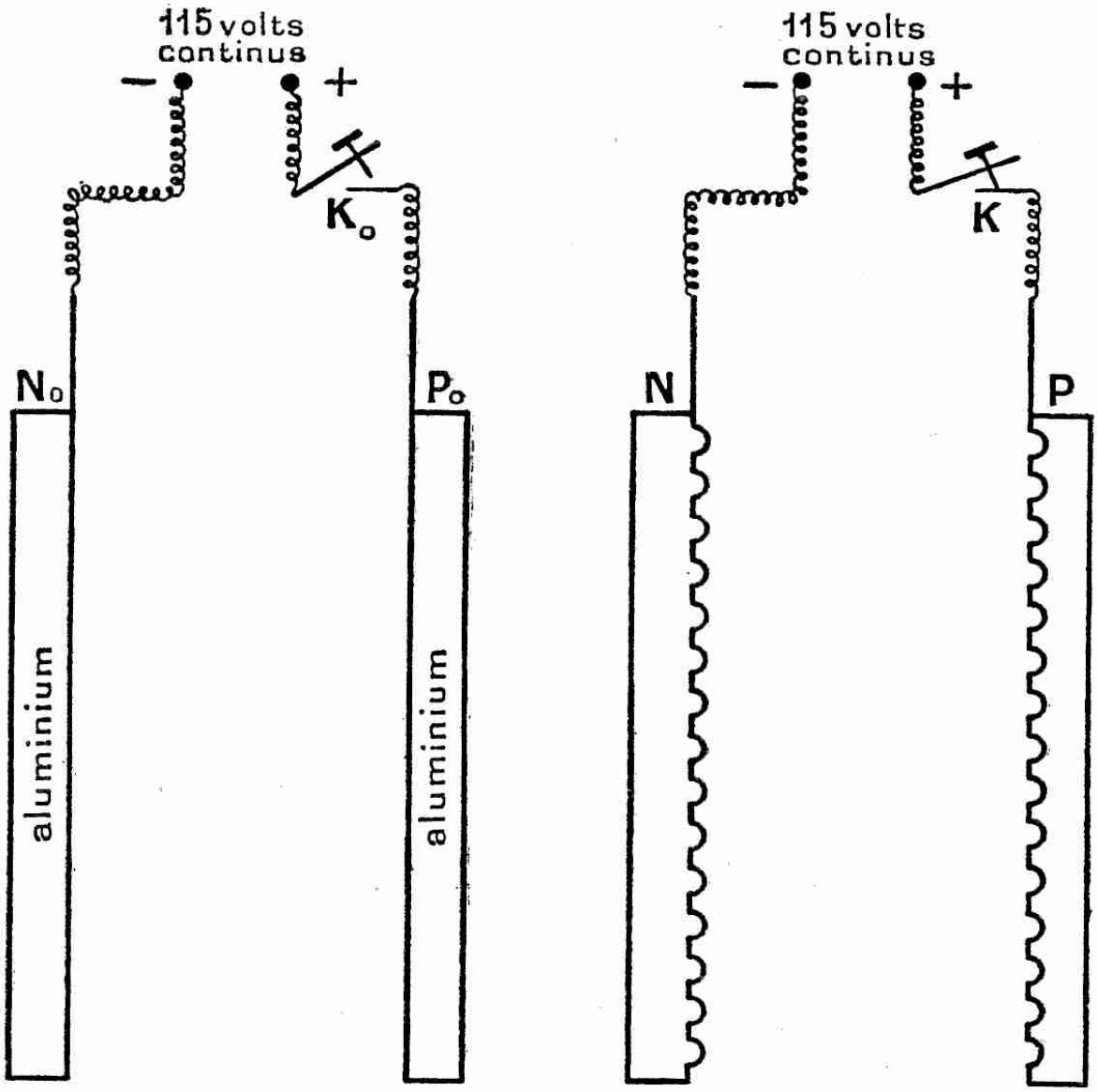


FIG. 7 et 8. — Ce qui s'est réellement produit quand les plaques des figures 4-6 sont mises sous tension.

plus de volts **et** qu'il y a moins de centimètres. Un champ électrique s'exprimera donc tout naturellement en volts par centimètre (abréviation : V/cm), ce qui nous permet de préciser les trois cas passés en revue :

Cas de la figure 6 : tension de 115 volts, écartement de 3 cm; champ électrique d'environ 38 V/cm.

Cas **I** (ci-dessus) : tension de 8 volts; écartement de 3 cm; champ électrique inférieur à 3 V/cm.

Cas **II** (ci-dessus) : tension de 115 volts; écartement de 2 cm; champ électrique de 57,5 V/cm.

Il va sans dire que le champ électrique s'annule quand les plateaux ne sont plus sous tension (1), **et** qu'il devient pratiquement nul quand on éloigne beaucoup les plateaux (mettons : de quelques décimètres).

6. *Ce que sont réellement une tension et un courant.* — Pour cette raison limpide qu'il est impossible de tout expliquer d'un seul coup, nous avons laissé volontairement dans l'ombre en quoi consistent les tensions (du moins les tensions du genre de celles qu'on évoque quand on parle des 115 volts d'un secteur continu ou des 8 volts des accus d'une auto).

Nous avons redessiné (*fig.* 7 et 8) les deux plaques (ou plateaux) d'aluminium, qui nous avaient déjà servi aux figures 4, 5 et 6. Ce sont à nouveau des coupes en vraie grandeur; il n'y a pas à s'étonner que les plateaux N_0 et P_0, N et P aient maintenant une grande épaisseur, car nous avons pris bien soin de spécifier que cette épaisseur ne joue aucun rôle (à même écartement intérieur), et l'épaisseur est ici indispensable à la clarté des dessins.

Sur la figure 7, l'interrupteur K_0 est ouvert : les deux plateaux N_0 et P_0 (6 cm $\times$ 6 cm), distants de 3 cm, ne sont pas électrisés (1). On ferme alors l'interrupteur K (*fig.* 8) : au bout d'une durée extrêmement courte (2), il se trouve que les plateaux N et P sont électrisés (3), et ils le restent d'une façon permanente, tant qu'on ne touche pas à l'interrupteur (4).

> Au point de vue concret, on peut étudier les plaques N et P (notamment sur leurs faces internes) avant et après la mise sous tension : elles ne révèlent aucune différence, ni à l'œil nu, ni à la loupe, ni au microscope; l'électrisation est un phénomène réel, qui échappe à la perception directe. Au point de vue réel, nous *savons* — par des recoupements qui sont *tous* convergents — que les faces internes des deux plateaux ont été modifiées par la mise sous tension et qu'elles l'ont été de façons opposées.

(1) Pour plus de sécurité (car les plateaux pourraient rester électrisés) il convient de les mettre « en court-circuit », c'est-à-dire les relier directement par un fil métallique, APRÈS AVOIR COUPÉ LEURS CONNEXIONS AVEC LE SECTEUR.

(2) Nous donnerons tout à l'heure une première idée de ce qui s'est passé.

(3) On dit également : « sont chargés ».

(4) Et aussi (cela va de soi) tant qu'il n'y a pas « panne de secteur », ni coupure (ou « délestage »).

Les métaux — comme tous les échantillons de matière — sont formés d'atomes, qui sont extrêmement petits et extrêmement nombreux. Ce qui est admirable, pourrait-on dire en paraphrasant Anatole France (1), ce n'est pas que les atomes soient si nombreux, c'est que l'homme soit parvenu à les compter. Ainsi, pour nous contenter d'une évaluation approximative (qui suffit largement ici), la surface interne (36 cm^2) d'une des plaques N_0 ou P_0 (*fig.* 7) est formée de

45 millions de milliards

d'atomes d'aluminium. Chacun d'entre eux comporte un noyau minuscule (électrisé positivement), autour duquel se groupe — quand l'atome est neutre (non chargé) — un cortège de treize électrons (négatifs).

Si certains de ces atomes incorporent un électron supplémentaire, le cortège sera de quatorze électrons (au lieu de treize), et l'ensemble sera électrisé négativement. C'est ce que nous avons représenté grossièrement (par impossibilité de mieux faire), en recouvrant la surface intérieure de N par de petites bosses (*fig.* 8).

Si certains de ces atomes abandonnent un de leurs électrons, le cortège sera de douze électrons (au lieu de treize), et l'ensemble sera électrisé positivement. C'est ce que nous avons représenté grossièrement (par impossibilité de mieux faire), en ménageant, dans la surface intérieure de P, de petits creux (*fig.* 8).

Il s'agit maintenant de connaître — dans les conditions présentes (115 volts continus, plateaux de 36 cm^2 écartés de 3 cm) — quelle est la proportion des atomes modifiés (dans un sens ou dans l'autre) à la suite de la mise sous tension. Les données les plus sûres de la physique moderne nous autorisent à affirmer qu'il y a :

en N : 700 millions d'atomes à 14 électrons
en P : 700 millions d'atomes à 12 électrons
} tous les autres atomes restant entourés de 13 électrons.

Il n'y a donc, de chaque côté, pour

60 000 000 d'atomes,

(1) Voir, dans la même collection, *les Deux Infinis* (7e éd.), où l'on trouve, rassemblés d'une façon accessible, tous les renseignements concernant les atomes et les électrons.

APPAREILS	Tensions continues en volts	Différences entre les nombres d'électrons sur les faces en regard des plaques de la *figure* 8
Un accumulateur	2	24.000.000
Installation téléphonique	80	970.000.000
Installation domestique	115	1.400.000.000
Haute tension (radio)	250	3.000.000.000
Motrices du métro	600	7.300.000.000
Supertensions (télévision)	1.000	12.000.000.000
	80.000	960.000.000.000

FIG. 9. — Signification réelle de la tension électrique dans quelques cas particuliers importants.
(Sur les réseaux alternatifs dits à « 115 volts », il y a des instants où la tension atteint 163 volts, ce qui correspond à une différence d'environ 2 milliards.)

qu'un seul qui est modifié, tandis que (1)

59 999 999 atomes

restent inaltérés (2).

Avant d'aller plus loin, que le lecteur ne perde pas de vue le caractère extraordinairement schématique de la figure 8, puisque les trente bosses ou creux représentent

1 400 000 000 d'atomes modifiés (dans un sens ou dans l'autre), alors que les traits (entre bosses ou entre creux) sont là pour tenir la place de

90 millions de milliards d'atomes restés intacts.

On peut dire aussi que le plateau N possède

1 400 000 000 d'électrons

de plus que le plateau P, et nous en concluons que les deux lames en regard N et P sont *sous tension,* quand les nombres d'électrons de leurs deux faces internes sont *différents*. Telle est la signification réelle de cette idée de tension, devenue

(1) Car soixante millions est le quotient approché de 45 millions de milliards par 700 millions.

(2) Même dans le cas où les atomes modifiés auraient (en masse) une autre couleur que les atomes restés intacts (ce qui se produit pour le cuivre : atomes neutres *rouges,* atomes électrisés positivement *bleus*), l'électricité serait quand même invisible, dans ces conditions et, d'ailleurs, dans n'importe quelle réalisation expérimentale. (Ce qui n'est, *à aucun titre,* une objection à la validité des conceptions théoriques.)

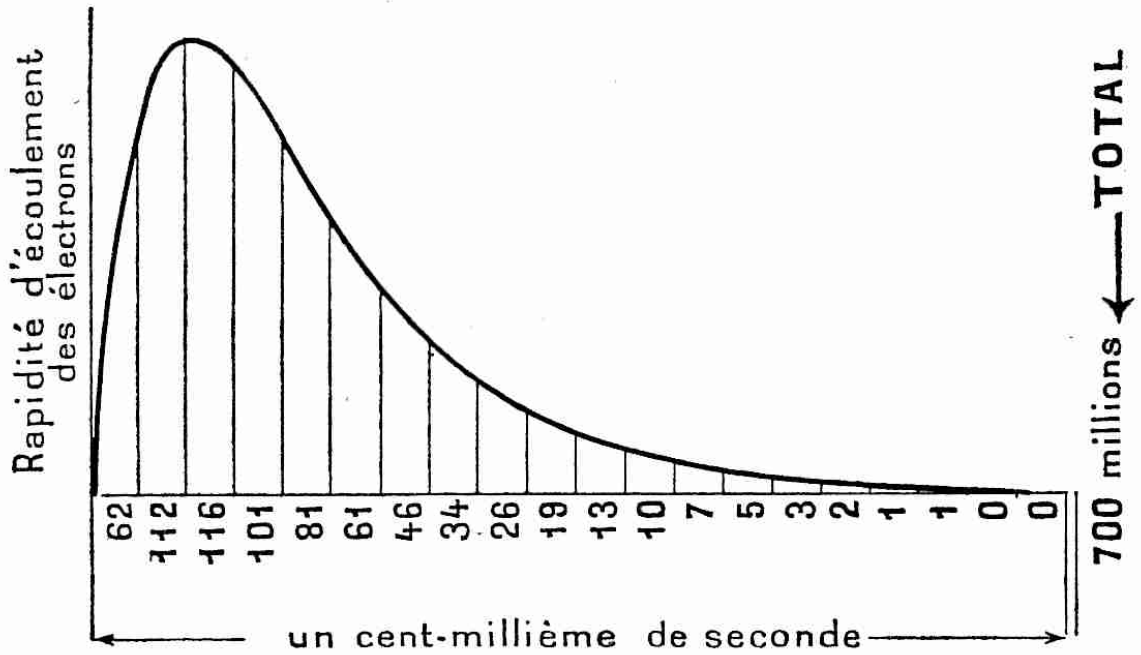


FIG. 10. — Détails de ce qui a lieu quand on passe de la figure 7 à la figure 8.

populaire, sans qu'on ait le plus souvent réussi à l'assimiler.

Le tableau de la figure 9 rappelle, dans plusieurs cas concrets, la proportionnalité des tensions (en volts) à la disparité des électrons sur les faces internes (surface : 36 cm^2; écartement : 3 cm).

Il est utile de dire quelques mots sur ce qui a pu se passer dans le circuit métallique entre l'instant où l'on a appuyé sur l'interrupteur K_0 (*fig.* 7) et l'instant à partir duquel la nouvelle répartition des électrons (*fig.* 8) s'est établie définitivement. Etant donné que l'épaisseur de 3 cm d'air (ou de vide) entre les plateaux offre (dans les conditions actuelles) un obstacle infranchissable aux électrons, il faut, de toute nécessité, que les 700 millions d'électrons, perdus par la plaque P, aient parcouru le circuit :

P → K → + → canalisations → dynamo de la centrale → → canalisations → — → N,

pour se loger, en supplément, sur la plaque N.

Cet écoulement d'électrons le long de fils métalliques n'est autre que le *courant électrique*. Quand (comme ici) le circuit ne comporte pas de bifurcations (pas de « dérivations »), le même nombre d'électrons (700 millions) a dû passer par n'importe quelle section dudit circuit. La figure 10 donne une idée de la façon dont cette procession s'effectue en fonction du temps, en supposant

(comme il est vraisemblable) que tout se soit terminé en un cent-millième de seconde. Cette durée minime est divisée, sur la figure, en vingt parties égales (en demi-millionièmes de seconde).

Les vingt nombres, portés sur cette même figure, indiquent les millions d'électrons qui ont traversé un point quelconque du circuit (par exemple, l'interrupteur K) au cours des vingt intervalles consécutifs :

62 millions d'électrons pendant le premier intervalle,
112 deuxième,
116 troisième,
101 quatrième, etc.

Ces nombres sont représentés par les *surfaces* des bandes correspondantes du graphique. Il s'ensuit que le graphique lui-même fournit la rapidité d'écoulement des électrons, c'est-à-dire ce que tout le monde appelle l'*intensité* du courant électrique. Comme on le voit, cette intensité est d'abord nulle, puis elle augmente brusquement, pour passer par un maximum (un millionième de seconde après la fermeture de K) ; elle diminue lentement ensuite, pour s'annuler à nouveau, lorsque le total de 700 millions d'électrons est passé de la plaque P à la plaque N.

Chacun se rend bien compte que ces courants sont extraordinairement faibles : en faisant largement les choses, on peut dire qu'au grand maximum, il n'est pas passé 300 millions d'électrons au cours du « meilleur » millionième de seconde, ce qui ne ferait que 300 000 milliards d'électrons en une seconde, *si* cette intensité pouvait se prolonger indéfiniment.

A titre de comparaison, rappelons qu'une grosse lampe (une lampe de 100 watts) est parcourue par une intensité d'un ampère (1), et qu'un tel courant continu correspond au passage, à chaque seconde, de

6.242 millions de milliards d'électrons (2).

Le millième d'ampère (ou milliampère, mA) vaut donc environ

6 millions de milliards d'électrons à la seconde

et le millionième d'ampère (ou microampère, µA)

600 000 milliards d'électrons à la seconde.

---

(1) Du nom de notre compatriote André Ampère.

(2) Ce qui représente un courant deux millions de fois plus intense que celui dont il vient d'être question.

On concevra la merveilleuse précision de ces mesures en apprenant que *les quatre* chiffres (6, 2, 4 et 2) sont *sûrement* exacts, quand l'intensité est rigoureusement d'un ampère.

Retenons, une fois pour toutes, ces deux résultats importants :

La tension (exprimée en volts) traduit une perturbation dans la répartition des électrons entre deux bornes (supposées d'abord neutres).

L'intensité (exprimée en ampères) traduit une vitesse de procession (1) des électrons le long d'un fil métallique (où, primitivement, les électrons ne se déplaçaient, de manière privilégiée, ni dans un sens ni en sens inverse).

Les cas les plus simples sont ceux où tension et intensité restent constantes au cours du temps (tension et intensité continues) : c'est par elles qu'il fallait commencer (2). Point n'est besoin d'être grand clerc en radioélectricité pour savoir que c'est là, au contraire, le domaine où les tensions et les intensités varient avec une vertigineuse rapidité.

7. *Champ électrique oscillant.* — Nos deux plateaux N et P (*fig.* 4-6) n'ont pas fini de nous servir : ils vont nous permettre d'accéder, une fois de plus, au paradis du *réel*, en passant transitoirement par le purgatoire du *concret*.

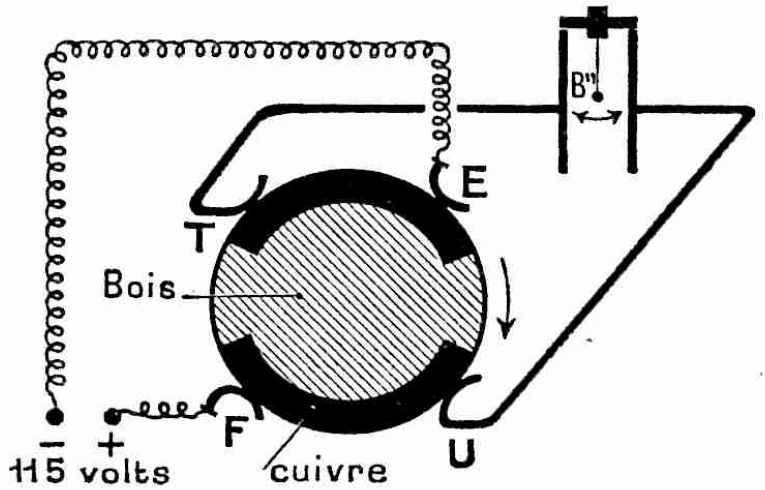


FIG. 11. — Dispositif mécanique pour produire un champ électrique oscillant entre les plaques des figures 4-6, en utilisant le secteur continu à 115 volts.

Pour obtenir une tension variable — plus précisément : une tension oscillante (ou alternative) —, la première idée qui vient à l'esprit consiste à faire appel à un *commutateur tournant* : c'est un cylindre d'ébonite (ou même de bois, *fig.* 11), partiellement recouvert de cuivre (ou d'aluminium) et pouvant tourner, par exemple, dans le sens des aiguilles d'une montre.

Au contact de ce cylindre se trouvent quatre frotteurs métalliques :

(1) Toujours fort lente (un dm par sec et, souvent, beaucoup moins).
(2) Nous avons toutefois fait allusion (*fig.* 10) à un courant variable.

Le frotteur E connecté avec le pôle — du secteur continu, et le frotteur F connecté avec le pôle +;
Le frotteur T en liaison métallique avec notre plateau de gauche, et le frotteur U avec notre plateau de droite.

A chaque tour du commutateur :

Le pôle — (contact E) est relié *deux* fois avec T et *deux* fois avec U;
Le pôle + (contact F) est relié *deux* fois avec U et *deux* fois avec T.

Il suffira donc de faire tourner (avec une manivelle) le cylindre à raison d'un tour et demi par seconde, pour que chacune de nos deux plaques soit, toutes les secondes, trois fois négative et trois fois positive.

Occupons-nous maintenant du fil de cocon (longueur : 3 cm), dont la boule de liège B″ est électrisée négativement : un tel pendule, lorsqu'on le dévie de la verticale, effectue une oscillation complète (oscillation « double ») en un tiers de seconde (1). On voit donc immédiatement que, quand le commutateur tournera avec la vitesse de rotation qui a été dite, le pendule B″ — sollicité au bon moment tantôt dans un sens et tantôt dans l'autre — oscillera exactement comme il le « désire » spontanément, soit à raison de trois oscillations (complètes) par seconde : il y a *synchronisation* entre l'oscillation de la boule électrisée B″ et la rotation du commutateur tournant.

Précisons, en passant, un très important détail de vocabulaire.

Au lieu de « traîner » constamment les longues expressions (2) :
tours par seconde, oscillations par seconde, périodes par seconde, on convient une fois pour toutes d'employer (comme les Américains — gens « réalistes » — ont eu raison de le proposer) le mot cycle (par abréviation : c); ces dénomination (3) et abrévia-

(1) Suivant l'expression consacrée : la *période* du pendule est un tiers de seconde.

(2) Noter que la préposition PAR (qui indique un *quotient*) est ABSOLUMENT INDISPENSABLE.
On dit aussi *vibrations* pour « oscillations ».

(3) Les publications radioélectriques sont encombrées d'abréviations grotesques. Passe encore (à la rigueur) pour le fameux « pps » (voulant dire : période par seconde), qui s'écrit parfois (d'une façon indéfendable) « ps »! Mais « c par s » ou « c/s » sont des allongements *inutiles* en dépit d'une

tion ont été adoptées le 20 mars 1923 à la Conférence internationale de Washington. On dira, par exemple,

que le cylindre tourne à raison d'un cycle et demi (1 cycle 5) ;

que la boule B″ oscille à raison de 3 cycles, ou encore que sa *fréquence* est 3 cycles,

car le cycle est l'unité usuelle d'une grandeur spéciale, appelée « fréquence ».

Il y a trois multiples du cycle (1) :

le kilocycle (kc) ou mille cycles.....(période : un millième de sec) ;
le mégacycle (Mc) ou un million de cycles.(période : un millionième de sec) ;
le gigacycle (Gc) ou un milliard de cycles.(période: un milliardième de sec).

Sans doute n'ira-t-on pas très loin (2) avec le commutateur tournant de la figure 11 ; il serait possible toutefois de le faire tourner à raison de 25 cycles (25 tours par seconde, soit 1 500 tours par minute). Nous reparlerons dans un instant de cette dernière vitesse de rotation.

Revenons à nos 108 cm³ d'air (ou de vide), qui sont ménagés entre les plateaux de la figure 11 (le commutateur effectuant une rotation continue d'un cycle et demi).

Etant donné qu'un appareil approprié (3) est non plus dévié de la verticale, mais qu'il effectue (de part et d'autre de cette verticale) des oscillations dont la fréquence est 3 cycles, l'espace de 108 cm³ n'est plus le siège d'un champ électrique constant, mais d'un champ électrique *oscillant* ou *alternatif* (4) : la fréquence dudit champ électrique (à nouveau horizontal) est, pareillement, 3 cycles.

---

recommandation déplorable d'AFNOR (Association Française de NORmalisation). Et toute la ribambelle des

c-s cs C-s Cs c-S cS C-S CS

est absurde et laisse présumer, chez ceux qui en usent (à la va-comme-je-te-pousse), une fâcheuse mentalité technicienne, bien éloignée de l'esprit scientifique.

(1) On a même prévu :
le téracycle (Tc) ou mille milliards de cycles..... (période : un millionième du millionième de seconde).

(2) Avec un outillage de précision, il a été réalisé des rotations de dix kilocycles (10 000 tours par seconde, soit 360 000 tours par minute).
Encore une fois, il faut s'astreindre à ne jamais dire ni écrire :
« tours-seconde » ! « tours-minute » !

(3) L'ensemble :
fil de cocon + boule B″ (électrisée négativement et isolée).

(4) Ces deux adjectifs étant synonymes.

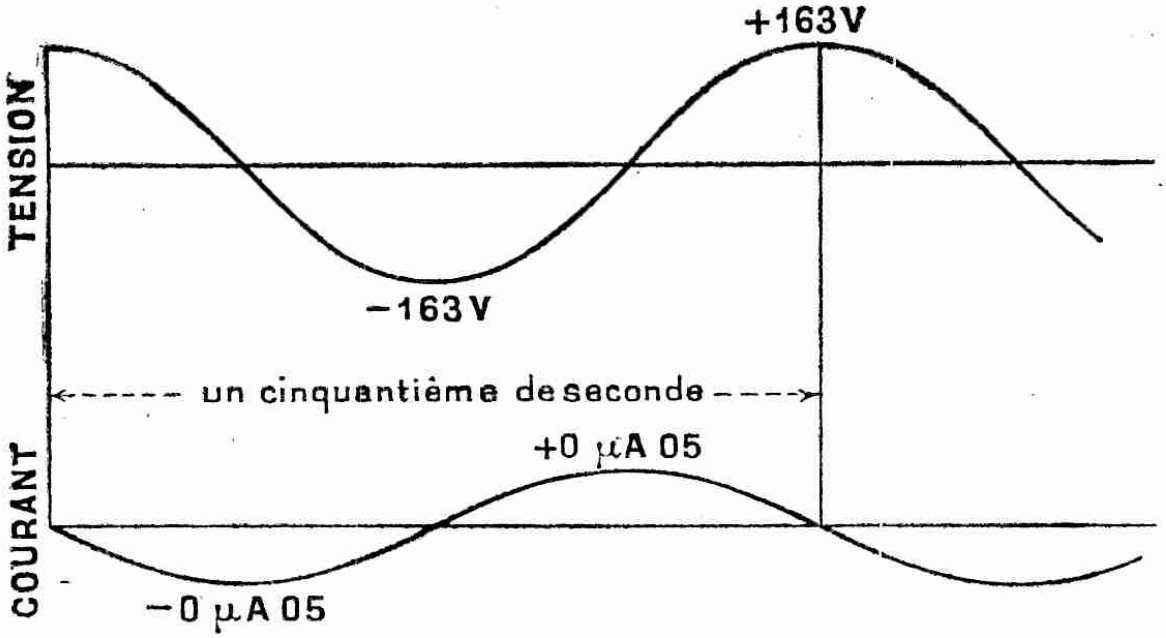


FIG. 12 et 13. — Graphiques donnant, en fonction du temps, ce qui se passe quand on a connecté les plaques des figures 4-8 à un secteur *alternatif* de « 115 volts ».

En haut (*fig.* 12), les variations instantanées de la tension et de l'électrisation des plaques (répartition des électrons sur les plaques).

En bas (*fig.* 13), les variations instantanées du courant dans les connexions (rapidité de l'écoulement des électrons).

Le champ électrique oscillant serait de 50 cycles, si le commutateur (*fig.* 11) tournait à raison de 25 tours par seconde (25 cycles). Mais le même champ s'obtient immédiatement en remplaçant (1) le secteur continu (à 115 volts) par le secteur alternatif (également à « 115 volts »), dont il a été question au début du paragraphe **5,** car, précisément, la fréquence du secteur alternatif a été prise égale à 50 cycles :

pendant un centième de seconde, le plateau de gauche (*fig.* 11) est alors électrisé négativement, et le plateau de droite positivement;

pendant le centième de seconde suivant, c'est l'inverse;

et ainsi de suite, indéfiniment. Il s'ensuit que le champ électrique dans l'air (ou dans le vide) est dirigé (horizontalement) de droite à gauche pendant un centième de seconde, puis de gauche à droite pendant le centième de seconde suivant, et ainsi de suite indéfiniment.

(1) L'emploi du secteur alternatif fournit un champ électrique oscillant, dont la variation, en fonction du temps (*fig.* 12), est bien plus régulière que celui que produit le commutateur de la figure 11 (lequel n'a été décrit que pour initier le lecteur par un dispositif simple à concevoir).

Nous devons nous demander ce que devient la boule électrisée B″ (*fig.* 11), quand l'espace qui l'entoure est le siège d'un champ électrique oscillant à 50 cycles (1). N'allons pas croire qu'elle oscillera en synchronisme; elle est beaucoup trop *inerte* pour cela : on conçoit qu'elle « n'aura pas le temps » de quitter sa position d'équilibre en un centième de seconde (vers la droite), et comme, pendant le centième de seconde suivant, elle sera sollicitée vers la gauche, le fil de cocon conservera indéfiniment la position verticale. Le pendule électrique, apte à déceler un champ oscillant de 3 cycles, n'est plus d'aucun secours lorsque les variations du champ électrique sont trop rapides. Nous verrons à maintes reprises les services que rendent, dans des circonstances analogues, des petites « boules » électrisées, flottant dans l'espace, pratiquement sans inertie et qui ne sont autres que les *électrons*.

Il nous reste encore à parler de la tension (répartition des électrons) et de l'intensité (rapidité d'écoulement des électrons) dans l'*état de régime* qui s'établit, quand, dans la figure 7, on branche deux plateaux (à demeure) sur le secteur *alternatif*.

Le graphique de la figure 12 montre comment varie la tension appliquée aux deux plateaux (2). Quant à l'intensité instantanée (*fig.* 13), elle varie entre un vingtième de microampère (§ **6**, fin) dans un sens et un vingtième de microampère en sens inverse.

Les phénomènes se reproduisent indéfiniment, en restant respectivement identiques à eux-mêmes, tous les cinquantièmes de seconde successifs, chaque cinquantième de seconde étant la succession de deux *alternances* (0 sec 01). Mais, en comparant les deux courbes ondulées (les deux « sinusoïdes »), on observe un fait *extrêmement important* : les « bosses » et les « creux » de l'une se produisent à l'instant où ont lieu les annulations de l'autre (3). Plus précisément, le courant est **en avance** *d'un*

---

(1) Qu'il soit produit par le secteur alternatif à 50 cycles ou par le commutateur tournant à 25 tours par seconde.

(2) Il faut que cette tension oscille entre

+ 163 volts et — 163 volts,

pour que le réseau alternatif produise les mêmes effets calorifiques (lampes et radiateurs) que le secteur *continu* à 115 volts. (C'est pour cela que l'on parle de secteur alternatif à « 115 volts »). On relira, à ce propos, la légende de la figure 9.

(3) Si les « bosses » coïncidaient avec les « bosses », les « creux » avec les « creux », les annulations avec les annulations (sur les mêmes verticales), on dirait que tension et courant sont *en phase*. (Ce cas se présente, lorsqu'on branche une ampoule ou un radiateur sur l'alternatif.) « En phase et de signe contraire » se désigne par *en opposition*.

quart de période ou d'une demi-alternance (un deux-centième de seconde) sur la tension (1) ; pour abréger, on emploie l'expression : « en quadrature en avance ».

Nous rencontrerons bientôt (§ **10,** fin) le cas inverse, où le courant est en quadrature en retard sur la tension, et la combinaison (§ **12**) de ces deux éventualités est fondamentale, au point qu'en n'y prêtant pas suffisamment attention, on renonce du coup à rien comprendre à la radioélectricité.

8. *Le farad et ses diminutifs.* — La question — manifestement fort compliquée (malgré les apparences) — qui nous occupe depuis le début de ce chapitre doit être examinée encore sous un autre angle.

Pour faciliter les choses, le lecteur fera bien de se reporter, une nouvelle fois, au tableau de la figure 9. Insistons derechef sur ce fait que les cinq lignes du tableau concernent *le même* système de plateaux métalliques, d'une surface de 36 cm² chacun et séparés par une couche d'air (ou de vide) de 3 cm d'épaisseur. En particulier, pour la tension (continue) habituelle de 115 volts, il y avait, sur la face interne du plateau de gauche (*fig.* 8), un milliard 400 millions d'électrons *de plus* que sur celle du plateau de droite.

Que va-t-il se passer si, *conservant la même tension,* on emploie un ensemble de plateaux, soit de surfaces plus grandes ou plus petites (mais toujours égales entre elles), soit d'écartement supérieur ou inférieur?

I. Pour les plateaux de surface double, par exemple, le problème n'offre aucune difficulté. Employer des lames de 72 cm² (par exemple : des carrés de 8 cm et demi de côté ou bien des cercles de 9 cm 5 de diamètre), cela revient au même que d'employer deux de nos ensembles (de plaques) primitifs :

l'un N_1 P_1 l'autre N_2 P_2,

(1) Expliquons sommairement qu'il doit bien en être ainsi.

Par exemple, à la fin du cinquantième de seconde, la tension (*fig.* 12) est maximum (163 V); il en est de même pour l'électrisation des deux plateaux. Alors cette électrisation ne varie pour ainsi dire pas, et il ne s'écoule pas d'électrons dans le circuit : le courant est nul (*fig.* 13).

Au contraire, aux trois quarts du cinquantième de seconde, la tension est nulle (*fig.* 12); c'est à ce moment-là que les plateaux ont le plus tendance à se charger, et le courant (*fig.* 13) est maximum (0 μA 05).

en connectant N_1 et N_2 avec le pôle — du secteur, et P_1 et P_2 avec le pôle +.

Avec une surface doublée, la différence entre les nombres d'électrons sur les surfaces en regard deviendra

2 800 000 000;

il est temps de dire qu'un système de deux plaques métalliques identiques (séparées par un isolant) se nomme un *condensateur*, dont les plaques constituent les « plateaux » ou, plus généralement, les *armatures*. Et l'on comprend immédiatement ce qu'on entend par la phrase : la *capacité* (1) d'un condensateur double lorsque « sa » surface a été doublée.

II. Pour les plateaux d'écartement double (2), le champ électrique (qui a son siège dans 216 cm^3, et non plus dans 108 cm^3) devient deux fois plus faible, et l'on apprendra sans étonnement que la différence entre les nombres d'électrons tombe de

1 400 000 000 à 700 000 000;

ce qui s'exprime, en d'autres termes, par la phrase : la capacité d'un condensateur diminue de moitié, quand « son » épaisseur a été doublée.

En résumé, on caractérise un condensateur par sa capacité, en disant que cette capacité est d'autant plus grande que ses armatures prennent une électrisation plus grande quand on leur applique une tension plus petite. Si l'on considère, pour le moment, des condensateurs à « lame » d'air (ou de vide), leur capacité est une grandeur exclusivement géométrique, ne dépendant que de la surface commune aux deux armatures et de leur écartement (3). Et les résultats (rappelés en **I** et en **II**) s'expriment brièvement comme suit : la capacité d'un tel condensateur varie en raison directe de la valeur (4)

---

(1) Capacité est *ici* synonyme de différence entre les nombres d'électrons. A tension constante et à épaisseur constante, un condensateur produit, dans la répartition des électrons, une perturbation d'autant plus importante que ses armatures ont une surface plus considérable.

(2) Il a déjà été fait allusion (vers la fin du paragraphe **5,** en **II**) à l'effet d'un rapprochement (donc d'un éloignement) des deux plateaux N et P.

(3) Quelle que soit la forme (carrée, circulaire,...) des deux plateaux.

(4) Persuadons-nous bien que, sans définitions précises (quantitatives), il n'y aurait ni radio, ni radar, ni télévision... La théorie correcte des condensateurs a été inaugurée (1857) par Werner von Siemens.

de sa surface et en raison inverse de celle de son épaisseur (1).

Il ne nous reste plus qu'à choisir un condensateur à air (ou à vide), de dimensions bien déterminées, et à donner un nom à la valeur de sa capacité. On comprendra maintenant les raisons qui nous ont fait prendre deux plaques (6 cm × 6 cm), distantes de 3 cm, car ce condensateur a une capacité égale (2) à un picofarad : c'est une capacité qui nous servira de type (intuitif) de comparaison pour les divers montages de radioélectricité.

« Picofarad » (pF) est composé de « farad » (désignation adoptée en l'honneur du grand savant anglais Michael Faraday, le premier précurseur de la radio) et du préfixe *pico*, qui signifie millionième de millionième (3).

Les autres sous-multiples du farad sont :

le *nanofarad* (nF), qui vaut mille picofarads (ou un milliardième de farad) ;

le *microfarad* (μF), qui vaut un million de picofarads (ou un millionième de farad) ;

quant au *farad* (F) lui-même (voire au millifarad [mF]), il représente une capacité énorme, que nous ne rencontrerons qu'exceptionnellement (5).

Les postes récepteurs de radio emploient communément des condensateurs à capacité variable (des « condensateurs variables »), que l'on représente, sur les schèmes, par deux petites parallèles traversées par une flèche (4). La figure 14 fait comprendre

(1) Ici se pose une question *très facile*, où il est inepte de trouver un « mystère » : que se passe-t-il quand l'épaisseur devient nulle? On dit brièvement (et conventionnellement) que la capacité devient « infinie », avec la signification d'extrêmement grande. « Absence de condensateur » et « capacité infinie » sont alors pris comme synonymes, au même titre que l'on parlera indifféremment, pour le passage d'un courant dans une portion de circuit, de sa facilité *nulle* ou de sa difficulté *infinie*. Le mot « infini », qui, dans son acception vulgaire, est strictement un non-sens, ne mérite pas les honneurs d'un ahurissement mystique (suivant le mot du savant américain Tobias Dantzig).

(2) Disons : *pratiquement* égale. Il aurait été plus précis (mais sans intérêt au niveau où nous nous maintenons) de prendre des carrés de 5 cm 8 de côté. (Au surplus, l'avantage aurait été minime, car nous négligeons les complications — autrement importantes — que provoquent les *bords* des armatures.)

(3) Ou millième de milliardième.

(4) Deux petites parallèles *sans* flèche indiquent un condensateur fixe, comme le picofarad de tout à l'heure.

(5) C'est ainsi qu'on fabrique couramment des condensateurs de 10 mF, supportant au maximum 4 volts *continus*. Ces condensateurs sont dits électrolytiques : la tension est appliquée à une couche isolante et très mince (de l'ordre du millième de mm) d'alumine, entre deux « armatures », dont l'une est une lame d'aluminium, et l'autre, un support spongieux (papier ou tissu), imprégné d'une solution saline bien choisie. De tels appareils sont utilisés pour certains

la constitution et le fonctionnement d'un type usuel : les demi-cercles A, fixes, sont reliés entre eux par les tiges *t*, tandis que les demi-cercles B, mobiles, sont réunis par la tige T (1). En tournant la molette M dans le sens de la flèche, on augmente la capacité jusqu'à un certain maximum, compris (suivant les appareils) entre 100 picofarads et 2 000 picofarads.

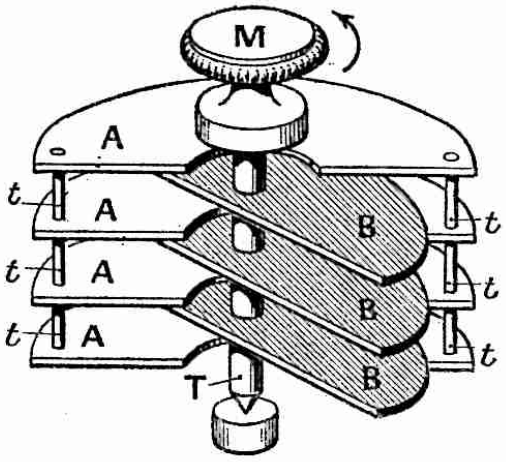


FIG. 14. — Condensateur variable du type « rotatif plan ».

Pour en finir avec le champ électrique et la capacité, il est bon de dire un mot de la réalisation des condensateurs industriels (2) de l'ordre du microfarad. Il n'y a plus de couche d'air, l'isolant étant en général du mica, ce qui présente deux avantages :

1° La capacité est huit fois plus grande, à dimensions égales, pour le mica que pour l'air;

2° L'épaisseur peut être beaucoup plus mince, par exemple d'un dixième de millimètre.

Dans ces conditions, la surface totale n'a plus besoin d'avoir un million de fois 36 cm², mais seulement 14 000 cm² (soit 1 m² 4), et cette surface est rendue moins encombrante en la repliant (pour ainsi dire) sur elle-même, grâce au *couplage* en parallèle que nous avons implicitement employé sur la figure 14. L'appareil, dessiné schématiquement (*fig.* 15), a un poids de l'ordre du kilo et supporte facilement 2 000 volts (3). Tous les nombres

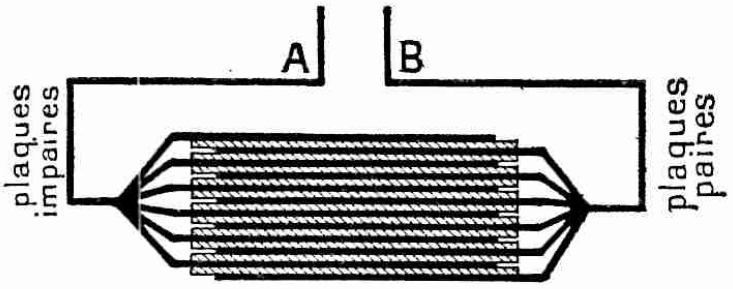


FIG. 15. — Principe de l'obtention de grandes capacités (de l'ordre du microfarad).

montages; dans ce cas, leur capacité se situe généralement entre 10 μF et 30 μF, et ils peuvent être soumis à des tensions continues ne dépassant pas quelques centaines de volts.

(1) Tout se passe comme si l'on avait, en A, un grand demi-cercle de surface sextuple.

(2) Dans le matériel radioélectrique, l'isolant peut aussi être du papier paraffiné.

(3) Abandonné à lui-même après sa mise sous tension, il perd la moitié de son électrisation en 40 secondes (car il ne faut pas perdre de vue que les meilleurs isolants sont toujours quelque peu conducteurs).

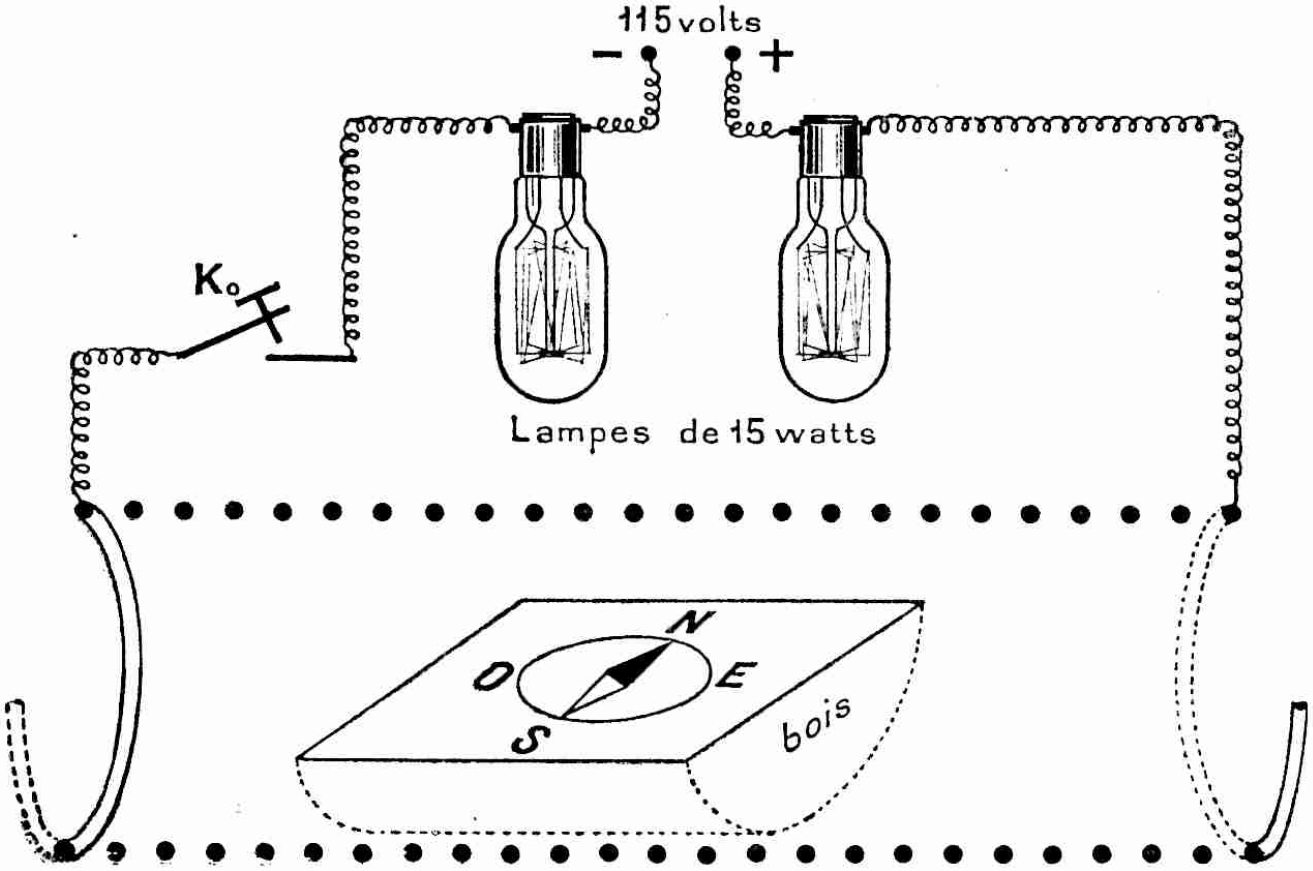


FIG. 16. — Ce que c'est qu'un champ magnétique.
Dispositif qui servira (*fig.* 17) à montrer la production d'un champ magnétique à l'intérieur d'une bobine (dessinée en coupe).

de la dernière colonne du tableau de la figure 9 devraient, dans ce cas, être multipliés par un million.

9. *Le champ magnétique.* — Le commencement du présent chapitre s'était proposé de donner une première idée du côté *électrique* de la radioélectricité; nous attaquons maintenant le côté *magnétique,* dont l'étude, dès l'abord, sera facilitée par les correspondances suivantes :

champ électrique	champ magnétique
répartition des électrons	écoulement des électrons
condensateur	bobine
capacité (en farads)	inductance (en henrys)

Les figures 16-17 sont la réplique des figures 4-6.

La partie essentielle de la figure 16 est une bobine (1), des-

(1) Il convient d'abandonner le mot « solénoïde (employé pour *bobine longue*) à l'argot des professeurs de lycée.

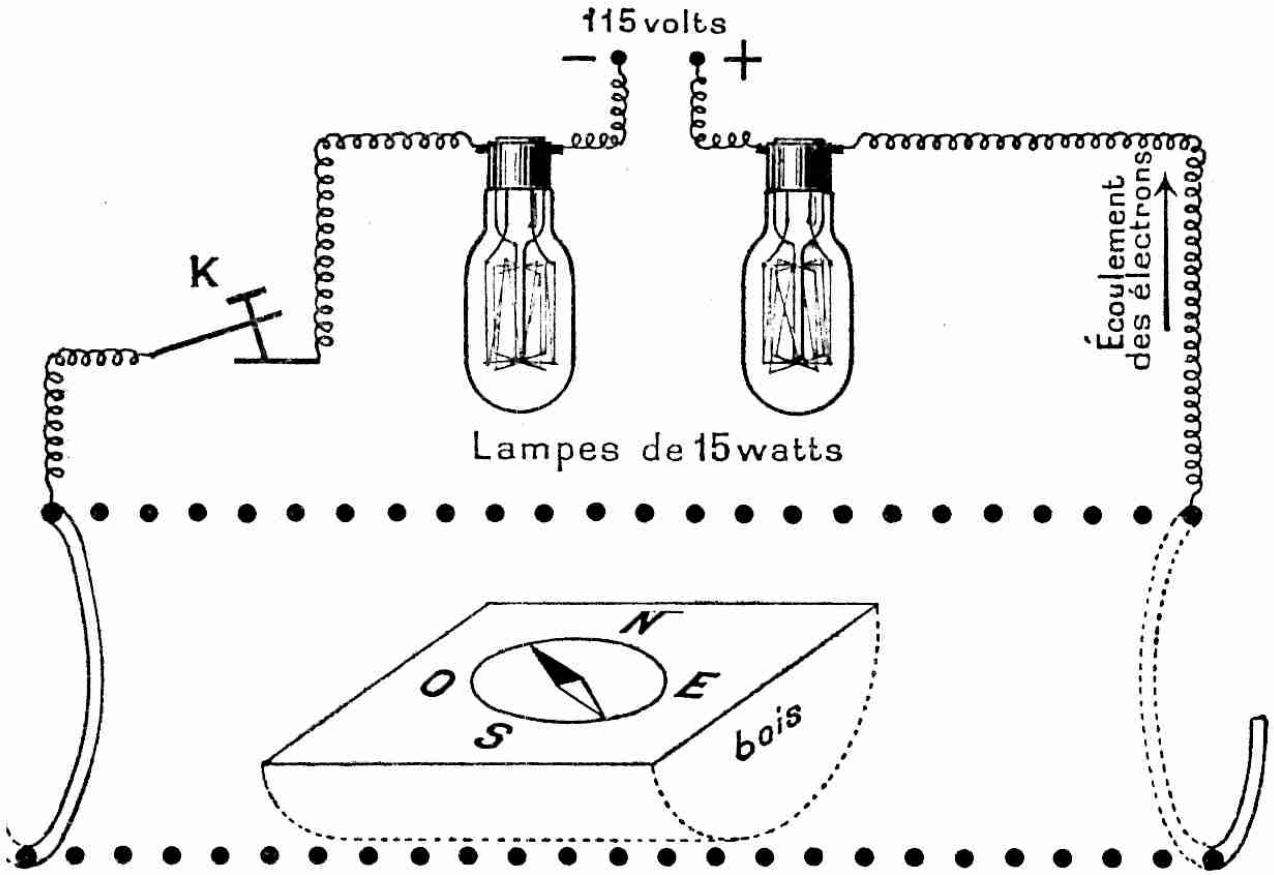


FIG. 17. — Ce que c'est qu'un champ magnétique (*suite*).
La bobine (*fig.* 16) est maintenant traversée par un courant électrique : l'aiguille de la boussole, précédemment pointée vers le nord, se dirige maintenant vers le nord-ouest.

sinée en coupe et en vraie grandeur : elle est formée d'un gros fil de cuivre nu (2 mm de diamètre), enroulé en hélice, de telle sorte qu'on ait 24 spires (non jointives) de 3 cm de diamètre et couvrant une longueur totale de 10 cm (les première et dernière spires ont été esquissées en perspective). L'axe de cette bobine a été dirigé suivant la ligne ouest-est, comme on le voit sur la boussole portée par une planchette (en perspective), qui se trouve à l'intérieur de la bobine (1).

On voit également, sur la figure, que la bobine est destinée à être branchée sur le secteur continu à 115 volts en introduisant un interrupteur K_0, qui, en ce moment, est ouvert. Le circuit comporte enfin deux petites lampes à incandescence,

(1) L'écartement des spires est suffisant pour qu'on puisse voir la boussole (cette « planchette » serait commodément prolongée vers le bas par un demi-cylindre de bois, qui reposerait sur la partie inférieure des spires).

disposées en *série* (1) ; on comprend tout de suite à quoi elles servent (2), l'application des 115 volts à la bobine seule provoquerait un « court-circuit », qui ferait « sauter les plombs ».

La figure 17 fait comprendre ce qui va se passer quand on ferme l'interrupteur (quand on le met dans la position K). Nous avons déjà dit (§ **6**), dans un cas analogue, que les électrons vont être entraînés de la borne — vers la borne +. Mais, cette fois-ci, leur vitesse d'écoulement va être constante (3), car, à l'opposé du cas des figures 7 et 8, aucun isolant (inséré dans le circuit) ne contrarie leur libre passage (4).

Alors que, pour l'interrupteur ouvert K_0, l'aiguille de la boussole était pointée vers le nord, maintenant (interrupteur K fermé) elle se dirige vers le nord-ouest. En d'autres termes, l'écoulement des électrons dans le circuit la fait tourner d'un huitième de tour en sens inverse du sens des aiguilles d'une montre (5). On exprime ce fait en disant que l'espace intérieur à la bobine (volume de 71 cm^3) est le siège d'un *champ magnétique :* ce champ magnétique est uniforme dans tout ce volume (6), et il est dirigé parallèlement à l'axe de la bobine, de la droite vers la gauche.

Le lecteur aura tout de suite compris qu'il se présente ici une difficulté, qu'il n'y avait pas lieu (7) de considérer pour le

---

(1) Bien entendu, les lampes pourraient être placées *n'importe où* dans le circuit, à la seule condition que les quatre appareils

bobine interrupteur première lampe deuxième lampe

soient en série entre les bornes — + du secteur.

(2) L'ensemble des deux lampes en série fonctionne comme un *rhéostat* (un équilibreur de courant). Remarquons que, sur la figure 17, les lampes *ne brilleront pas*, car elles ne seront soumises, chacune, qu'à 57 volts 5.

(3) Pratiquement dès la fermeture de K. (L'état de régime est atteint en une durée extrêmement courte.)

(4) Les données ont été choisies pour que l'intensité du courant soit 65 mA (§ **6**), ce qui veut dire que chaque section du circuit est traversée par

406 millions de milliards d'électrons

toutes les secondes, dans le sens indiqué par la flèche de la figure 17.

(5) On obtiendrait la même rotation (un huitième de tour) dans le sens des aiguilles d'une montre (aiguille en nord-est), si l'on intervertissait : soit les bornes du secteur, soit le sens d'enroulement du fil de la bobine. En effectuant simultanément *ces deux* interversions, on retrouverait manifestement le nord-ouest.

(6) Il est le même en chacun des points de cet espace. On ne tient pas compte ici des perturbations occasionnées par les *bouts* de la bobine (comme on a précédemment négligé les complications dues aux bords du condensateur, p. 42, note 2) ; il faudrait, en toute rigueur, que la bobine, toujours parcourue par 65 mA, fût prolongée (par des spires identiques) indéfiniment aux deux bouts.

(7) Il existe certes un champ électrique *terrestre;* mais sa valeur est trop faible pour agir notablement dans l'expérience des figures 4-6.

champ électrique (§ **5**) : c'est que nous sommes baignés dans le champ magnétique terrestre, qui, sur nos figures 16 et 17, est dirigé du sud vers le nord, soit de l'avant vers l'arrière. La boussole de la figure 17 est donc sollicitée par deux champs magnétiques égaux en valeurs (1) et perpendiculaires l'un à l'autre. Et c'est pour cela que l'aiguille occupe la position moyenne, entre celle qu'elle avait initialement (*fig.* 16), quand la bobine ne produisait aucun champ magnétique, et celle qu'elle prendrait, *si* la bobine agissait seule (c'est-à-dire *si* l'on pouvait supprimer le champ magnétique terrestre).

Exactement comme il a été dit (§ **5**) pour le champ électrique, l'expérience donnerait les mêmes résultats *dans le vide* que dans l'air : l'aiguille de la boussole y subirait la même déviation.

Pour exprimer quantitativement cette *nouvelle* grandeur physique qu'est le champ magnétique, il faut choisir une unité particulière. Sans entrer dans des détails trop techniques et en nous contentant d'un ordre de grandeur, il suffit de savoir que le champ magnétique (*fig.* 17) produit par notre bobine (2) est deux dixièmes de gauss (3).

Le gauss (4), en magnétisme, joue le même rôle que le volt par centimètre (§ **5**), en électricité : ce sont là deux grandeurs distinctes (5).

Comme précédemment, il convient de préciser les facteurs qui déterminent ce deuxième champ et qui, à nouveau, sont au nombre de *deux* (6) :

1° Le champ magnétique d'une bobine longue est proportionnel à la « densité d'enroulement » du fil, c'est-à-dire

(1) Pour la simple raison qu'on s'est arrangé pour qu'il en soit ainsi.

(2) Cette valeur (0 gauss 2) est également celle du champ magnétique terrestre, qui intervient dans cette même expérience (« composante horizontale » du champ magnétique terrestre).

(3) A vrai dire, cette désignation a été modifiée (1930), et le mot « œrsted » a été préconisé à sa place. Dans les conditions où nous nous plaçons, on peut tout aussi bien parler de gauss.

(4) Du nom du grand savant allemand Karl-Friedrich Gauss (1777-1855). On devrait dire « œrsted » (au lieu de gauss), mais l'usage ne s'est pas encore généralisé.

(5) Ce qui ne signifie nullement qu'il n'y ait pas, entre elles, une certaine correspondance. Au point de vue de l'*énergie* (présente dans l'intérieur, soit d'un condensateur, soit d'une bobine), il faut assimiler *un* gauss à 300 volts par centimètre (et *non* au V/cm).

(6) Le champ magnétique, ici, *ne dépend pas* du diamètre des spires de la bobine (de même que le champ électrique ne dépendait pas de la surface commune aux armatures du condensateur).

au nombre des spires que l'on compte sur chaque centimètre de longueur (parallèle à l'axe). Peu importe que ces spires soient enroulées suivant une ou plusieurs couches, à la condition, bien entendu, que le sens d'enroulement soit identique pour toutes les couches. En particulier, si l'on utilisait (*fig.* 17), au lieu d'une seule bobine, cinq bobines s'emboîtant (sans contact) les unes dans les autres (1), le champ magnétique, dans l'espace central, serait un gauss.

2° Le champ magnétique d'une bobine longue est proportionnel à la rapidité d'écoulement des électrons, autrement dit à l'intensité du courant qui passe dans les spires. Un moyen simple de doubler cette intensité (par rapport à ce qui a lieu pour la figure 17) consisterait à mettre une des deux lampes en court-circuit (à la remplacer par un bout de fil de cuivre) : le courant serait 130 mA, et le champ magnétique vaudrait 0 gauss 4 (2).

En résumé, le champ magnétique (uniforme), créé par une bobine longue, varie en raison directe de la densité d'enroulement des spires **et** de l'intensité du courant électrique qui parcourt les spires (rapidité d'écoulement des électrons).

Les longs développements que nous avons consacrés au champ électrique oscillant (§ **7**) vont nous permettre d'être très bref sur la question concomitante du *champ magnétique oscillant*, d'autant plus que nous savons qu'en intervertissant le sens de l'écoulement des électrons (plus familièrement : le « sens du courant »), le champ magnétique est lui-même inversé (3).

Si nous reprenons la figure 17 et si (n'importe où dans le circuit) nous intercalons le commutateur tournant de la figure 11, auquel on communiquera une vitesse de rotation d'un tour et

(1) Et traversées par *le même* courant. Le lecteur quelque peu familiarisé avec l'électricité pratique verra tout de suite que ces cinq bobines pourraient être montées indifféremment : soit en dérivation, soit en série.

(2) Le courant se mesure au moyen d'un milliampèremètre — d'un « milli » — (sans qu'il y ait lieu de donner ici de plus amples renseignements à ce propos). Quant au champ magnétique, on se rendrait compte qu'il a augmenté par rapport à celui de la figure 17, puisque l'aiguille (au moment de la fermeture de l'interrupteur K) tournerait d'un angle *supérieur* à un huitième de tour et se fixerait quelque part entre le nord-ouest et l'ouest. On conçoit que, mesurant exactement la déviation, on puisse en déduire la nouvelle valeur du champ magnétique créé par la bobine (puisque le champ magnétique terrestre est constant).

(3) Tout comme si les spires avaient été elles-mêmes enroulées en sens inverse.

demi par seconde, on concevra sans plus que le champ magnétique *dû à la bobine* sera tantôt dirigé de droite à gauche, et tantôt de gauche à droite : il oscillera entre les valeurs

— 0 gauss 2 et + 0 gauss 2

avec une période d'un tiers de seconde (ou bien une fréquence de trois cycles). Les variations de ce champ magnétique seront concrétisées par les oscillations de l'aiguille de la boussole, qui sautera du nord-ouest au nord-est, puis du nord-est au nord-ouest, et ainsi de suite indéfiniment, avec la même période (ou, ce qui revient au même, avec la même fréquence).

Ajoutons qu'en revenant une dernière fois à la figure 17, il ne se présentera aucune difficulté, si l'on remplace les 115 volts continus par les « 115 volts alternatifs », dont la fréquence — rappelons-le — est 50 cycles. L'aiguille de la boussole n'aura jamais le temps d'atteindre les positions nord-ouest ou nord-est. Mais elle oscillera néanmoins en synchronisme, et elle apparaîtra *floue,* à la manière d'une des branches d'un diapason frappé ou à la manière du « fuseau » que présente une ficelle tendue que l'on fait vibrer.

10. *Le henry et ses diminutifs.* — Nous poursuivons notre parallèle entre le champ électrique (§ **5**) et le champ magnétique (§ **9**).

De même que nous nous demandions (§ **8**) ce qui se passe quand on fait varier les dimensions d'un condensateur (et la nature de l'espace intermédiaire), tout en maintenant fixe la tension appliquée, de même il nous faut maintenant expliquer ce qui aura lieu (pour un même courant traversant une bobine, *fig.* 16), lorsqu'on emploie *d'autres* bobines, différant par la surface des spires, par le rapprochement des spires et, enfin, par le milieu qui remplit le volume intérieur.

Ces considérations amènent à définir, parallèlement à la capacité d'un condensateur (§ **9,** début), une grandeur physique appelée *inductance* ou *self-inductance* (1) de la bobine.

---

(1) En anglais, le mot « self » signifie *soi-même.* « Self-inductance » (ou bien « coefficient de self-induction ») est donc synonyme d'*effet magnétique propre.* Il arrive souvent (mais l'abréviation n'est pas recommandable) qu'on dise « une self » au lieu de *une bobine.*

Supposons d'abord les spires dans l'air (ou dans le vide). Cette fois-ci, la caractéristique de l'appareil dépend de *trois* facteurs (1) :

1° La *densité d'enroulement* (§ **9**) ou nombre des spires (en une ou plusieurs couches) par unité de longueur (cm) comptée suivant l'axe. Sur la figure 16, il y avait 2 spires 4 par centimètre (2);

2° Le *nombre total* des spires (24 spires, *fig.* 16);

3° La *surface* d'une seule spire : un diamètre de 3 cm (*fig.* 16) correspond à une surface d'un peu plus de 7 cm^2 (3).

La self-inductance d'une bobine longue quelconque (à « noyau » d'air ou de vide) est complètement donnée par le *produit* des trois facteurs ci-dessus : la self-inductance d'une telle bobine varie en raison directe de la densité d'enroulement, du nombre total des spires et de la surface moyenne d'une spire (4).

Il ne nous reste plus qu'à choisir une bobine longue à air (ou à vide), de dimensions bien déterminées, et à donner un nom à la valeur de sa self-inductance. Le calcul montre que la bobine de la figure 16 (24 spires, 10 cm de long, 3 cm de diamètre) a une inductance égale (5) à cinq microhenrys : c'est cette inductance qui nous servira de type (intuitif) de comparaison pour les divers montages de radioélectricité.

« Microhenry » (μH) est composé de « henry » (dénomination adoptée en l'honneur du savant américain Joseph Henry) et du préfixe *micro*, qui signifie millionième (§ **8**). On rencontre également le millihenry (mH, valant mille microhenrys ou un millième de henry) et aussi le henry (H); les inductances

---

(1) Au lieu de deux (§ **8**), pour la capacité.

(2) Il n'y a pas à s'étonner que le nombre des spires au centimètre ne soit pas entier : 24 spires sur 10 centimètres donnent, pour la densité d'enroulement, un nombre fractionnaire.

(3) S'il y avait, par exemple, cinq couches de spires superposées, on prendrait, pour ce premier facteur, la surface de la troisième spire (surface moyenne).

(4) Ajoutons incidemment que ces trois facteurs peuvent manifestement se réduire à deux (peut-être moins suggestifs) : la densité d'enroulement et la surface totale des spires.

(5) Disons : *pratiquement* égale. Car l'inductance de notre bobine est plus proche de 5μH1. (Au surplus, cette précision est illusoire, car nous négligeons les complications — autrement importantes — que provoquent les *bouts* de la bobine, p. 46, note 6.)

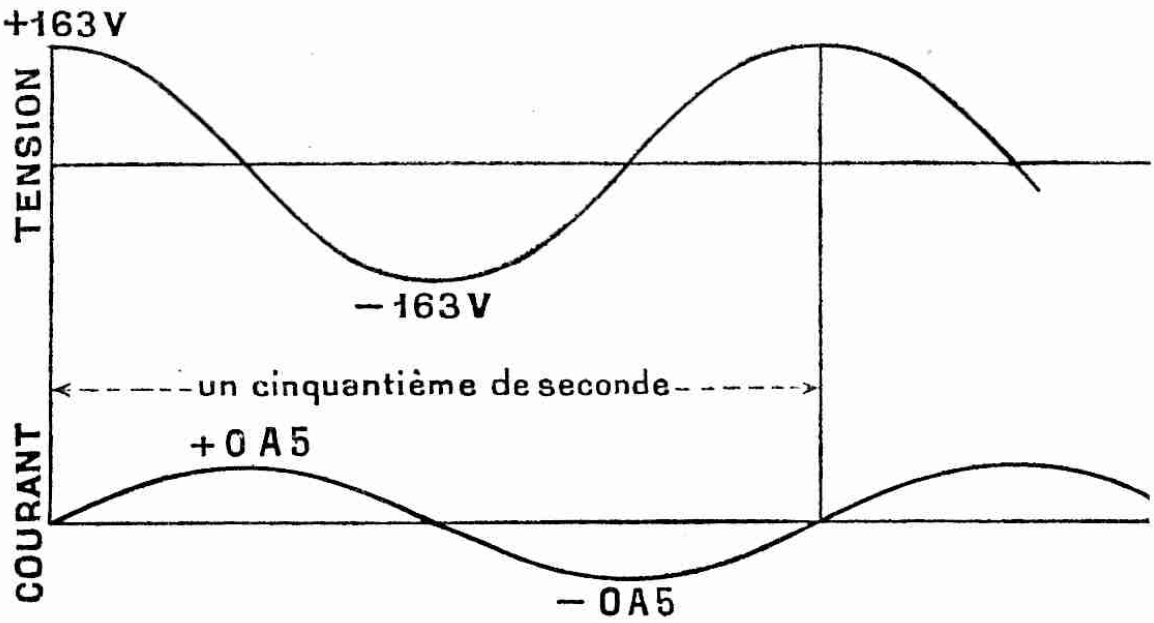


FIG. 18 et 19. — Graphiques donnant, en fonction du temps, ce qui se passe quand on a connecté une bobine d'un henry à un secteur *alternatif* de « 115 volts ».

En haut (*fig.* 18), les variations instantanées de la tension du secteur. En bas (*fig.* 19), les variations instantanées du courant dans la bobine.

industrielles sont exprimées par des grands nombres de henrys (1).

On conçoit immédiatement l'impossibilité de réaliser, avec des bobines à noyau d'air (ou de vide), des self-inductances de l'ordre du henry : il faudrait disposer de 200 000 bobines du genre de celle que notre figure 16 représente. Par bonheur, l'espace intérieur peut être rempli par certaines substances (2), dont le type est le fer doux (fer très pur) non aimanté : la substitution du fer doux à l'air suffit à multiplier la self-inductance environ par mille (3) et même bien davantage (avec des ferronickels).

Nous nous souvenons de ce qui se produit (*fig.* 12 et 13) quand on branche un conducteur sur le secteur alternatif de « 115 volts » (fréquence : 50 cycles). Quels phénomènes auront

(1) La connaissance des lois de l'induction remonte à Faraday (1835) et à Henry (1839).

(2) Dénommées « ferromagnétiques ».

(3) Ainsi, notre bobine (si l'on y introduit un noyau de fer) aurait une inductance de 5 millihenrys. Nous ne pouvons pas préciser davantage l'ordre de grandeur de ce nouveau facteur (dit « perméabilité magnétique » de la substance), car il varie *dans des proportions considérables* avec le courant que l'on fait passer dans la bobine (avec la rapidité d'écoulement des électrons). Pour tous les milieux non ferromagnétiques (vide, air, bois, ébonite, cuivre,...), la perméabilité est invariable (et, naturellement, égale à l'unité).

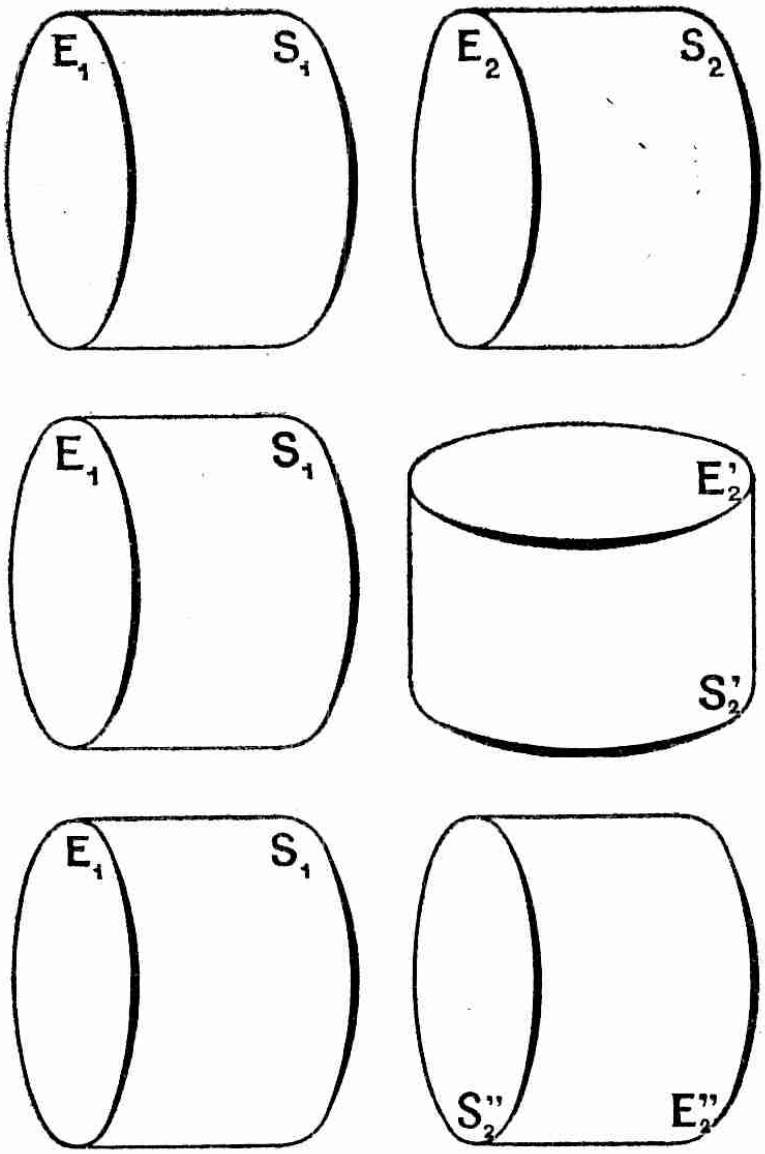


FIG. 20 à 22. — Principe du variomètre (ou inductance variable).

lieu quand on soumettra directement à ce même secteur une bobine d'inductance très grande (1), par exemple d'un henry?

La figure 18 reproduit exactement notre figure 12. Mais le graphique de la figure 19 est *très différent* de celui de notre figure 13 : non seulement les valeurs extrêmes du courant ne sont pas les mêmes (2), mais les courbes des courants sont *décalées* l'une par rapport à l'autre d'un centième de seconde. A nouveau, en comparant les deux « sinusoïdes » (*fig.* 18 et 19), on observe que les « bosses » et les « creux » de l'une se produisent à l'instant où ont lieu les annulations de l'autre. Mais, cette fois-ci, le courant est **en retard** *d'un quart*

(1) On a choisi une *grande* inductance (bobine large, à nombreuses spires et munie d'un noyau de fer), pour que le courant n'atteigne pas des valeurs prohibitives. D'autant plus que le fil enroulé doit être *gros*, afin que le dégagement de chaleur reste faible. (Si la bobine possédait une « résistance électrique » notable, nous aurions à en tenir compte, et les faits seraient plus compliqués que ceux que nous décrivons pour l'instant.)

(2) Il passera au maximum 0A5 (environ) dans un sens (*fig.* 19) et 0A5 (environ) en sens inverse (plus de 3 milliards de milliards d'électrons par seconde). Bien noter que l'échelle verticale de la figure 19 set dix millions de fois plus petite que celle de la figure 13.

de période ou d'une demi-alternance (un deux-centième de seconde) sur la tension (1).

Redisons que les phénomènes (après une mise en train extrêmement brève) se reproduisent indéfiniment (tant qu'on ne coupe pas le courant), en restant respectivement identiques à eux-mêmes, tous les cinquantièmes de seconde, et que la combinaison (§ **12**) du retard actuel avec l'avance rencontrée antérieurement (§ **7**, fin) est une des idées maîtresses de la radioélectricité.

11. ***Variomètre; transformateur.*** — Pour modifier la self-inductance d'une bobine, la première idée consisterait à faire jouer les trois facteurs (1°, 2° et 3°), qui ont été explicités au paragraphe précédent. Notamment, le deuxième facteur pourrait, à première vue, conduire aux résultats les plus simples : c'est ainsi qu'en remplaçant une seule bobine par cinq bobines pareilles, s'emboîtant (sans contact) les unes dans les autres (§ **9**, 1°), on multiplierait par vingt-cinq la self-inductance de la portion considérée du circuit.

Toutefois, cette méthode (ou d'autres analogues) présente deux inconvénients sérieux : le premier, c'est qu'elle ne permet pas de modifier l'inductance de façon *continue*, par bonds aussi faibles qu'on pourrait le désirer; le deuxième, c'est que, par de tels moyens, on n'agit pas seulement sur l'inductance, mais aussi sur la résistance électrique (laquelle augmente avec la longueur du fil utilisé).

L'idéal serait de réaliser la réplique du condensateur variable de la figure 14, où la simple rotation de la molette M produit un accroissement ou une diminution de la capacité. Dans le cas qui nous occupe, ce résultat est obtenu par une inductance variable (2), communément désignée sous le nom de *variomètre*.

Nous nous contenterons d'en expliquer le principe (*fig.* 20-22), sans entrer dans le détail des contacts glissants, qui assurent les connexions pour toutes les positions de la partie mobile.

---

(1) Ce retard se justifie intuitivement comme suit : quand on applique une certaine tension à une bobine, le courant est d'abord nul (extrême gauche du graphique de la figure 19), et il met un certain temps pour atteindre sa plus grande valeur. Le calcul et l'expérience montrent qu'avec une bobine de résistance négligeable, cette durée est précisément un quart de période.

(2) Sur les montages, une inductance variable est schématisée par trois ou quatre spires, traversées obliquement par une flèche. (Les inductances fixes ne portent pas de flèche.)

On emploie (*fig.* 20) deux bobines identiques, du genre de celle qui nous a servi d'exemple au paragraphe **9;** ces bobines sont disposées *en série,* de telle sorte que les électrons entrent en E_1 parcourent les spires de la bobine de gauche, passent par S_1 et E_2, parcourent les spires de la bobine de droite et sortent en S_2. La self-inductance de l'ensemble est sensiblement le triple de la self-inductance d'une des bobines (1).

La bobine de gauche est fixe, et celle de droite peut tourner (grâce à une molette, non représentée) d'un demi-tour autour d'un axe horizontal.

La figure 21 représente cette bobine de droite, après une rotation d'un quart de tour (les électrons suivant le chemin E_1 S_1 E'_2 S'_2); et la figure 22 indique la position, après une deuxième rotation d'un quart de tour (les électrons suivant le chemin $E_1 S_1 E''_2 S''_2$). Dans ce dernier cas, les effets des deux bobines s'annulent : la self-inductance de l'ensemble est (sensiblement) égale à celle d'une seule des bobines.

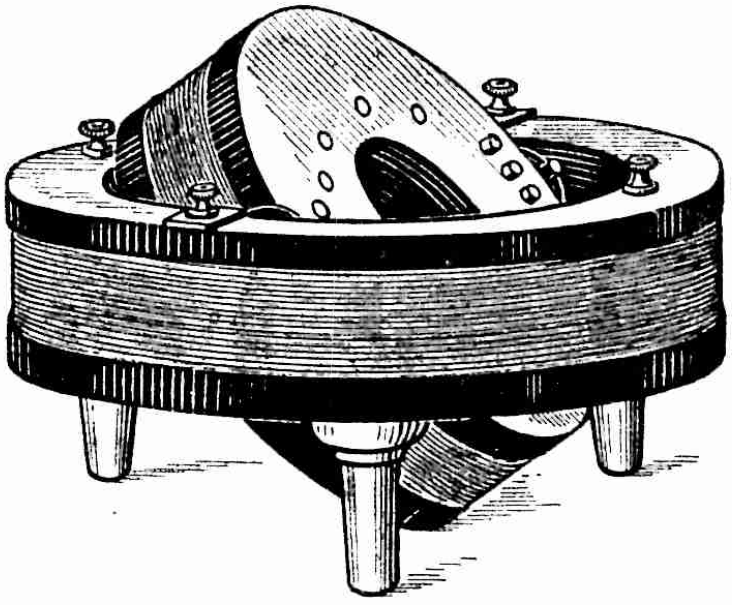


FIG. 23. — Un variomètre usuel.

On comprend donc comment il est possible — sans modifier en rien la longueur d'une portion de circuit (2) — de réaliser toutes les valeurs comprises entre une inductance maximum (*fig.* 20) et une inductance faible par rapport à celle-ci (*fig.* 22).

Tel est le variomètre (*fig.* 23), lequel est toutefois d'un usage moins habituel que le condensateur variable (*fig.* 14).

Les figures 20-22 n'ont pas fini de nous apporter d'utiles enseignements.

1° Si les deux bobines (identiques) de la figure 20 étaient très

(1) Soit 15 μH, s'il s'agit de deux bobines identiques à celle des figures 16 et 17. Nous reviendrons dans un instant sur ce « triplage » approximatif.

(2) Ni, par suite, sa résistance électrique.

éloignées (disons : distantes de quelques mètres), l'inductance de l'ensemble serait (comme le « bon sens » le suggère) égale à la somme des self-inductances de ces deux bobines (1). Il est naturel et correct de penser que les deux bobines n'influent pas l'une sur l'autre; on dit que leur *mutuelle inductance* (2) est nulle (égale à zéro henry) ou encore qu'il n'y a pas couplage (3) entre les deux bobines.

2° Considérons le cas strictement inverse où l'une des bobines ($E_1 S_1$ ou $E_2 S_2$, *fig.* 20) pénétrerait exactement (4) dans l'autre ($E_2 S_2$ ou $E_1 S_1$). Le couplage est alors maximum : il est, comme on dit, le plus « serré » possible. Nous savons (§ **10**) quelle est l'inductance de l'ensemble, puisque l'on a ici affaire à une bobine à deux couches au lieu d'une. Par un raisonnement auquel nous avons déjà fait implicitement appel en notes, l'inductance est maintenant quadruple (5), étant donné que le facteur 3° (§ **10**) est resté invariable, mais que les deux autres facteurs (densité d'enroulement et nombre total des spires) ont *l'un et l'autre* doublé (6).

Dès lors, nous voyons nos figures 20-22 sous un jour nouveau :

a) Grâce aux deux alinéas (1° et 2°) précédents, la figure 20 correspond à un cas intermédiaire, où l'inductance totale sera comprise entre deux fois et quatre fois la self-inductance d'une des bobines : cette inductance se situera donc aux environs de trois fois, ainsi que nous l'avons indiqué ci-dessus. (Ajoutons, entre

---

(1) L'inductance totale serait 10 µH (avec deux bobines comme celle de la figure 16).

(2) On s'autorise souvent à employer l'abréviation : leur « mutuelle », aussi incorrectement que l'on parle de la « self » d'une bobine (de la self d'une self !!!). La mutuelle inductance se mesure, elle aussi, en henrys (millihenrys, microhenrys,...).

(3) Et aussi : couplage extrêmement *lâche*.

(4) *Sans* contact. La chose est possible, en supposant que les diamètres des spires sont très légèrement augmentés ou diminués (ce qui ne change pratiquement rien).

(5) Soit 20 µH dans notre exemple numérique.

(6) Il y a une autre manière de s'exprimer : l'inductance de l'ensemble est a somme de quatre termes :

la self-inductance de la bobine de gauche,
la self-inductance de la bobine de droite,
la mutuelle inductance de gauche sur droite,
la mutuelle inductance de droite sur gauche.

Les deux derniers termes sont *toujours* égaux, même dans le cas *général* où les deux self-inductances ont des valeurs différentes.

parenthèses et conformément à la précédente note, que, si l'inductance totale est le triple de la self-inductance d'une des bobines, c'est que chaque mutuelle inductance se situe autour de la moitié d'une des self-inductances.)

b) La figure 21 (où les axes des deux bobines sont perpendiculaires) correspond, en gros, à l'annulation des deux mutuelles inductances (égales) ; elle permet de réaliser une économie de déplacement, puisque nous retrouvons « sur place » notre cas 1° (1).

c) Enfin, dans la figure 22, les self-inductances respectives conservent, bien entendu, les mêmes valeurs, mais les deux mutuelles inductances (égales) sont changées de signe, par rapport à la valeur qu'elles avaient en *a*, ce qui redonne bien le résultat annoncé (2).

Voilà donc ce qu'on peut dire de tout à fait élémentaire sur les phénomènes qui ont lieu quand deux bobines (identiques ou non) sont le siège du même écoulement d'électrons, c'est-à-dire quand elles sont traversées par le même courant (supposé continu, pour simplifier). Si l'attention du lecteur a eu quelque peu tendance à se lasser, qu'il ne perde pas courage et qu'il soit bien persuadé que toutes ces explications sont *indispensables* pour préparer l'avenir...

La fin du présent paragraphe s'occupera encore de deux bobines (identiques ou non), mais d'une façon *tout à fait différente*. Seule, la bobine de gauche sera parcourue par un courant (soit continu, soit alternatif) : cette première bobine fait partie du « circuit primaire » (ou, par abréviation, du *primaire*). Quant à la bobine de droite, elle n'aura aucune (3) connexion métal-

(1) Soit une inductance totale de 10 µH dans notre exemple numérique.

(2) 5 µH (pour la première self-inductance), plus 5 µH (pour la deuxième self-inductance), moins deux fois la moitié de 5 µH.

Si l'on emboîtait, l'une dans l'autre, les bobines de la figure 22, un instant de réflexion montrerait que l'inductance totale serait nulle. C'est là un dispositif couramment mis à profit pour supprimer l'inductance d'une portion de circuit. Cette portion n'intervient plus que par sa résistance électrique. (Il faut toutefois ne pas perdre de vue qu'on introduit alors une certaine capacité — d'ailleurs faible —, puisque deux spires voisines constituent un condensateur, au même titre que les armatures en regard des figures 7 et 8.)

(3) Ou bien elle aura, avec lui, **une seule** connexion métallique (ce qui revient au même).

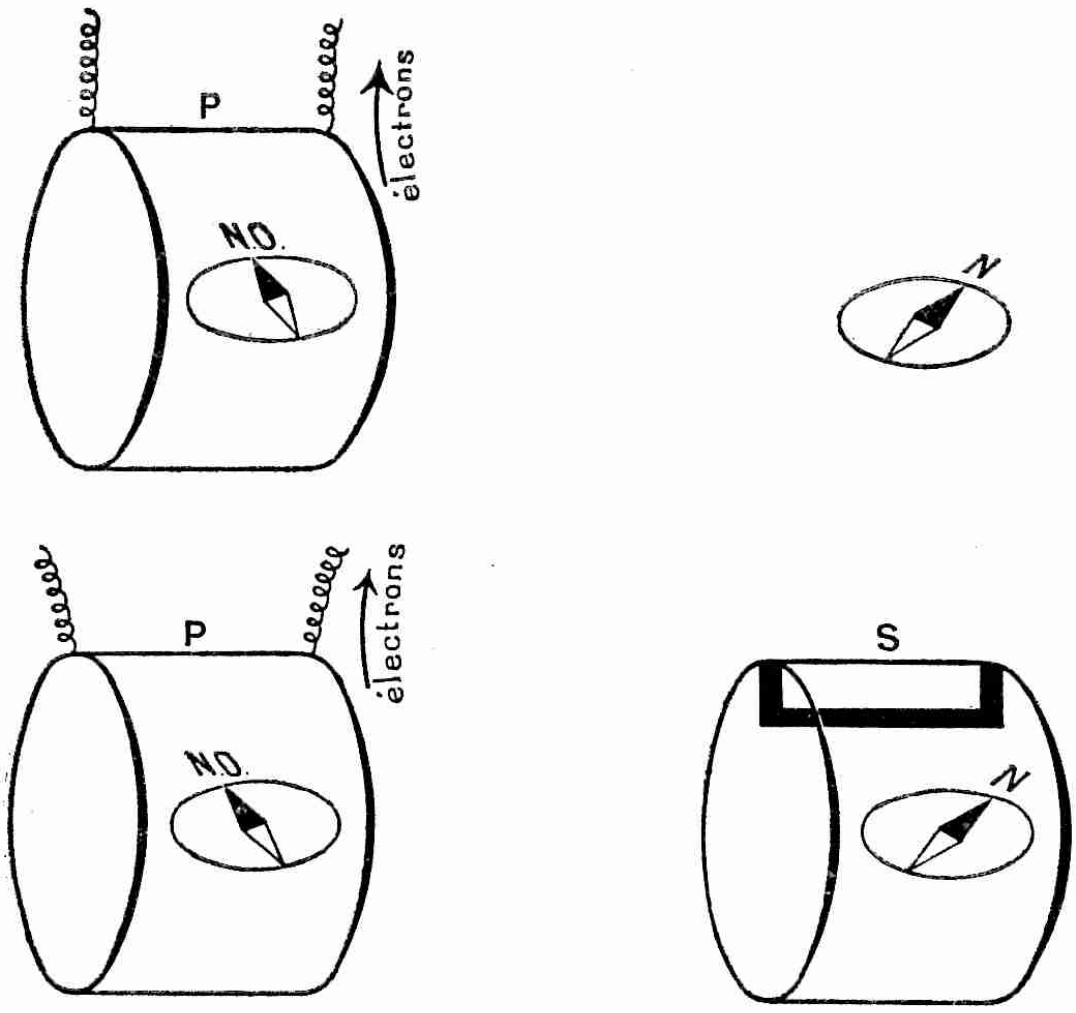


FIG. 24 et 25. — Un transformateur ne fonctionne pas en courant continu.

lique avec le circuit précédent : les deux bouts de l'enroulement seront libres, ou bien seront réunis par un très gros fil de cuivre (1) ; c'est le *secondaire* (ouvert ou fermé). Un tel ensemble de deux circuits (2) est ce qu'on appelle un *transformateur :* tout amateur de radio doit posséder des notions, pour le moins sommaires, mais suffisamment précises, sur cet appareil, qui figure en bonne place dans la plupart des montages.

La figure 24, à gauche, n'est que la reproduction partielle de notre figure 17 : les spires de la bobine (à noyau d'air; 24 spires sur 10 cm; diamètre de 3 cm) sont parcourues par un courant continu de 65 mA; l'aiguille de la boussole intérieure

(1) En d'autres termes : « mis en court-circuit ». On pourrait d'ailleurs considérer des cas intermédiaires (entre les cas extrêmes qui viennent d'être indiqués).
(2) Isolés l'un de l'autre (ou n'ayant, entre eux, qu'*une seule* connexion).

est, comme précédemment, dirigée vers le nord-ouest. La même figure 24 représente (à droite) une deuxième boussole, identique à la première, dans le même plan horizontal, dans le prolongement de l'axe de la bobine et assez éloignée (1) pour que son aiguille reste pointée sur le nord (2).

La figure 25 schématise le cas où l'état de régime est atteint : il y a longtemps (3) que les électrons s'écoulent dans la bobine P et il y a longtemps (3) que la bobine S (identique à l'autre et en court-circuit) est mise en place, autour de la deuxième boussole. Ces deux figures n'ont été dessinées que pour attirer l'attention sur un *résultat négatif* (4) : la boussole de droite reste pointée sur le nord, *qu'il y ait ou non* une bobine en court-circuit (5) autour d'elle. Nous en concluons que cette bobine ne crée ici aucun champ magnétique et, par suite, que ses spires ne sont le siège d'aucun écoulement d'électrons (ne sont parcourues par aucun courant). On exprime ce fait banal par la phrase : les transformateurs ne fonctionnent pas en courant continu.

On dit aussi que, dans le cas de la figure 25, il n'y a pas de « phénomène d'induction électromagnétique » (6).

Il ne faut pas être grand clerc pour deviner dans quelle condition ce phénomène se présentera. Pour rester, au départ, le plus près possible du concret, nous recourrons à nouveau au commutateur tournant de la figure 11, que nous avons déjà inséré dans le circuit de la figure 18 à la fin du paragraphe **9,** pour faire comprendre ce qu'est un champ magnétique oscillant. En communiquant à ce commutateur (au moyen d'une manivelle)

---

(1) Bien entendu, la figure 24 n'a pas la prétention d'indiquer cette distance en vraie grandeur.

(2) Autrement dit, il faut que l'aiguille marque le nord, aussi bien quand l'interrupteur K (*fig.* 17) est fermé que quand l'interrupteur K_0 (*fig.* 16) est ouvert.

(3) Disons : une demi-minute (pour faire largement les choses).

(4) Les « résultats négatifs » comportent néanmoins un savoir précieux, parfois aussi utile que celui qui provient des « résultats positifs ».

(5) Et, à plus forte raison, une bobine en circuit ouvert (étant donné ce qui a été dit du champ magnétique, lequel champ s'annule lorsqu'il n'y passe pas de courant, et il ne peut s'établir de courant continu dans un circuit coupé).

(6) Nous sommes ici dans le cas de l'induction *statique* ou induction entre circuits en repos l'un par rapport à l'autre (le premier circuit se nomme également circuit inducteur, et le second, circuit induit). L'induction statique *n'a pas lieu* quand le circuit induit (le secondaire) se trouve dans un champ magnétique *invariable* (en valeur et en direction).

une vitesse de rotation d'un tour et demi par seconde, l'écoulement des électrons de la bobine de gauche (*fig.* 25) devient alternatif, avec une fréquence de 3 cycles (nous l'avons déjà dit, § **9**), et l'aiguille de la boussole de gauche oscille, avec la même fréquence, entre le nord-ouest et le nord-est.

L'expérience montre alors que, cette fois-ci, l'aiguille de la boussole de droite ne reste pas au repos dans la position nord (1), mais qu'elle effectue, de part et d'autre de cette position, des oscillations simultanées (*synchrones* avec celles de l'autre aiguille). L'amplitude de ces nouvelles oscillations est beaucoup plus faible, ce qui indique que le courant (alternatif) dans la bobine de droite n'est, à chaque instant, qu'une fraction minime de celui qui passe dans l'autre bobine. Cette réduction du courant induit par rapport au courant inducteur est liée au fait que le couplage entre les deux bobines (identiques) est très lâche (que les « fuites » sont énormes).

C'est là un « transformateur » (2) schématique, qui transmet de l'énergie à distance, « sans fil », puisque le milieu interposé entre les deux bobines est simplement de l'air et *pourrait être le vide*. Mais qu'à ce propos le lecteur ne parte pas sur une fausse piste! On pourrait certes dire — un peu abusivement — que l'on « télégraphie sans fil » d'une bobine à l'autre, sur une distance de quelques centimètres ou de quelques décimètres (3). Mais ce serait *une grave erreur* que d'assimiler, à tous les points de vue, les phénomènes d'induction statique, avec lesquels nous venons de prendre contact, et la propagation des rayonnements hertziens (§ **22**), laquelle est la base de la radioélectricité.

On ne sera pas étonné d'apprendre que le courant induit (4) serait plus intense (5) si les deux bobines (toujours à noyau d'air) étaient plus rapprochées (6), et que le maximum serait

---

(1) Il va sans dire que (dans les mêmes conditions) la boussole de droite ne dévierait pas, si la bobine de droite n'existait pas (*fig.* 24) autour d'elle.

(2) Nous justifierons tout à l'heure ce nom.

(3) Tout dépend de la sensibilité des « appareils récepteurs » (ici l'aiguille de la boussole de droite).

(4) Qui est *en phase* (§ **7** fin, note) avec le courant inducteur.

(5) Ou encore que seraient plus nombreux les électrons s'écoulant, à chaque seconde, à travers une section quelconque du circuit.

(6) Ce qui augmenterait leur mutuelle inductance (en d'autres termes : ce qui rendrait le couplage plus serré).

atteint au moment où la bobine S pénétrerait sans contact à l'intérieur de la bobine P (1).

Poursuivons méthodiquement nos explications, qui vont nous amener pas à pas aux transformateurs usuels employés en radio (et ailleurs).

Nous nous souvenons (§ **10**) de l'accroissement des inductances (self-inductance et mutuelle inductance), quand on remplace l'air par un noyau de fer doux. Pour rendre plus serré le couplage des deux bobines des figures 24 et 25, on devine qu'il ne sera pas nécessaire de les rapprocher l'une de l'autre. On obtiendra le même résultat :

soit en disposant, à l'intérieur des deux bobines P et S, un noyau ininterrompu (2) de fer;

soit en ajoutant, *en outre*, un deuxième noyau identique au-dessous des deux bobines et en réunissant les quatre bouts (restés libres), deux à deux, par des demi-tores de fer doux (3).

Il ne nous reste plus qu'à nous affranchir des deux dernières restrictions, qui n'avaient jamais eu qu'un intérêt didactique :

abandonner le commutateur tournant (courant d'une fréquence de 3 cycles) pour nous servir des installations industrielles, dont la plus familière est le secteur alternatif à « 115 volts »-50 cycles;

---

(1) Désormais, nous laisserons de côté les boussoles, qui n'étaient intervenues que pour déceler intuitivement la circulation des courants dans les spires, (Quand on veut mesurer des intensités de courant, on introduit un ampèremètre — ou un milliampèremètre — *en série* dans le circuit.)

Précisons que, lorsque deux bobines identiques (à noyau d'air) sont entrées l'une dans l'autre, le courant induit (dans la bobine interne) est plus faible que le courant inducteur (dans la bobine externe) : les « fuites » sont encore importantes.

(2) Par exemple, ce noyau aurait un diamètre à peine inférieur à celui des bobines et une longueur telle qu'il commencerait à gauche de la bobine de gauche, pour se terminer à droite de la bobine de droite.

Il serait moins efficace d'employer deux bobines à noyaux limités aux spires terminales, car les self-inductances seraient fortement augmentées (par exemple, dans le rapport de un à mille), mais les mutuelles inductances n'auraient pour ainsi dire pas changé.

(3) Les fuites sont encore réduites par rapport à celles qui subsistaient au précédent alinéa. On peut finalement enfouir le tout dans une masse de fer doux, sans contact avec les spires : ce sont les *transformateurs cuirassés* où le couplage est « serré » au maximum, les fuites étant pratiquement supprimées. (Dans le cas de deux bobines identiques, le courant induit est alors sensiblement aussi intense que le courant inducteur.)

renoncer à l'identité des bobines P et S (tout particulièrement : choisir, pour chacune, un nombre convenable de spires).

Et nous avons enfin *le transformateur* (ou « transfo »), lequel est schématisé par la figure 26. Il se compose de deux bobines, dont les spires sont enroulées dans le même sens sur le même noyau de fer : l'une AB contient 300 spires, l'autre **AB** contient **600** spires (le point **M,** dit « prise médiane », est le milieu de l'enroulement **AB;** ce point ne nous servira ici que pour la démonstration).

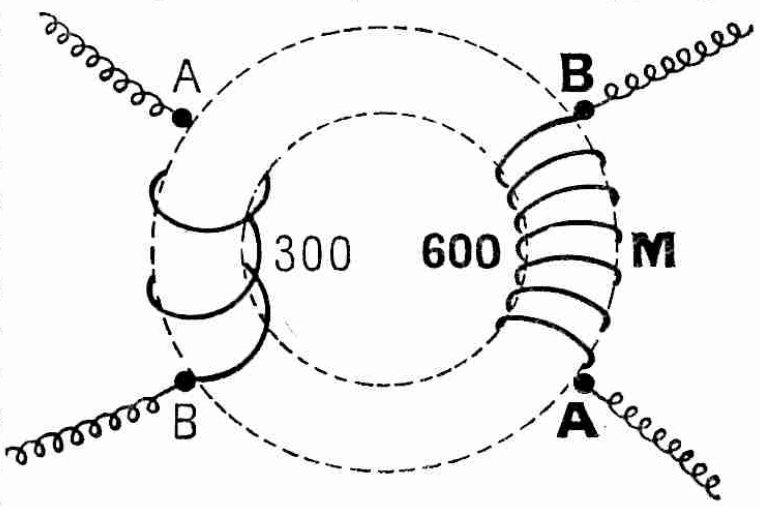


FIG. 26. — Principe des transformateurs usuels.

1° Nous appliquons la tension « 115 volts »-50 cycles à la bobine AB. D'après tout ce que nous avons indiqué précédemment sur l'induction, nous obtiendrons « 115 volts »-50 cycles (en phase) entre les bornes **A** et **M** (ou entre **M** et **B**). Il en résulte, sans plus, que les « 115 volts » - 50 cycles, aux bornes du primaire AB, seront « transformés » en « 230 volts »-50 cycles aux bornes du secondaire **AB :** le transformateur fonctionne, dans ce cas, en *survolteur*. Mais, ce que l'on gagne en volts, on le perd en ampères (1). Si, par exemple, le primaire est parcouru par un courant d'un ampère, le secondaire (supposé fermé sur un circuit d'utilisation) sera traversé par un demi-ampère (2).

2° Faisons maintenant passer la tension « 115 volts »-50 cycles de la bobine AB à la bobine **AB.** Par symétrie, il se produira, par induction (statique), aux bornes de AB, une tension de « 57 volts 5 » - 50 cycles

(1) Au point de vue énergétique, le transformateur est comparable à un levier, où : ce que l'on gagne en force, on le perd en déplacement (et réciproquement).

(2) Par *un peu moins*, car le rendement du transformateur est légèrement inférieur à 100 p. 100.

(toujours en phase avec la précédente). On voit maintenant que les « 115 volts » - 50 cycles, aux bornes du primaire **AB,** seront « transformés » en « 57 volts 5 » - 50 cycles, aux bornes du secondaire AB : le transformateur fonctionne, dans ce deuxième cas, en *dévolteur*. De façon analogue, ce que l'on perd en volts, on le gagne en ampères (1). Si, par exemple, le primaire est parcouru par un courant d'un demi-ampère, le secondaire (supposé fermé sur un circuit d'utilisation) sera traversé par un ampère (2).

Tout le monde comprendra que le *rapport de transformation* était deux (en 1°) et un demi (en 2°). On utilise couramment des rapports de transformation de l'ordre de trente ou d'un trentième : il suffit manifestement que les spires d'une des bobines soient trente fois plus nombreuses que celles de l'autre.

Ajoutons qu'il est commode de parler de « transformateur », dans le seul cas où les bobines sont enroulées sur un noyau de fer (courants de basse fréquence), tandis qu'en haute fréquence (§ **22**), l'ensemble sans fer est plutôt désigné sous le nom de « bobines d'accouplement ».

12. *Condensateur et bobine en série.* — En abordant cette question capitale, nous spécifierons bien que nous nous occupons d'un seul et unique circuit (3).

Portons notre attention sur deux faits déjà connus (§§ **7** et **10,** fins) :

I. Quand on branche un condensateur sur le secteur alternatif « 115 volts » - 50 cycles, les connexions sont parcourues (indéfiniment) par un courant alternatif (4),

---

(1) et (2) Renvois aux deux notes de la page précédente.

(3) Et non de deux circuits, comme ceux qui constituent un transformateur (dont l'étude a été, pour ainsi dire, un intermède).

(4) Nous sommes maintenant assez avancés pour préciser que « *parcourues* par un courant alternatif » est un abus de langage, datant de l'époque où *l'on* ne se faisait qu'une idée très vague de l'électricité (où l'on était obnubilé par le *concret,* sans avoir encore discerné le *réel* sous-jacent). Un courant alternatif — et nous y reviendrons souvent — consiste réellement en *oscillations locales* des électrons contenus dans le conducteur, ces oscillations (le long du fil) ayant des amplitudes extrêmement minimes (par exemple, de l'ordre d'un centième de millimètre dans les fils de jonction, cadres, antennes, etc.). Il est inepte de se figurer (comme le font tant de vulgarisateurs) que les électrons parcourent de bout en bout un réseau de distribution ou un poste récepteur de T. S. F. Le comble, c'est qu'on ajoute presque toujours : « avec la vitesse de la lumière »!

représenté par le graphique de la figure 13. Il y a, dans tout cela, un point *essentiel* et un point *accessoire*. L'essentiel est l'**avance** d'un deux-centième de seconde (un quart de période) du courant sur la tension (en quadrature en avance).

L'accessoire est la valeur des courants maximum et minimum. Notre figure 13 donnait 0 μA 05 lorsque la capacité n'était qu'un picofarad. Pour une capacité un million de fois plus grande (un microfarad), l'intensité du courant (passant dans les connexions) varierait entre 0 A 05 dans un sens (1) et 0 A 05 dans l'autre (il suffit de modifier, par la pensée, la figure 13 en conséquence, ce qui se ramène à un simple changement de l'échelle verticale).

II. Quand on branche une bobine (2) sur le secteur alternatif « 115 volts »- 50 cycles, les connexions et les spires sont parcourues (indéfiniment) par un courant alternatif (1), représenté par le graphique de la figure 19. Il y a, à nouveau, un point *essentiel* et un point *accessoire*.

L'essentiel est le **retard** d'un deux-centième de seconde (un quart de période) du courant sur la tension (en quadrature en retard).

L'accessoire est la valeur des courants maximum et minimum. Notre figure 19 donnait 0 A 5 lorsque la self-inductance n'était qu'un henry. Pour une inductance dix fois plus grande (dix henrys, lesquels sont communément obtenus dans les récepteurs du télégraphe Morse), l'intensité du courant varierait entre 0 A 05 dans un sens (3) et 0 A 05 dans l'autre (il suffit de

(1) Plus la capacité est grande, plus les armatures s'électrisent (dans les mêmes conditions). Cela signifie qu'elles perdent (ou fixent) davantage d'électrons. Et comme la fréquence (50 cycles) est constante, il faut bien que les connexions soient le siège d'un courant plus intense.

(2) On néglige le dégagement de chaleur dans les spires, ce qui veut dire que la « résistance électrique » de la bobine n'a qu'une influence insignifiante (par rapport à celle de sa self-inductance).

(3) Le lecteur concevra (sans qu'il y ait lieu de lui fournir des explications plus circonstanciées) qu'une plus grande inductance produise — toutes choses égales d'ailleurs — un champ magnétique plus considérable. Il s'ensuit qu'une bobine de dix henrys, soumise à la même tension, s'opposera au passage d'un courant dix fois plus qu'une bobine d'un henry.

modifier, par la pensée, la figure 19 en conséquence, ce qui se ramène à un simple changement de l'échelle verticale).

Si l'on compare maintenant les expériences **I** et **II**, supposées faites successivement — ce qui revient à confronter les deux figures 13 et 19 (1) — on remarque

qu'avec 1 μF (d'une part) et avec 10 H (d'autre part), chacun des courants varie entre + 0 A 05 et — 0 A 05;

que les deux courants (*fig.* 13 et 19) sont, l'un par rapport à l'autre, *en opposition* (2).

Dans ces conditions, il est aisé de prévoir ce qui va se passer

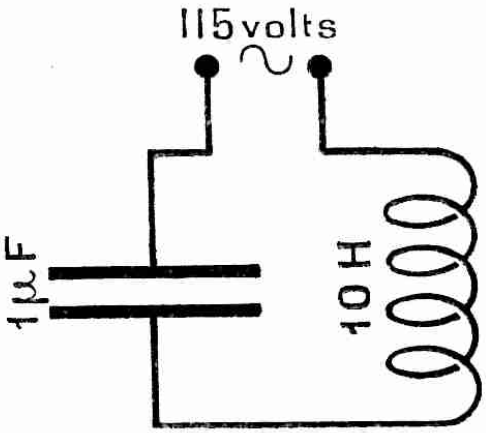


FIG. 27. — Condensateur et bobine en série (circuit résonnant).

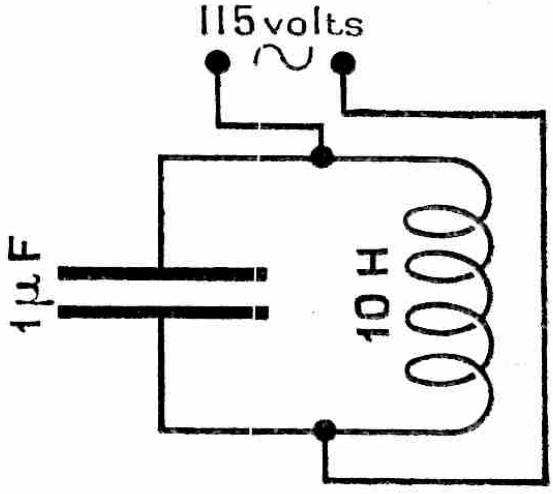


FIG. 28. — Condensateur et bobine en dérivation (circuit antirésonnant).

(*fig.* 27-28) quand on branchera, *à la fois*, sur les « 115 volts »-50 cycles, le condensateur d'un microfarad et la bobine de dix henrys. L'avance d'un deux-centième de seconde (provoquée par le condensateur) et le retard d'un deux-centième de seconde (provoqué par la bobine) se compenseront exactement, et le courant passant dans le circuit (3) de la figure 27 sera **en phase** avec la tension, tout comme s'il n'y avait ni capacité ni inductance,

(1) En prenant comme référence *le* graphique (de la tension), donné par les figures 12 et 18 (qui sont identiques).

(2) Terme précédemment défini (p. 39, note 3) : les annulations des deux courants se produisent simultanément, et les « bosses » de l'un ont lieu en même temps que les « creux » de l'autre.

(3) C'est encore un abus de langage que de dire qu'un courant alternatif passe « dans » un condensateur. Le lecteur sait ce qu'il en est, grâce aux longues explications du paragraphe **6**. (Les électrons *ne traversent pas* l'isolant : ils partent des armatures ou y aboutissent.)

autrement dit comme si l'on appliquait la tension du secteur alternatif à une ampoule ou à un radiateur.

Nous savons que ces deux derniers appareils sont définis par une certaine grandeur, qui est leur *résistance électrique*. Prenons comme exemple un *gros* radiateur, d'une puissance de 1 300 watts (1). Comme la puissance s'obtient en multipliant la tension par l'intensité du courant, on voit qu'un tel radiateur exige un courant de 11 ampères 5. Et enfin, comme, dans les conditions précitées, on obtient la résistance, en ohms (2), en divisant la tension (115 V) par l'intensité (11 A 5), notre radiateur possède une résistance de 10 ohms.

C'est la résistance de la bobine qui, dans le montage de la figure 27, va jouer un rôle prépondérant, et cela pour une raison facile à comprendre : tant que la self-inductance agissait en plein, on faisait correctement abstraction (comme il a été dit en note) de la résistance; mais, maintenant qu'on s'est arrangé pour supprimer l'effet de la première grandeur, c'est la deuxième grandeur qui imposera l'allure du phénomène et, tout spécialement, la valeur de l'intensité du courant qui passe dans le circuit.

Le terrain a été préparé (à l'avant-dernier alinéa), en insistant sur le gros radiateur (1 300 watts; 10 ohms). Car nous attribuerons à notre bobine (10 H) cette même résistance de 10 ohms, de telle sorte que le circuit (*fig.* 27) sera le siège d'un courant alternatif de 11 A 5, lequel, comme on sait, varie entre les valeurs : + 16 A 3 et — 16 A 3 (soit 16 ampères, en chiffres ronds).

Insistons-y : nous touchons ici un point « névralgique »; nous parvenons à un résultat qui avait plongé les premiers électriciens dans une stupeur et un effroi bien légitimes. Pour le comprendre sans peine, tenons compte des explications données ci-dessus (en **I**) : la tension aux bornes du condensateur (1 μF) oscillait entre + 163 V et — 163 V, tandis que le courant oscillait entre + 0 A 05 et — 0 A 05. Mais voici maintenant (*fig.* 27) que le courant varie entre + 16 A et — 16 A, soit 320 fois plus amplement; il s'ensuit que les variations de tension (aux bornes

(1) Le nom de cette unité rappelle le savant anglais James Watt (1736-1819), en souvenir de sa contribution à notre connaissance des transformations de l'énergie. On dit plus communément que le radiateur a une puissance de 1 kW 3.

(2) Du nom du physicien allemand Georg Simon Ohm. (Abréviation : Ω.)

1 μF en série avec	INTENSITÉ maximum dans le circuit	DÉCALAGE intensité-tension	TENSION maximum aux bornes du μF
0 H-10 Ω	0 A 05	avance de 1/200 seconde	163 V
5 H-10 Ω	0 A 1		326 V
8 H-10 Ω	0 A 25		650 V
9 H-10 Ω	0 A 5		1.630 V
10 H-10 Ω	16 A	en phase	52.000 V
11 H-10 Ω	0 A 5	retard de 1/200 seconde	1.630 V
12 H-10 Ω	0 A 25		650 V
20 H-10 Ω	0 A 05		163 V
50 H-10 Ω	0 A 025		80 V

FIG. 29. — Le même condensateur et différentes bobines sont successivement branchés sur le secteur alternatif « 115 volts »-50 cycles.

du microfarad de cette même figure) auront, elles aussi, une amplitude 320 fois plus considérable, soit entre

+ 52 000 volts et — 52 000 volts;

on dit qu'il se produit une *surtension,* capable de foudroyer l'imprudent sans méfiance, et dont le premier effet serait de « claquer » l'isolant de mica du condensateur, rendu ainsi inutilisable (1).

Ne félicitons pas le hasard de nous avoir conduits, d'un seul coup, à un résultat sensationnel! Tout a été agencé, depuis le début du chapitre, pour en arriver là...

Nous ne devons pas, néanmoins, nous dispenser d'examiner brièvement les cas voisins. Que va-t-il se passer si :

gardant le même condensateur (1 μF), on lui *associe* (toujours en série) des bobines possédant d'autres self-inductances?

gardant la même bobine (10 H-10 Ω), on lui associe (à

(1) A moins qu'il n'ait été spécialement prévu (fortes épaisseurs d'isolant) pour supporter ces hautes tensions, ce qui n'a jamais lieu pour les microfarads du commerce (lesquels claquent pour des tensions dix fois plus faibles, au grand maximum).

10 H-10 Ω en série avec	INTENSITÉ maximum dans le circuit	DÉCALAGE intensité-tension
pas de condensat.	0 A 05	retard de 1/200 seconde
cond. 2 μF	0 A 1	
cond. 1 μF 2	0 A 25	
cond. 1 μF 1	0 A 5	
cond. 1 μF	16 A	en phase
cond. 0 μF 9	0 A 5	avance de 1/200 seconde
cond. 0 μF 8	0 A 25	
cond. 0 μF 5	0 A 05	
cond. 0 μF 3	0 A 025	

FIG. 30. — La même bobine et différents condensateurs sont successivement branchés sur le secteur alternatif « 115 volts »-50 cycles.

nouveau en série) des condensateurs possédant d'autres capacités ?

Le plus simple a été de rassembler quelques cas intéressants sur les deux figures 29 et 30. On y retrouve le cas **I** ci-dessus (à la première ligne de la figure 29) et le cas **II** ci-dessus (à la première ligne de la figure 30).

Quant à la neutralisation réciproque de la capacité et de la self-inductance, elle est indiquée aux cinquièmes lignes (*fig.* 29 et 30). Il est temps de faire connaître une terminologie souvent utilisée : lorsque cette neutralisation se produit, on dit que le condensateur et la bobine sont *en résonance* (1), par analogie avec des phénomènes analogues de la mécanique (et de l'acoustique). On dit également qu'avec les données numériques portées sur la figure 27, on a affaire à un *circuit résonnant*.

Nous examinerons un peu plus loin (§ **14**) quelles valeurs il convient d'attribuer à la capacité du condensateur et à la self-inductance de la bobine, quand on opère sur une *autre* fréquence

(1) La résonance est, au surplus, très *aiguë :* il suffit de faire varier la self-inductance (*fig.* 29) ou la capacité (*fig.* 30) d'une faible fraction de leur valeur, pour que la résonance cesse (diminutions brusques du courant et de la tension, décalage sautant brusquement à un deux-centième de seconde).

(sur une fréquence différente des 50 cycles du secteur alternatif, qui nous a servi de point de départ intuitif).

13. *Condensateur et bobine en dérivation.* — C'est à dessein que nous avons disposé l'une à côté de l'autre la figure 27, qui a retenu longuement notre attention, et la figure 28, dont il convient maintenant de parler.

Alors que, précédemment (*fig.* 27), les deux appareils étaient montés en série (1), ils le sont maintenant (*fig.* 28) en dérivation (2).

Ce qui va se passer est très simple; il s'agit d'une nouvelle combinaison des cas **I** et **II** du paragraphe **12** : le cas **I** se retrouve en détachant la bobine, et le cas **II** en détachant le condensateur.

Le courant, dans le demi-rectangle de gauche (*fig.* 28), est représenté par la figure 13, où il faut lire 0 A 05 (au lieu de 0 µA 05). Le courant, dans le demi-rectangle de droite (*fig.* 28), est représenté par la figure 19, où il faut lire 0 A 05 (au lieu de 0 A 5). Les maximums sont égaux dans les deux cas; et, comme les deux graphiques sont en opposition (3), on voit immédiatement que leur somme est constamment nulle : *il ne passe aucun courant* (4) dans les fils de jonction qui font communiquer le rectangle avec les bornes du secteur.

Le rectangle de la figure 28 constitue ce qu'on nomme un *circuit antirésonnant* ou un « circuit bouchon » : le courant qui y « entre » ou qui en « sort » est toujours nul, quelle que soit la tension que l'on applique à ses deux bornes, pourvu que la fréquence soit invariable (ici : 50 cycles), ce que nous comprendrons mieux après la lecture du prochain paragraphe. Un tel dispositif remplit donc son office pour *une* fréquence bien déterminée et pour *toutes* les tensions oscillant selon cette fréquence :

---

(1) On a également employé, en l'occurrence, les mots : « en tension ».

(2) Il arrive souvent qu'on dise : « en parallèle ». Ces deux expressions, équivalentes, n'ont pas besoin d'être justifiées.

(3) Les deux sinusoïdes sont symétriques par rapport à l'axe horizontal (axe des temps).

(4) Un compteur d'électricité, disposé sur cette canalisation, *ne tournerait pas*, d'où il résulte que l'alimentation simultanée du condensateur et de la bobine est *gratuite*. (Ajoutons que les compagnies d'électricité prennent des précautions contre l'usage de tels courants, dits « courants déwattés ».)

on conçoit qu'il permettra d'« éliminer » (de boucher) ladite fréquence, et nous le retrouverons dans un certain type de *filtre* (§ **15**).

14. ***Fréquence propre; amortissement.*** — C'est ainsi que nous accédons lentement, mais sûrement, aux prétendus mystères de la radiotechnique. Et nous sommes désormais suffisamment préparés à comprendre la signification précise de ce langage nouveau, qui comporte notamment les expressions *circuit oscillant* et *fréquence propre.*

La figure 27 ou la figure 28, qui nous sont familières, ont été redessinées, avec quelques modifications de détail (*fig.* 31). Nous y retrouverons notre condensateur (1 μF) et notre bobine (10 H-10Ω). Mais nous recourons au *secteur continu* (115 volts), ainsi qu'à un interrupteur D à deux directions (*a* et *b*) ou commutateur, dont la lame mobile, soulevée, est en contact avec *a* et, abaissée, avec *b*, le déplacement s'effectuant en une fraction de seconde (1).

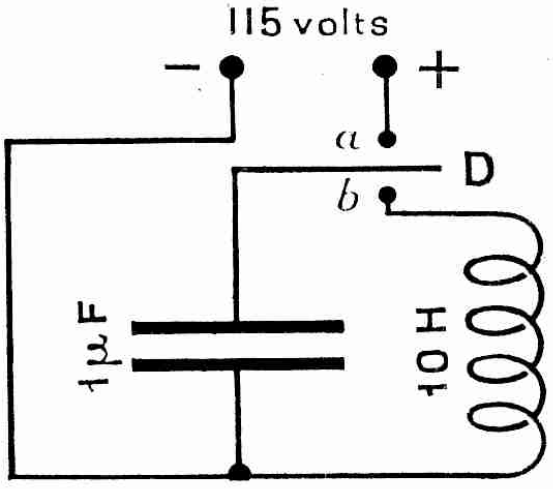


FIG. 31. — Décharge oscillante d'un condensateur (après avoir été préalablement branché sur le secteur à 115 volts continus).

On commence par soulever D (en *a*) : les deux faces en regard du microfarad sont soumises à la tension de 115 volts continus (2).

Si nous abaissons D (en *b*), nous sommes ramenés à des conditions analogues à celles de la figure 27 : une tension est appliquée

---

(1) Ce détail est important, car il faut que le microfarad conserve sensiblement le même état d'électrisation (donc la même tension aux bornes) pendant cette fraction de seconde. Or, nous avons dit (§ **8** fin, note) que les condensateurs industriels sont construits de telle sorte que leur tension aux bornes diminue de moitié en 40 secondes *seulement.*

Sur la figure 31, l'armature inférieure du microfarad reste en permanence reliée au pôle — du secteur : comme il a été spécifié à maintes reprises, il revient au même que les deux circuits aient entre eux : zéro ou une connexion.

(2) Cela veut dire (§ **6**) que l'ensemble des plaques inférieures possède :

1 400 000 000 000 000 électrons

de plus que l'ensemble des plaques supérieures. (Se rappeler, à ce propos, que « micro » est un million de fois plus grand que « pico ».)

au circuit condensateur-bobine. Il est facile de saisir ce qui va *réellement* avoir lieu : comme les électrons ont « la voie libre » grâce au circuit ininterrompu des connexions et des spires de la bobine, ceux qui sont en trop dans l'armature inférieure du microfarad vont se précipiter (à travers le circuit) pour prendre la place de ceux qui font défaut dans l'armature supérieure. Ce qui revient à dire que les conducteurs du rectangle seront traversés par un courant électrique. Or, on sait (*fig.* 10) qu'un tel courant ne saurait être constant : les électrons vont donc *s'adapter* aux « servitudes » (de capacité et d'inductance) que nous leur avons imposées, et nous ne serons pas surpris d'apprendre que ledit courant sera alternatif (1) avec la fréquence 50 cycles.

Nous venons ainsi de faire connaissance avec la « décharge oscillante » d'un condensateur dans une bobine (2), qui fait partie du fonds intellectuel de l'humanité depuis 1858 : c'est, en effet, à cette date qu'elle fut mise en évidence (3) par le physicien allemand Berend-Wilhelm Feddersen. Le rectangle de la figure 31 (le circuit condensateur-bobine) s'appelle tout naturellement un *circuit oscillant* (oscillant à 50 cycles), et l'on dit qu'il oscille ici avec sa *fréquence propre* (4) ou encore qu'il est le siège d'*oscillations libres*.

---

(1) Le courant de décharge n'est alternatif que s'il n'y a guère de chaleur dégagée, que si l'effet de la résistance électrique (10 Ω) est — comme présentement — faible par rapport à celui de la self-inductance (10 H). Dans cette hypothèse (facilement réalisable), les électrons sont relativement peu *freinés*. Mais si — toutes choses égales d'ailleurs — la résistance était, mettons, mille fois plus considérable, on retrouverait un graphique analogue à celui de la figure 10 pour les variations de l'écoulement des électrons en fonction du temps.

Pour fixer les idées par une comparaison concrète (qui vaut ce qu'elle vaut), nous sommes ici dans le cas d'un tube en U, à moitié plein de liquide et abandonné à lui-même, après qu'on ait provoqué (en soufflant dans une des branches) une dénivellation. La figure 10 correspond, au contraire, à ce qui se passe quand le fond du tube en U est garni d'une couche de sable fin.

(2) D'après la note précédente, la décharge serait « non oscillante », si la résistance était, par exemple, 10 000 Ω (toujours avec 1μF et 10H).

(3) Grâce à l'ingénieuse observation de petites étincelles, au moyen d'un miroir tournant rapidement.

(4) La fréquence propre (oscillations libres) se retrouve aux cinquièmes lignes (cas de la *résonance*) de nos tableaux (*fig.* 29 et 30). Les huit autres lignes de chaque tableau concernent ce qu'on nomme des « oscillations forcées » (ou contraintes).

Dans tout ceci et dans le reste de l'ouvrage, « oscillations » est synonyme de courant alternatif (donc : d'oscillations d'*électrons*); l'usage a prévalu qu'on prononce surtout le mot « oscillations », quand on a affaire à de *hautes* fréquences (de l'ordre du kilocycle ou du mégacycle).

Nous avons tout d'abord à répondre à la question fondamentale à laquelle il a été fait allusion à la fin du paragraphe **12.** Cette question, il nous est maintenant loisible de l'énoncer avec précision : comment varie la fréquence propre d'un circuit oscillant (par abréviation usuelle : C. O.) quand on prend d'*autres* valeurs pour la capacité (du condensateur) et pour la self-inductance (de la bobine). Le problème a été résolu (1853) par l'illustre savant anglais William Kelvin. Pour rester dans l'esprit du présent ouvrage, nous ne donnerons pas la formule mathématique (1), et nous nous bornerons — ce qui parle bien davantage « aux yeux » — à donner un tableau à double entrée (*fig.* 32), couvrant tout le domaine des fréquences employées et des appareils usuels (2).

Faisons un retour sur les précédentes expériences :

1° On retrouve bien (13e rangée et 15e colonne) que l'association d'un microfarad et de dix henrys fournit une fréquence propre de 50 cycles;

2° Nous avons jadis parlé d'un condensateur d'un picofarad (§ **8**) et d'une bobine de cinq microhenrys (§ **10**). Le circuit oscillant, formé par ces deux appareils, aurait (1re rangée et 2e colonne) une fréquence propre de 71 mégacycles. Telle est la *très haute* fréquence qui se produirait dans le montage de la figure 31. Au contraire, si l'on disposait ce condensateur et cette bobine (avec des rhéostats convenables) selon les données de la figure 27, le circuit effectuerait des oscillations forcées, dans des conditions très éloignées de la résonance (laquelle correspond à la fréquence propre).

Une même fréquence propre peut être réalisée par des

---

(1) Encore que la relation de Kelvin ne soit pas compliquée. Pour le lecteur quelque peu frotté d'algèbre, nous dirons simplement que la fréquence propre varie en raison inverse de la racine carrée du produit de la capacité et de la self-inductance. (Comme on le voit sur la figure 32, ces deux grandeurs jouent un rôle symétrique.)

(2) Du côté des gigacycles (en haut et à gauche du tableau, et au-delà), on n'utilise plus, à vrai dire, un condensateur et une bobine *distincts*, mais un simple « bout de fil », qui possède, lui aussi, une capacité et une self-inductance (extraordinairement minimes).

Au surplus, le prolongement de notre tableau à double entrée offre moins de difficultés qu'un problème de mots croisés.

SELF INDUCTANCE → / CAPACITÉ ↓	0 µH1	0 µH5	1 µH	5 µH	10 µH	50 µH	100 µH	500 µH	1 mH	5 mH	10 mH	50 mH	100 mH	500 mH	1 H	5 H	10 H
1 pF	500 Mc	230 Mc	160 Mc	71 Mc	50 Mc	23 Mc	16 Mc	7 Mc	5 Mc	2 Mc	1,6 Mc	710 kc	500 kc	230 kc	160 kc	71 kc	50 kc
5 pF	230 Mc	100 Mc	71 Mc	32 Mc	23 Mc	10 Mc	7 Mc	3 Mc	2 Mc	1 Mc	710 kc	320 kc	230 kc	100 kc	71 kc	32 kc	23 kc
10 pF	160 Mc	71 Mc	50 Mc	23 Mc	16 Mc	7 Mc	5 Mc	2 Mc	1,6 Mc	710 kc	500 kc	230 kc	160 kc	71 kc	50 kc	23 kc	16 kc
50 pF	71 Mc	32 Mc	23 Mc	10 Mc	7 Mc	3 Mc	2 Mc	1 Mc	710 kc	320 kc	230 kc	100 kc	71 kc	32 kc	23 kc	10 kc	7 kc
100 pF	50 Mc	23 Mc	16 Mc	7 Mc	5 Mc	2 Mc	1,6 Mc	710 kc	500 kc	230 kc	160 kc	71 kc	50 kc	23 kc	16 kc	7 kc	5 kc
500 pF	23 Mc	10 Mc	7 Mc	3 Mc	2 Mc	1 Mc	710 kc	320 kc	230 kc	100 kc	71 kc	32 kc	23 kc	10 kc	7 kc	3 kc	2 kc
1 nF	16 Mc	7 Mc	5 Mc	2 Mc	1,6 Mc	710 kc	500 kc	230 kc	160 kc	71 kc	50 kc	23 kc	16 kc	7 kc	5 k	2 kc	1,6 kc
5 nF	7 Mc	3 Mc	2 Mc	1 Mc	710 kc	320 kc	230 kc	100 kc	71 kc	32 kc	23 kc	10 kc	7 kc	3 kc	7 kc	1 kc	710 c
10 nF	5 Mc	2 Mc	1,6 Mc	710 kc	500 kc	230 kc	160 kc	71 kc	50 kc	23 kc	16 kc	7 kc	5 kc	2 kc	1,6 kc	710 c	500 c
50 nF	2 Mc	1 Mc	710 kc	320 kc	230 kc	100 kc	71 kc	32 kc	23 kc	10 kc	7 kc	3 kc	2 kc	1 kc	710 c	320 c	230 c
100 nF	1,6 Mc	710 kc	500 kc	230 kc	160 kc	71 kc	50 kc	23 kc	16 kc	7 kc	5 kc	2 kc	1,6 kc	710 c	500 c	230 c	160 c
500 nF	710 kc	320 kc	230 kc	100 kc	71 kc	32 kc	23 kc	10 kc	7 kc	3 kc	2 kc	1 kc	710 c	320 c	230 c	100 c	71 c
1 µF	500 kc	230 kc	160 kc	71 kc	50 kc	23 kc	16 kc	7 kc	5 kc	2 kc	1,6 kc	710 c	500 c	230 c	100 c	71 c	50 c
5 µF	230 kc	100 kc	71 kc	32 kc	23 kc	10 kc	7 kc	3 kc	2 kc	1 kc	710 kc	320 c	230 c	100 c	71 c	32 c	23 c
10 µF	160 kc	71 kc	50 kc	23 kc	16 kc	7 kc	5 kc	2 kc	1,6 kc	710 c	500 c	230 c	160 c	71 c	50 c	23 c	16 c

FIG. 32. — Tableau général des fréquences propres des circuits oscillants. (La fréquence propre, en cycles, se trouve à l'intersection d'une rangée, exprimant la capacité en farads, et d'une colonne, exprimant la self-inductance en henrys.)

Les fréquences sont *approchées;* le tableau ne comporte que six nombres différents (comme on le verrait après un instant de réflexion) ; il est très facile de le compléter extérieurement, s'il en était besoin, et il est non moins facile de se faire une idée des cas intermédiaires.

associations fort diverses : ce sont des préoccupations subsidiaires qui conduisent à préciser le choix. De même que les réseaux de distribution (en 1°) sont représentés par le coin S.-E. (en bas et à droite) du tableau de la figure 32, le coin N.-O. (en haut et à gauche), rencontré en 2°, est dans le domaine de la télévision. Quant aux fréquences de la radiodiffusion, généralement comprises entre 300 kilocycles et 50 mégacycles, elles se trouvent, sur le même tableau, à l'intérieur d'une bande (dirigée du S.-O. vers le N.-E.), que le lecteur repèrera au premier coup d'œil.

Il nous reste une dernière remarque à faire.

Nous nous référerons une fois de plus à la figure 31.

Pour sérier les difficultés, nous nous sommes borné à dire que le rectangle allait être le siège d'oscillations électriques (d'un courant alternatif, dont la fréquence est, ici, 50 cycles). Mais nous n'avons rien indiqué d'autre à ce sujet; nous ne savons pas encore l'amplitude (l'intensité maximum du courant alternatif), ni le temps pendant lequel ce courant alternatif va durer.

En associant au condensateur de 1 μF une bobine de 10 H, nous avons attribué une résistance (1) de 10 Ω. On a vu que cette résistance est *assez faible* pour ne pas empêcher la décharge d'être oscillante, pour ne pas s'opposer à la production des oscillations. Mais il convient maintenant d'ajouter que cette résistance est *suffisamment forte* pour freiner les électrons, pour amortir les oscillations. On comprend par suite qu'après avoir abaissé D en *b* (*fig.* 31), l'énergie localisée dans le condensateur (2) pendant la connexion avec le secteur (commutateur D en *a*) déclenchera un *train* d'oscillations amorties et que,

---

(1) Précisons quelque peu, en l'occurrence, la notion de résistance électrique (assez accessoire en radioélectricité, alors qu'elle domine le chauffage électrique et l'éclairage par incandescence).

Lorsque, dans une substance solide (ou liquide) soumise à une certaine tension, toute l'énergie électrique dépensée se retrouve en chaleur, on dit qu'il s'agit d'une résistance *pure* ou encore d'une résistance *morte*. (La bobine de la figure 16 satisferait à cette condition, si ses spires étaient *étirées* en ligne droite, sur 225 cm.) La valeur (en ohms) de la résistance est d'autant plus considérable que, soumise à une tension (§ **6**) plus haute, elle laisse passer un courant (§ **6**) plus minime : un ohm (1 Ω) est la résistance d'un fil qui est parcouru par un courant de 1 A, lorsqu'on lui applique une tension de 1 V. Enfin, pour deux fils de même substance, la résistance électrique varie en raison directe de la longueur et en raison inverse de la section (loi d'Ohm).

La « loi d'Ohm » — que des générations de techniciens appliquent machinalement sans même connaître sa signification réelle — consiste en cela : quand on branche un certain fil (de self-inductance négligeable) sur une tension continue progressivement croissante, le courant, qui traverse le fil, augmente proportionnellement. L'interprétation électronique est immédiate : plus est grande (*fig.* 9) la différence entre les nombres d'électrons sur deux plaques en regard, plus il y aura d'électrons qui se faufileront, en une seconde, entre les atomes métalliques du fil de jonction. Tout cela fait comprendre pourquoi — dans le cas simple d'une résistance morte — on évite des répétitions oiseuses en évoquant : tantôt la tension appliquée aux deux bouts de fil, et tantôt le courant électrique dont ce fil est le siège (puisque tension et courant sont *alors* deux façons équivalentes de parler).

Il convient d'ajouter que le passage d'un courant (dans les substances solides et liquides) est **toujours** accompagné d'un dégagement de chaleur. Dans les cas, fort nombreux, où il apparaît *autre chose* (phénomènes d'électrolyse, d'induction, etc.), la résistance électrique correspond à ce qui est dissipé (beaucoup, peu ou prou) sous forme d'échauffement.

(2) Si nous avons glissé sur le point de vue énergétique au cours du présent chapitre, c'est pour le traiter en détail au chapitre suivant.

quand tout sera fini, cette énergie initiale se sera transformée en chaleur dans les spires de la bobine (1).

La figure 33 précise l'allure du phénomène. Au début, le courant maximum est 0 A 037 (2). Mais cette amplitude décroît rapidement. Après 100 périodes (3), c'est-à-dire au bout de deux secondes, elle n'est plus que la moitié de sa valeur (environ 0 A 018), et elle devient complètement

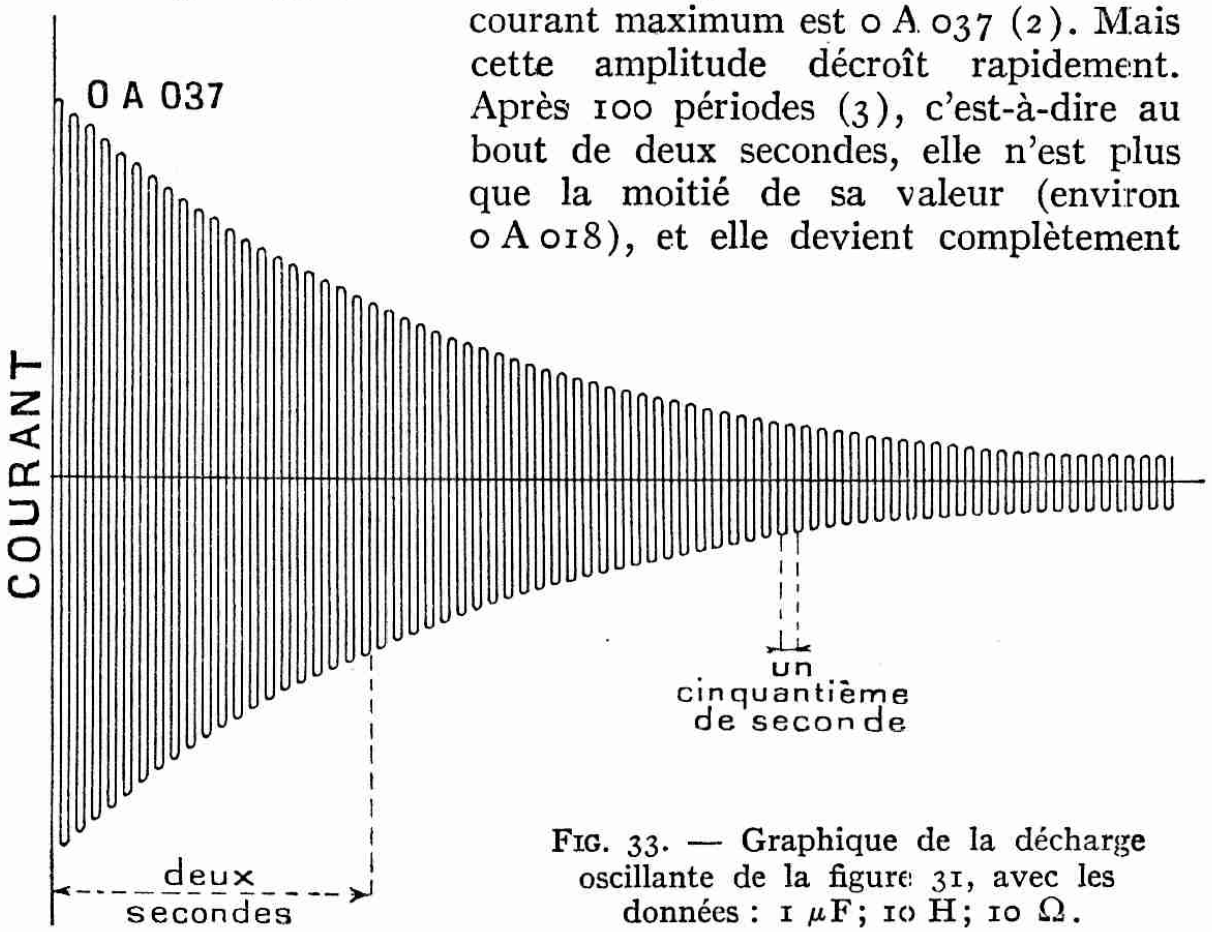


FIG. 33. — Graphique de la décharge oscillante de la figure 31, avec les données : 1 μF ; 10 H ; 10 Ω.

négligeable lorsque cinq ou dix (4) secondes se sont écoulées (le « train » ne comporte que quelques centaines d'oscillations, qui vont « en mourant »).

Les oscillations amorties ont été travaillées à fond à l'âge héroïque de la radiotechnique; elles convenaient (comme on s'en doute) pour envoyer des signaux, pour faire de la radiotélégraphie. Mais la radiodiffusion — et la télévision — auraient

---

(1) Par suite de la conservation de l'énergie, il se dégagerait la *même* chaleur en décharge *non* oscillante, si le circuit était composé du même condensateur et d'une bobine 10 H-10 000 Ω par exemple.

(2) Et non 0 A 05, ainsi qu'on pourrait le croire à la légère (d'après § **12, I**). C'était bien 0 A 05 pour la tension maximum (163 V) du secteur alternatif dit à « 115 volts ». Mais la tension du secteur continu (*fig.* 31) *est* 115 V, et l'intensité doit être réduite dans le même rapport.

(3) Le format de cet ouvrage nous oblige à en dessiner beaucoup moins...

(4) Selon la sensibilité des appareils de mesure.

été irréalisables, si l'on n'avait pas découvert un procédé commode d'obtention d'oscillations *entretenues,* c'est-à-dire conservant une amplitude constante. C'est ce que le chapitre IV nous enseignera.

15. *Filtre passe-bande.* — En dépit de notre désir de pénétrer le plus tôt possible dans le « sans-fil » proprement dit, il nous faut préparer l'avenir, en donnant dès maintenant des idées succinctes, mais précises, sur des problèmes pratiques qui se présentent à chaque instant et qui ne se comprennent bien qu'après avoir acquis certaines vues d'ensemble.

Le mot « filtre », qui fait partie du jargon de la radiotechnique, ne doit pas prêter à confusion. Vulgairement parlant, de l'eau filtrée est, en principe, une eau trouble qui a été débarrassée (par son passage à travers de la terre poreuse du « papier-filtre », un tampon de coton,...) des solides impalpables, qu'elle contenait en suspension. Bien entendu, en radio, il n'est plus question de tout cela; on a *élargi* le mot « filtre » en lui attribuant la signification (plus générale) de : dispositif permettant de séparer le « bon » du « mauvais », permettant de garder « ce qui intéresse » en sacrifiant « ce dont on n'a que faire » (ou plutôt « ce qu'il serait gênant » de conserver).

En principe, un filtre est un *trieur de fréquences.* Et l'on se trouve en face d'un cas général (1°) et de deux cas particuliers (2° et 3°) :

1° On est en présence de deux fréquences suffisamment différentes, et l'on cherche à se débarrasser de l'une d'entre elles : on y parvient par le « filtre passe-bande » (1) ; nous allons nous en occuper tout de suite;

2° L'une des fréquences est nulle (2), et on cherche à

---

(1) L'origine de ce mot provient de ce que ce n'est pas *une seule* fréquence (disons : 160 kc) qui « passe », mais toute une succession de fréquences voisines (par exemple, comprises entre les « frontières » de 150 kc et de 170 kc) ou, comme on dit, toute une *bande* de fréquences.

Le filtrage est aigu (ou encore sélectif) pour les nombres de nos tableaux (*fig.* 29 et 30), mais il l'est souvent beaucoup moins.

(2) Il faut ici *faire bien attention*, si l'on ne veut pas perdre tout contact avec la réalité... Dire qu'une fréquence est nulle revient à affirmer que la tension (ou le courant) s'annule *zéro fois par seconde.* Par exemple, une tension *continue* de 115 volts peut être considérée comme une « tension alternative », qui conserverait indéfiniment sa valeur maximum. On voit donc clairement que la « période » d'un courant continu est « infinie » ou bien que sa fréquence est nulle (c'est *la plus basse* de toutes les fréquences possibles).

la garder en supprimant l'autre. Comme c'est la plus basse des deux fréquences qui nous intéresse en la circonstance, on parle ici de « filtre passe-bas » (§ **16**) ;

3° L'une des fréquences est nulle (1), et on se propose de l'éliminer en conservant l'autre. Puisque c'est la plus haute des deux fréquences qui nous importe maintenant, il s'agit, cette fois-ci, de « filtre passe-haut » (§ **16**).

Le filtre passe-bande concerne le *b a ba* de la radio, car tout le monde sait qu'un amateur est continuellement amené à choisir entre deux émissions (lesquelles s'effectuent sur des fréquences différentes) : il a alors décidé d'écouter l'une de ces émissions, sans être dérangé par l'autre (ou par les autres, qui fonctionnent simultanément).

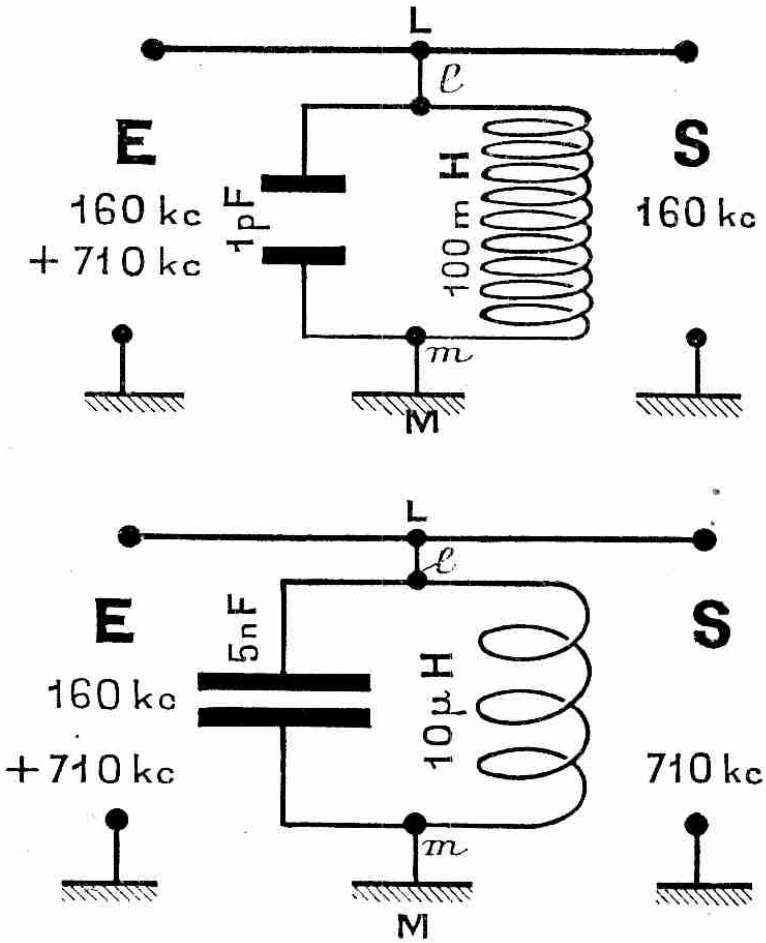


FIG. 34-35. — Principe du filtre passe-bande (ou filtre de bande).
En haut (*fig.* 34), élimination de 160 kc et conservation de 710 kc. En bas (*fig.* 35), élimination de 710 kc et conservation de 160 kc.

Le lecteur concevra immédiatement que la solution nous est fournie par le circuit antirésonnant — ou circuit-bouchon — (§ **13**). Traitons quand même, en détail, un cas particulier ; nous aurons ainsi une occasion de nous familiariser avec le tableau de la figure 32.

Supposons que nous ayons un mélange des deux fréquences : 160 kc et 710 kc (la première est écrite sept fois sur ledit tableau, et la deuxième y est écrite douze fois ; ce qui montre

(1) Se reporter à la note (2) de la page précédente.

que nous n'aurons que l' « embarras du choix », et que nous pourrons faire appel aux appareils — condensateur et bobine — les plus simples ou les plus commodes à construire). Les montages sont donnés par les deux figures 34 et 35 (1).

I. Nous avons en **E** (à l'« entrée ») le mélange des deux fréquences précédentes (*fig.* 34), et nous voulons, en **S** (à la « sortie »), n'avoir plus que 160 kc (2). Il nous faut favoriser cette dernière au détriment de l'autre (710 kc), ce qui est réalisé (*fig.* 32) notamment par un circuit antirésonnant, formé par un condensateur de 1 pF et par une bobine de 100 mH (3).

II. Nous avons en **E** (à l'« entrée ») le mélange des deux fréquences précédentes (*fig.* 35), et nous voulons, en **S** (à la « sortie »), n'avoir plus que 710 kc (2). Il nous faut favoriser cette dernière au détriment de l'autre (160 kc), ce qui est réalisé (*fig.* 32) notamment par un circuit antirésonnant, formé par un condensateur de 5 nF et par une bobine de 10 μH (4).

Dans l'une et l'autre de ces « cellules », la fréquence que l'on

---

(1) Indiquons, en passant, que, chaque fois qu'on a affaire à deux bornes **E** d'entrée et à deux bornes **S** de sortie, l'ensemble de l'appareil prend le nom de *quadripôle.*

(2) Disons une bonne fois que tous les points reliés à la Terre — ou à la masse — (comme ici le point M et les deux bornes inférieures de **E** et de **S**) doivent être considérés comme confondus, comme coexistants.

(3) On se rappelle (§ **13**) que, pour une fréquence de 50 c, l'intensité qui parvient au circuit (1 μF; 10 H) est nulle, quelle que soit la tension. De même, dans le cas présent, pour la fréquence de 160 kc, le courant qui traverse les portions L*l* et M*m* (bornes du circuit : 1 pF; 100 mH), est nul pour n'importe quelle tension. La fréquence de 160 kc se retrouve donc intégralement aux bornes **S** de sortie (tout se passe, *pour cette fréquence*, comme si le circuit était coupé entre *l* et *m*). Mais il n'en est pas de même pour l'autre fréquence, qui se trouve affaiblie par la présence du circuit antirésonnant (*fig.* 34).

Dans le cas où la sélection ne serait pas suffisante du premier coup, on disposerait plusieurs « cellules » (comme celle de la figure 34) les unes à la suite des autres.

(4) On se rappelle (§ **13**) que, pour une fréquence de 50 c, l'intensité qui parvient au circuit (1 μF; 10 H) est nulle, quelle que soit la tension. De même, dans le cas présent, pour la fréquence de 710 kc, le courant qui traverse les portions L*l* et M*m* (bornes du circuit : 5nF; 10 μH), est nul pour n'importe quelle tension. La fréquence de 710 kc se retrouve donc intégralement aux bornes **S** de sortie (tout se passe, *pour cette fréquence*, comme si le circuit était coupé entre *l* et *m*). Mais il n'en est pas de même pour l'autre fréquence, qui se trouve affaiblie par la présence du circuit antirésonnant (*fig.* 35).

Dans le cas où la sélection ne serait pas suffisante du premier coup, on disposerait plusieurs « cellules » (comme celle de la figure 35) les unes à la suite des autres.

désire conserver (ou « accrocher ») n'est pas sensiblement affaiblie par le circuit antirésonnant correspondant. Spécifions que ces notions sont *essentielles pour la suite :* elles exigent une compréhension parfaite des faits fondamentaux qui font l'objet du paragraphe **13.**

16. ***Les deux autres filtres.*** — Si le filtre passe-bande peut être élucidé dans ses grandes lignes par des considérations élémentaires (§ **15**), il n'en est plus de même pour les deux autres types de filtres (§ **15,** 2° et 3°), dont la théorie a posé des questions fort délicates et fort complexes d'électrotechnique : les phénomènes ne peuvent être exactement décrits que par des calculs, sinon difficiles, du moins fort longs, et nous devrons nous borner, en l'occurrence, à en décrire les résultats, non sans fixer les idées par des « raisons de sentiment », pourrait-on dire.

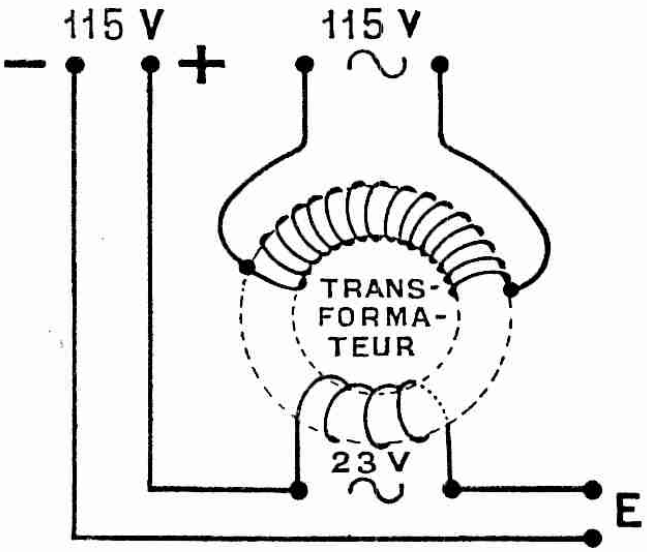


FIG. 36. — Montage réalisant une tension ondulée, par superposition de « 23 volts » alternatifs à 115 volts continus. (Ce montage est uniquement destiné à faciliter l'explication des filtres « passe-bas » et « passe-haut ».)

Expliquons d'abord de quoi il s'agit. Ce qui — on en conviendra — est une bonne précaution, trop rarement prise en ce genre de choses.

A ce propos, nous allons forger de toutes pièces un cas particulier, sans aucune espèce d'intérêt pratique, mais qui offre l'inappréciable avantage de fixer les idées, de « parler aux yeux ».

Nous supposerons (*fig.* 36) que nous disposons, côte à côte, des *deux* secteurs à 115 volts : le 115 volts continu et le « 115 volts » alternatif (à 50 cycles). Par une complication (en réalité simplifiante), nous réduirons dans le rapport de cinq à un la tension alternative au moyen d'un transformateur (1) : la tension aux bornes du secondaire sera donc « 23 volts », c'est-à-dire

(1) Dont le rapport de transformation (§ **11**, fin) est un cinquième (cinq fois moins de spires au secondaire qu'au primaire).

qu'elle variera entre — 33 volts et + 33 volts (§ **7**, avant-dernière note). Ceci posé, nous disposerons cette tension alternative *en série* avec le secteur continu à 115 volts, ce qui nous fournira nos bornes **E** d'entrée, du moins celles dont nous allons nous occuper jusqu'à la fin du présent paragraphe.

La figure 37 (à gauche) donne le graphique de la « tension ondulée », qui se produit quand, à une tension continue de 115

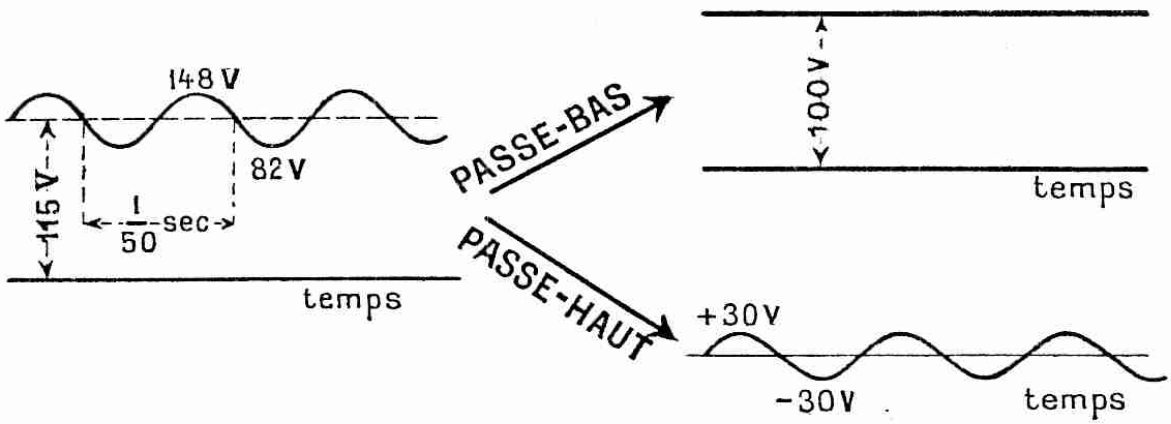


FIG. 37. — Objet des filtres passe-bas et passe-haut.
Dans le passage de la gauche à la droite (et en haut), on transforme la tension ondulée en tension continue.
Dans le passage de la gauche à la droite (et en bas), on transforme la tension ondulée en tension alternative.

volts, on superpose une tension alternative oscillant entre — 33 volts et + 33 volts. Il est manifeste que cette tension ondulée variera entre — 82 volts et + 148 volts.

Ce que nous nous proposons maintenant, c'est d'*isoler*, dans la tension ondulée, soit la « composante continue », soit la « composante alternative » (1), ce qui ne se réalise à nouveau (§ **15**) qu'en sacrifiant celle dont on ne veut pas :

P-B (filtre passe-bas) : on garde la plus basse fréquence (ici : la fréquence nulle). C'est le passage de la figure 37 (à gauche) à la figure 37 (à droite et en haut), laquelle montre la présence d'une tension continue de 100 volts, par exemple (2) ;

(1) Mais, surtout, qu'on n'aille pas nous dire : « Si c'était pour les séparer ensuite, pourquoi diable s'être évertué à d'abord les mélanger? » Répétons que notre exemple (*fig.* 36) est schématique, mais qu'il est indispensable à examiner pour comprendre *ce qui se passe dans la pratique*, quand — par malheur et très fréquemment — les deux composantes sont spontanément mélangées. Nous dirons plus tard, bien entendu, dans quelles circonstances ce regrettable mélange se produit.

(2) La transformation ne se fait qu'en y « laissant des plumes » : le rendement d'un filtre n'est pas 100 p. 100.

P-H (filtre passe-haut) : on garde la plus haute fréquence (ici : 50 cycles). C'est le passage de la figure 37 (à gauche) à la figure 37 (à droite et en bas), laquelle montre la présence d'une tension alternative variant entre + 30 volts et — 30 volts, par exemple (1).

Il ne reste plus qu'à expliquer comment on opère. Le fil directeur consiste en ceci : « passe-bas » et « passe-haut » sont des

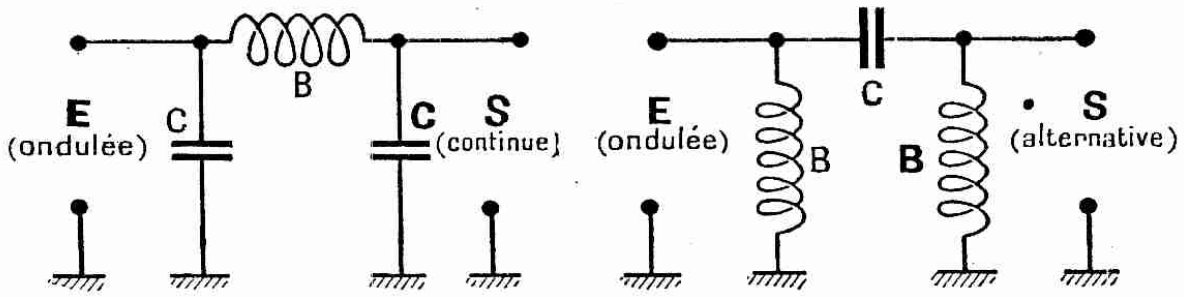


FIG. 38 et 39. — Cellules en Π.

Dans le passe-bas (*fig.* 38), la bobine B est en série, et les condensateurs C, **C** sont en dérivation.

Dans le passe-haut (*fig.* 39), le condensateur C est en série, et les bobines B, **B** sont en dérivation.

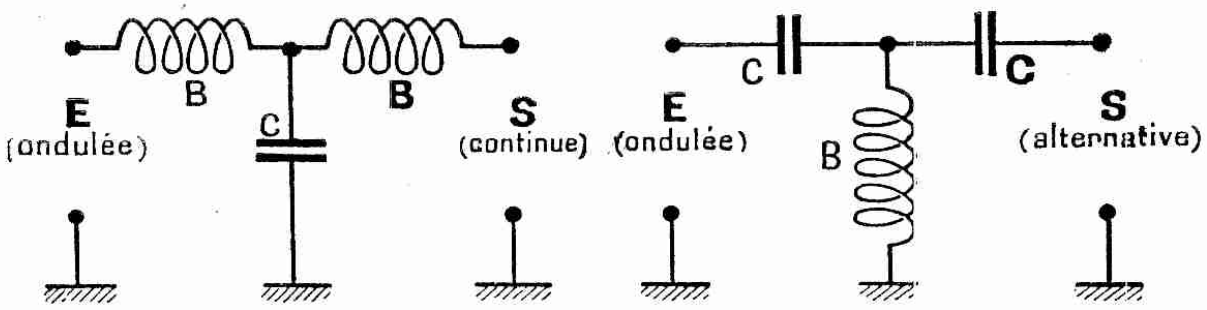


FIG. 40 et 41. — Cellules en T.

Dans le passe-bas (*fig.* 40), les bobines B, **B** sont en série, et le condensateur C est en dérivation.

Dans le passe-haut (*fig.* 41), les condensateurs C, **C** sont en série, et la bobine B est en dérivation.

montages parfaitement symétriques; quand on veut transformer un passe-bas en passe-haut, on remplace tous les condensateurs par des bobines et, inversement, toutes les bobines par des condensateurs. D'après la forme même des « schémas » de montage, on distingue :

I. Les cellules en Π (en « pi ») des figures 38 et 39. Dans la première, la bobine B et les deux condensateurs C, **C** (avec leurs fils de connexion) ont la forme d'un Π;

(1) Se reporter à la note (2) de la page précédente.

il en est de même pour le condensateur C et les deux bobines B, **B** de la deuxième figure.

II. Les cellules en T (en « té ») des figures 40 et 41. Dans la première, les deux bobines B, **B** et le condensateur C (avec leurs fils de connexion) présentent la forme d'un T; il en va pareillement pour les condensateurs C, **C** et la bobine B de la deuxième figure.

Nous avons promis de réduire les explications au minimum. Aussi nous occuperons-nous surtout de ce qui se produit dans les portions horizontales supérieures de ces quatre figures.

1° Raisonnons d'abord sur la figure 38 (1) et reprenons, pour fixer les idées, la bobine 10 H-10 Ω, qui nous a constamment servi au paragraphe **14.** En courant continu, sa résistance électrique est, bien entendu, 10 ohms. Mais, en courant alternatif, la résistance *apparente* est incomparablement plus grande : elle dépasse ici 3 000 ohms (2). On conçoit, sans plus, que ce qui passera à travers B (*fig.* 38), ce sera à peu près exclusivement (3) la « composante continue » (4).

2° Raisonnons maintenant sur la figure 39 (5) et reprenons, pour fixer les idées, notre condensateur habituel de 1 μF (dont la résistance électrique — due aux propriétés extrêmement isolantes du mica — est de l'ordre de 60 MΩ [soixante millions d'ohms]). C'est cette dernière résistance qui s'opposera au passage du courant continu. Mais, en courant alternatif (6), la résistance *apparente* est incomparablement plus faible : elle se situe autour de 3 000 Ω (7). Les conditions

---

(1) La figure 40 donnerait lieu à des considérations analogues.

(2) Elle est ici à peu près six fois le produit de la fréquence (50 cycles) par la self-inductance (10 henrys).

(3) Le filtrage est accru du fait que — comme nous le dirons en 2° — la présence des condensateurs C, **C** favorise la fuite (dans la Terre) de la « composante alternative ».

(4) Si le filtrage était jugé insuffisant, on pourrait disposer plusieurs cellules les unes à la suite des autres.

(5) La figure 41 donnerait lieu à des considérations analogues.

(6) Et nous sommes tout préparés à ne pas nous en étonner (§ § **6** et **7**).

(7) On obtient son ordre de grandeur en prenant le sixième de l'inverse du produit de la fréquence (50 cycles) par la capacité (0 F 000001).

Le fait qu'on trouve 3 000 Ω les deux fois (en 1° et en 2°) tient à ce que, pour 50 cycles, il y a résonance (§ **12**) entre cette bobine et ce condensateur.

	hautes fréquences				fréquences musicales				continu
FRÉQUENCE → / SELF-INDUCTANCE ↓	100 Mc	10 Mc	1 Mc	100 kc	10 kc	1 kc	100 c	10 c	0 c
1 µH	600 Ω	60 Ω	6 Ω	600 mΩ	60 mΩ	6 mΩ	600 µΩ	60 µΩ	résistance supplémentaire nulle
10 µH	6 kΩ	600 Ω	60 Ω	6 Ω	600 mΩ	60 mΩ	6 mΩ	600 µΩ	
100 µH	60 kΩ	6 kΩ	600 Ω	60 Ω	6 Ω	600 mΩ	60 mΩ	6 mΩ	
1 mH	600 kΩ	60 kΩ	6 kΩ	600 Ω	60 Ω	6 Ω	600 mΩ	60 mΩ	
10 mH	6 MΩ	600 kΩ	60 kΩ	6 kΩ	600 Ω	60 Ω	6 Ω	600 mΩ	
100 mH	60 MΩ	6 MΩ	600 kΩ	60 kΩ	6 kΩ	600 Ω	60 Ω	6 Ω	
1 H	600 MΩ	60 MΩ	6 MΩ	600 kΩ	60 kΩ	6 kΩ	600 Ω	60 Ω	
10 H	6 GΩ	600 MΩ	60 MΩ	6 MΩ	600 kΩ	60 kΩ	6 kΩ	600 Ω	

FIG. 42. — Ordres de grandeur des résistances introduites par une bobine (ne s'opposant pratiquement pas au passage du courant continu).

sont donc exactement inverses de celles du cas précédent : ce qui passera à travers C (*fig.* 39), ce sera à peu près exclusivement (1) la « composante alternative » (2).

Les tableaux des figures 42 et 43 donnent une première idée de la façon dont les hautes fréquences sont avantagées par les petites inductances et par les grandes capacités, et récipro-

(1) Le filtrage est accru du fait que — comme nous l'avons dit en 1° — la présence des bobines B, **B** favorise la fuite (dans la Terre) de la « composante continue ».

(2) Voir note (4), p. 81.

	hautes fréquences				fréquences musicales				continu
FRÉQUENCE → / CAPACITÉ ↓	100 Mc	10 Mc	1 Mc	100 kc	10 kc	1 kc	100 c	10 c	0 c
1 pF	2 kΩ	20 kΩ	200 kΩ	2 MΩ	20 MΩ	200 MΩ	2 GΩ	20 GΩ	le courant ne passe pas
10 pF	200 Ω	2 kΩ	20 kΩ	200 kΩ	2 MΩ	20 MΩ	200 MΩ	2 GΩ	
100 pF	20 Ω	200 Ω	2 kΩ	20 kΩ	200 kΩ	2 MΩ	20 MΩ	200 MΩ	
1 nF	2 Ω	20 Ω	200 Ω	2 kΩ	20 kΩ	200 kΩ	2 MΩ	20 MΩ	
10 nF	200 mΩ	2 Ω	20 Ω	200 Ω	2 kΩ	20 kΩ	200 kΩ	2 MΩ	
100 nF	20 mΩ	200 mΩ	2 Ω	20 Ω	200 Ω	2 kΩ	20 kΩ	200 kΩ	
1 µF	2 mΩ	20 mΩ	200 mΩ	2 Ω	20 Ω	200 Ω	2 kΩ	20 kΩ	
10 µF	200 µΩ	2 mΩ	20 mΩ	200 mΩ	2 Ω	20 Ω	200 Ω	2 kΩ	

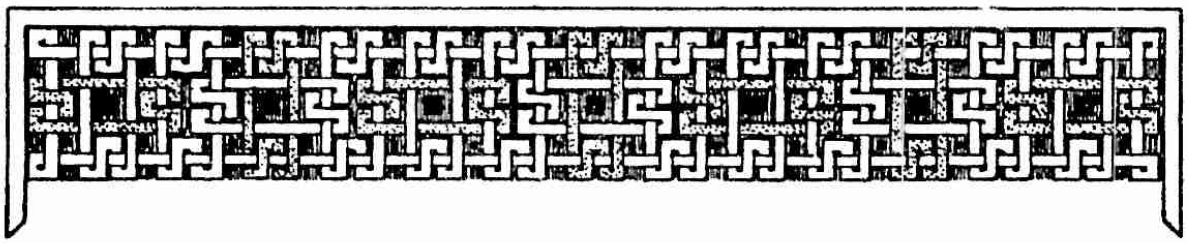
FIG. 43. — Ordres de grandeur des résistances introduites par un condensateur (empêchant pratiquement tout passage de courant continu).

quement (1). Dans la suite, nous aurons constamment recours à l'introduction de condensateurs (*fig.* 43) pour « bloquer » un courant continu sans affaiblir exagérément le courant de haute fréquence qui lui était associé.

Telles sont les idées sommaires qu'il faut avoir sur les filtres électriques : nous les retrouverons à propos de l'alimentation par les réseaux de distribution, tant des stations d'émission que de certains postes d'usagers (postes-secteur).

---

(1) On nomme « impédance » une portion quelconque de circuit formée de condensateurs, de bobines et de résistances ordinaires.



Chapitre III

CE QU'IL Y A DANS LE SANS-FIL

17. ***La localisation de l'énergie.*** **—** Tout le monde a entendu dire que Paris n'a pas été bâti en un jour.

Le lecteur, impatient de *savoir* ce qui se produit dans son poste de radio, devra être persuadé que, jusqu'ici, nous n'avons fait qu'effleurer la question, qui sera reprise et approfondie dans la suite. En d'autres termes, nous n'avons fait que construire les fondations, dans ce préambule (1) à toute radioélectricité présente et future.

Et même — nous n'en avons jamais douté —, ce préambule est incomplet : chacun soupçonne qu'il s'établit une communication « mystérieuse » entre la station d'émission et le poste récepteur d'un quelconque usager. Il y a donc **quelque chose** qui se transmet de l'une à l'autre. Mais, pour que ce « quelque chose » chemine à travers les libres espaces, il faut bien — à moins d'admettre l'hypothèse absurde d'une génération spontanée en route — que ledit « quelque chose » existe, préfabriqué, au départ.

Ne jouons pas plus longtemps à cache-cache : le « quelque chose » en question est de l'énergie.

J'ai raconté ailleurs (2) que l'on emploie *couramment* six unités distinctes d'énergie, réductibles les unes aux autres. Et il

---

(1) Ce préambule a été assez long, parce qu'il résume ce qu'il ne faut pas perdre de vue en électricité usuelle.

(2) *La Mécanique du visible et de l'invisible*, p. 344, Larousse.

ne peut pas en être autrement si l'on veut serrer l'expérience de près, puisque l'énergie revêt *des formes* incroyablement disparates (mécanique, calorifique, électrique et tant d'autres). Pour rester aussi près que possible du concret, nous nous en tiendrons ici à l'unité usuelle en électricité, et nous ne parlerons que du watt-heure (W-h), qui est vendu au prix fort par l'Electricité de France, à raison de 20 francs (environ) le mille (1). Un watt-heure (W-h) vaut donc à peu près 2 centimes la pièce, mais comme il sera encore bien grand pour l'usage que nous en ferons, nous recourrons (quand le besoin s'en fera sentir) aux :

milliwatt-heure (mW-h), qui en est le millième,
microwatt-heure (μW-h), — millionième,
nanowatt-heure (nW-h), — milliardième,
picowatt-heure (pW-h), — { millionième de millionième, millième de milliardième.

Ce qui importe tout d'abord, c'est de *faire le point* et d'expliquer où va se nicher cette énergie dans les deux principaux appareils de radioélectricité : le condensateur et la bobine.

18. *L'énergie du condensateur sous tension.* — Reprenons les choses dès le début et portons d'abord notre attention sur le picofarad (à épaisseur d'air ou de vide) de la figure 8.

On se souvient des données numériques : deux plateaux métalliques, de 6 cm de côté et distants de 3 cm ; lorsqu'on leur applique la tension du secteur continu (115 V), l'armature négative possède (*fig.* 9) un milliard quatre cents millions d'électrons de plus que l'armature positive.

Ce condensateur sous tension (ce condensateur « chargé ») contient incontestablement de l'énergie, car, si l'on réunit ses deux armatures par un fil conducteur, ce dernier s'échauffera. Etant donné qu'il n'est pas question (pour une multitude de raisons) de contester la validité de la conservation de l'énergie, il faut *de toute nécessité* que, avant la décharge, l'énergie ait été *dans* le condensateur, c'est-à-dire dans l'ensemble formé par les

(1) Dans une installation domestique branchée sur un secteur à 115 volts (continus ou alternatifs, peu importe), le passage constant d'un ampère pendant une heure représente, au total, une consommation d'énergie de 115 W-h (cas d'une grosse lampe électrique). A bord d'une auto, dont la batterie d'accus a une tension de 8 volts, le même courant ne consommerait que 8 W-h.

deux armatures **et** par la couche isolante (d'air ou de vide).

Si l'on s'en tenait au bon sens, la réponse ne serait pas douteuse : puisque, dirait-on (à tort), il n'y a que les lames qui sont modifiées (électrisées), l'énergie est « évidemment » *sur* les faces en regard. Cette présomption, toute naturelle, fut démontrée inepte (contraire aux faits) par Faraday, et cette histoire ne date pas d'hier, puisqu'il aurait été raisonnable d'en célébrer, en 1946, le centenaire, en tant que premier encouragement à une possibilité des communications par T. S. F.

Dès 1846, donc, Faraday a posé ce résultat (1), à savoir que l'énergie d'un condensateur est localisée dans l'isolant (2), que ce soit du mica, de l'air **ou même du vide.** Nous touchons du doigt un nouveau méfait du bon sens, de l'esprit concret, par lequel l'homme de la rue se laisse hypnotiser, s'interdisant par là même la compréhension du réel en général et de la radioélectricité en particulier. Au lieu d'entasser, dans les cervelles enfantines, une ribambelle de détails futiles, il faudrait les habituer, notamment, à comprendre que le vide n'a rien d'un objet comme les autres : qu'un vide chaud n'est pas la même chose qu'un vide froid; qu'un vide où s'exerce un champ (donc où se localise de l'énergie) est fort différent d'un vide où le champ (partant l'énergie) est négligeable. Entre le vide intercalaire d'un condensateur non chargé et le vide intercalaire d'un condensateur sous tension, il existe une dissemblance aussi notable qu'entre un litre vide (3) et un litre de vin...

L'énergie, emmagasinée dans les 108 cm^3 d'air (ou de vide) du picofarad (*fig.* 8) et à laquelle convient le nom d'*énergie électrique*, est inimaginablement faible; elle vaut environ 2 picowatts-heure.

---

(1) Que *personne*, depuis, n'a sérieusement contesté.

(2) Voici un raisonnement très simple, en vue de suggérer qu'il en est bien ainsi.

Considérons, dans le vide, nos deux plateaux, préalablement chargés sous 115 volts et *isolés* ensuite (les électrons n'auront alors aucune tendance à se déplacer). L'écartement étant primitivement 3 cm, nous allons exercer un effort pour éloigner les armatures davantage, disons pour doubler l'écartement. Le travail dépensé dans cette opération se retrouve dans une *plus grande* énergie du condensateur (il est aisé de vérifier que cette énergie a effectivement doublé). Or, les plateaux n'ont pu éprouver **aucune espèce de changement.** La seule grandeur qui ait doublé simultanément, c'est **le volume du vide** intercalaire. C'est, par suite, à cet « accaparement » de vide qu'il faut attribuer l'accroissement d'énergie.

(3) Sans jeu de mots, car *vide* signifie, en l'espèce, plein d'air.

Au surplus, elle est uniformément répartie (1) dans le volume et correspond donc à un peu moins de 17 millièmes de picowatt-heure par cm^3 (2). Pour un même isolant, cette « densité de l'énergie » ne dépend que de la valeur du champ électrique (3) autour du point considéré.

Pour ne pas nous confiner dans ces phénomènes lilliputiens, passons au cas extrême, parmi ceux que nous avons passés en revue au paragraphe précédent : le microfarad à isolant de mica (*fig.* 15), où le volume de mica (§ **8**) est :

$$1\ m^2\ 4 \times 0\ mm\ 1 = 140\ cm^3$$

(soit du même ordre de grandeur que le volume d'air du picofarad de la figure 8).

a) S'il *pouvait* résister à la tension maximum (52 000 V) du tableau de la figure 29, il contiendrait une énergie de 0 W-h 4 et la densité de l'énergie dans l'isolant atteindrait 3 mW-h par cm^3. De si grandes valeurs correspondent — nous le savons — à des conditions de loin irréalisables;

b) Pour la tension (2 000 V) à laquelle il est raisonnable de soumettre ce microfarad, on trouve 550 μW-h, pour l'énergie localisée, et 4 μW-h par cm^3 pour la densité de l'énergie dans le mica;

c) Enfin, quand on le branche sur le secteur continu (à 115 V) comme sur la figure 31 (commutateur D en *a*), ces nombres tombent respectivement à 2 μW-h (4) et à un peu plus d'un centième de μW-h par cm^3.

---

(1) En négligeant, comme d'habitude (p. 42, note 2), les perturbations dues aux *bords* des plateaux.

(2) C'est ce que l'on appelle (par analogie avec le sens ordinaire du mot « densité ») la densité de l'énergie dans l'isolant (mica, air ou vide).

(3) Nous nous souvenons (§ **5**) que le champ électrique a été exprimé en volts par centimètre. Spécifions que, quand le champ électrique double, la densité de l'énergie quadruple : celle-ci varie comme le *carré* du champ (ce qui est en accord avec le fait que deux champs électriques, égaux et de sens contraire, correspondent à la même énergie).

(4) En prenant un exemple plus directement accessible, la décharge complète de ce condensateur (qu'elle soit oscillante ou non) ne fournit, comme chaleur dégagée, que de quoi élever d'un degré la température d'un milligramme et demi d'eau. (On conçoit que les postes récepteurs de radio n'exigent qu'une consommation d'électricité infiniment plus faible que le fonctionnement d'un radiateur électrique...)

19. *L'énergie de la bobine traversée par un courant.* — Notre présente préoccupation va consister à nous occuper de la bobine (5 μH) des figures 16 et 17 sous le même angle que le condensateur (1 pF) des figures 7 et 8.

Le volume intérieur (en air, en « vide » ou en fer) est maintenant — par hasard — de 71 cm³, au lieu des 108 cm³ de tout à l'heure. Pour le moment, nous supposons que c'est de l'air (ou du vide, ce qui — répétons-le une fois de plus — revient pratiquement au même). Frappé par les analogies constantes, que nous ne nous lassons pas de rappeler, entre les condensateurs et les bobines, le lecteur devinera que cet espace, qui est maintenant le siège d'un champ magnétique (§ **9**), contiendra à nouveau de l'énergie et que, cette fois-ci, ce sera de l'*énergie magnétique* (elle aussi, bien entendu, exprimable en watts-heure).

Le champ magnétique (0 gauss 2), créé par la bobine (*fig.* 17) parcourue par 65 mA, est le même en tous les points du cylindre intérieur. On conçoit donc que l'énergie soit également la même partout; le calcul (1) montre que cette énergie magnétique est environ quinze fois plus grande que l'énergie électrique de tout à l'heure, soit 30 picowatts-heure. Il s'ensuit que la densité de l'énergie magnétique y est d'environ 4 dixièmes de picowatt-heure par cm³ (2).

Comme ci-dessus, on obtiendrait des valeurs des milliards de fois plus considérables avec des self-inductances d'un ordre de dix henrys et des courants (16 A) comme celui des cinquièmes lignes (*fig.* 29 et 30); nous aurons l'occasion d'y revenir (§ **20**).

Il est extrêmement important d'avoir compris une fois pour toutes d'où provient cette énergie emmagasinée dans le milieu intérieur de la bobine.

Raisonnons sur la bobine (10 H-10 Ω), dont il a été longuement question au chapitre précédent (à partir du paragraphe

---

(1) Nous pouvons préciser de quoi dépendent : l'énergie électrique d'un condensateur, l'énergie magnétique d'une bobine, l'énergie dissipée en chaleur dans un fil. Sans parler des difficultés inhérentes aux unités employées, il faut faire respectivement intervenir les produits :

capacité × carré de la tension,
self-inductance × carré du courant,
résistance × carré du courant × durée.

(2) Comme précédemment (p. 87, note 3), spécifions que, quand le champ magnétique double, la densité de l'énergie quadruple : celle-ci varie comme le *carré* du champ (ce qui est en accord avec le fait que deux champs magnétiques, égaux et de sens contraire, correspondent à la même énergie).

12, II). Supposons que nous la branchions directement sur le secteur *continu* à 115 volts. A l'état de régime, le courant débité s'obtient en divisant la tension (115 V) par la résistance (10 Ω), ce qui donne 11 A 5. Mais il faut bien noter une différence :

1° Avec notre gros radiateur (de 1 300 watts), dont il a été question (§ **12**), l'intensité est également 11 A 5. Mais, comme la self-inductance d'un radiateur est pratiquement nulle, le courant y prend immédiatement sa valeur normale « à l'instant zéro », c'est-à-dire à l'instant même où l'on ferme l'interrupteur.

2° Au contraire, dans le cas de la bobine (10 H-10 Ω), le courant exige une certaine durée pour atteindre son régime définitif. Avec les nombres ci-dessus, on constate qu'au bout de cinq secondes, le courant sera 11 A 4 et, au bout de sept secondes, 11 A 49 : la durée d'établissement est donc de l'ordre de cinq ou sept secondes (1).

Le lecteur voit clairement ce qui s'en déduit : le courant étant plus faible pendant les premières secondes (en 2°), le dégagement de chaleur l'est aussi, et c'est ce déficit qui se retrouve, sous forme d'énergie magnétique, dans le milieu (fer, air ou vide) intérieur de la bobine. Ainsi se précise, du même coup, la corrélation qui existe entre cette localisation d'énergie (2) et le retard du courant sur la tension (3).

Au cours de toute la durée où le courant restera constant, le radiateur (en 1°) et la bobine (2°) ne se distingueront en rien, en ce qui concerne la consommation d'énergie électrique. Pendant une heure, par exemple, l'un des appareils aussi bien que l'autre aura consommé 1 300 W-h (dépense de 10 fr au tarif le plus avantageux), et la bobine aura chauffé tout autant que le radiateur. D'où la conséquence essentielle : le *maintien* d'un

---

(1) Selon la sensibilité des appareils de mesure. Pour fixer les idées, considérons une lampe à incandescence (convenablement choisie) *en série* soit avec le radiateur, soit avec la bobine (lampe + radiateur ou lampe + bobine étant connectés sur 115 volts continus). Dans le premier cas, la lampe prend rapidement sa brillance. Dans le second, elle s'allume lentement (on parle alors d'« extracourant de fermeture »).

(2) Qui vaut ici presque deux watts-heure.

(3) En employant le secteur alternatif, le courant ne pourra jamais « rattraper » ce retard, car, bien avant les 5 ou 7 secondes (et effectivement au bout d'une alternance : un centième de seconde, pour la fréquence de 50 cycles), la tension se sera inversée (§ **8**, **II**). Il apparaît donc bien que le courant se met à la « poursuite » indéfinie de la tension, comme le montre la comparaison des figures 18 et 19.

champ magnétique est gratuit (1) ; seule, la *création* du champ magnétique *coûte*.

On serait tenté d'affirmer (par raison de symétrie) que la *destruction* (suppression, annulation) du champ magnétique *rapporte*. Et le plus curieux, dans l'affaire, c'est qu'on aurait raison...

a) Avec le radiateur, la coupure du circuit a pour effet de supprimer instantanément le courant.

b) Avec la bobine, le courant exige une certaine durée pour atteindre son annulation. On constate (toujours avec les mêmes nombres qu'en 2°) qu'au bout de cinq secondes, le courant sera o A 1 et, au bout de sept secondes, o A 01. Il y a ainsi parfaite symétrie entre le stade de fermeture et le stade de rupture (2). En bref, on retrouve à la rupture tout ce qui a été, à la fermeture, emmagasiné dans le fer, dans l'air ou dans le vide.

Cette dernière remarque est également valable pour le courant alternatif. Expliquons-le sur la figure 19, où le « cinquantième de seconde » comporte deux alternances (ou demi-périodes) successives et où l'effet de la résistance a été explicitement négligé (aucun échauffement notable). Le courant, qui oscille entre + o A 5 et — o A 5, n'aura d'autre objet que de créer et de détruire un champ magnétique (dans un sens, puis dans l'autre) ; il ne consommera aucune énergie (3), puisque la dépense (à la création) fournit une ristourne égale (à la suppression).

20. *Echanges d'énergie dans un circuit oscillant.* — Nous commençons à apercevoir le bout des compléments énergétiques, qu'il était indispensable d'adjoindre au chapitre II.

Il nous faut reprendre l'expérience de la figure 31 (§ **14**)

---

(1) Plus exactement : est gratuit *par lui-même*. Car il faut toujours payer l'indispensable chauffage concomitant. On réduirait les frais en diminuant la résistance, tout en gardant la même inductance (ce qui permettrait de stocker la même énergie, en faisant passer le même courant).

(2) L'énergie magnétique emmagasinée dans la bobine donne lieu à ce *prolongement* du courant (« extracourant de rupture »), dont il faut se méfier à cause notamment des fortes étincelles (ou des arcs électriques) qui se produisent entre les lames opposées de l'interrupteur, au moment où on les écarte.

(3) On ne consomme rien, mais on ne récupère rien non plus. A rapprocher de la quatrième note du paragraphe **13**, où il est question de courant « déwatté » (de courant *sans* watts).

dans sa deuxième phase : celle où le commutateur D *vient d'être* abaissé en *b* : il se produit des oscillations électroniques, suivant le graphique de la figure 33. Ces oscillations sont, certes, amorties (1), mais, comme il en faut 100 d'entre elles pour que l'amplitude devienne moitié moindre, on admettra avec une bonne approximation qu'elles se produisent, identiquement à elles-mêmes, cinq ou dix fois.

Indiquons entre parenthèses (car ces précisions nous seront indispensables) la constitution approximative de la bobine 10 H-10 Ω. Elle aura, par exemple, la taille de celle qui a été dessinée précédemment (*fig.* 16 et 17) : son fil (isolé) aura 0 mm 4 de diamètre; on enroulera 1 000 spires (en cinq ou six couches), le diamètre moyen sera 3 cm, la longueur restera 10 cm et, bien entendu, le noyau sera en fer doux. Les fils de jonction (de longueur négligeable et également en cuivre) auront, eux aussi, un diamètre de 0 mm 4 (deux fois plus minces que les fils de sonnerie).

Cela posé, le mécanisme du début de la décharge oscillante (du condensateur de 1 μF dans la bobine 10 H-10 Ω) est représenté par les six graphiques des figures 44-49. Le lecteur s'y retrouvera aisément, grâce à nos explications préliminaires.

1° La figure 44 donne les variations de la tension aux bornes du condensateur. Le nombre porté sur le graphique a été redonné à la deuxième note du paragraphe **14.** Naturellement, à la place de ce nombre, on pourrait porter le nombre 115 et se figurer que la courbe représente des volts (nous savons que les deux locutions sont équivalentes).

2° La figure 47 donne les variations de la vitesse de chaque électron dans la bobine (et dans les fils de jonction) : il est bien entendu qu'il s'agit là du *supplément* de vitesse, par rapport à celle (inutile de préciser ici) dont est animé l'électron en l'absence de phénomène électrique dans le métal. On pourrait remplacer le nombre 30 par le nombre 0, 037 du paragraphe **14** et se figurer que la courbe représente des ampères qui « passent » dans le circuit (encore une équivalence). On retrouve le

(1) Et il n'est pas encore question, pour le moment, de décrire la façon dont on les entretient.

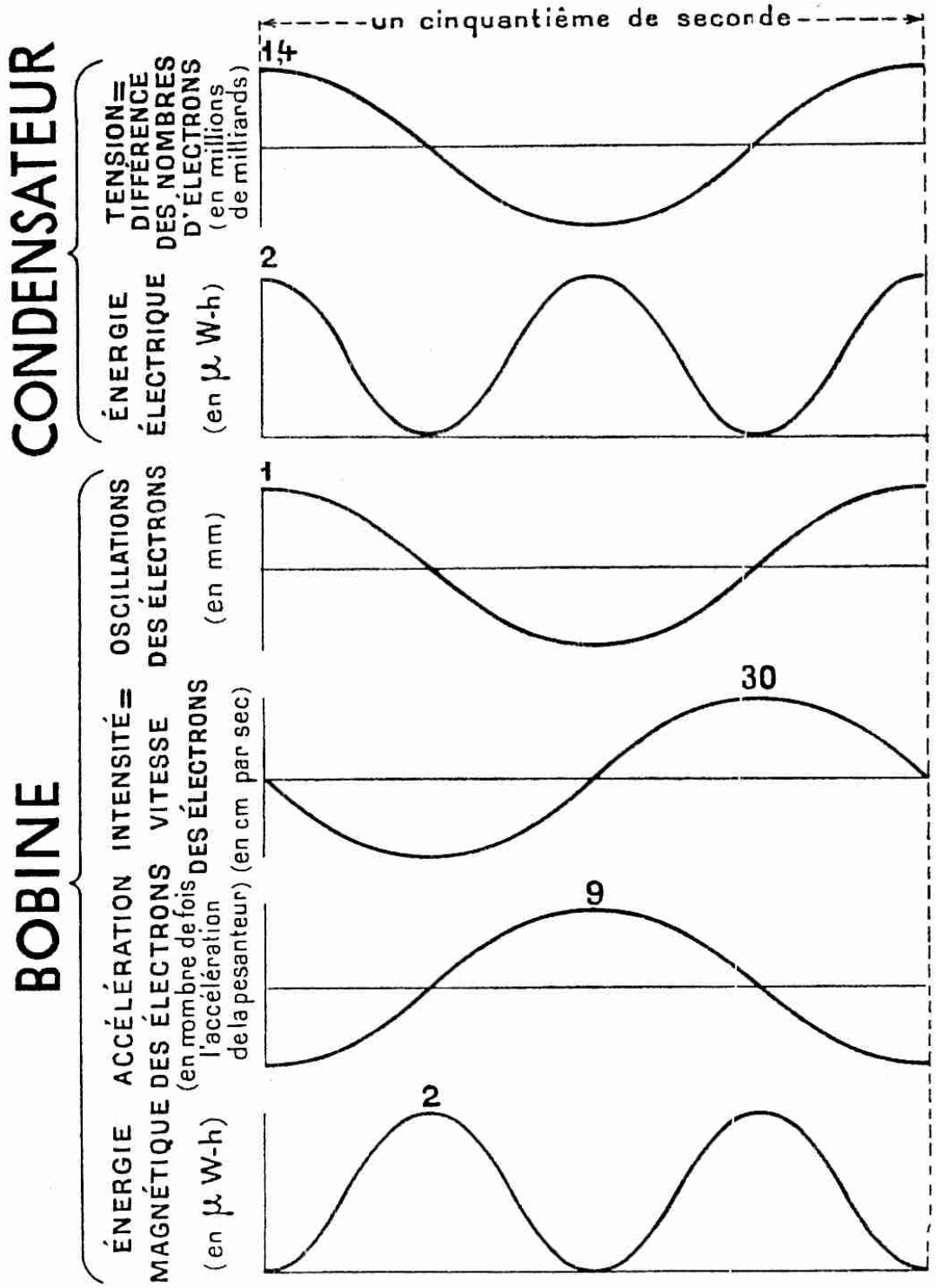


FIG. 44-49. — Ce qui se passe réellement dans la décharge oscillante (fig. 31).

Les courbes expérimentales sont : les variations de la tension aux bornes du condensateur (*fig.* 44) et les variations du courant dans la bobine (*fig.* 47). A partir de cette dernière, les lois de la mécanique permettent de trouver les déplacements oscillatoires (*fig.* 46) et les accélérations des électrons (*fig.* 48).

Les deux autres graphiques (*fig.* 45 et 49) sont relatifs aux énergies, lesquelles varient deux fois plus vite que les quatre autres grandeurs. Si, à chaque instant, on totalise l'énergie électrique du condensateur et l'énergie magnétique de la bobine, on constate que cette somme est constante (et égale ici à 2 microwatts-heure).

fait (§ **12, II**) que le courant est en quadrature en retard avec la tension (1).

Les deux derniers graphiques (*fig.* 45 et 49) ne présentent pas — bien au contraire — un moindre intérêt. Nous avions calculé (§ **18**) la valeur (2 μW-h) de l'énergie emmagasinée par 1 μF soumis à la tension de 115 volts continus : dès que le commutateur D est en *b* (*fig.* 31), cette énergie (*fig.* 45) diminue, devient nulle, puis réaugmente, reprend sa valeur initiale (2 μW-h) après un *centième* de seconde (2), et ainsi de suite. De son côté, la figure 39 montre bien que, au début, l'énergie emmagasinée par la bobine est nulle (puisqu'il n'y a alors ni courant ni — par suite — champ magnétique); puis cette énergie croît jusqu'à 2 μW-h, décroît, s'annule (après un *centième* de seconde), et ainsi de suite. *L'une et l'autre* de ces énergies ont des valeurs moyennes de 1 μW-h (chacune), comme on s'en convainc par les examens des figures 45 et 49.

Au point de vue énergétique, le circuit oscillant effectue une espèce de « balancement » (3) entre les énergies électrique et magnétique : d'abord électrique (dans le condensateur), cette énergie devient magnétique (dans la bobine) un deux-centième de seconde plus tard. L'énergie reste d'ailleurs constante au cours du temps (4), comme il est facile de le vérifier en faisant,

---

(1) Les deux autres courbes similaires (*fig.* 46 et 48) s'obtiennent à partir de celle de la figure 47, étant donné que l'électron effectue un « mouvement pendulaire », formellement analogue à celui de la boule B'' de la figure 11 : l'amplitude de l'oscillation électronique est 1 mm longitudinalement (elle vaut deux fois et demie le diamètre du fil); cette oscillation est en phase avec la tension;
l'accélération de chaque électron, lorsqu'elle est maximum, atteint neuf fois celle d'un objet tombant en chute libre (nous verrons que l'accélération des électrons rend, seule, possibles les télécommunications).

(2) La période de variation de l'énergie électrique est donc deux fois plus courte que celles de la tension ou du courant (la fréquence, 100 cycles, est le double de la fréquence propre). Ce fait est dû à la relation de proportionnalité de l'énergie au *carré* de la tension (§ **19**, première note).

(3) Il y a là une analogie formelle (une identité d'expressions mathématiques) avec les échanges d'énergie dans un pendule oscillant (par exemple : la boule B'', *fig.* 11) : l'énergie est potentielle (en réserve), quand la boule (immobile) est à l'extrémité de sa course, et l'énergie est cinétique (de mouvement), lorsque la boule a acquis son maximum de vitesse, en franchissant la position verticale. C'est manifestement à l'énergie potentielle que correspond l'énergie électrique (perturbation dans la répartition des électrons), et à l'énergie cinétique que correspond l'énergie magnétique (vitesse d'oscillation des électrons).

(4) Si l'on fait abstraction — répétons-le — de l'amortissement (§ **14**).

à un instant quelconque, la somme des longueurs des verticales des deux graphiques (*fig.* 45 et 49).

Ainsi s'établit, par les oscillations électroniques du circuit, cette collaboration, cette « symbiose » d'un condensateur et d'une bobine, à laquelle nous nous préparons depuis le début du chapitre II et qui est le fil directeur de la radioélectricité tout entière.

Il est temps de signaler les inconvénients du circuit oscillant de la figure 31 :

> D'une part, la tension et la fréquence sont trop basses;
> D'autre part, les champs restent localisés à l'intérieur du montage : le champ électrique entre les plateaux du condensateur, le champ magnétique à l'intérieur des spires de la bobine. Rien ou presque ne s'échappe vers l'extérieur. Et il faut bien qu'il s'échappe quelque chose pour que l'on puisse parler de télécommunications.

Il importe, par suite, de remplacer le circuit oscillant *fermé* par un circuit oscillant *ouvert :* il se trouve que les explications sont parfaitement intuitives en décrivant l'oscillateur de Hertz (1888), qui est, pour ainsi dire, le premier ancêtre des modernes stations d'émission.

21. ***L'oscillateur à éclateur.*** — Pour avoir une haute tension, il suffit de recourir à l'appareil, bien connu, qu'on nomme « bobine d'induction » et qui n'est pas autre chose qu'un transformateur survolteur, dont nous avons fait comprendre le principe dans la deuxième moitié du paragraphe **11.**

Pour avoir une haute fréquence, il suffit d'opérer dans le coin N.-O. du tableau de la figure 32. Ce qui nous ramène à nos picofarads (§ **8**) et à nos microhenrys (§ **10**), que nous avions pris comme points de départ. Par surcroît, le passage du « fermé » à l'« ouvert » va s'effectuer en quelque sorte automatiquement.

1° Une sphère métallique (disons : de 10 cm de diamètre) peut être assimilée à une armature de condensateur (l'autre armature étant constituée par les parois de la pièce où l'on opère ou par la surface du sol, si l'on travaille en plein air). La théorie et l'expérience confirment qu'une telle sphère (à un mètre ou plus des parois ou du sol) possède une capacité de 5 picofarads.

2° Une tige métallique (disons : de 2 m de long) est

comparable à une portion de spire, détachée d'une bobine dont le diamètre serait très grand (par exemple : 100 m). On connaît l'ordre de grandeur de la self-inductance (de cette tige), que l'on peut évaluer à 2 dixièmes de microhenry.

Tels sont les principes qui furent mis en pratique par Heinrich Hertz, lorsqu'il imagina — guidé par les conceptions de Faraday et de Maxwell (1) — l'*oscillateur*, que la figure 50 représente au vingtième de sa grandeur. On y observe deux sphères S et **S**, de 10 cm de diamètre (2); elles sont reliées par la tige métallique T**T**, longue de 2 m. Comme la haute tension (produite par le secondaire d'une « bobine d'induction ») ne saurait être mise en court-circuit, Hertz ménageait, au milieu, une coupure de longueur variable, bien délimitée par deux petites boules B**B** (diamètre : 1 cm); cette coupure est appelée « éclateur », parce que, dans la couche d'air, il jaillit une étincelle oscillante (3).

L'oscillateur (circuit oscillant ouvert), dans son fonctionnement, ne diffère pas essentiellement du circuit oscillant (fermé) de la figure 31. Mais sa fréquence propre est incomparablement plus haute. En possession de nos données (5 pF et 0 μH 2), nous n'avons qu'à consulter le tableau de la figure 32, lequel nous fournit (4) la valeur :

160 mégacycles,

---

(1) Cette découverte eût été impossible, à l'époque (1888), par un expérimentateur (aussi habile qu'on puisse l'imaginer) qui n'eût pas été doublé d'un mathématicien, rompu aux équations différentielles de la théorie électromagnétique de la lumière (Maxwell, 1865).

(2) Dans les conditions habituelles d'éloignement d'avec les murs, le plancher et le plafond du laboratoire, on peut admettre que la capacité de l'ensemble des *deux* sphères est très voisine de la valeur indiquée ci-dessus (en 1°).

(3) La présence de l'éclateur ne change ni la capacité ni la self-inductance du circuit. Elle ne fait qu'introduire une assez forte résistance électrique, ce qui produit un amortissement considérable (bien supérieur à celui dont la figure 33 nous donnait une idée). A cette restriction près, chaque étincelle correspond à une décharge (appelée « décharge disruptive »), à un train d'oscillations électroniques, dont la fréquence est précisément *la fréquence propre* (indiquée dans le texte quelques lignes plus bas).

(4) En fait, le tableau (où figure bien 5 pF) ne porte pas l'inductance 0 μH 2. Le résultat se trouve :

1° En considérant la deuxième rangée et en « interpolant » entre les première et deuxième colonnes;

2° En se souvenant de la remarque (p. 71, note 1) que capacité et inductance jouent le même rôle, et en remplaçant :

$$5 \times 0{,}2 \quad \text{par} \quad 10 \times 0{,}1,$$

ce qui donne *avec précision* la fréquence cherchée (à l'intersection de la troisième rangée et de la première colonne).

ce qui veut dire que, au moment de l'éclatement de l'étincelle, les électrons de la tige métallique effectuent 160 oscillations complètes (aller et retour) *en un millionième de seconde*. Devant

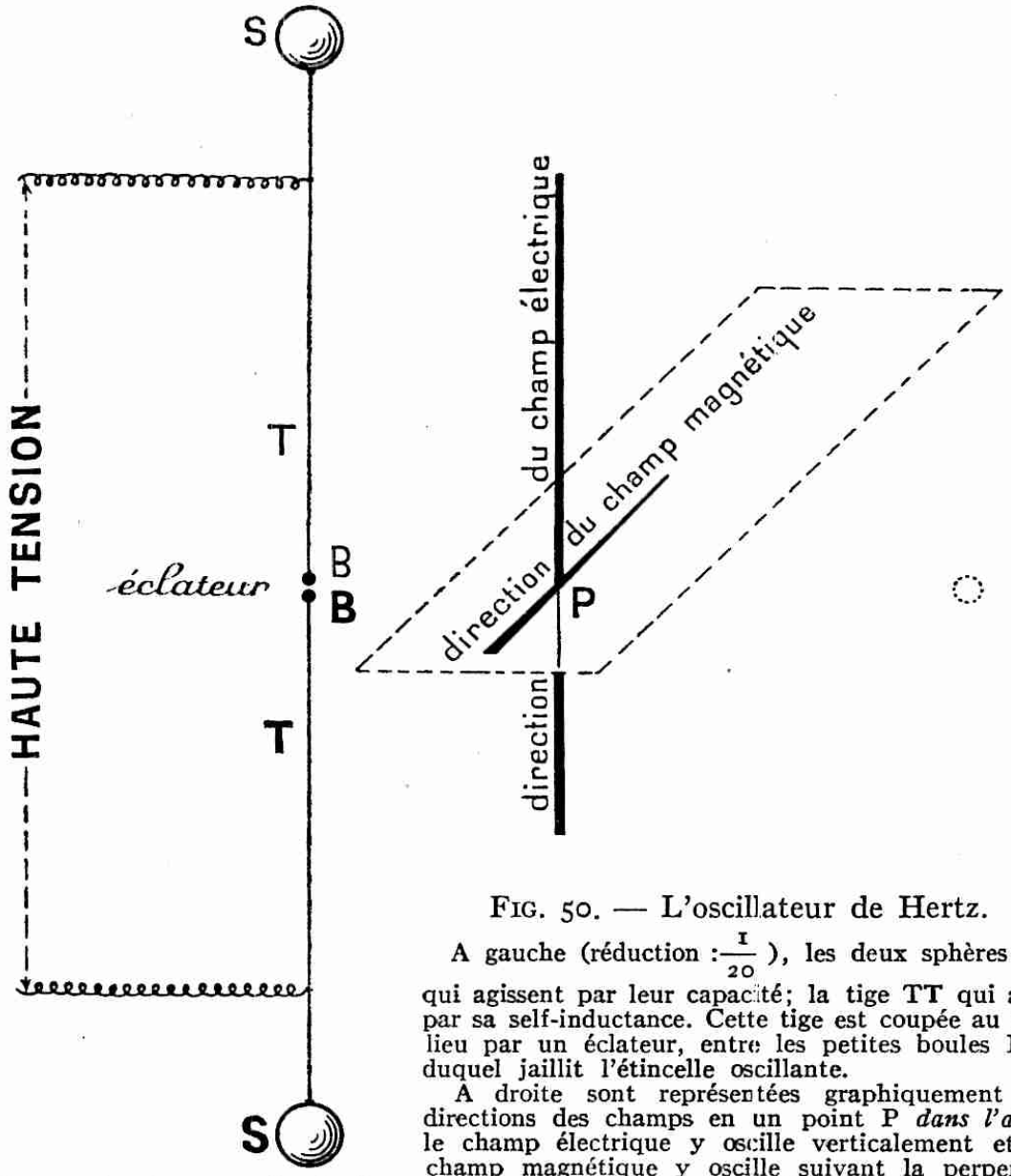


FIG. 50. — L'oscillateur de Hertz.

A gauche (réduction :$\frac{1}{20}$), les deux sphères SS qui agissent par leur capacité; la tige TT qui agit par sa self-inductance. Cette tige est coupée au milieu par un éclateur, entre les petites boules BB duquel jaillit l'étincelle oscillante.

A droite sont représentées graphiquement les directions des champs en un point P *dans l'air* : le champ électrique y oscille verticalement et le champ magnétique y oscille suivant la perpendiculaire menée, dans un plan horizontal, à la ligne droite qui joint le milieu de BB à P. (La signification de la petite circonférence en pointillé sera expliquée au paragraphe **23**.)

un tel résultat — si éloigné des faits et gestes du trantran quotidien —, il faut éviter les deux attitudes du scepticisme gouailleur et de la confiance ingénue. Le chapitre I (surtout) et les précédentes explications auront, je pense, préservé le lecteur de ce double écueil; au surplus, nous justifierons un peu plus loin (§ **23**) ce nombre, qui cesse d'être fantasmagorique pour tout

esprit qui aura réussi à se débarrasser de l'obsession du concret.

Ces idées générales ne doivent pas nous faire oublier que nous n'avons encore rien dit de la partie droite de la figure 50. Nous y considérons un point P, placé dans le plan horizontal qui passe par le milieu de l'éclateur B**B** :

I. Le point P se trouve entre les armatures S et **S** d'un condensateur. Nous savons (§ **5**) que le champ électrique (qu'il soit constant ou oscillant) est dirigé suivant la ligne idéale qui joint les armatures : il est donc vertical;

II. Le point P se trouve aussi au voisinage de la tige T**T**, laquelle est (comme on l'a dit) assimilable à une portion de spire de très grand diamètre. Or, dans la bobine de la figure 17, le champ magnétique était horizontal gauche-droite, alors que la partie arrière (par exemple) d'une des spires était verticale. La même disposition se reproduit ici; il s'ensuit que le champ magnétique, en P, est horizontal avant-arrière ou — ce qui revient au même — qu'il est dirigé suivant la perpendiculaire qui joint le point P au milieu de l'éclateur B**B**.

En résumé, nous avons à considérer un trièdre trirectangle (1) idéal formé par :

1° La distance du point considéré à l'oscillateur (ici : horizontale gauche-droite);

2° La direction du champ électrique (ici : verticale);

3° La direction du champ magnétique (ici : horizontale avant-arrière).

C'est là un point important à retenir, car ce trièdre trirectangle est à la base de la compréhension des rudiments de la radioélectricité, encore que tant de sans-filistes amateurs ne le soupçonnent aucunement...

22. *Le champ électromagnétique : fréquence et longueur d'onde.* — Quel que soit l'intérêt des oscillations électriques (2), ce n'était nullement par esprit sportif — donc

(1) Pour qui sait observer et réfléchir, le trièdre trirectangle est le type d'un *objet usuel :* un des coins d'une chambre, un des coins intérieurs ou extérieurs d'une boîte, un des quatre coins du dos d'un livre broché (neuf), ...

(2) Que nous savons aujourd'hui être des oscillations électroniques.

un peu puéril — que Heinrich Hertz, en 1888, s'efforçait d'obtenir des fréquences très élevées. Il était trop imprégné par la théorie électromagnétique de la lumière (de Maxwell) pour ne pas songer *avant tout* à réaliser, par des montages *électriques*, quelque chose d'analogue à ce que les hommes perçoivent comme lumière depuis des milliers de générations et qu'ils commençaient à comprendre avec Archimède, Newton, Huygens et Maxwell lui-même. Il s'agissait exclusivement, pour Hertz, de vérifier par l'expérience une théorie considérée par lui comme géniale et de rassembler, en une même synthèse cohérente, deux aspects disparates de la réalité : l'optique et l'électricité-magnétisme. Si Hertz n'avait pas existé ou s'il ne s'était pas trouvé un autre expérimentateur animé du même esprit scientifique, les gens adroits et enthousiastes auraient pu bricoler pendant des siècles, sans que l'humanité ait jamais assisté à la naissance de la radio...

En choisissant notre point P (*fig.* 50) sur l'horizontale passant par le milieu de B**B**, nous l'avons pris un peu au hasard. Il aurait pu être plus à gauche (jusques et y compris le milieu de B**B**) ou plus à droite, par exemple à une trentaine de mètres.

En chacun de ces points, il y aurait eu un champ électrique vertical et un champ magnétique horizontal avant-arrière. Il est bien certain qu'à très grande distance, ces champs seront moins intenses que tout près; mais c'est là une question accessoire pour le moment et sur laquelle nous aurons à revenir dans la suite. Au contraire, il se présente deux faits *vraiment essentiels,* qu'il est urgent de préciser :

I. En un point quelconque de notre horizontale (au point P ou ailleurs), les deux champs oscillent avec une fréquence de 160 mégacycles, et ils oscillent *en phase* (1) : quand le champ électrique a sa valeur

(1) Répondons à une objection que pourraient faire certains lecteurs particulièrement doués et attentifs, qui nous rappelleraient nos graphiques 44 et 47 :

« Le premier, diraient-ils, représente également (avec une échelle convenable) les variations du champ électrique, qui, se mesurant en volts par cm, est en phase avec la tension. Le deuxième, ajouteraient-ils, représente également (avec une échelle convenable) les variations du champ magnétique (en gauss), qui est en phase avec le courant (en ampères). Donc, concluraient-ils, le champ magnétique doit être en quadrature en arrière avec le champ électrique (et non

maximum, le champ magnétique l'a aussi; lorsque le champ électrique devient nul, le champ magnétique s'annule lui aussi, etc. C'est à cet ensemble *indissoluble* de deux champs perpendiculaires entre eux (de deux champs « jumeaux ») que l'on a attribué la dénomination de *champ électromagnétique* (1).

II. Le deuxième fait est encore plus fondamental, si possible. Il repose sur ce principe suggéré par l'ensemble de la science, à savoir qu'aucune influence ne se transmet instantanément (avec une vitesse « infinie », cet adjectif étant — strictement parlant — dénué de sens). Considérons alors deux points éloignés de 30 mètres : le point M milieu de B**B** et un point Q sur la droite (à 1 m 50 de l'autre, pour respecter l'échelle de la figure 50). L'étincelle jaillit au temps zéro. Après un quart de période (après le quart de $\frac{1}{160\,000\,000}$ seconde), les champs électrique et magnétique ont atteint en M leur valeur maximum; mais *il ne passe encore rien* en Q : les champs restent nuls et vont encore le rester quelque temps.

Pour évaluer cette durée, il faut recourir à la théorie électromagnétique de la lumière (Maxwell, 1865), que Hertz avait à cœur de vérifier expérimentalement et qui postule que le champ électromagnétique (2)

« *en phase* avec lui, comme il est affirmé dans le texte). »

Nous touchons ici du doigt l'imprécision inhérente au langage vulgaire, comparé à la rigueur des mathématiques. La difficulté provient de ce que les équations démontrent qu'il y a superposition de deux (et même trois) champs électriques et superposition de deux champs magnétiques. Ceux dont il s'agissait précédemment (*fig.* 44 et 47) sont localisés respectivement dans le condensateur et dans la bobine, et n'ont plus aucune action, dès qu'on s'éloigne de l'un ou de l'autre de ces appareils. Au contraire, les deux composantes (électrique et magnétique) du champ électromagnétique proviennent *toutes deux* de l'accélération de l'électron (*fig.* 48) — ainsi que nous y avons fait allusion (§ **20**, note) — et c'est pour cela qu'elles sont effectivement en phase. Le champ électromagnétique intervient seul dans les radiocommunications lointaines.

(1) Il nous faut ajouter que les deux composantes (électrique et magnétique) d'un champ électromagnétique sont équivalentes au point de vue de l'énergie qu'elles transportent; dans ces conditions (et comme il a été dit, § **9**, note), 1 gauss correspond à 300 volts par cm.

(2) Qu'il fasse partie intégrante d'un rayon lumineux, ou qu'il soit produit par un circuit oscillant (ici : l'oscillateur [*fig.* 50]).

chemine à raison de 300 000 kilomètres par seconde (1). La distance MQ sera donc franchie en un millionième de seconde : les champs électrique et magnétique en Q seront donc en retard d'un millionième de seconde sur les champs électrique et magnétique en M.

Nous sommes maintenant à même de répondre à une question qui reste mystérieuse aux yeux de bien des amateurs, même exercés : quelle est la plus courte distance entre deux points (sur l'horizontale MQ), qui sont tels que leurs champs électrique et magnétique oscillent en phase (maximums en même temps, nuls en même temps, minimums en même temps) ? Cette distance est manifestement le chemin parcouru dans la propagation au cours d'une période ($\frac{1}{160\,000\,000}$ seconde) ; et la réponse est fournie en écrivant que les espaces franchis sont proportionnels aux temps :

$$\frac{300\,000\,000 \text{ mètres}}{160\,000\,000} = 1 \text{ m } 875,$$

soit 2 mètres en chiffres ronds.

Cette distance s'appelle la *longueur d'onde* du rayonnement électromagnétique : elle est d'environ 2 m avec l'oscillateur de la figure 50. Le mot « rayonnement » est une abréviation pour « propagation des champs ». On parle également de :

rayonnement hertzien — ondes hertziennes — ondes électromagnétiques,

quatre locutions synonymes. La longueur d'onde est l'espace franchi par le rayonnement pendant une période ; ce rayonnement se propage de la même manière dans l'air *et dans le vide*.

---

(1) Spécifions, pour les sceptiques (s'il s'en trouve), que ce résultat est aussi certain et précis que la densité du mercure ou la température d'ébullition de l'alcool. La moyenne actuellement admise (dans le vide et, pratiquement, dans l'air) est :

299 774 km par sec,

avec une erreur probable de 1 km par sec en plus ou en moins. Une des méthodes les plus simples pour mesurer cette vitesse (Hippolyte Fizeau, 1849 ; voir *les Deux Infinis*, 7e éd., p. 62, Larousse) consiste à organiser une course entre un rayon lumineux (que l'on oblige à revenir à son point de départ après un trajet total de 30 km) et le bord d'une roue dentée, tournant à raison de 1 200 tours par minute.

La vitesse de propagation du champ électromagnétique a d'ailleurs été mesurée *directement*, et l'on a obtenu le même nombre (aux erreurs d'expérience près).

On ne comprend rien à la notion d'onde si l'on perd de vue que ce phénomène implique une double périodicité :

1° Périodicité dans le temps (en chaque point) : les

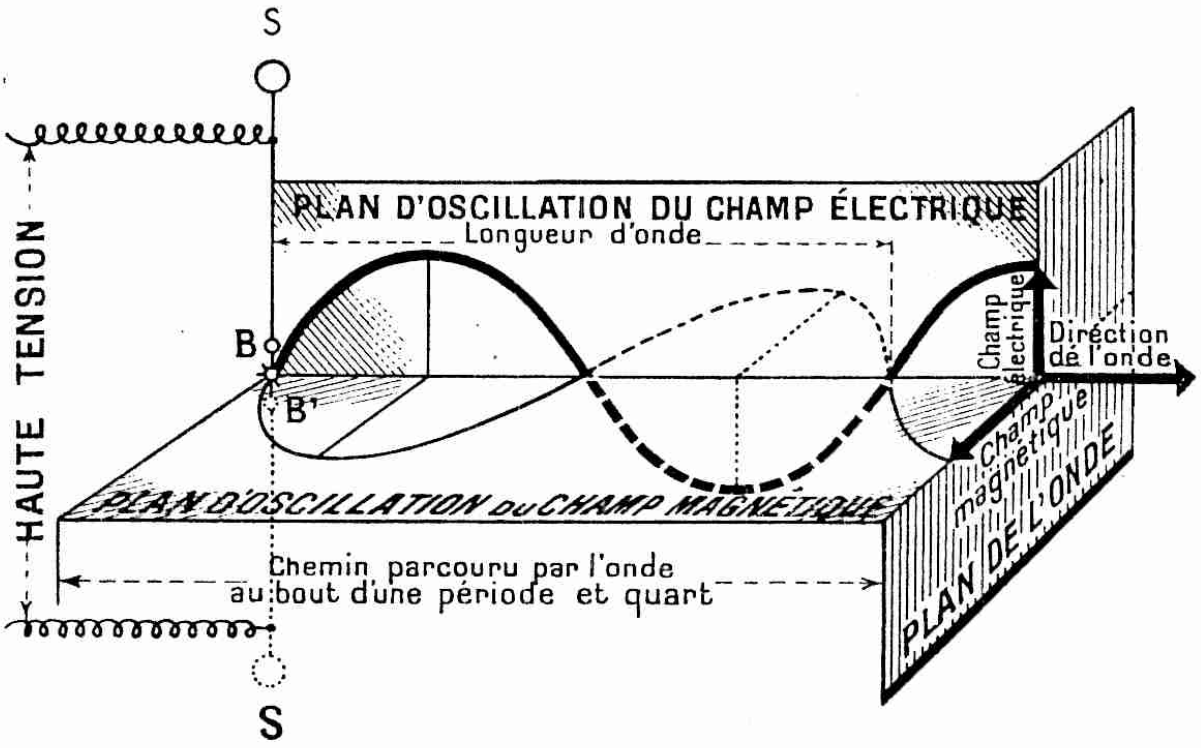


FIG. 51. — L'onde électromagnétique (échelle : $\frac{1}{40}$).

On a reproduit à gauche l'oscillateur de la figure 50. Le rayonnement se propage suivant la flèche; le « plan de l'onde » se déplace à raison de 300.000 km par seconde; à l'endroit où il est représenté (hachures verticales), les champs électrique et magnétique sont actuellement maximums; les valeurs de ces champs sont transcrites en longueurs arbitraires.

La courbe en trait gras indique les valeurs du champ électrique aux autres points (son oscillation a bien lieu suivant la verticale).

La courbe en trait fin indique les valeurs du champ magnétique aux autres points (son oscillation a bien lieu suivant une horizontale).

Le pointillé gras se rapporte aux parties situées au-dessous du plan horizontal; le pointillé fin, aux parties situées derrière le plan vertical.

champs (électrique et magnétique) effectuent une oscillation complète en une « période » (ici : $\frac{1}{160\,000\,000}$ seconde); la fréquence est 160 000 000 cycles ou 160 Mc;

2° Périodicité dans l'espace (à chaque instant) : la figure 51 représente, à l'échelle (1), la longueur d'onde (2 m) du rayonnement émis par l'oscillateur (*fig.* 50). On

(1) C'est une pure coïncidence que la longueur d'onde soit égale à la distance S**S**; il suffirait, par exemple, que les sphères S et **S** soient d'un diamètre différent pour que cela n'ait plus lieu.

retrouve le trièdre trirectangle (direction de l'onde-champ électrique-champ magnétique) de tout à l'heure.

Une onde hertzienne, c'est beaucoup plus compliqué que ce qu'on imagine parfois, quand on croit avoir tout dit en évoquant des « ronds dans l'eau » (1).

Chaque onde, chaque rayonnement est caractérisé **au choix** par sa fréquence ou par sa longueur d'onde : il faut, à chaque fois, passer d'une grandeur à l'autre, en refaisant (dans un sens ou dans l'autre) le petit calcul précédent. Pour faciliter les choses, nous avons dessiné un abaque très commode (*fig.* 52, 53 et 54), qui permet de trouver la correspondance *à vue* pour des fréquences comprises entre

1 cycle et 1 000 gigacycles,

ce qui correspond à des longueurs d'onde comprises entre :

1 000 km et 0 mm 3.

Une seconde d'attention permet de vérifier qu'une longueur d'onde de 2 m (exactement) correspond à une fréquence de 150 Mc et qu'une fréquence de 160 Mc correspond à une longueur d'onde de 1 m 875.

A titre d'exercice, reprenons les fréquences indiquées au paragraphe **14 :**

71 Mc ⟷ 4 m 23
300 kc ⟷ 1 km
2 Mc ⟷ 150 m.

Enfin on verrait (en tenant compte de la remarque donnée dans la légende de ces figures) que la fréquence (50 c) du secteur produit des ondes de 6 Mm (6 000 km).

23. *Le résonateur.* — Si Hertz n'avait fait qu'inventer

(1) Bien entendu, il se présente aussi une fréquence et une longueur d'onde dans les *ondes de gravité* qui courent à la surface d'une eau tranquille. Mais, abstraction faite de cette analogie formelle (analogie de formules mathématiques), il n'y a rien de commun entre le déplacement oscillatoire vertical d'une molécule d'eau et la variation de la valeur (respectivement en volts par cm et en gauss) d'un champ électrique ou d'un champ magnétique. Ces champs sont *les mêmes* que ceux qui ont été définis aux paragraphes **5** et **9**. Qu'on n'objecte pas qu'une boule de liège ou une aiguille de boussole leur sont insensibles ! (elles sont trop inertes pour cela, donc inadaptées en l'espèce). Il faut tout bonnement **d'autres** appareils : les postes récepteurs de radio ou, plus simplement, le résonateur de Hertz (§ **23**).

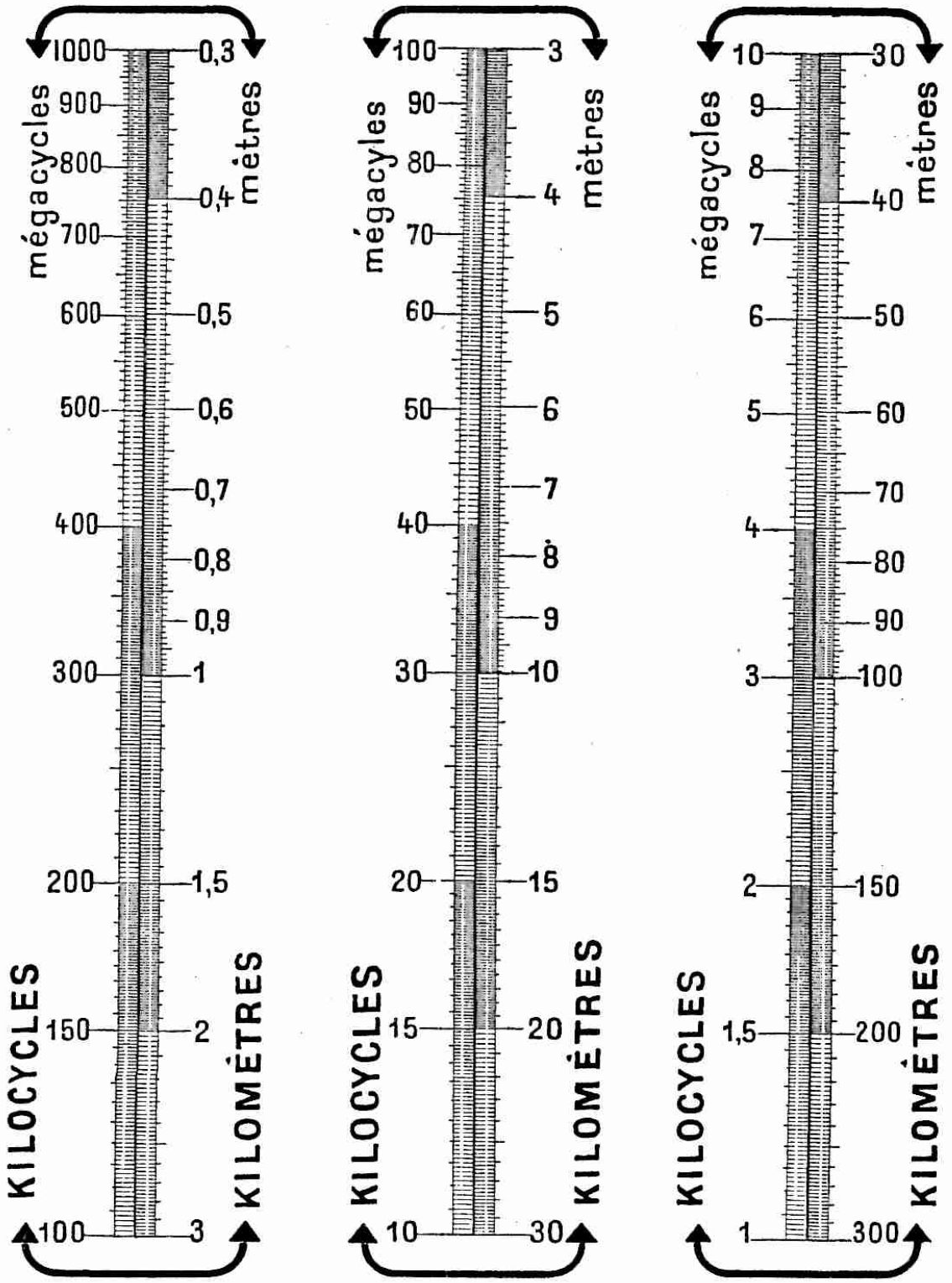


FIG. 52, 53 et 54. — Echelles de correspondance permettant de passer :
1° De toutes les fréquences (à gauche) à toutes les longueurs d'onde (à droite) ;
2° De toutes les longueurs d'onde (à droite) à toutes les fréquences (à gauche).

Il existe les mêmes correspondances entre :
gigacycles et millimètres, cycles et mégamètres.

l'oscillateur (1), nous lui serions redevables d'une simple manipulation à l'usage des laboratoires d'enseignement, puisque, trente ans plus tôt, Feddersen (§ **14**) avait étudié la décharge oscillante. Mais l'inestimable découverte de Hertz, c'est d'avoir prévu (d'après Maxwell) qu'il pouvait sortir quelque chose (de l'énergie) du circuit, d'imaginer le dispositif *ad hoc* (circuit « ouvert ») et surtout d'avoir décelé ce «quelque chose » au moyen de son *résonateur*.

Pour bien comprendre de quoi il s'agit, le mieux est de nous reporter au tableau de notre figure 32 et d'y chercher, dans le coin nord-ouest, les cases qui portent le nombre de 160 Mc :

.....	10 pF + 0 μH 1
0 pF 1 + 10 μH	100 pF + 0 μH 01
1 pF + 1 μH	.....

étant donné que (comme les figures 29 et 30 le suggèrent) il ne se produira de phénomènes observables que si l'organe récepteur est *en résonance* avec l'organe émetteur ou — suivant l'expression commune — que si les deux circuits sont « accordés ».

En 1888, Hertz employa le plus simple des circuits oscillants possibles (2), un circuit oscillant réduit à sa plus simple expression : un cerceau de gros fil de cuivre, où se trouve ménagée une coupure (*fig.* 55). La self-inductance (très faible, de l'ordre de grandeur des valeurs ci-dessus) est due à la spire unique; la capacité provient du condensateur (boule *b*-pointe *p*) et augmente quand on rapproche l'une de l'autre (par serrage de la vis *v*) ces minuscules armatures. On pourra donc aisément réaliser l'accord (la résonance), par tâtonnement, c'est-à-dire s'arranger pour que le résonateur ait lui-même une fréquence propre de 160 Mc.

Le résonateur fut employé par Hertz pour explorer l'espace qui se trouve à droite de l'oscillateur de la figure 50, *en le disposant* sur l'horizontale qui passe par le point P. Il est, en fait, représenté, *à l'échelle*, par la petite circonférence en pointillé. En donnant libre cours à leur bon sens, bien des lecteurs auraient deviné qu'il aurait fallu le disposer par la tranche (et non de

---

(1) Comme Branly, quand il a réinventé le cohéreur.
(2) Lequel n'a pas besoin d'être ouvert (puisqu'il n'a rien à émettre).

face, comme il est dessiné), en s'inspirant plus ou moins inconsciemment d'une analogie fallacieuse avec la vie de tous les jours (1). Il est d'ailleurs aisé de « rectifier » le tir, en se souvenant (*fig.* 17) que la direction du champ magnétique est perpendiculaire à la surface d'une spire : on doit donc placer le résonateur perpendiculairement à la direction horizontale avant-arrière du champ magnétique, telle qu'elle est représentée un peu à gauche sur cette même figure 50.

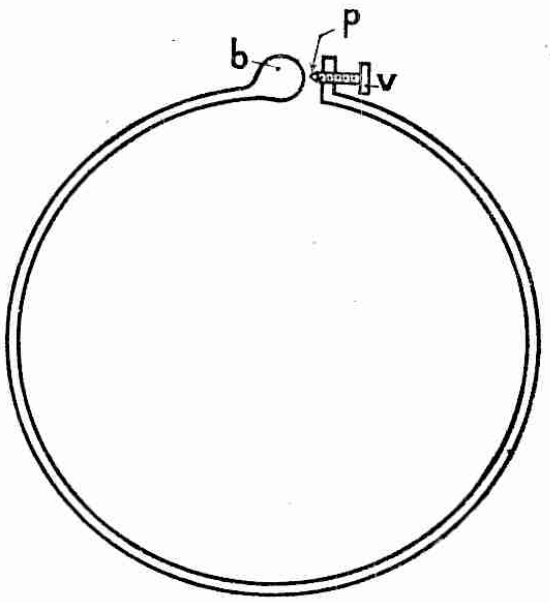


FIG. 55. — Le résonateur de Hertz (en vraie grandeur).

La coupure *bp* (de longueur réglable) est ménagée entre une boule *b* et la pointe *p* d'une vis *v*. Le passage d'un courant oscillant dans le résonateur se manifeste par des étincelles qui jaillissent à la coupure et qu'on examine à la loupe sur un fond de papier noir.

Une fois le résonateur convenablement disposé, on s'aperçoit que l'on est gêné par les murs de la pièce et qu'en opérant dans un large espace, l'appareil ne donne rien (par manque de sensibilité). Hertz songea immédiatement à renforcer les ondes libres ou ondes directes, qu'émet l'oscillateur, par les ondes réfléchies sur un miroir métallique (*fig.* 56). Supposons la distance totale égale à 6 m : en mettant le résonateur en l'un des cinq points numérotés, on constate que les étincelles qui jaillissent, entre *b* et *p* (*fig.* 55) sont les plus fortes, tandis qu'aux six points médians (*fig.* 56), il n'y a plus d'étincelles

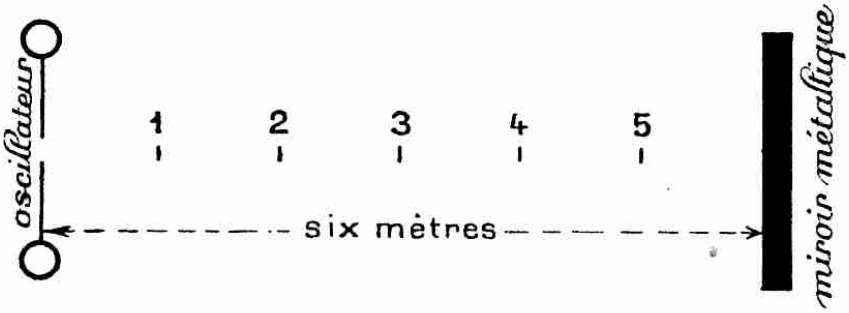


FIG. 56. — Expérience de Hertz (1888) pour la mesure de la longueur des ondes de T. S. F.

(1) Par exemple, chacun sait qu'il passera le maximum d'eau à travers un cerceau de bois, si on plonge celui-ci de telle sorte que son plan soit perpendiculaire au courant d'un fleuve. *Ici, c'est l'inverse :* cela prouve uniquement que la propagation d'un champ électromagnétique ***n'est pas*** un courant d'eau, que le résonateur de Hertz *n'est pas* un jouet d'enfant...

du tout. On démontre facilement (1) que la longueur d'onde du rayonnement hertzien est égale *au double* de la distance de deux points consécutifs, ce qui prouve — comme nous l'avions annoncé — que la longueur d'onde est 2 mètres (en chiffres ronds).

Il convient de revenir sur le nombre fantastique (160 Mc, soit 160 millions d'oscillations en une seconde) de tout à l'heure et de redire comment (2) Hertz l'a obtenu : il savait que l'onde franchit, à chaque seconde,

300 000 000 mètres

et que la longueur d'onde (mesurée expérimentalement) était

2 mètres;

comme cette dernière est, par définition, le chemin parcouru pendant la durée d'une oscillation, il se produit autant d'oscillations au cours d'une seconde qu'il y a de longueurs d'onde dans 300 000 km, ce qui redonne bien le « nombre fantastique » (160 millions ou, plutôt, 150 millions, par suite du fait que la valeur de la longueur d'onde n'était qu'approchée).

On commence maintenant à s'apercevoir que l'oscillateur de Hertz va devenir l'« antenne » de la station émettrice de radio et que le résonateur de Hertz va devenir le « cadre » du poste récepteur de l'usager. Avec Hertz, précédé par Faraday et par Maxwell, les fondements de la radioélectricité étaient établis; les idées théoriques (3) étaient acquises, et le reste était surtout affaire de perfectionnements techniques (4).

---

(1) L'ensemble oscillateur-miroir donne naissance à un système d'*ondes stationnaires*, formellement analogues à celles que l'on provoque quand on frappe une corde de piano ou quand on souffle dans une trompette. Les mêmes formules mathématiques s'appliquent, d'une part à ces deux sortes de vibrations matérielles (acier ou air), d'autre part aux variations périodiques des deux composantes du champ électromagnétique.

(2) Par une marche *inverse* de celle qu'il a été plus suggestif d'adopter ici.

(3) Si l'on fait abstraction des domaines connexes de l'émission thermoélectronique (Owen-Williams Richardson, 1901) et de la photoélectricité (Heinrich Hertz, 1887). Voir, à ce propos, le passage de Louis de Broglie, que nous reproduisons (§ **104**).

(4) Il suffit d'interroger trois Européens moyens (ni Anglais ni Allemands) sur l' « inventeur de la radio » pour qu'ils répondent en chœur :

LE RUSSE : C'est Popoff ! (Alexandre Popoff, 1859-1905);
L'ITALIEN : C'est Marconi ! (Giuglielmo Marconi, 1874-1937);
LE FRANÇAIS : C'est Branly ! (Édouard Branly, 1844-1940).

Ces trois expérimentateurs ont certes joué un rôle historique, en compagnie d'une ou deux douzaines d'autres de tous les pays, mais leurs dispositifs (tout comme l'arc chantant, le détecteur électrolytique ou l'alternateur haute fréquence) sont, pour ainsi dire (§ **24**), abandonnés (il ne s'agissait d'ailleurs que de radiotélé*graphie*, § **53**). Le cohéreur, dit de Branly, avait été inventé (sans que

24. *De l'oscillateur à l'antenne émettrice.* — Nous voici donc en possession de l'idée de *champ électromagnétique*, c'est-à-dire de ce qui, communément, constitue « l'insondable mystère » de la radio et de la télévision. Mystère insondable pour ceux dont l'évolution intellectuelle est restée en panne, pour ceux qui cherchent à voir partout du *concret*, en ignorant que, ce qu'il s'agit de comprendre, c'est le *réel*. Ici, le réel, c'est cette union intime, cette « symbiose » de deux champs très rapidement

---

ce dernier le sache *à ce moment-là* et ait même entendu parler ni de Hertz ni de Maxwell !), six ans auparavant (1884), par l'Italien Thémistocle Calzecchi-Onesti (1853-1922) : c'est un tube à limaille, qui, dans les expériences de Hertz, peut remplacer son résonateur; on sait maintenant que le principe était connu depuis Munck de Rosenschœld (1838). Mais aucun de ces inventeurs ne s'est préoccupé d'élucider les phénomènes — très complexes, sans doute — qui se produisaient dans l'appareil qu'ils manipulaient.

Branly fut élu à l'Académie des sciences le 23 janvier 1911. Il importe de remarquer que, de par la structure de cette institution, les trois-quarts au moins de ses membres n'y entendent rien lorsqu'ils ont à donner leur avis sur une question précise : ils répondent comme celui de leurs confrères spécialisés, avec lequel ils sont le plus intimes. Quoi d'étonnant à ce que, obéissant à des motifs d'un tout autre ordre, il se soit formé une majorité (d'une voix) pour préférer Branly à Marie Curie (1867-1934), qui eut la gloire *unique* d'obtenir à deux reprises le prix Nobel ! (Il est piquant de noter que la *section compétente* avait présenté Marie Curie toute seule en première ligne et, en deuxième ligne, par ordre alphabétique : Daniel Berthelot, Édouard Branly, Marcel Brillouin, André Broca, Aimé Cotton et Alfred Pérot — ce qui se passe de commentaire...) La conclusion avait été donnée par Édouard Branly lui-même, qui, avec une modestie tout à son honneur, déclarait à la *Société française de physique*, le 16 décembre 1896 : « Je n'ai aucune prétention à la découverte de la télégraphie sans fil, puisque je n'ai jamais songé à transmettre des signaux. » (Cette phrase est reproduite à la page 78 du *Résumé des communications*, édité en 1898.) Telle a été aussi l'opinion de *la Vie intellectuelle*, revue publiée par les dominicains.

La question paraissait définitivement réglée, quand la confusion fut portée à son comble, ce qui excuse, dans une certaine mesure, chez le Français moyen, un chauvinisme dont on se gausse à l'étranger. (Jamais personne n'aurait sérieusement songé à proposer Branly comme lauréat Nobel...) Il parut, en effet (Payot, Paris, 1922), un opuscule de vulgarisation, dépourvu d'idées générales et de valeur didactique, où on lit (pp. 66-67) :

> « La première télégraphie électrique sans fil eut pour origine des recherches qui furent présentées à l'Académie des sciences en 1890 et 1891, et qui signalaient la fermeture, à distance, d'un circuit de pile sous l'influence rayonnante *(sic)* d'une étincelle de décharge de condensateur.
>
> « Dès sa première communication, l'auteur, Monsieur Branly, décrit explicitement une expérience, qui offre à la fois un fait nouveau *(re-sic)* de conductivité électrique et son utilisation pratique (?). »

Pour incroyable que cela puisse paraître, l'auteur de l'opuscule et le monsieur de la communication sont une seule et même personne, qui n'a jamais compris la différence essentielle entre cohéreur et détecteur à galène (§ **58**).

variables en un point donné et se propageant, d'un point à un autre, avec la vitesse de la lumière (1) :

l'un de ces champs est *électrique*, c'est-à-dire qu'il *ferait* osciller (simultanément avec lui) une petite boule de liège, comme celle de la figure 4 (2);

l'autre de ces champs est *magnétique*, c'est-à-dire qu'il *ferait* osciller (simultanément avec lui) une aiguille de boussole, comme celle de la figure 16 (2).

Enfin, nous avons laissé prévoir, notamment, que l'oscillateur de Hertz (*fig.* 50) contient en puissance — à d'insignifiants détails près de technique — l'organe essentiel d'émission, autrement dit l'*antenne émettrice*.

Redisons (avec plus de netteté qu'il ne nous était possible de le faire jusqu'ici) pourquoi les stations d'émission emploient *toujours* un circuit oscillant ouvert (*fig.* 50), et non un circuit oscillant fermé, comme celui avec lequel nous avons fait connaissance, il y a longtemps déjà (*fig.* 31).

1° La gauche de la figure 57 représente un circuit oscillant fermé, réduit à sa plus simple expression. Quoi qu'on fasse, on aura toujours, se correspondant chacun à chacun, deux petits bouts de fil, tels que I et II. Et alors, il est bien évident qu'*au même instant*, si les électrons oscillants se dirigent en I dans un sens (ici, vers le bas), ils se dirigeront en II dans le sens inverse (ici, vers le haut). Or, *à grande distance* (droite de cette même figure) et avec un retard d'ailleurs infime, la portion I de l'émetteur produira le champ magnétique I, et la portion II le champ magnétique II, lesquels champs sont manifestement opposés. Leur résultante sera nulle, et il ne parviendra aucune énergie à l'endroit où les appareils récepteurs auront été disposés.

2° Tel n'est pas le cas pour le circuit oscillant ouvert, dessiné schématiquement à gauche de la figure 58. Maintenant, les deux bouts de fil I et II sont traversés

(1) Nous ne répétons pas ce qui vient d'être précisé, au point de vue *numérique*, sur « très rapidement » et « vitesse de la lumière » : c'est, en effet, un aperçu très général qui importe dans ces quelques lignes de transition... et d'entrée en matière.

(2) Rappelons que le conditionnel *(ferait)* est dû à cette circonstance — somme toute accessoire — que l'appareil déceleur est *trop inerte* pour obéir aux variations du champ.

FIG. 57. — Inefficacité du circuit oscillant fermé comme émetteur.

FIG. 58. — Supériorité du circuit oscillant ouvert comme émetteur.

par les électrons qui, *au même instant,* se dirigent dans le même sens. *A grande distance,* les champs magnétiques I et II s'ajouteront. Bien plus, ceci restera vrai pour toutes les portions du conducteur (ici vertical) ou *antenne,* et l'énergie, à la réception, sera loin d'être négligeable.

La figure 59, qui est, en quelque sorte, l'« industrialisation » de la découverte fondamentale de Faraday-Maxwell-Hertz (réalisée au laboratoire par ce dernier [*fig.* 51]), nous montre, d'une façon suggestive, la liaison « sans fil » entre l'antenne émettrice et le poste d'amateur (en supposant une réception sur cadre) [1]. Le métal du cadre est bien l'« appareil déceleur » qui convient pour absorber une partie notable de l'énergie émise, moyennant des conditions auxquelles la légende de la figure 59 fait allusion et dont nous ne manquerons pas de reparler le moment venu. Le milieu de cette même figure «matérialise » sur une longueur de 625 m les valeurs (*à un instant donné*) des deux champs, dont la juxtaposition constitue le champ électromagnétique. On aurait pu dessiner à part le même graphique, en remplaçant les mots

longueur d'onde (500 mètres)

par

période (un six-cent-millième de seconde),

ce qui aurait fourni la représentation (*en un point donné*) des valeurs prises successivement par l'un et l'autre des champs. Que le lecteur ne regrette pas l'ampleur des explications et qu'au lieu de s'en plaindre, il songe plutôt à y réfléchir très sérieusement (ce qui — nous ne le cachons pas — est assez difficile)! On peut, certes, sans cela, manipuler des serre-fils, des penthodes et des haut-parleurs; mais on n'arrive à y saisir quelque chose que si l'on voit bien en quoi consiste cette propagation d'un champ électromagnétique, en quoi consiste cette *onde,* laquelle *est,* avant tout, une **double périodicité :** une périodicité *dans le temps,* caractérisée par la fréquence que la station d'émission

(1) Nous reviendrons, bien entendu, avec force détails, au chapitre VIII, sur les avantages comparés de la réception sur cadre et de la réception sur antenne (antenne réceptrice).

Il convient de redire (§ **11**) que, sous certains rapports, le circuit d'émission (tout particulièrement l'antenne [*fig.* 59]) et le cadre récepteur peuvent être considérés comme formant un transformateur *à couplage extrêmement lâche :* c'est le primaire (antenne) qui impose une tension au secondaire (cadre), mais le secondaire ne réagit pratiquement pas sur le primaire.

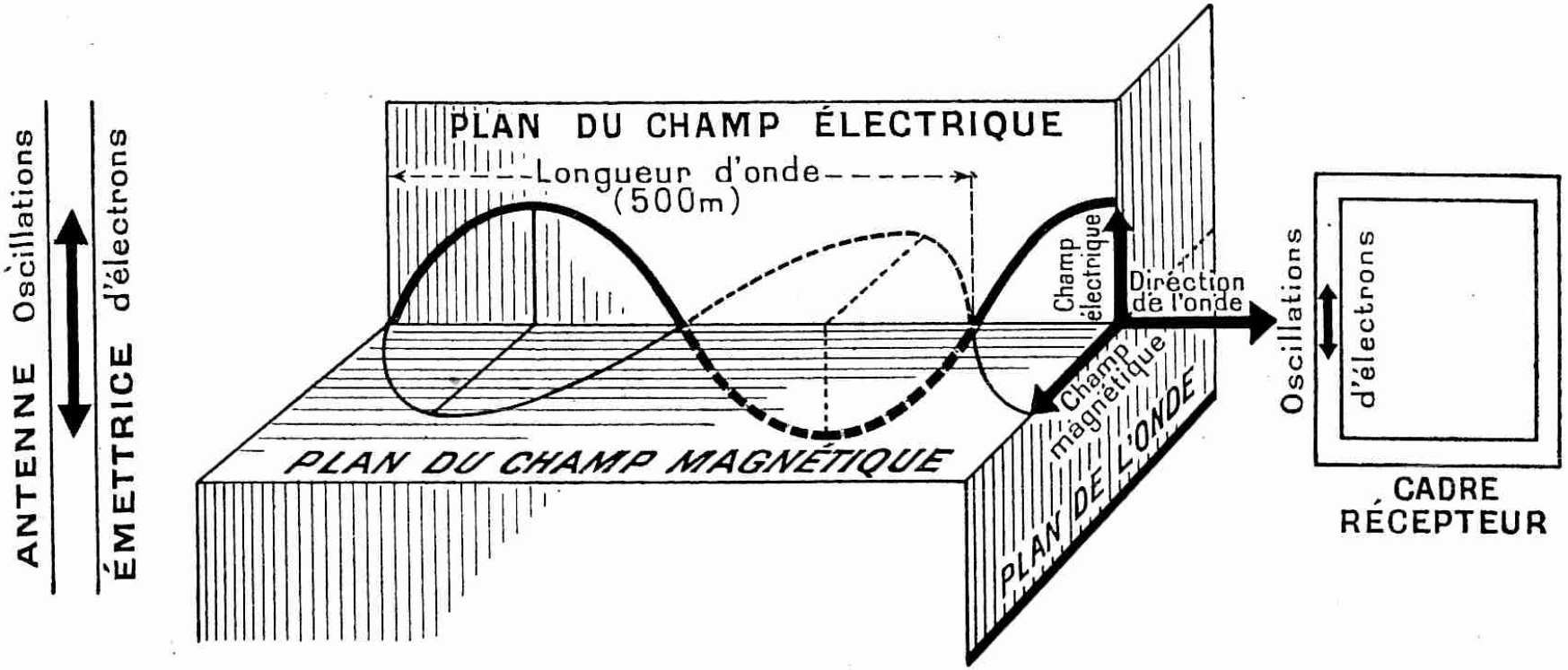


FIG. 59. — L'onde électromagnétique.

Au départ : des électrons libres oscillent dans le métal de l'antenne (supposée verticale), à la fréquence de 600 kilocycles (donc avec une période d'un six cent millième de seconde).

Pendant le trajet (dans un isolant quelconque : air, vide, maçonnerie, boiserie, verrerie,...) : deux champs jumeaux, l'un électrique (vertical), l'autre magnétique (horizontal) progressent, à raison de 300 000 kilomètres par seconde (pour l'air ou le vide), suivant la « direction de l'onde ». La longueur d'onde est le chemin parcouru pendant la durée d'une période; le milieu de la figure est, pour ainsi dire, une « photographie instantanée » de la valeur des champs à divers endroits contigus.

A l'arrivée : quand l'onde rencontre un métal (les spires du cadre), elle oblige les électrons à y osciller avec la même fréquence (de 600 kilocycles). Ces oscillations seront particulièrement importantes, s'il y a résonance (5e ligne des figures 29 et 30), c'est-à-dire si la fréquence propre du poste récepteur est également 600 kilocycles ou — comme on dit encore — si le poste récepteur est *accordé* sur la station d'émission.

s'est fixée (et sur laquelle l'usager doit s'accorder) ; une périodicité *dans l'espace,* caractérisée par la longueur d'onde, laquelle est imposée par la fréquence choisie **et** par le fait que les ondes progressent dans l'air (ou dans le vide) à raison de 300 000 000 m à la seconde.

25. *Fréquence propre d'une antenne; variantes.* — Nous avons admis (*fig.* 58 et 59) que les électrons du métal (cuivre) de l'antenne oscillent avec une certaine fréquence. Mais, avant de préciser celle-ci, il est utile de faire entrevoir comment on peut les faire osciller, comment on peut « exciter » l'antenne.

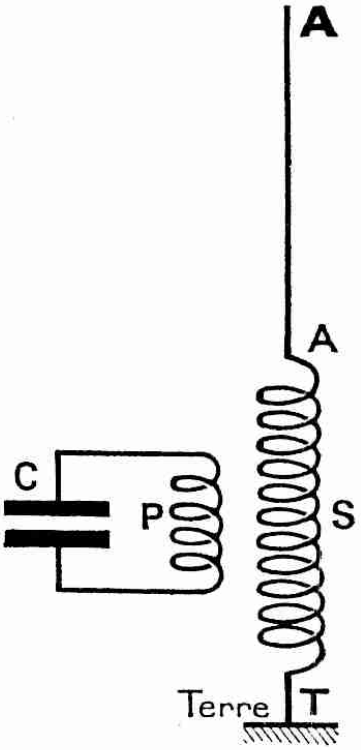


FIG. 60. — Excitation indirecte d'une antenne émettrice.

Pour cela, il suffit de juxtaposer (plus exactement : d'entremêler) deux de nos précédents dessins : ceux des figures 31 et 26. C'est ce que nous avons fait sur la figure 60 : à gauche, on y remarque un circuit oscillant fermé, qui comporte un condensateur C et une bobine P (1). Cette lettre « P », que nous avons prise (à la place de notre lettre « B » habituelle), est une façon d'attirer l'attention du lecteur : ladite bobine a un double usage, elle joue un double rôle, car elle est *à la fois* partie intégrante du circuit oscillant CP et partie intégrante (le « primaire ») du transformateur PS, dont le secondaire S est connecté d'une part au sol, d'autre part à l'extrémité inférieure A de l'antenne verticale AA.

Ce qui rend, en science, les choses compliquées, c'est qu'il faut réfléchir à tout, avoir tout présent à l'esprit en même temps : l'absence d'un seul maillon de la chaîne des raisonnements (ce qui n'a pas lieu dans les lettres ou dans les arts) est fatale à la compréhension. Il faut donc recourir à d'incessants rappels :

---

(1) Le tableau de la figure 32 nous renseigne sur les valeurs à attribuer : à la capacité de C et à la self-inductance de P, pour obtenir n'importe laquelle des fréquences usuelles.

On applique, d'autre part, une *haute tension* au circuit CP (il est inutile de décrire le dispositif pour le moment).

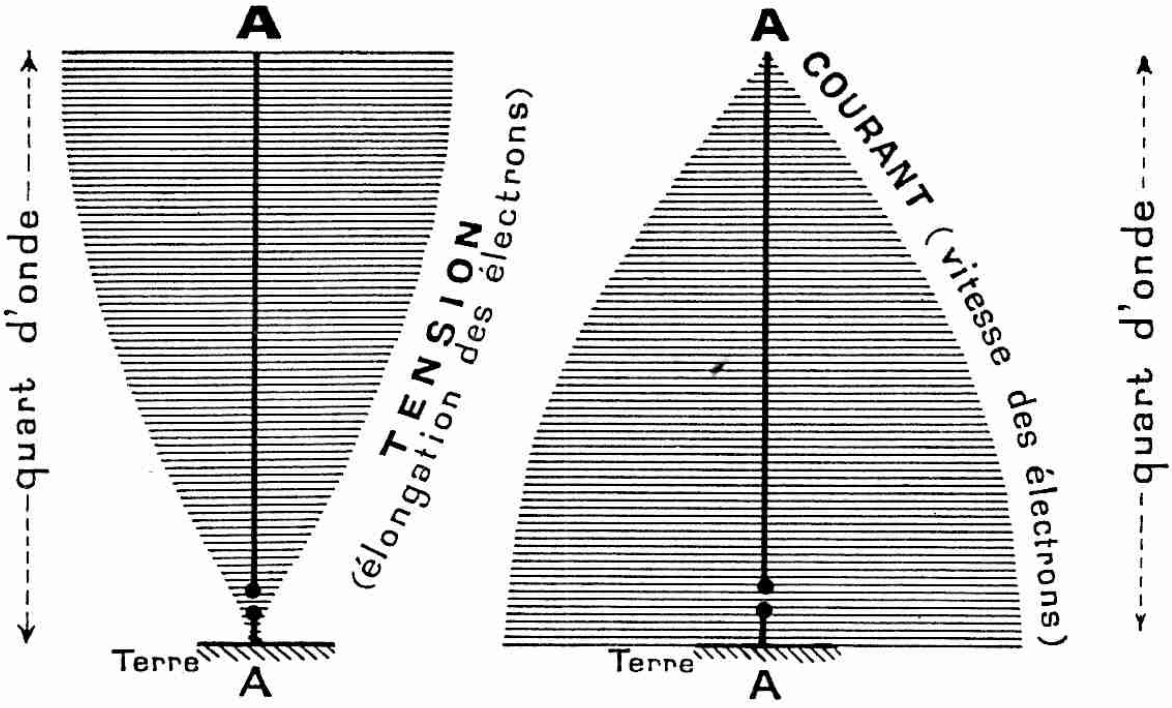


FIG. 61 et 62. — Fréquence propre d'une antenne (excitation directe).
Les lignes horizontales représentent (en chaque point) les limites des variations au cours du temps (ces variations sont synchrones, autrement dit, simultanées).

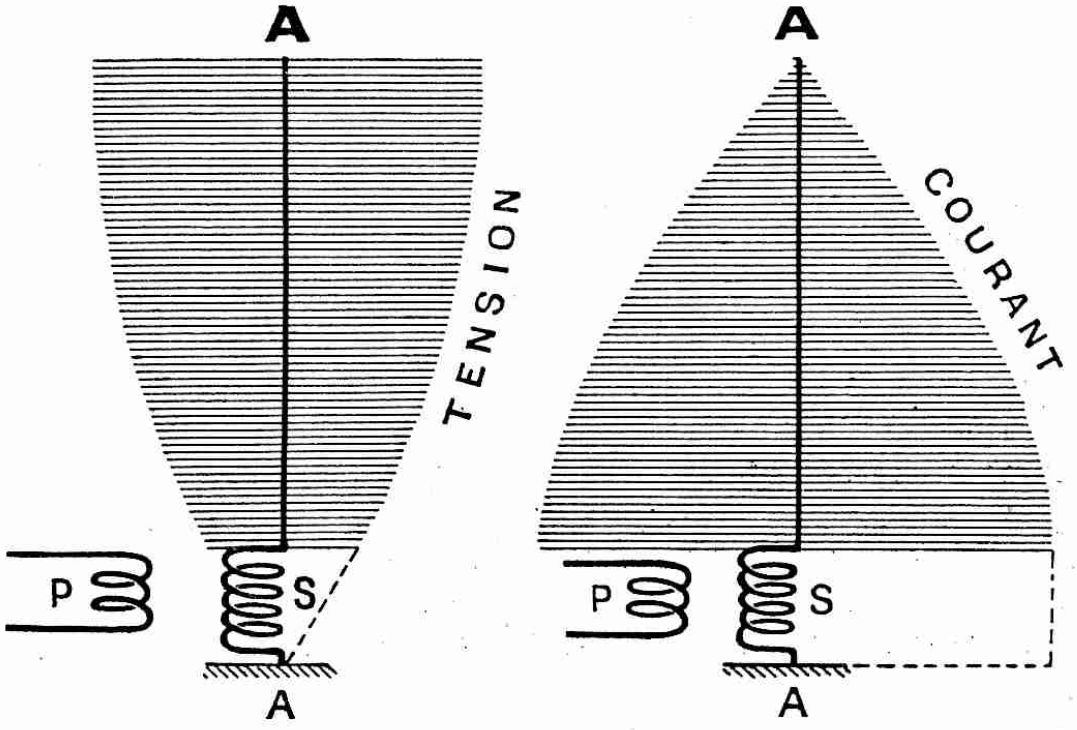


FIG. 63 et 64. — Graphiques de la tension et du courant dans l'excitation indirecte.

on doit, pour l'instant, se souvenir que, quand des électrons oscillent dans le primaire P d'un transformateur (*fig.* 26), ils

oscillent également (1) dans le secondaire S. Comme tout est métallique entre **A** et T, les électrons vont osciller dans tout le « circuit » ouvert **A**AST. Ce qu'il fallait expliquer.

Un mot en passant sur le point T, qu'on nomme « prise de Terre ». Il y a lieu de remarquer que l'ensemble de la Terre est un corps suffisamment conducteur et que si, par hasard, il y avait en T soit un excès, soit un manque d'électrons par rapport à l'état normal (ou état neutre), ce surplus ou ce défaut se répartirait sur la surface entière de notre globe (2), ce qui suffit amplement à faire admettre qu'il n'y aura jamais, à aucune prise de Terre, de perturbation dans la distribution des électrons : la prise de Terre sera toujours à l'état neutre (à l'état de non-électrisation) ou, ce qui revient au même (§ **6**), la tension y sera toujours *nulle*.

Considérons maintenant (*fig.* 61 et 62) une antenne *toute seule* (3) : il faut bien comprendre qu'en elle-même, à elle toute seule, elle est un circuit oscillant. En effet, elle présente une capacité (puisque chacun de ses points peut être considéré comme la portion d'une des armatures d'un condensateur, dont l'autre armature serait le sol) et elle présente une self-inductance (puisque — nous l'avons déjà dit — tout conducteur rectiligne est assimilable à une portion de spire d'une bobine de rayon extrêmement grand). On peut d'ailleurs évaluer directement chacune de ces deux grandeurs physiques; mais leurs valeurs n'offrent, pour nous, qu'un intérêt limité, parce que, ce qui nous importe essentiellement, c'est la fréquence des oscillations électroniques libres (la fréquence propre de l'antenne) et que cette fréquence propre découle d'un raisonnement tout à fait élémentaire.

Reportons-nous, pour cela, à la figure 61. Nous savons que la prise de Terre (ici désignée par A) est toujours à une tension nulle. Dans le cas le plus simple, la tension croîtra au fur et à mesure que l'on s'éloignera de A vers le haut, et il est facile de concevoir que cette tension va être maximum au point

---

(1) En phase et avec une amplitude qui dépend des nombres des spires de P et de S (§ **11**, fin). Mais nous pouvons provisoirement négliger ces précisions.

(2) Cette phrase n'est là que pour faire image : le détail des phénomènes est beaucoup plus complexe.

(3) Munie d'un éclateur analogue à celui de la figure 50 et aux bornes duquel on applique la haute tension.

supérieur **A**. Les lignes horizontales (de part et d'autre de A**A**) représentent les variations locales de cette tension (1) au cours du temps. On se rend alors immédiatement compte que la région hachurée horizontalement est le *quart* d'un graphique périodique complet (2), autrement dit que la longueur A**A** de l'antenne sera (3) le quart d'une longueur d'onde. Pour reprendre l'exemple numérique de la figure 59, il n'y aura qu'à choisir, pour A**A**, une longueur de 125 m pour que la longueur d'onde soit 500 m et la fréquence 600 kc. Ce résultat acquis, on acceptera sans peine (4) la représentation de la figure 62, qui concerne la vitesse instantanée des électrons, c'est-à-dire le courant alternatif, dont l'antenne est le siège : le courant alternatif est nul au point **A** (puisqu'il ne peut pas « s'écouler » d'électrons au-delà) et il est le plus grand possible à la prise de Terre A (5).

Nous ne ferons qu'une brève allusion à ce qui se passe quand l'antenne est excitée indirectement (par le dispositif de la figure 60) : nos figures 63 et 64 (correspondant respectivement aux deux précédentes) nous donnent à penser (6) que les figures 61 et 62 fournissent déjà une bonne approximation, étant donné la grande longueur du conducteur vertical (antenne proprement dite) par rapport à la distance qui sépare son extrémité inférieure de la prise de Terre A (*fig.* 63 et 64).

La T. S. F., à l'âge héroïque, resta longtemps confinée (7) à la radiotélégraphie (§ **53**), et le premier modèle d'antenne (8) était tout bonnement un conducteur vertical A**A**, réuni au sol

(1) Nous savons (par la comparaison des figures 44 et 46) que ce sont également les variations de la répartition des électrons, ainsi que les variations de l'élongation des électrons par rapport à ce qui existe à l'état neutre.

(2) Comme les sinusoïdes des figures 12, 13, 18 ou 19.

(3) Dans le cas le plus simple. Il y a là une analogie formelle (une analogie de formules) avec les phénomènes acoustiques qui ont lieu dans un tuyau sonore, ouvert à un bout et fermé à l'autre.

(4) Ce qui se verrait aussi bien en se souvenant du *décalage* entre l'élongation et la vitesse (*fig.* 46 et 47).

(5) Ou plus précisément (mais ce qui revient pratiquement au même) à la boule supérieure de l'éclateur.

(6) Et des mesures précises de tension et de courant le vérifient rigoureusement.

(7) C'est l'approfondissement (Richardson) de l'émission thermoélectronique qui a permis de s'évader de ce stade préliminaire et, somme toute, sans grande importance sociale.

(8) L'antenne fut trouvée empiriquement par Popoff (1895); c'est seulement plus tard que son fonctionnement fut élucidé par les physiciens. Tout le mérite de Popoff revient à avoir *étiré* l'oscillateur de Hertz (§ **21**), ce que nous trouvons

à sa partie inférieure (*fig.* 65); les modernes antennes d'avion sont encore constituées par un fil vertical qui pend librement, étant connecté (à sa partie supérieure) à *la masse* de l'avion.

Toute antenne — quelle que soit sa structure et sa complication (1) — possède, comme on l'a dit, une capacité propre

---

maintenant fort naturel, puisque la radiotélégraphie utilise des ondes beaucoup plus *longues* que celles que Heinrich Hertz avait produites sept ans plus tôt.

Il convient d'opposer, en toute sérénité, le point de vue *officiel* du Kominform et la probité intellectuelle (dénommée, par dérision, « individualisme anarchique ») des savants non marxistes (baptisés « capitalistes » et « cosmopolites » pour la circonstance) :

L'individualisme anarchique doit céder le pas à la politisation de la science : « il n'existe et ne peut *exister de science isolée de la politique » (Académie des sciences d'U.R.S.S., décembre 1948).*

Le marxisme est une vérité définitive et intangible. Dès lors, la tâche « historique » de l'heure présente consiste à imposer cette « vérité » par tous les moyens possibles : annexions territoriales, violences, contre-vérités, rétractations, chauvinisme (on ne recule même pas devant le racisme et l'antisémitisme !).

Dans un but de propagande, on affirme (par ordre) *que, depuis les XVII^e^ et XVIII^e^ siècles, les gloires « soviétiques » ont* tout *découvert : l'exploration des terres inconnues, le paratonnerre, la conservation de la matière, les caractéristiques de la planète Vénus, l'ampoule électrique, le parachute, l'avion, le char d'assaut, la gymnastique suédoise, le caoutchouc synthétique, le cinéma sonore, la télévision, l'énergie nucléaire, le radar, la pénicilline (suite non limitative). Bref, les intellectuels russes sont contraints de proclamer que, dans tous les domaines, l'Union des Républiques Socialistes Soviétiques est la grande patrie des précurseurs.*

« Notre chère patrie est constituée par des hommes d'un type nouveau, incomparablement supérieur à tous les autres » (Joseph Gœbbels, 1942, et la Pravda, *de Moscou, septembre 1949).*

L'*ensemble* de la pensée scientifique ne saurait être subordonné à la politique, qui n'est qu'une des techniques correspondant à une science *particulière* et encore balbutiante (la sociologie).

Comme toute théorie (ou idéologie), le marxisme (1867) est né de l' « individualisme anarchique » (le terme s'applique particulièrement bien à Hegel et à ses successeurs); cette idéologie est d'ailleurs largement controuvée par la logique scientifique et par les faits.

Par simple probité intellectuelle, on discerne des savants russes de premier plan en Nicolas Lobatchevsky, Frédéric Lenz, Dimitri Mendéléïeff, Georg Cantor, Ivan Pavlov, G. Gamov, Pietr Kapitza,... (non sans faire remarquer que les versions officielles omettent le véritable apport scientifique des Russes et que leurs politiciens ne sont pas mieux renseignés que les nôtres). Au surplus, la propagande ne va pas jusqu'à reconnaître que le Kremlin a instauré : la police d'État avant Mussolini, Hitler et Franco, la « tactique élastique » avant Machiavel, l'esclavage avant les Pharaons.

Il reste incontestable — comme nous le constaterons à propos d'une science spéciale (§ **105**) — que la Russie occupe, dans le monde scientifique, la cinquième ou sixième place.

Comme quoi, selon le biologiste Julian Huxley (1949), le Kremlin triture le passé à son profit, pour masquer son incapacité de faire honneur à l'échéance — toujours reculée — des jours meilleurs.

(1) Nous nous garderons bien de nous enliser dans la poussière des détails techniques.

et une inductance propre, lesquelles imposent sa fréquence propre. Le tableau de la figure 32 nous a enseigné jadis comment cette dernière varie avec les deux premières : il arrive souvent qu'on ait à parfaire le réglage de la fréquence propre, ce qui se réalise par le montage de la figure 66 et surtout par celui de la figure 67 :

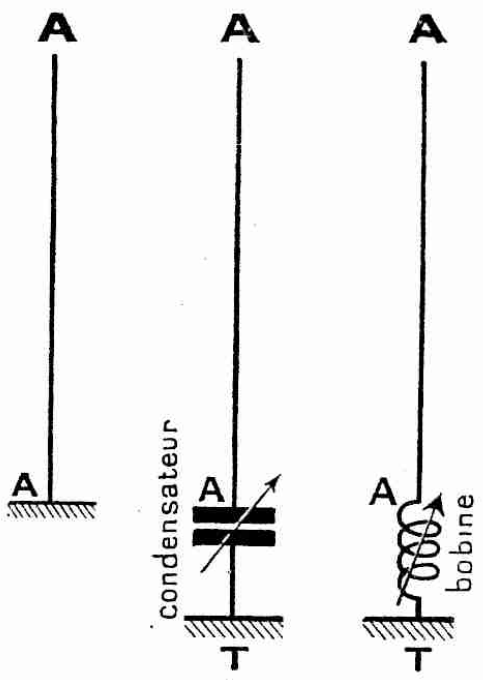


FIG. 65, 66 et 67. — Réglage de la fréquence propre.
Le condensateur (*fig.* 66) augmente la fréquence propre de l'antenne (*fig.* 65). La bobine (*fig.* 67) diminue la fréquence propre de l'antenne (*fig.* 65).

1° On peut ajouter, en bas de l'antenne, un condensateur variable (*fig.* 66) : le condensateur que constitue l'antenne et ce condensateur de réglage sont *en série*. Or, deux condensateurs en série se comportent (§ **8**) comme si l'épaisseur de l'un d'eux avait augmenté : il s'ensuit une *diminution* de la capacité de l'antenne et, conséquemment (*fig.* 32), un accroissement de la fréquence propre du circuit oscillant ouvert (1) ;

2° On peut ajouter, en bas de l'antenne, une inductance variable (*fig.* 67) : l'inductance que constitue l'antenne et cette inductance de réglage (2) sont *en série*. Or, mettre en série deux inductances, cela revient à augmenter le nombre des spires : il s'ensuit une augmentation de l'inductance de l'antenne et, conséquemment (*fig.* 32), une diminution de la fréquence propre du circuit oscillant ouvert.

Parmi les autres types d'antennes, nous nous arrêterons un instant sur l'*antenne de grande capacité,* dont le fonctionnement est instructif, car il nous fournit un exemple net de la « naissance » du champ électromagnétique. La partie essentielle de cette antenne est un long fil *horizontal* A**A** (*fig.* 68), dont l'extrémité gauche **A** est libre et dont l'extrémité droite A est reliée

(1) On peut au maximum *doubler* la fréquence propre par ce dispositif.
(2) Dite bobine d'antenne (ou « self » d'antenne).

à la Terre en T (1). Les oscillations électroniques se produisent sensiblement comme sur les figures 61 et 62 (en faisant coïncider les lettres identiques). Le fil **AA** (*fig.* 68) forme, avec le sol, un condensateur qui crée un champ électrique oscillant vertical; la vitesse des électrons produit un champ magnétique

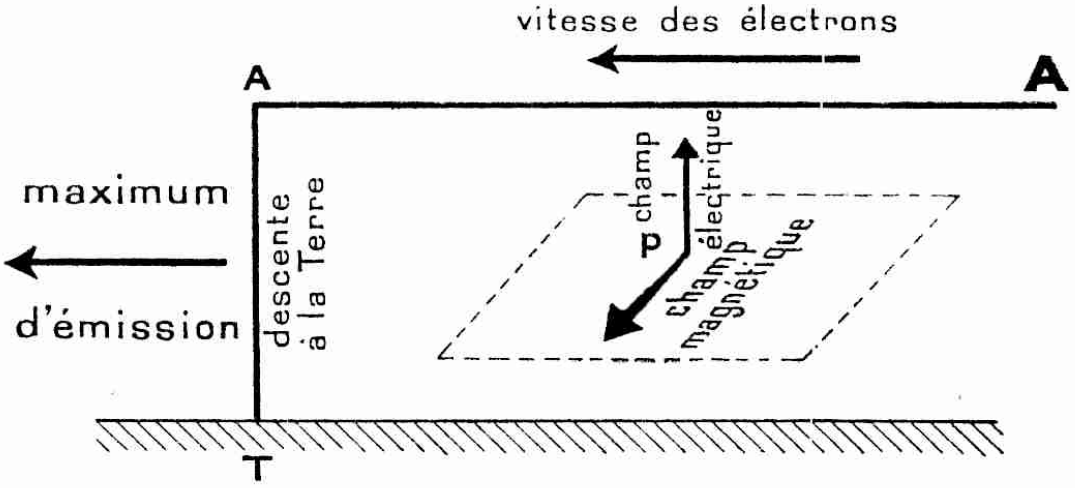


FIG. 68. — Antenne de grande capacité; les champs qu'elle crée.

oscillant horizontal (perpendiculaire au plan TA**A**) : ces deux champs sont les deux composantes du champ électromagnétique, lequel ne se propage pas symétriquement dans toutes les directions (2).

26. *Puissance au départ; champs à l'arrivée.* — Les stations d'émission (qui se terminent par l'antenne émettrice) sont alimentées par les réseaux de distribution à 50 cycles, tout comme les installations domestiques et industrielles. Nous expliquerons sommairement (au chapitre IV) comment cette basse tension alternative se change en haute tension pratiquement continue, laquelle sert à exciter un circuit oscillant (*fig.* 31), dont la fréquence propre est minutieusement choisie. Finalement, par le couplage indirect de la figure 60, les électrons de l'antenne se mettent à osciller avec *la même* fréquence propre, ce qui

(1) C'est là un des seize « éléments » de la station d'émission La Fayette (à Croix-d'Hins, près de Bordeaux). Ordres de grandeur : TA = 250 m; **AA** = 1 200 m; capacité totale : 50 nF; puissance dépensée dans l'antenne : 500 kW; fréquence (en radiodiffusion) : 1 205 kc (longueur d'onde : 249 m 0).

(2) Le maximum d'émission a lieu dans la direction indiquée sur la figure 68 (cette propriété des antennes était connue de Marconi; elle amorçait la solution de divers problèmes : antennes directives, radiogoniométrie, ...).

donne naissance, dans l'espace ambiant, à un champ électromagnétique, qui se propage à la vitesse de la lumière et possède *par suite* une certaine longueur d'onde. C'est concurremment par la longueur d'onde (par exemple, en mètres) et par la fréquence (par exemple, en kilocycles) que l'on caractérise d'ordinaire une station d'émission. L'habitude a prévalu jusqu'ici de préférer la désignation en longueur d'onde. Mais il ne faut pas perdre de vue que, dans la station elle-même, *il n'existe pas* de longueur d'onde : il n'y a qu'une fréquence (propre), et la longueur d'onde apparaît seulement dans le rayonnement émis, dans les « ondes porteuses » (expression sur laquelle nous ne manquerons pas de revenir en détail au chapitre V).

La fréquence (propre) de la station d'émission — ou (ce qui revient au même) la longueur d'onde (dans l'air) des ondes porteuses qu'elle rayonne — n'est pas la seule caractéristique importante : il est également intéressant de connaître la puissance qu'elle envoie dans l'antenne. Cette puissance s'exprime en kilowatts (kW). A titre de comparaison et pour fixer les idées, rappelons qu'une *grosse lampe* à incandescence consomme un dixième de kilowatt (100 W), qu'une installation domestique moyenne est contrôlée par un compteur électrique d'un kilowatt et que les locomotives électriques de la S. N. C. F. ont des puissances de mille ou de deux mille kilowatts. Eh bien! les puissances dans l'antenne (1) des stations radiophoniques importantes se situent autour de cent kilowatts (donc : cent installations domestiques, ou bien le quinzième d'une locomotive).

Fréquence à choisir et puissance à employer dépendent, au premier chef, de la destination de la station, selon qu'il s'agit de radiotélégraphie, de radiodiffusion, voire de télévision. Des réglementations internationales imposent un choix très précis, pour que les longueurs d'onde voisines (provenant de fréquences

(1) Bien entendu, la puissance consommée dans l'antenne ne peut être tout entière émise sous forme de rayonnement électromagnétique. Encore que la résistance électrique de l'antenne soit faible (disons : quelques dixièmes d'ohm), le courant alternatif (oscillations électroniques), dont elle est le siège, n'en dégage pas moins une certaine quantité de chaleur, laquelle constitue un inévitable déchet. Comme ordre de grandeur, précisons qu'avec toutes les améliorations actuelles, une antenne de 100 kW laisse perdre 65 kW en chaleur (le rendement de l'émission est alors de 35 p. 100).

ÉMETTEURS	FRÉQUENCES en kc	LONGUEURS D'ONDE en m	PUISSANCES en kW
Allouis (station nationale)	164	1.829,0	450
Monte-Carlo	602	958,5	120
Lyon	313	498,4	150
Marseille	674	445,1	100
Limoges	710	422,5	150
Rennes	791	379,2	150
Nancy	836	358,9	150
Paris I	863	347,6	150
Toulouse	944	317,8	100
Paris II	1.070	280,4	100
Strasbourg I	1.160	258,6	150
Bordeaux	1.205	249,0	100
Réseau synchronisé	1.241	241,7	150
Lille	1.277	234,9	150
Réseau synchronisé	1.349	222,4	120
Strasbourg II	1.376	218,0	150
Réseau synchronisé	1.403	213,3	125
Fréquence commune internationale	1.483	202,2	2
Réseau synchronisé	1.493	201,0	60
Nice	1.554	193,0	75
Fréquence commune internationale	1.594	188,2	2

FIG. 69. — Caractéristiques officielles des stations d'émission radiophonique (grandes ondes et petites ondes; convention de 1950).

N.B. Allouis est sensiblement à mi-chemin entre Bourges et Vierzon.

voisines) ne viennent pas se perturber mutuellement (1). Réservant pour le paragraphe suivant la question fort complexe de

(1) Les ignorants, tout fiers de « leur science », parlent, à tout bout de champ, de l'encombrement de l' « éther »; le dernier en date (1949) est Jean Laffay, directeur adjoint des télécommunications. Ils croient ainsi se parer de quelque compétence. Par malheur, le vocable est périmé depuis plusieurs décades (Einstein, 1915), et nous n'emploierons jamais ce mot pour notre propre compte (il figure à l'index, pour que, désormais, chacun soit prévenu...).

Gardons-nous d'omettre une remarque amusante : le Vatican a décidé de compléter le latin d'Eglise, de refaire en quelque sorte les feuilles roses du *Petit Larousse*, mais à l'envers. Depuis 1949, la traduction *officielle* de *radio* est : « nuntium per ætherias undas missum », message transmis par ondes éthérées. (Modernisation à moderniser!)

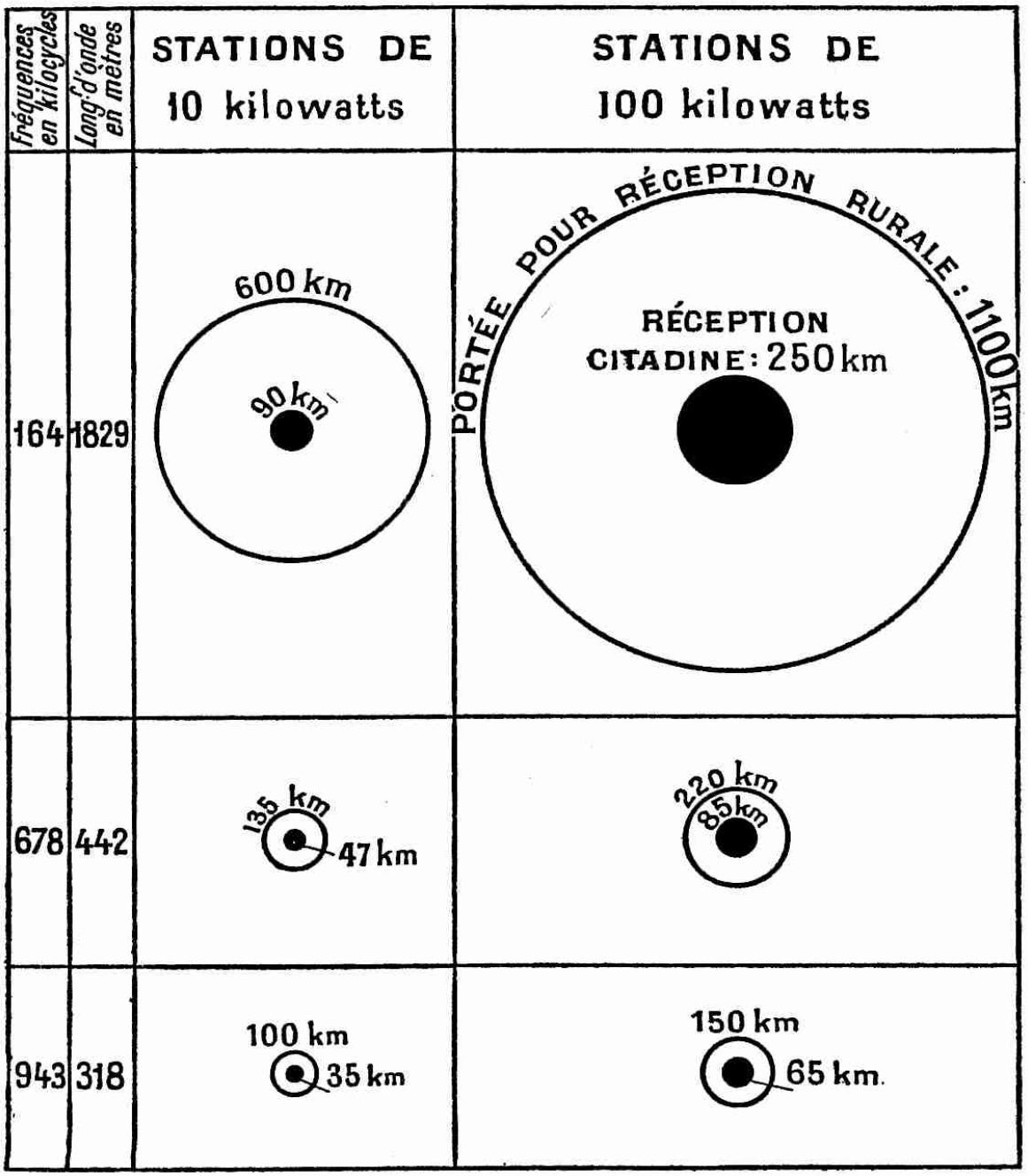


FIG. 70. — Influence de la puissance des stations d'émission sur l'importance des zones desservies (suivant que la réception a lieu à la ville ou à la campagne).

On a choisi, comme exemples, les fréquences émises par trois postes français (Allouis, 164 kilocycles; Marseille, 674 kilocycles; Toulouse, 944 kilocycles). En réalité (*fig.* 59), les puissances de ces trois stations sont respectivement : 450 kilowatts, 150 kilowatts et 100 kilowatts.

la propagation des ondes hertziennes, nous prendrons ici, à titre d'exemples, nos stations métropolitaines de radiodiffusion, indiquées avec leur puissance et leur fréquence (ou longueur d'onde), telles qu'elles sont fixées à partir de 1950 (*fig.* 69).

La *portée* des ondes émises est extrêmement variable, de par la multiplicité des facteurs qui interviennent (§ **27**). Il nous suffira pour l'instant de fixer les idées par les ordres de grandeur schématisés par notre figure 70; on y notera l'énorme différence entre la réception rurale et la réception citadine, en partie à cause de l'abondance des matériaux métalliques (qui absorbent les champs électromagnétiques dans les villes).

Il est difficile d'évaluer exactement la puissance captée par un poste récepteur : avec la sensibilité des nouveaux montages, on obtient certainement de bonnes auditions avec une fraction de microwatt. Supposons qu'on descende à un centième de microwatt en s'accordant sur une station émettant 100 kilowatts; on voit donc qu'il suffit de recevoir le millionième de la dix-millionième partie de ce qui est émis, au total, sous forme d'ondes hertziennes (1).

On peut, au contraire, apprécier, en chaque lieu, la valeur maximum du champ électrique (en volts par cm, § **5**) ou celle du champ magnétique (en gauss, § **9**) [2]. Il se trouve que ces unités sont bien trop grandes pour exprimer les champs rayonnés; aussi a-t-on pris l'habitude d'employer le millivolt par mètre (lequel vaut la cent-millième partie d'un volt par cm) [3]. Dans ces conditions, le champ électrique (constant) qui règne entre les deux armatures du condensateur de la figure 6 (tension de 115 volts, écartement de 3 cm) vaut environ

3 800 000 millivolts par mètre.

---

(1) Cet ordre de grandeur est tout à fait plausible, comme on s'en rend compte par le petit calcul suivant. Considérons une station d'émission de 100 kW, qu'on supposerait installée à mi-chemin entre la Terre et la Lune (pour simplifier les conditions de propagation), et recevons les ondes à 1 000 km sur un cadre de 1 m². Une sphère de 1 000 km de rayon recevrait, sur chaque mètre carré, une puissance de 0 μW01 (ce qui apparaît immédiatement, puisque cette sphère a une surface de dix millions de km², soit de dix mille milliards de m²).

(2) Répétons (§§ **9** et **22**) qu'un champ magnétique d'un gauss est énergétiquement équivalent à un champ électrique de 300 V par cm. (Inversement, un champ électrique d'un volt par cm est équivalent à un champ magnétique de $\frac{1}{300}$ gauss.)

(3) Corrélativement, on pourrait se servir du microgauss, avec les équivalences :

1 microgauss	et	30 millivolts par m
$\frac{1}{30}$ microgauss	et	1 millivolt par m.

Le champ magnétique créé à l'intérieur de la bobine de la figure 17 est, par suite, 200 000 microgauss.

Eh bien! les champs qui suffisent à la réception radioélectrique (postes d'usagers de la radiodiffusion ou de la télévision) sont *infimes* en comparaison du précédent, donc en comparaison des champs électriques qui entourent le matériel de notre installation électrodomestique. Selon Pierre David, on fait largement les choses quand on s'arrange pour avoir (au voisinage du cadre ou de l'antenne réceptrice) un champ électrique dont la valeur maximum est *un* millivolt par mètre (1), à la condition d'être *à la campagne :* les auditions sont alors régulières et de bonne qualité, tant de jour que de nuit (2). Dans les grandes villes, il faut sûrement bien plus, en raison du passage des automobiles (3), ainsi que de la multiplication des appareils et des moteurs électriques (parasites industriels). Dix millivolts par mètre (ou un tiers de microgauss) sont encore vulnérables aux bruits dus aux tramways dans la rue ou à l'ascenseur dans l'immeuble, bien que l'on soit le plus souvent forcé de s'en contenter. Mais il vaudrait mieux disposer de deux ou quatre microgauss (60 ou 120 millivolts par mètre).

27. *Anomalies dans la propagation du rayonnement.* — Nous sommes loin du cas schématique — considéré incidemment — d'une antenne qui, à mi-chemin entre la Terre et la Lune, émettrait son champ électromagnétique symétriquement dans toutes les directions, de telle sorte qu'au même instant, tous les points d'une sphère seraient le siège du même champ (c'est précisément ce qu'on appelle des « ondes sphériques »).

D'abord il y a le sol (et la mer). Sachant que le rayonnement hertzien se propage de la même manière dans l'air et dans le vide, on aurait pu penser prévoir *en gros* les phénomènes, en admettant que l'antenne émettrice est le centre de demi-sphères pouvant « se gonfler » indéfiniment et que son énergie rayonnante irait se perdre, en majeure partie, dans les immensités de l'espace qui entoure notre globe. Mais nous n'y sommes pas encore, car la

(1) Et l'on a en même temps, par cela même (*fig.* 59), un champ magnétique dont la valeur maximum est $\frac{1}{30}$ microgauss.

(2) La limite extrême de recevabilité pratique correspond à un champ encore mille fois plus faible, soit un microvolt par mètre (ou bien : $\frac{1}{30\,000}$ microgauss).

(3) Leurs dynamos « crachent » des parasites.

surface terrestre est plus ou moins conductrice de l'électricité (plus ou moins analogue à des métaux), et des expériences précises ont montré que le « matériau » se range dans la série suivante, par ordre de conductivité électrique décroissante :

eau de mer → terre arable fertile → eau douce →
→ sable humide → sable sec;

il se passe alors quelque chose de comparable à la réflexion de la lumière habituelle sur un vulgaire miroir (1). Ce qui ne simplifie pas les choses, c'est *un fait essentiel* (et qui intervient *constamment* dans ces questions), à savoir que tout change du tout au tout selon la fréquence (2) du rayonnement émis.

En plus de ces complications, nous n'avons pas encore parlé d'un autre facteur, qui joue un rôle tout aussi primordial et dont la connaissance remonte à l'année 1902, grâce aux découvertes indépendantes de deux savants : l'un américain, Arthur-Edwin Kennelly; l'autre anglais, Oliver Heaviside. Il s'agit de la fameuse « couche d'Heaviside » (3), dont tout amateur de T. S. F. a plus ou moins vaguement entendu parler. Que le mot « couche » ne soit pas le prétexte à d'affreux calembours (imputables à l'obsession du *concret*) et n'évoque pas, dans l'esprit du lecteur, une couche de limon au fond du lit d'un fleuve ou une couche de peinture sur une carrosserie d'automobile! La couche d'Heaviside doit plutôt faire penser à *ce qu'il y a* entre

---

(1) Et parfois à la réflexion sur une simple vitre, qui ne renvoie pour ainsi dire pas les rayons lumineux arrivant perpendiculairement à elle, mais qui réfléchit complètement les rayons lumineux presque parallèles à elle (tombant sous l'incidence « rasante »).

(2) Ainsi, on a établi, pour les divers matériaux, l'existence d'une certaine *fréquence critique* (les longueurs d'onde correspondantes sont entre parenthèses) :

eau de mer	1 000 Mc	(0 m 3)
terre arable fertile	10 Mc	(30 m)
eau douce	1 Mc	(300 m)
sable humide	200 kc	(1 500 m)
sable sec	50 kc	(6 000 m)

Pour des fréquences très inférieures à la dite fréquence, le matériau est conducteur (et l'énergie rayonnée est absorbée sous forme de chaleur par les courants électriques qui prennent naissance).

Pour des fréquences très supérieures à ladite fréquence, le matériau est isolant (et se comporte, à l'égard de la propagation, sensiblement comme l'air ou le vide).

(3) Prononcer la dernière syllabe « zaïde » (et non « zide »), sous peine de se rendre aussi ridicule que quand on épelle « instin » (pour Einstein) ou « chakèspéhare » (pour Shakespeare) ou que les Anglo-Américains lorsqu'ils disent « tchèmpcéleïzesse » (pour Champs-Élysées).

Il serait plus équitable de parler de la couche de Kennelly-Heaviside.

le filament et l'ampoule de verre, dans une lampe à incandescence : c'est une couche *de vide,* puisque la pression y est de l'ordre d'un dix-millième d'atmosphère (1). La base de cette couche (2) est environ à 80 km du sol, c'est-à-dire à une hauteur (sur la verticale) égale à la distance de Paris à Chartres. Ce qui la caractérise, c'est la présence d'un certain nombre (nombre d'ailleurs connu) d'*électrons libres*. D'où viennent ces électrons? Les uns sont vraisemblablement lancés par le Soleil; d'autres proviennent des rayons ultraviolets (émis par le Soleil également), lesquels rayons ont « ionisé » (3) les molécules rencontrées (4). Se rappelant alors que les métaux contiennent — eux aussi — des électrons libres, qui — eux aussi — virevoltent en tous sens, on ne s'étonnera pas d'apprendre que la couche d'Heaviside va se comporter — vis-à-vis du rayonnement hertzien — à l'instar de nos conducteurs habituels de l'électricité. Ce fait fut établi expérimentalement en 1922 par le savant anglais Edward Appelton, alors âgé de trente ans.

Bien entendu (et comme précédemment), ce sera, avant tout, une question de fréquence (de longueur d'onde) du rayonnement électromagnétique qui émane de l'antenne émettrice. Que l'on songe, pour fixer les idées (5), à ce qui se passe quand deux personnes se trouvent dans deux pièces contiguës, dont la porte de communication est ouverte : elles peuvent converser entre elles sans se voir (6). Nous sommes ainsi préparés à

---

(1) Il y a dix mille fois moins de molécules dans un litre de la partie inférieure de la couche d'Heaviside que dans un litre de l'air que nous respirons.

(2) Elle se termine aux environs de 300 km d'altitude.

(3) L'ionisation consiste en l'arrachement d'électrons, lesquels entourent les noyaux de tous les atomes électriquement neutres (*Ionosphère* est synonyme de : couche d'Heaviside).

(4) Cette ionisation contribue à rendre vivables les bas-fonds de l'atmosphère, où nous nous trémoussons, puisque les radiations ultraviolettes sont destructrices de la vie. Mais surtout qu'on n'aille pas dénicher là un prétexte pour entonner les louanges d'une *finalité* merveilleuse (à la manière de Bernardin de Saint-Pierre) ou d'un dessein préétabli ! Car, si (par un phénomène ou par un autre) les rayons ultraviolets du Soleil n'avaient pas été absorbés, il n'y aurait pas eu, sur Terre, d'êtres organisés (ni, en conséquence, de bipèdes qui auraient pu se passionner pour la radio).

(5) Sans y voir plus qu'une analogie formelle (une analogie de formules mathématiques).

(6) Pour la parole, il y a contournement des objets (diffraction), car la longueur d'onde du son (disons : 30 cm) est du même ordre de grandeur que les dimensions de la porte. Pour la lumière, en revanche, toute diffraction (à cette échelle) est impossible, étant donné que la longueur d'onde de la lumière se situe aux alentours de 5 dix-millièmes de millimètre.

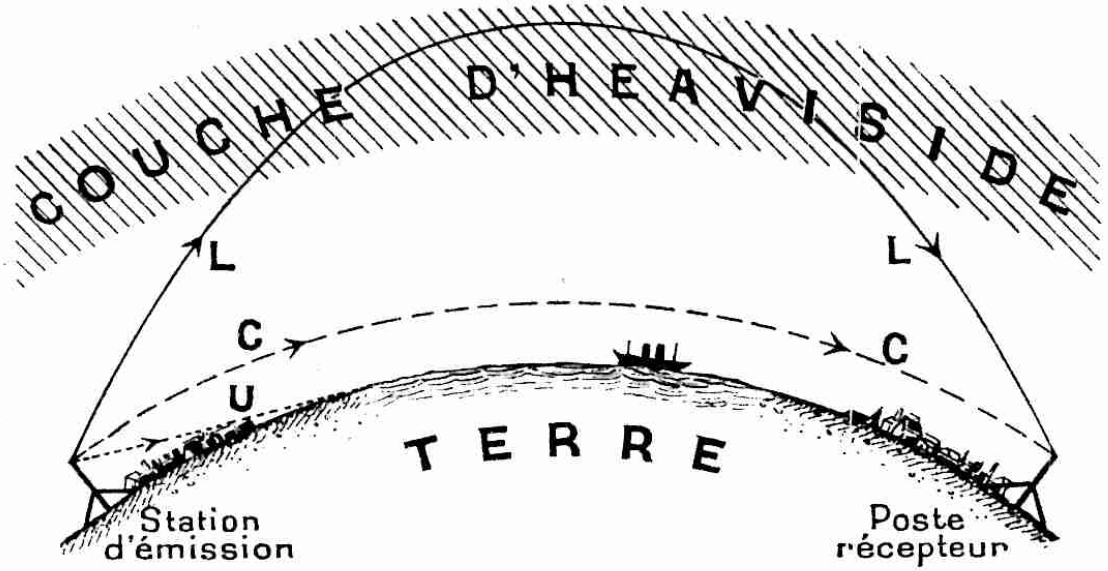


FIG. 71. — Le comportement général des grandes ondes (ondes longues L), des ondes courtes C et des ondes ultracourtes U.

comprendre *grosso modo* les résultats consignés sur la figure 71 :

I. Les ondes longues L (et les ondes moyennes), de fréquences inférieures à 1 500 kc (longueurs d'onde supérieures à 300 m), se réfléchissent sur la couche d'Heaviside;

II. Les ondes courtes C, de fréquences comprises entre 4 et 30 Mc (longueurs d'onde entre 75 m et 10 m), sont, pour ainsi dire, guidées par la surface terrestre;

III. Les ondes ultracourtes U, de fréquences supérieures à 30 Mc (longueurs d'onde inférieures à 10 m), s'effectuent exclusivement par *propagation directe*, c'est-à-dire que l'on ne peut atteindre que les lieux optiquement visibles (1).

D'une façon tout à fait générale, le rayonnement hertzien qui relie une station d'émission à un poste récepteur chemine à l'intérieur d'une sorte de tunnel courbe, c'est-à-dire dans l'atmosphère comprise entre le sol et la couche d'Heaviside. Il convient de revenir un peu plus en détail sur les comportements des deux premières catégories d'ondes.

I. *Ondes longues et moyennes.* Pour les *ondes longues* ou

(1) C'est le cas de la télévision.
On appelle tout naturellement « ondes métriques » celles dont la longueur d'onde est comprise entre 1 et 10 mètres.

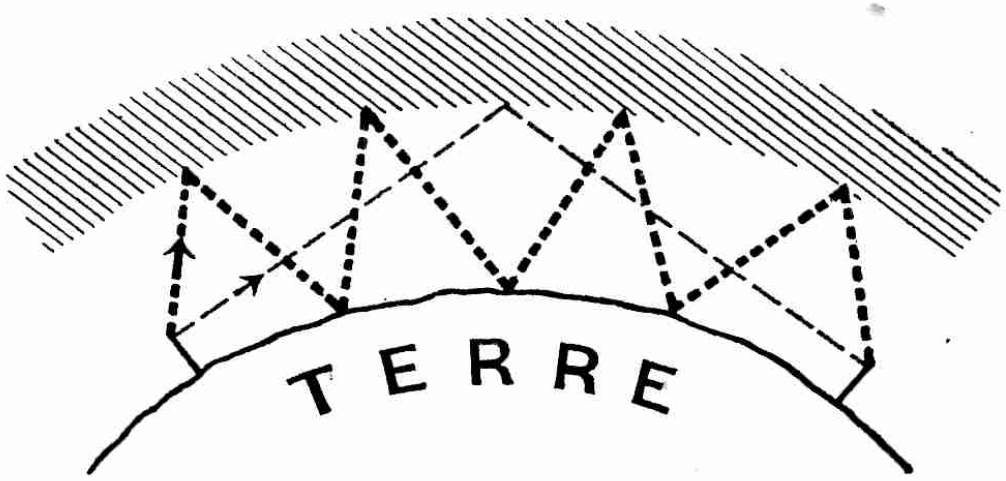


FIG. 72. — Propagation des ondes longues (longueurs d'onde supérieures à 1 500 m; fréquences inférieures à 300 kc) dans l'espace compris entre le sol et la couche d'Heaviside.

« grandes ondes » (ondes kilométriques), il y a *toujours* réflexion sur la base de la couche de Kennelly-Heaviside, quelles que soient les conditions (saison, heure de la journée, incidence des ondes sur la couche). Il peut ainsi arriver que le poste récepteur soit atteint successivement par deux rayonnements émis simultanément (*fig.* 72), ce qui augmente certes l'énergie captée, mais peut également, dans les émissions à grande distance, nuire à la netteté de la réception. On conçoit que l'énergie soit beaucoup plus grande que celle de notre émetteur théorique (entre la Terre et la Lune [p. 122, note 1]) et, en fait, avec des puissances minimes (de l'ordre de quelques watts!), il a été possible de traverser l'Atlantique.

Quant aux *ondes moyennes* ou « petites ondes » (entre 300 et 1 500 kc), elles pénètrent plus profondément dans la couche d'Heaviside (où elles sont légèrement absorbées), et leur propagation est davantage affectée par les incessantes modifications (1) de celle-ci, lesquelles ont lieu surtout le jour (ionisation par le Soleil, élévation ou abaissement de la couche) : les auditions sont, dans ce cas, nettement meilleures la nuit.

II. *Ondes courtes* (entre 4 et 30 Mc). L'expérience et la théorie sont d'accord pour montrer que, si le rayonnement

(1) Pendant le jour, le Soleil est plus ou moins haut sur l'horizon. De plus, on a constaté un parallélisme étroit entre la réception des ondes de T. S. F. et les éruptions solaires (dans ce qu'on appelle ses « taches »).

D'autres influences ont été décelées (nombre des chocs entre les électrons et les rares molécules de la couche d'Heaviside; effet du champ magnétique terrestre).

tombe perpendiculairement (ou peu obliquement) sur la base de la couche d'Heaviside, il poursuit sa route et va se perdre dans l'espace interplanétaire. Ce fait a pour conséquence le curieux phénomène dont nous allons parler.

28. *Zones de silence; évanouissement; parasites atmosphériques; bruit de fond.* — Considérons une antenne émettrice d'ondes courtes en A (*fig.* 73) vers un poste récepteur R, et supposons la distance AR assez faible pour négliger la courbure du globe terrestre. De A, le rayonnement part dans les diverses directions AN, AX, AI, AS (1) :

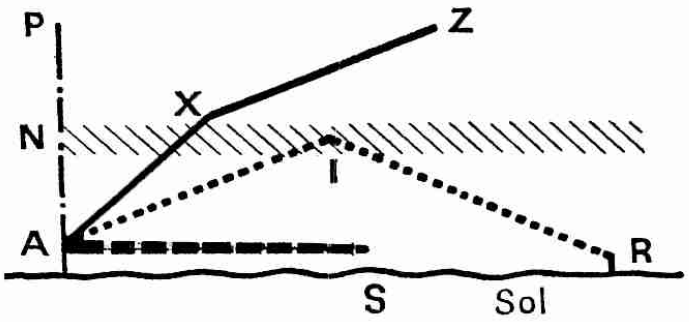


FIG. 73. — Explication des zones de silence.

Dans les deux premiers cas, il quitte notre monde, comme il vient d'être expliqué;

Dans le troisième cas, il se réfléchit en I sur la couche d'Heaviside et atteint R;

Enfin AS est le « rayon » (ou « onde terrestre »); mais il arrive (comme nous l'admettons ici) qu'il s'arrête en route : il s'éteint progressivement, son énergie étant communiquée (par courants induits, § **11,** fin) dans le sol (surtout s'il est conducteur) et dans les obstacles qu'il heurte sur son chemin.

En définitive, toute la région SR n'est atteinte par aucune des ondes émises par A; on observe alors une *zone de silence,* qui s'étend sur toute la surface comprise entre les deux circonférences de rayon AS et de rayon AR (puisque les trajectoires plus inclinées sur l'horizon que AI vont atteindre des points à droite de R).

Ajoutons qu'aux environs du point R (et des autres points de la circonférence de rayon AR), l'audition est considérablement renforcée, car il s'y produit une accumulation des trajectoires telles que AIR (par suite, notamment, d'une plus ou moins

(1) Les trois premières sont celles des « ondes d'espace »; la quatrième, celle des « ondes de sol ».

grande pénétration dans la couche d'Heaviside). C'est grâce à des renforcements de ce genre qu'on parvient à ne consommer que de très faibles puissances pour communiquer d'Europe en Australie; mais les conditions restent fort instables.

Les phénomènes d'*évanouissement* (dénommés « fading » en Angleterre et en Amérique) proviennent de l'interaction de diverses ondes émises par une même station : il peut y avoir interférence entre l'onde terrestre (C, *fig.* 71) et l'onde indirecte (L, même figure); mais, surtout, entre deux ondes L qui n'ont pas suivi le même chemin. Ce qui est plus grave et amène d'intolérables perturbations dans l'audition, c'est que de telles interactions varient au cours du temps, par suite de l'instabilité (en altitude et en répartition électronique) de l'ionosphère. Aussi le « fading » se présente-t-il fréquemment sous forme de renforcements et d'affaiblissements successifs (1), qui rendent l'écoute impossible. Nous mentionnerons plus tard (§ **70**) les dispositifs imaginés pour y porter remède.

Disons, en outre, quelques mots sur les *parasites atmosphériques*, qui s'étendent sur toutes les fréquences utilisées et sont particulièrement violents pour les ondes longues. Ils sont dus à des décharges électriques provenant de l'électricité atmosphérique et accompagnées (comme dans l'oscillateur, *fig.* 51) de champs électromagnétiques (2), même sans qu'il y ait à proprement parler d'orages.

Il existe enfin une dernière raison de troubles dans la réception radioélectrique. Supposons un poste *bien réglé;* et, dans ces conditions, peu importe qu'il soit alimenté par le secteur ou par des piles. Il a été accordé sur une station d'émission, sur *une seule* station, sans que les autres soient perceptibles. Lorsque adite station s'arrête et qu'on approche l'oreille du haut-parleur, on entend un bruit continu, qui ressemble à un discret ronronnement. En réalité, et pour aussi surprenant que cela puisse

(1) C'est le phénomène des *battements* (bien connu en acoustique), sur lequel nous reviendrons (§ **66**). Pour s'en faire une idée, il suffit de prolonger (de façon continue) une voyelle (telle que *a*, *o*), tout en s'obturant, se désobturant, se réobturant, ... rapidement la bouche avec la paume de la main.

(2) De même, c'est avant tout aux étincelles électriques que sont imputables les *parasites industriels* dont nous avons déjà fait mention.

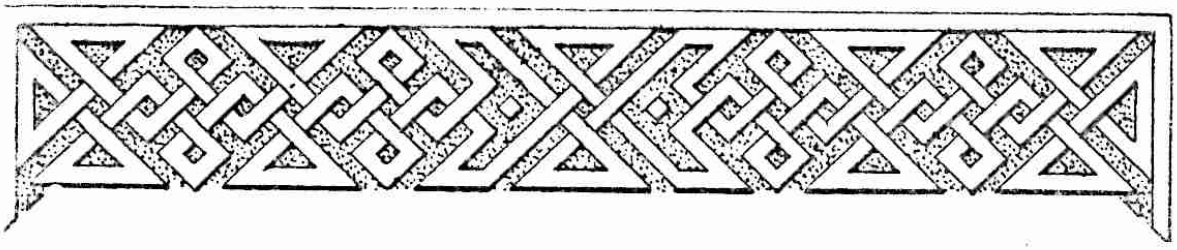
paraître, on « entend » le courant électrique résiduel, qui passe dans les circuits du poste de l'usager.

Si le courant était un « fluide », comme on l'admettait (faute de mieux) au siècle dernier et comme on le répète trop souvent, on n'entendrait rien. Mais le lecteur est parfaitement préparé à comprendre ce qui se produit, puisque, dès le début, nous avons pris garde de ne pas séparer l'électricité qui se présente *concrètement* et celle qui existe *réellement*. Le phénomène précédent, dit *bruit de fond*, est dû — suivant l'expression imagée — au « grattement des électrons » (1), c'est-à-dire à leur entraînement le long du circuit, lequel entraînement vient se superposer (*fig.* 1) au fourmillement spontané et, naturellement, inaudible. Ce bruit de fond *impose une limite* à la sensibilité de la réception (2), et nous ne manquerons pas de souligner, à ce propos, que la connaissance des électrons est **indispensable** pour comprendre, non seulement les intervalles de vide (chap. IV), mais encore les parties métalliques elles-mêmes des montages de radio.

---

(1) Encore que Jean-Louis Steinberg publie ensuite des idées devenues fantaisistes depuis 1927 sur l'expulsion des électrons par les corps chauds (§ **31**), nous reproduirons (revue *Atomes*, juillet 1947) quelques-unes de ses phrases, qui rafraîchiront la mémoire du lecteur sur ce que nous lui avons dit des électrons : « Le courant électrique s'apparente plus à une avalanche de graviers qu'au courant liquide d'une rivière. L'ancienne conception, faisant appel à un « fluide électrique », donnait une représentation des faits observés qui était suffisante à la précision des mesures effectuées à cette époque. De même qu'une avalanche de graviers ressemble de loin à un torrent liquide, de même l'avalanche d'électrons, qui constitue le courant électrique, étudiée avec des moyens grossiers, offre l'apparence d'un écoulement régulier et continu. Au fur et à mesure qu'augmentait la précision des mesures électriques, on a dû renoncer à la notion d'une continuité réelle, pour accepter la présence d'électrons en nombre énorme. »

(2) C'est cet *inévitable* grattement des électrons qui empêche d' « accrocher » (même avec toutes les amplifications imaginables) des émissions radioélectriques produisant, à l'entrée du poste, des tensions inférieures à une fraction de microvolt, ce qui est déjà bien beau...



Chapitre IV

LES INTERVALLES DE VIDE DANS LES MONTAGES DE RADIO

29. *Rôles multiples du vide en radioélectricité.* — Le vide est l'un des *points de friction* où se heurte, au *réel* du scientisme actuel, le *concret* de la science d'il y a cinq siècles, lequel est adopté, sans y chercher malice, par l'« homme de la rue », retranché dans une fausse conviction de la valeur absolue de ses propres perceptions (« il n'y a pas à discuter, affirme-t-il constamment, *c'est un fait...* »).

Eh bien! non, dans la plupart des cas, ce n'est pas un fait. Tout ce qu'au mieux on peut dire, c'est que *c'était un fait,* aujourd'hui dépassé. Lorsqu'on est imbibé de cette mentalité puérile, témoignant d'une affectivité sans contrôle, qui pousse à la phobie du doute et au besoin exagéré de certitude, il est préférable de renoncer tout de suite à la pensée. C'était un fait, au moyen âge, que le vide s'opposait (grammaticalement) au plein ou que la nature avait horreur du vide (on ignorait alors — *tout* simplement — que la « nature » *contient* de nombreux milliards de milliards de fois plus de vide que de plein, et que ce « plein » *consiste* en infimes corpuscules, se déplaçant avec des vitesses folles). Mais c'est un fait, aujourd'hui, qu'on est strictement en droit de parler d'un litre plein de vide, comme on parle d'un litre plein de rhum, ou de parler de la température d'un certain vide, comme on parle de la température d'un certain malade. Pour reprendre la phrase, déjà citée (§ **2**, fin), de Hans Reichenbach, « il faut nous accommoder de ce qui est, si nous voulons vivre ». La question de savoir « pourquoi cela est » —

dans la mesure où elle possède (ou possédera) un sens — ne peut venir qu'après, encore qu'elle passionne les gens qui, pour la plupart, ne se font aucune idée nette de « ce qui est »...

En conformité avec ce que nous avons dit (§ **4, III**), le vide est, en principe (1), le siège d'un *champ*, et nous avons alors déclaré nous limiter ici aux champs électrique et magnétique (2). Puis, chemin faisant, le vide a été rencontré en deux circonstances :

I. Comme milieu intérieur d'un condensateur (§ **5**) ou d'une bobine (§ **9**). Là, le vide est un *isolant* électrique. Mais, comme l'air rend exactement les mêmes services, les montages de radio ne se préoccupent pas de cette *complication inutile*, qui consisterait à fabriquer des condensateurs à « âme » de vide ou des bobines à « âme » de vide.

II. Plus tard (§ **27**), nous avons expliqué que la couche d'Heaviside (l'ionosphère) est essentiellement une couche de vide. Mais c'est, cette fois-ci, un vide *conducteur* de l'électricité (par suite des électrons qu'elle renferme), ce qui fait que cette couche fonctionne *grosso modo* comme un miroir métallique vis-à-vis des ondes radioélectriques (longues et moyennes) qui viennent la frapper (3).

A propos du vide, les amateurs de littérature (et qui ne l'est pas peu ou prou?) songeront à la « langue d'Esope » : car le fabuliste grec, friand de calembours, considérait la langue comme la meilleure (4) et comme la pire (5) des choses. Avec une pré-

---

(1) On ne peut imaginer un volume de vide qui ne serait le siège d'*aucun* champ (directement ou indirectement appréciable), car on ferait apparaître un champ (de gravitation) par les appareils mêmes qu'on y introduirait pour mesurer ses dimensions.

(2) Ainsi qu'à cette intime juxtaposition de ces deux champs, que constitue le champ électromagnétique (§ **22**, fin).

Le champ électrique seul, le champ magnétique seul ne peuvent exister que s'ils sont *constants* (que si leur période de variation est « infinie », § **15**, 2e note). L'un et l'autre sont ainsi des *particularisations* du champ électromagnétique.

(3) Les rayonnements hertziens que les hommes envoient sur la couche de Kennelly-Heaviside y provoquent des déplacements d'électrons, autrement dit des courants électriques, qui, bien entendu, n'interviennent pas par eux-mêmes dans nos télécommunications.

(4) « Lien de la vie civile, clé des sciences, organe de la vérité et de la raison, etc. »

(5) « Mère de tous les débats, nourrice de tous les procès, source des divisions et des guerres, etc. »

cision que cette allusion littéraire ne laisse pas soupçonner, il convient d'insister sur le fait que le vide est, à la fois, le pire des conducteurs et le meilleur. Le vide — nous venons de le voir (en **I**) — est un excellent isolant, mais il devient un excellent conducteur dès qu'on y introduit un volume infime (1) de corpuscules électrisés, tout spécialement des électrons.

Nous devons comparer — car ce parallèle est riche en enseignements de toutes sortes — le vide (pollué par quelques électrons) avec les meilleurs conducteurs métalliques (argent, cuivre, aluminium, potassium,...). Un milieu est d'autant plus conducteur de l'électricité que le passage d'un *même* courant y provoque un *moindre* dégagement de chaleur. Les métaux cités dégagent relativement peu de chaleur (2), mais le vide n'en dégage *pas du tout*. Et cela se comprend sans peine :

1° Quoique *libres* à l'intérieur d'un métal, les électrons, sollicités par un champ électrique, ne se déplaceront pas sans rencontrer les atomes (3) qui oscillent sur place. A chacun de ces chocs, l'électron perdra une certaine énergie, qui se retrouvera « concrètement » (4) en chaleur. Il s'ensuit que l'écoulement des électrons dans un métal — pour aussi conducteur qu'on le choisisse — sera accompagné d'un incessant freinage.

2° Tout autres sont les « mœurs » des électrons (également *libres*) dans le vide. Là, ils effectuent leur trajet en ligne droite sans jamais heurter de corpuscule matériel, puisque l'on a obtenu un vide assez *poussé* pour qu'il en soit bien ainsi (5). Il ne se produira donc

---

(1) Le vide renfermant des électrons ne se distingue par aucune *autre* propriété du vide qui n'en contient pas (en particulier, les densités de ces deux vides se révèlent comme identiques dans les mesures les plus précises).

Pour introduire des électrons dans du vide, on dispose de plusieurs méthodes, parmi lesquelles nous n'aurons à retenir que l'émission thermoélectronique (§ **31**) et la photoélectricité (§ **77, III**).

(2) C'est pour cela que les métaux purs ne servent pas comme *éléments chauffants* dans les radiateurs électriques. (On leur préfère des alliages moins conducteurs, comme le nichrome.)

(3) Plus exactement : les noyaux atomiques.

(4) C'est-à-dire : « réellement » en augmentation de l'amplitude des oscillations locales des noyaux atomiques.

(5) La théorie et l'expérience montrent qu'il n'y a pour ainsi dire jamais de collision entre deux électrons.

pas de dégagement de chaleur, pas de freinage (1). Ce qui est plus important encore, c'est que les électrons, dans le vide, ne présentent *aucune inertie*, qu'ils obéissent *instantanément* aux champs extérieurs, même pour les plus hautes fréquences (2). Les électrons nous fournissent donc un matériel idéal pour utiliser les champs électromagnétiques (§ **22**) quels qu'ils soient, là où les objets usuels (boule de liège, § **5**; aiguille de boussole, § **9**) s'obstinaient — de par leur énorme inertie — à nous refuser tout service (3).

On conçoit par suite pourquoi les « intervalles de vide » vont retenir notre attention pendant tout un chapitre. Et encore ce chapitre n'est, en quelque sorte, qu'une *entrée en matière*, puisque nous ne nous y occuperons guère que de deux des fonctions (amplificatrice et oscillatrice) des tubes électroniques. Leurs fonctions modulatrice et détectrice ne seront abordées que plus tard (chap. VII). La question du vide ne sera pas épuisée pour si peu, puisqu'elle surgira à nouveau, d'une part, dans la photocellule et dans l'iconoscope (chap. IX) et, d'autre part, dans l'oscillographe cathodique (chap. X).

Il n'est donc pas exagéré de dire que le vide — ou, mieux, la collaboration du vide et de l'électron — est la « baguette magique », la « bonne à tout faire » de la radiotechnique sous toutes ses formes.

30. *La gamme des tubes électroniques.* — La radio — au sens populaire et social du terme — ne serait jamais apparue sur la Terre, si l'on n'avait pas cherché (après l'avoir prévu) le rayonnement électromagnétique et si l'on n'avait pas compris les phénomènes électriques qui se passent à la surface des corps conducteurs chauds : ce fut l'œuvre, d'une part, de James-Clerk Maxwell (disciple de Michael Faraday) et de

(1) Pour réfuter dès l'abord une objection qui pourrait plus tard (§ **32**) venir à l'esprit, spécifions qu'il ne s'agit ici que de l'intervalle *lui-même* de vide (par exemple : entre la cathode d'une diode et sa plaque). La résistance du vide est nulle. Et quand nous aurons à parler de la résistance d'un tube électronique, nous ferons allusion à *toute la portion de circuit* placée entre la broche extérieure de la cathode et la broche extérieure de la plaque (y compris les parties métalliques et *surtout* les contacts cathode-vide et vide-plaque).

(2) Comme les 200 mégacycles de la télévision.

(3) Nous verrons enfin (§ **32**) que le vide présente, sur les métaux, le grand avantage de permettre un contrôle rigoureux de tous les phénomènes électriques dont il est le siège.

Heinrich Hertz, et, d'autre part, principalement, d'Owen-Williams Richardson. C'est là l'essentiel (1). Qu'importe, après tout, que tous ces savants soient des étrangers? La France compte suffisamment d'initiateurs (2) dans les autres domaines...

En ce qui concerne ces deux *raisons générales*, qui viennent converger dans notre radio quotidienne, nous sommes suffisamment familiarisés (chap. III) avec les « ondes »; il importe donc d'acquérir des notions *précises* sur les « corps chauds ».

Sur ce dernier point, divers expérimentateurs du XVIII[e] siècle avaient enregistré de très vagues constatations (3). Le premier travail d'ensemble — très honorable, quoique venu trop tôt — parut en France (1853), dû à Edmond Becquerel : c'est lui qui établit, pour la première fois, qu'un courant électrique peut traverser *autre chose* qu'un métal ou qu'un électrolyte (4). Peinant, comme d'habitude, au hasard et ne connaissant rien de ce qui avait été fait avant lui, Thomas-Alva Edison (1847-1931) eut, un beau jour (1883), l'« idée » d'introduire une lame métallique (reliée à l'extérieur) dans une ampoule électrique : le dispositif imaginé n'était nullement protégé contre les possibilités d'erreurs (5); il observa un courant à travers le vide (entre le

---

(1) Si, au cours des « crises » en cascade auxquelles nous assistons, notre civilisation s'effondre dans le néant, ce sera *essentiellement* parce qu'elle n'aura pas su distinguer l'essentiel de l'accessoire. Songeons à l'avertissement prophétique de Léon Brunschvicg (1934) : « La qualité des âmes ne saurait dispenser de la qualité des idées. »

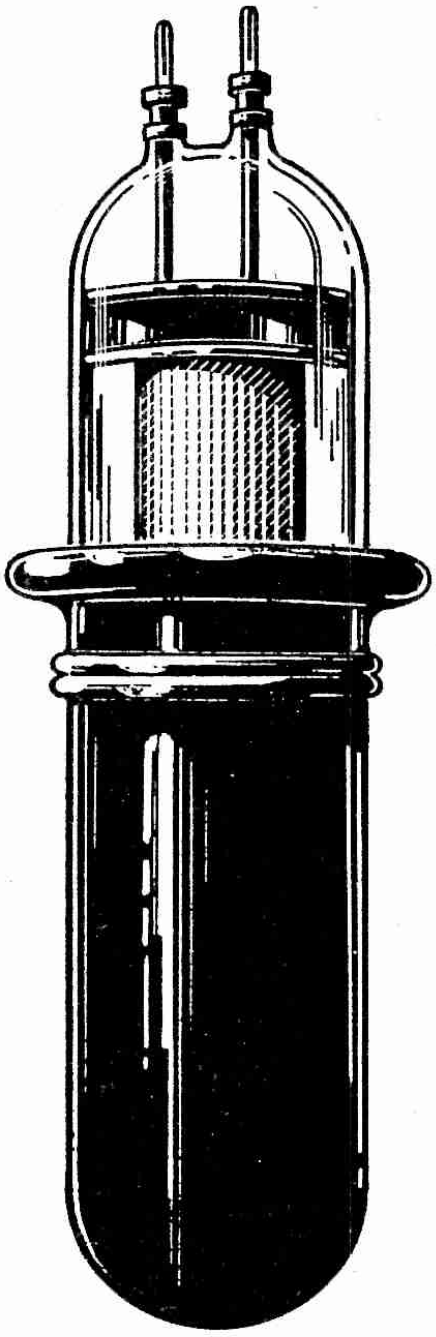
(2) Paré, Viète, Desargues, Descartes, Fermat, Pascal, Réaumur, Buffon, Clairaut, d'Alembert, Lagrange, Coulomb, Lavoisier, Lamarck, Monge, Jussieu, Berthollet, Laplace, Legendre, Cabanis, Fourier, Cuvier, Bichat, Broussais, Ampère, Laënnec, Fresnel, Poncelet, Cauchy, Carnot, Dumas, Bravais, Galois, Bernard, Gerhardt, Foucault, Hermite, Pasteur, Berthelot, Darboux, Le Chatelier, Poincaré, Delage, Curie, Perrin, Langevin, Baire, Lebesgue (sans parler des contemporains).

(3) A peine plus vagues que la « curiosité » notée par Edison (1883) dans la lampe à incandescence qu'il venait de monter.

(4) Un électrolyte est une solution saline. Nous en avons dit un mot (§ 8, note) à propos des condensateurs électrolytiques.

(5) C'était bien « le cadet des soucis » de ce bricoleur génial, très ignorant et totalement dépourvu d'esprit scientifique. (Son compatriote Bernard Jaffe n'a pas même songé à parler de lui dans son excellent livre *Savants américains*, traduit en 1944.) Au point de vue d'Edison, l'expérience dont nous parlons n'a jamais eu plus d'intérêt que n'importe lequel des milliers d'essais dans tous les sens auxquels il se livra durant sa longue vie : la preuve, c'est que « l'idée » en question est passée sous silence dans les 220 pages de sa biographie officielle. C'est le moment de rappeler la remarque profonde du grand chimiste français Henry Le Chatelier : « Les inventions ne sont pas un élément prépondérant du progrès des sciences; elles ne sont qu'un témoignage de la médiocrité de nos méthodes de travail. »

filament de la lampe et la lame supplémentaire), courant qui avait l'air de passer plutôt dans un sens qu'en sens inverse. Le principal mérite (si l'on peut dire) d'Edison fut d'inciter un physicien anglais, John-Ambrose Fleming, à y voir clair, ce qui eut lieu aux alentours de 1890 et ce qui le conduisit à concevoir la **diode** (1) en 1903.



Avant d'expliquer ce qui s'y passe (2), nous mettrons sous les yeux du lecteur l'aspect de deux de ces tubes en en choisissant un parmi les plus grands (*fig.* 74) et le second (*fig.* 75) parmi les plus petits (3). Il n'est pas question,

FIG. 74 et 75. — Un tube électronique (amplificateur) de 250 kilowatts pour l'émission, et un tube micro pour la réception (dessinés à la même échelle).

pour le moment, de savoir « ce qu'il y a dedans » : on se borne ici à l'aspect extérieur. Mais de même que, quand on a vu un petit ventilateur ou un moteur à fraiser chez son dentiste (fraction de kilowatt), il est bon de connaître l'existence de gros moteurs, appliquant le même principe, sur les locomotives électriques (plus d'un millier de kilowatts), de même

(1) C'est *le plus simple* des tubes électroniques (ou encore « radiotubes », ou lampes de T. S. F.). Dans cet ensemble innombrable, nous ne mentionnerons dans la suite que les types les plus importants. Sous l'angle étroit du vocabulaire, nous éviterons autant que possible les multiples désignations en « on » (audion, rhumbatron, phénatron, ...), où les étymologistes s'en sont donné à

l'usager moyen — qui regarde ou manipule de petits tubes électroniques (généralement moins grands qu'une ampoule d'éclairage) — doit savoir que les stations d'émission en utilisent d'énormes, dont la longueur peut dépasser largement la taille d'un homme. Dans les deux cas, les lois de radioélectricité qu'on invoque sont — bien entendu — les mêmes, encore que les besognes confiées présentent une variété qui déjoue la plus riche imagination...

La figure 76 donne l'allure d'un petit tube moderne pour un poste de téléauditeur; la partie inférieure (comme dans les ampoules d'éclairage) s'appelle le culot : on y rencontre des broches (longues tiges fendues), que l'on introduit dans des tubes (ou alvéoles), et, parfois, des ergots, qui viennent se loger dans des cavités disposées à cet effet. La figure 77 (tube vu par en dessous) indique comment le constructeur a prévu la disposition des broches et des ergots, pour que l'usager — quand bien même il n'y connaîtrait rien — n'ait aucune possibilité de se tromper lors de la mise en place, ce qui pourrait conduire (est-il besoin de le dire?) à « fusiller » la « lampe » (la « loupiote »).

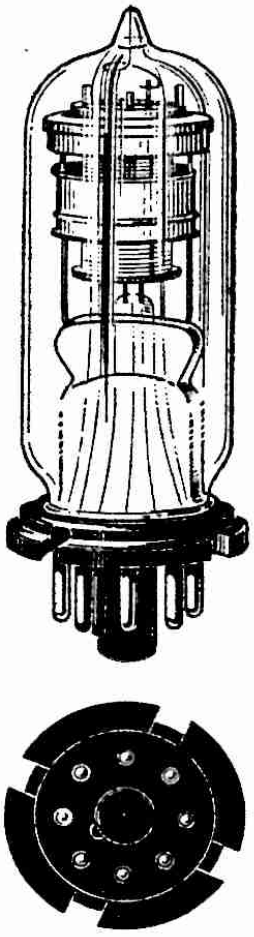


FIG. 76 et 77. — Un tube micro de réception (en grandeur réelle) et le détail de son culot (agencé pour que les broches rentrent dans les alvéoles qui leur sont destinés).

31. *L'émission thermoélectronique; cathodes.* — Les deux savants anglais Fleming et surtout Richardson ont étudié l'émission des électrons par les surfaces métalliques; les expériences de ce dernier s'échelonnèrent sur plus de vingt années, à partir de 1901 : il établit ainsi la riche documentation, dans laquelle

---

cœur joie. Il est préférable d'adopter la nomenclature fondée sur le nombre total des électrodes : diode, triode, penthode, ... (Ces noms seront affectés du genre féminin, par analogie avec le mot « électrode » — Faraday, 1834 — et avec le mot « cathode », qui revient à chaque instant : il serait un peu ridicule de parler de « la cathode d'un diode »!). Étant donné notamment que la cathode chauffée comporte, à elle seule, selon les cas (§ **31**), deux ou trois broches, le nombre des broches est toujours *supérieur* à celui des électrodes. (Une diode a généralement trois broches; une triode en a tantôt quatre, tantôt cinq; etc.)

(2) La fin du présent chapitre servira à en donner une *première* idée.

(3) Tout au bas de l'échelle se placent les « tubes-cacahuètes ».

allaient puiser tous les perfectionneurs-de-détail-en-tubes-électroniques.

Le lecteur ne s'étonnera pas si nous lui demandons de se représenter un métal comme un mélange, comme une « solution » (solide) d'électrons dans un ensemble d'atomes (1). Ce qui va se passer se conçoit intuitivement (2) en songeant à une solution (liquide cette fois) de sel dans l'eau, à la vulgaire « eau salée » : plus est élevée la température à laquelle on la porte, plus l'eau

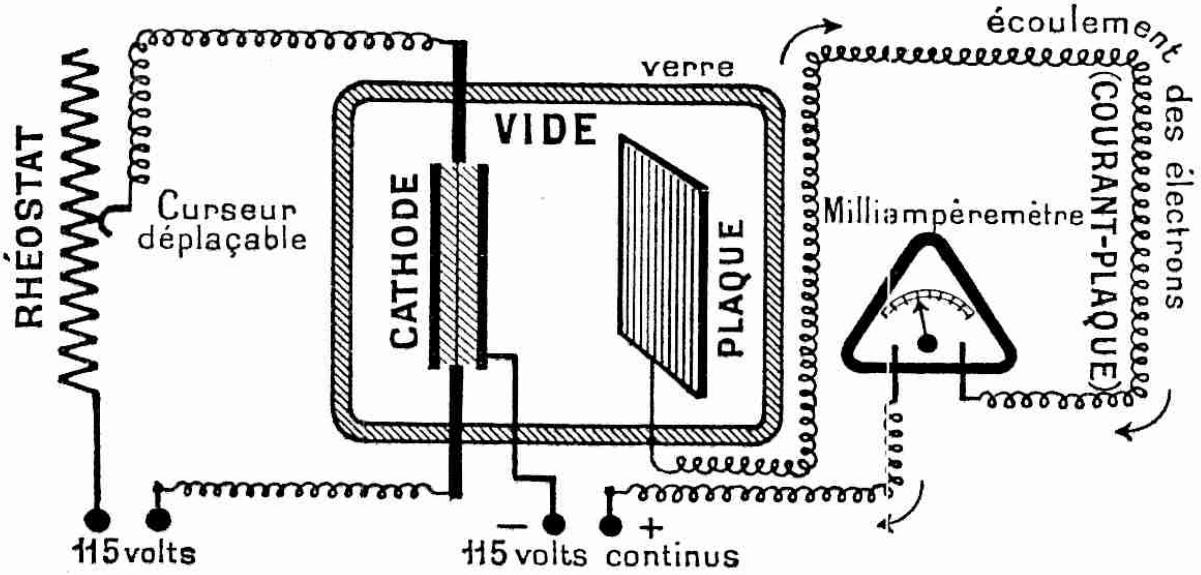


FIG. 78. — Emission thermoélectronique par une cathode à chauffage indirect.

a tendance à s'échapper de la solution (par évaporation), alors que le sel lui-même ne cherche aucunement à s'en aller. De même, plus on chauffera un métal, plus ses électrons se « volatiliseront » dans le vide ambiant, à la condition de rester dans des limites de température où le métal lui-même ne s'évapore pas.

En conformité avec les explications précédentes et pour nous préparer à bien lire des dessins plus schématiques, nous avons dessiné un montage très explicite (*fig.* 78), qui comporte deux circuits *indépendants*, celui de droite ayant trait à l'émission thermoélectronique elle-même, et celui de gauche n'ayant d'autre objet que de réaliser une surface métallique à une température bien déterminée.

(1) Ou, plus précisément, de noyaux atomiques.

(2) Pour acquérir quelques notions modernes sur le mécanisme de cette émission thermoélectronique, on pourra se reporter à *Qu'est-ce que...?*, 9e édition, pp. 153-159, Larousse.

I. *Courant de chauffage (ou de chauffe).* En conservant notre matériel familier, nous utiliserons un secteur de 115 volts (1). La figure 78 ne spécifie pas si c'est de l'alternatif ou du continu, ni, dans ce cas, la position des pôles + et — : tout ceci n'a *aucune importance;* il suffit tout simplement de porter le filament (2) à une température fixe (3). Entendons-nous bien : cette température reste fixe au cours de chaque essai, mais on la fera varier d'une expérience à l'autre. En déplaçant le curseur vers le haut (*fig.* 78), le courant diminuera dans le filament (et dans le rhéostat) et, par suite, la température baissera. Inversement, la température du filament s'élèverait, si l'on faisait glisser le curseur vers le bas.

II. *Courant-plaque.* Le second circuit, qui comporte un « intervalle de vide » (4), doit, au contraire, être branché sur une tension *continue* et *dans le sens indiqué* (*fig.* 78). Le manchon de porcelaine qui entoure le filament est lui-même entouré d'un cylindre de métal, dont nous indiquerons la nature dans un instant : c'est ce cylindre qui reçoit le nom de *cathode,* pour rappeler qu'il est connecté au pôle négatif (ici : du secteur 115 volts continus). La *plaque* (5) est généralement en nickel. Notre circuit à « intervalle de vide » contient enfin un milliampèremètre (6), c'est-à-dire un « compteur d'électrons »; nous avons vu qu'un milliampère (1 mA) correspond au passage, à chaque seconde, de

6 240 000 milliards d'électrons;

---

(1) Cet emploi du secteur serait extrêmement désavantageux dans la pratique, en raison de l'énorme puissance perdue (sous forme de chaleur) dans le rhéostat.

(2) Lequel est entouré d'un manchon de porcelaine (figuré par des hachures nord-est — sud-ouest).

(3) Cette température peut être mesurée avec une grande approximation, au moyen de nombreuses méthodes, qu'il n'y a pas lieu de décrire ici.

(4) La pression y est, par exemple, d'un millionième d'atmosphère : dans le tube à vide (*fig.* 78), on a enlevé 999.999 molécules pour chaque million de celles qui étaient présentes dans l'air ambiant.

(5) Parfois dénommée « anode ». La présence de deux électrodes dans un tube à vide le fait appeler **diode.**

(6) Le milliampèremètre doit être monté comme il est indiqué sur la figure 78 (borne de gauche connectée au pôle +). La raison réside dans la convention universellement adoptée (et non révisable) pour « le sens du courant ». (Nous n'insistons pas, car ce détail ne présente aucun intérêt pour le sans-filiste.)

les électrons qui se rendent du pôle — à la cathode, puis qui sautent (à travers le vide), et enfin qui vont de la plaque au pôle + (en traversant l'appareil de mesure) constituent ce qu'on appelle « le courant de plaque » et, communément, le *courant-plaque*.

Ajoutons cette *remarque importante*. La tension-plaque (cette tension continue et dans le sens indiqué de la figure 78) est empruntée à ce qu'on appelle, en radiotechnique (1), la «haute-tension», que l'on désigne par «HT» ou par «HT +», car, en principe, cette tension est prise par rapport à la Terre (2).

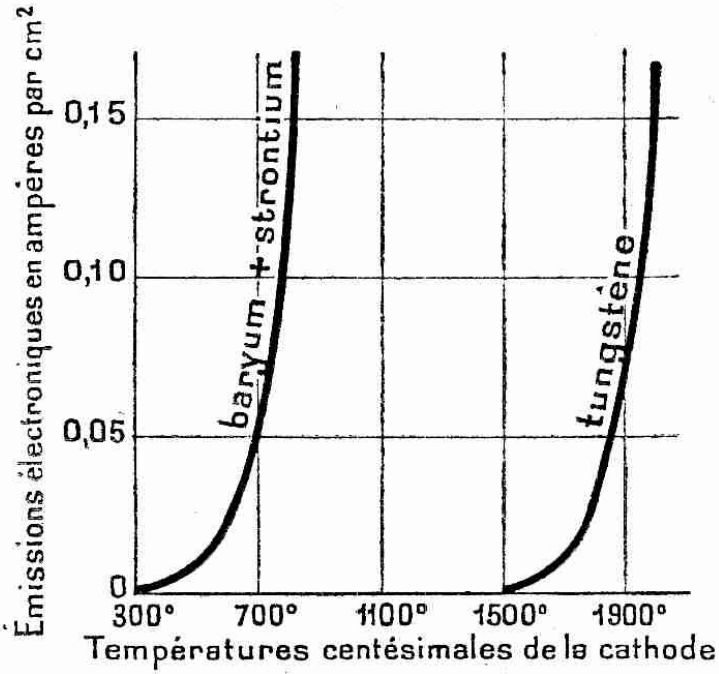


FIG. 79. — Graphique de l'émission thermo-électronique du montage précédent, pour les deux types les plus répandus de cathodes : à droite, cathode de tungstène; à gauche, cathode de Wehnelt (nickel recouvert de baryum + strontium).

De tout ce qui précède, il résulte que, quand (*fig.* 78) nous déplacerons le curseur du haut vers le bas, l'aiguille du milliampèremètre ira de la gauche vers la droite. On peut donc tracer une courbe (3), en portant horizontalement les températures de la cathode et, verticalement, les valeurs du courant-plaque.

C'est ce que représentent, d'une manière plus générale, les deux

(1) Il faut bien prendre garde que cette « haute-tension » n'a rien de commun avec ce qu'on désigne ainsi en électrotechnique. D'une part, la haute-tension radiotechnique est *toujours* continue (alors que la haute-tension électrotechnique est généralement alternative). D'autre part, la haute-tension électrotechnique peut être de l'ordre de « 200 000 volts », tandis que les auditeurs de radio (dans leurs postes récepteurs, chap. VIII) disposent de tensions comprises entre 80 volts et 350 volts (rarement plus).

(2) Ou par rapport à la masse, dans les postes récepteurs (§ **60**).

(3) Qui exprime la formule mathématique (passablement compliquée) de Richardson-Dushman (1925).

graphiques de notre figure 79. Pour rendre les données indépendantes des dimensions de la cathode, l'échelle verticale concerne le courant (l'émission électronique) rapporté à un cm^2 de cathode et, comme on le voit, il y a lieu de distinguer deux cas pratiques :

1° La courbe de droite résume les résultats obtenus quand la cathode est faite de *tungstène,* c'est-à-dire du métal qui constitue le filament des ampoules électriques usuelles. L'émission thermoélectronique ne commence que vers 1 500°, puis elle croît extrêmement vite lorsque la température augmente. Couramment, dans les gros tubes électroniques d'émission, le tungstène est porté à 2 200° ou 2 500° (1). Son avantage est de bien résister aux actions destructives des gaz résiduels; son inconvénient est de donner un courant-plaque qui ne dépasse guère 10 milliampères par watt dépensé pour le chauffage;

2° La courbe de gauche (marquée *baryum + strontium*) est relative aux cathodes proposées, dès 1904, par le physicien allemand Arthur Wehnelt. La cathode de Wehnelt — dénommée incorrectement (2) « cathode à oxydes » — émet dès 300°; l'allure de la courbe est la même que celle de l'autre. Particulièrement recommandable pour les basses tensions des postes récepteurs, elle donne un courant-plaque facilement supérieur à 100 milliampères par watt de chauffage.

Voici donc, simplifié à l'extrême, ce qu'il convient de savoir sur l'émission thermoélectronique, condition *sine qua non* de la radiodiffusion.

Disons-le maintenant : c'est à dessein que nous avons alimenté

---

(1) La cathode de la figure 78 est dite *à chauffage indirect,* car ce n'est pas le filament (électriquement chauffé) qui est le siège de l'émission thermoélectronique. Ce mode de chauffage (apparu en 1929) est, de beaucoup, le plus employé dans les postes récepteurs (postes-secteur), et c'est pour cela que nous avons commencé par lui. Avant cette date, on ne connaissait que le *chauffage direct :* la cathode n'avait ni isolant (de porcelaine) ni tube extérieur (le courant de chauffe passait dans le filament, émetteur d'électrons).

(2) Le tube de cette cathode (*fig.* 78) est en nickel. Au préalable, on a déposé une couche très mince de nitrates de baryum et de strontium (en proportions tenues secrètes). La cathode subit une *formation* préliminaire qui ne fournit pas des oxydes (comme on l'a cru au début), mais une couche (épaisse d'un seul atome)du mélange des deux métaux.

le circuit-plaque par le secteur continu, car la tension de 115 volts (1) est largement suffisante pour drainer *tous les électrons* que la cathode est capable d'émettre (2).

Il est facile de deviner ce qui aurait lieu si, pour une position *bien déterminée* du curseur de la figure 78, on supprimait la tension continue de 115 volts : les électrons continueraient à être émis par la cathode, et il s'établirait un état d'équilibre dans le vide, entre cathode et plaque, avec de nombreux électrons (par cm^3) au voisinage de la première (3) et pour ainsi dire pas d'électrons près de la deuxième. On se rend compte, sans plus, que, pour une tension nulle entre plaque et cathode, le courant-plaque serait nul (le milliampèremètre resterait au zéro).

Et alors il n'est guère plus malaisé d'imaginer le fonctionnement de la diode entre ces deux cas extrêmes (tension nulle et tension du secteur), toujours en laissant constante la température de la cathode (4). Au fur et à mesure que cette tension croîtra, l'aiguille du milliampèremètre se déplacera de la gauche vers la droite (5). Bien entendu, ces explications restent sommaires : elles se maintiennent au stade vaguement qualitatif. L'étude approfondie (avec formule mathématique) a été publiée, en 1913, par le physicien américain Irving Langmuir : elle est indispensable à connaître si l'on veut comprendre (et faire progresser)

---

(1) Ou — ce qui revient au même — le champ électrique (§ 5), qui règne dans « l'intervalle de vide » entre plaque et cathode.

(2) Le courant-plaque est alors le plus grand possible (on parle, dans ce cas, de « courant de saturation »).

(3) C'est ce que l'on nomme la « charge d'espace ».

(4) Autrement dit *en ne touchant pas* au curseur du rhéostat (*fig.* 78). Remarquons que, pour étudier un effet complexe, il est de bonne politique de ne pas tout faire varier en même temps...

Le commencement de ce paragraphe était consacré au fonctionnement à tension-plaque constante (et à température variable de la cathode). Nous faisons maintenant allusion à ce que serait le fonctionnement à température fixe (et à tension-plaque variable). Pour obtenir l'allure *générale* du phénomène, il faudrait : soit construire un graphique à trois dimensions, soit tracer (sur la *même* figure) un réseau (une juxtaposition) de courbes planes.

Le moyen le plus simple de faire varier la tension-plaque consiste à insérer, dans le circuit *de droite* de la figure 78, un rhéostat de résistance appropriée et muni, lui aussi, d'un curseur déplaçable.

(5) Le graphique représentatif a été donné à la page 158 de *Qu'est-ce que...?*, 9e édition, Larousse. Il ne nous a pas semblé nécessaire de le reproduire ici.

la radioélectricité; mais elle dépasse de beaucoup les possibilités du sans-filiste amateur, qui doit se contenter d'utiliser — pour sa plus grande joie d'ailleurs — ce que les savants ont découvert avant lui.

32. *Le redressement par diode.* — Redresser un courant alternatif, c'est le transformer en un courant qui ne passe que dans un sens (sans, pour cela, que le courant obtenu soit nécessairement constant). Au point de vue électronique, cela signifie que l'on dispose initialement d'oscillations (complètes) d'électrons et que :

1° Ou bien on conserve la première demi-oscillation (la première *alternance*) et l'on immobilise les électrons pendant la deuxième;

2° Ou bien on conserve la première alternance, et l'on inverse le mouvement des électrons pendant la deuxième. Cette variante présente l'avantage d'avoir un rendement double de la précédente (il suffit d'associer deux montages précédents, convenablement disposés; nous en rencontrerons un exemple au milieu de la figure 94).

Le mot « redressement » possède, en principe, une acception tout à fait générale; et, à ce point de vue, la détection (chap. VII) n'est qu'une variété de redressement. Toutefois, l'usage a prévalu de ne pas inclure la détection dans le redressement (au sens large) et de n'appliquer ce dernier terme qu'aux cas où l'on a affaire à la tension du secteur alternatif, laquelle sert à l'alimentation tant des stations d'émission que des postes de réception (postes-secteur).

Le redressement (considéré en 1°) se réalise au moyen de *conducteurs à sens unique* (1), qui laissent passer le courant dans un seul sens ou qui, pour le moins, favorisent beaucoup l'un des sens au détriment de l'autre. Nous nous occuperons

(1) Ces corps à conductivité unilatérale (comme on les appelle encore) sont parfois désignés sous les noms de « soupapes », de « clapets » ou de « valves ». L'origine de ces mots imagés est limpide : que l'on songe, par exemple, à une *valve* de pneu de vélo, laquelle laisse passer l'air de l'extérieur vers l'intérieur, et non en sens inverse. (Un conducteur, qui ne fait que *favoriser* un des sens, est assimilable à une valve qui fuit légèrement.)

essentiellement (1) de la **diode,** qui donne lieu à deux montages importants. Dans l'un et dans l'autre (*fig.* 81 et 84), on utilise le secteur alternatif à « 115 volts » (2), que l'on branche sur un transformateur, dont le rapport de transformation (§ **11,** fin) est égal à l'unité (3) : nous aurons donc, à nouveau, « 115 volts » entre A et B (*fig.* 81 et 84), et ces tensions, entre A et B, sont représentées par les deux courbes (identiques) des figures 82 et 85.

I. *Montage diode-résistance* (*fig.* 81). La diode (4) étant un conducteur à sens unique, elle ne laisse passer de courant qu'une alternance sur deux dans le circuit

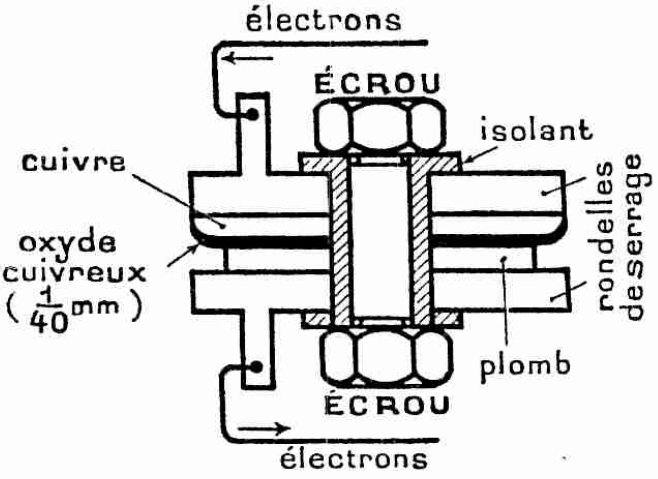


FIG. 80. — Le redresseur sec ou redresseur cuproxyde.

La couche d'oxyde (rouge) est obtenue par chauffage vers 1 000°. Les électrons sont entraînés de préférence du cuivre rouge vers l'oxyde — plutôt que l'inverse (ce second passage est mille ou dix mille fois plus difficile que le premier). Il ne faut pas faire passer plus qu'un ou deux dixièmes d'ampère par cm² de surface de contact (on peut d'ailleurs disposer plusieurs éléments en série); le rendement est de l'ordre de 60 p. 100.

(1) Voici une liste complète des *autres* redresseurs :

1° Redresseurs mécaniques (commutateurs tournants; commutatrices);

2° Redresseurs secs, dont le type est le « redresseur cuproxyde » ou « oxymétal » (*fig.* 80), imaginé par P. H. Geiger et L. O. Grondahl (1926) et utilisé, en radio, pour l'alimentation de certains postes récepteurs. (Il semble que le cuivre est seul capable d'émettre des électrons et, seulement, quand sa surface est négative par rapport à la lame — de nature différente — en contact.)

3° Redresseurs électrolytiques (notamment : deux lames — plomb et aluminium — plongeant dans une solution de phosphate d'ammonium).

4° Redresseurs à atmosphère gazeuse :

a) redresseurs tungar ou arwo, pour la charge des accus sur l'alternatif;

b) soupapes, dans les vieilles installations de rayons X;

c) convertisseurs à vapeur de mercure (constamment utilisés dans les sous-stations de transport et dans les stations d'émission radiophonique, en raison de la grande puissance qu'ils peuvent fournir).

(2) C'est-à-dire — répétons-le (§ **7**) — où la tension varie entre + 163 volts et — 163 volts.

(3) Ce transformateur ne modifie pas (dans l'exemple considéré) la valeur de la tension; il est néanmoins utile (même dans ce cas) de ne pas brancher nos circuits directement sur le secteur (qui a *toujours* une de ses bornes à la Terre). De la sorte, ils n'ont, avec lui, aucun point commun, et l'on peut relier à la Terre *sans danger* un point *quelconque*, par exemple les bornes **A** des figures 81 et 84.

(4) Le lecteur voudra bien faire attention à la représentation conventionnelle

ABBA. La tension entre **A** et **B** sera donc nulle la moitié du temps, et la courbe représentative de cette tension sera donnée par la figure 83 (où le maximum est quelque peu inférieur à celui de la figure 82).

II. *Montage diode-condensateur* (*fig.* 84). Dans ce deuxième cas, la tension entre **A** et **B** n'a plus du tout la même allure (*fig.* 86). D'une part, les « crêtes » ont sensiblement la même hauteur que pour la tension initiale (*fig.* 85). Et, d'autre part, les lignes droites (descendant vers la droite) sont dues à la décharge du condensateur dans la diode.

Les tensions (comme celles des figures 83 et 86) qui varient de valeur avec le temps (sans jamais s'inverser) sont des variétés de tensions ondulées (§ **16**). C'est donc avec des diodes que l'on obtient les quelques milliers de volts ondulés dont on a besoin en télévision (1). Dans tous les cas, le redressement par diode se recommande par la parfaite régularité de son fonctionnement; mais leur puissance relativement faible conduit à les abandonner dans les stations d'émission.

33. *Adjonction d'une électrode de commande.* — La diode de Fleming, qui date de 1903 et dont notre figure 78 donne une idée schématique, se révèle aujourd'hui comme n'étant qu'une première étape vers la radio moderne : elle fait partie des « travaux d'approche », car son fonctionnement est sans souplesse et ses possibilités sont bien minimes. En d'autres termes, le nombre des facteurs dont elle permet de disposer à notre guise se révèle trop faible.

Il était nécessaire de *compliquer* la diode. La première idée (2)

---

de la diode. Depuis plusieurs années, les « schémas » n'indiquent plus le circuit de chauffe du filament, ce qui permet de ne pas spécifier si (ultérieurement et selon les circonstances) on portera son choix, soit sur le chauffage indirect (*fig.* 78, à gauche), soit sur le chauffage direct (§ **31**).

(1) Ou les quelques centaines de milliers de volts qu'utilisent les installations modernes de rayons X.

Dans ces deux cas de hautes-tensions, la diode prend couramment le nom de « kénotron ».

(2) Cette idée vint, en 1907, à l'ingénieur américain Lee de Forest (qui ne se rendait d'ailleurs pas compte de ce qu'il faisait) : il inaugurait ainsi une suite imposante de recherches, auxquelles sa contribution fut d'ailleurs minime. Parmi la centaine de savants (et de techniciens) qui étudièrent — théoriquement (et expérimentalement) — la lampe à trois électrodes, il convient de mentionner : Irving Langmuir, T. G. Miller, ... et, chez nous, André Blondel (1863-1938), Raymond Jouaust, ...

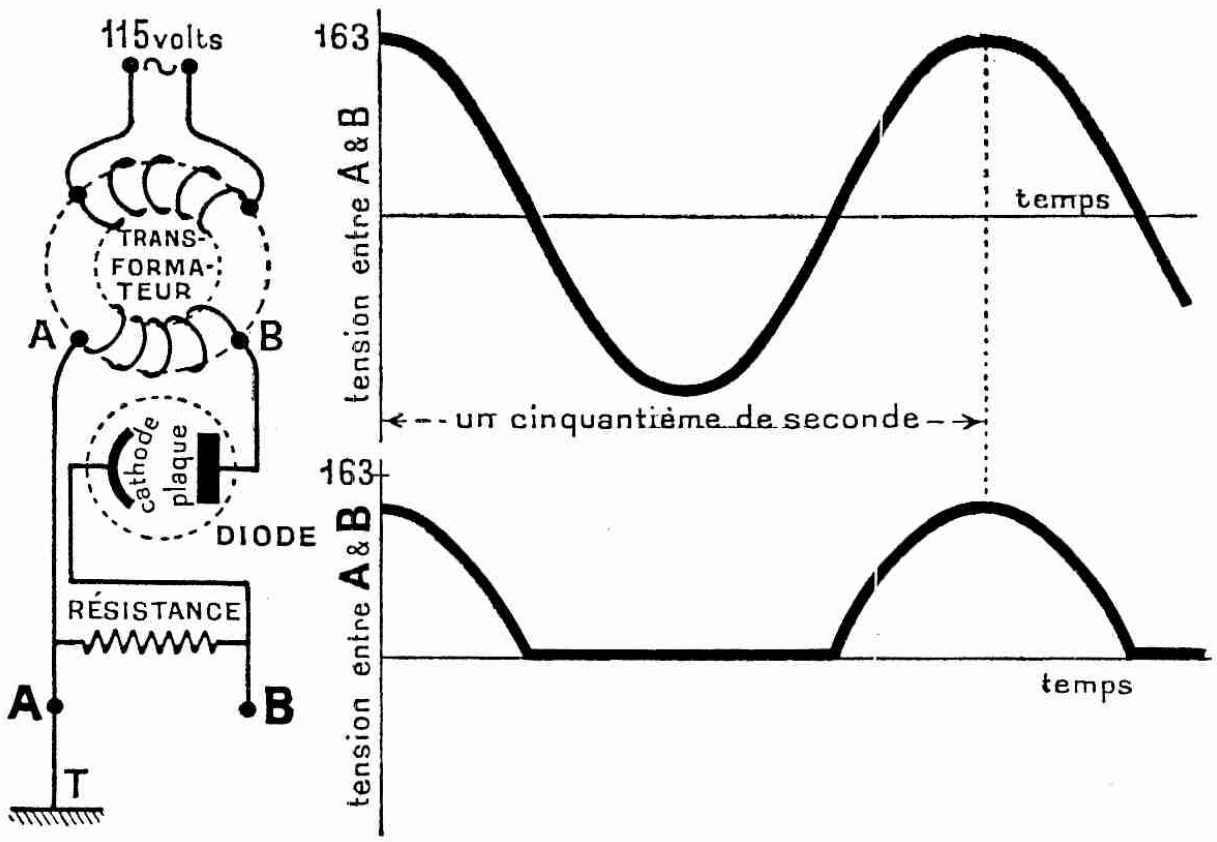


FIG. 81, 82 et 83. — Emploi de la diode comme redresseur (premier montage). La figure 81 indique comment la tension alternative (entre A et B, *fig.* 82) est transformée en tension ondulée (entre **A** et **B**, *fig.* 83).

consiste à introduire — entre la cathode et la plaque de la figure 78 — une lame métallique perforée, communiquant métalliquement avec l'extérieur et pouvant recevoir (grâce à une tension auxiliaire) un excès bien déterminé (ou un déficit bien déterminé) d'électrons. Cette lame perforée a reçu le nom de *grille,* car elle était primitivement une toile métallique, et elle a conservé son appellation initiale, quelle qu'ait été la forme qu'elle revêtit dans la suite (1); et cette réunion des trois électrodes (cathode, grille, plaque) dans un même tube électronique constitue une **triode.** La *tension-grille* est le nombre de volts qui sont appliqués entre la cathode et la grille (2); par exemple, dire que la tension-

(1) C'est ainsi qu'une spirale (bobine à fils de nickel très écartés) entourant la cathode continue à s'appeler « grille ».

(2) Redisons-le une fois de plus (en conformité avec le tableau de la figure 9) : il y a, entre la cathode et la grille, d'autant plus de volts qu'est plus grande la différence entre les nombres d'électrons présents sur un cm^2 de surface de grille et sur un cm^2 de surface de cathode. (On a interverti, dans la fin de la phrase précédente, les mots « cathode » et « grille », parce que les électrons sont *négatifs,* mais ce détail n'a, pour nous, qu'une importance secondaire.)

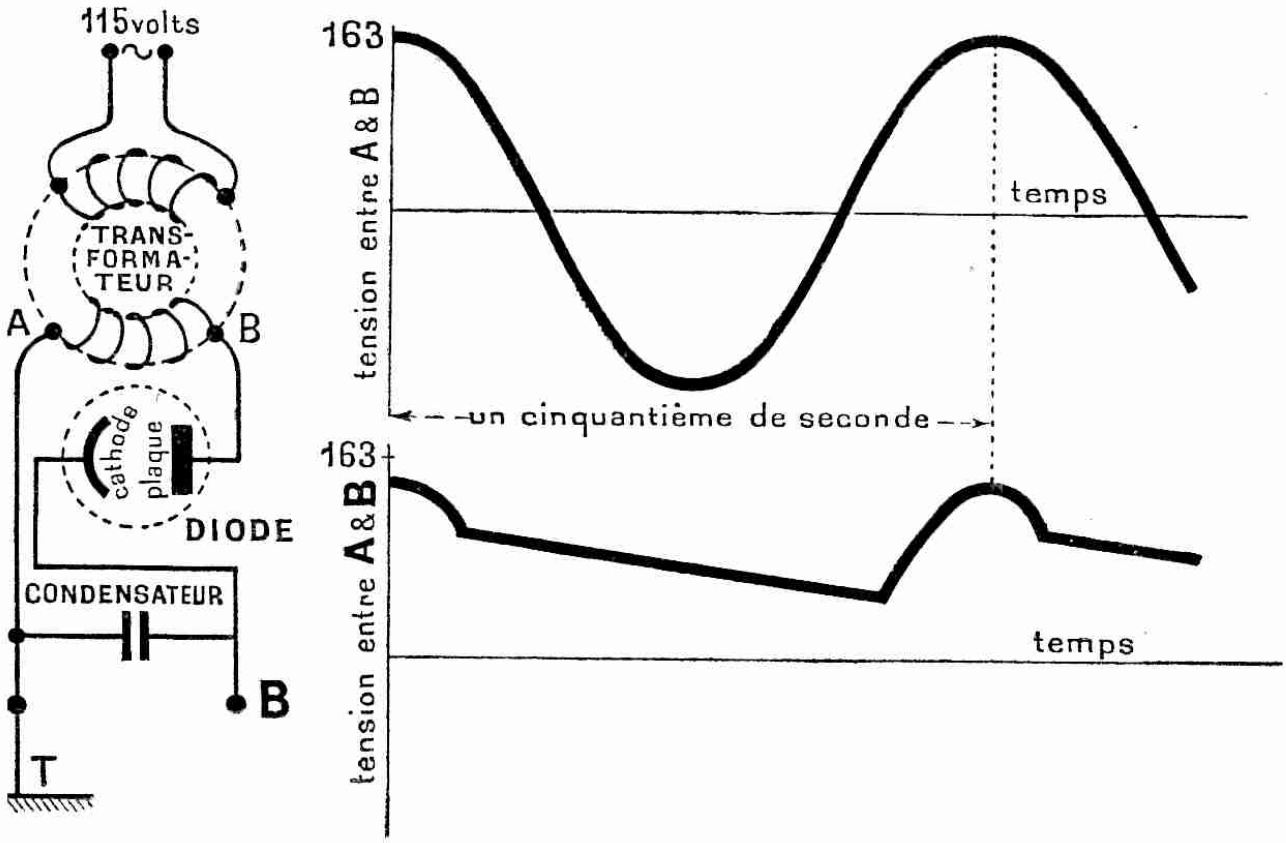


FIG. 84, 85 et 86. — Emploi de la diode comme redresseur (deuxième montage). La figure 84 indique comment la tension alternative (entre A et B, *fig.* 85) est transformée en tension ondulée (entre **A** et **B**, *fig.* 86).

grille est fortement négative, c'est exprimer qu'on s'est arrangé pour que la surface de la grille soit recouverte d'un grand supplément (1) d'électrons.

Le montage de la figure 87 présente, à nos yeux, un double intérêt : l'intérêt essentiel de nous faire comprendre le fonctionnement de la triode quand la grille est négative (par rapport à la cathode) ; l'intérêt accessoire de commencer à nous familiariser avec ces fameux « schémas » de radio (2), sur lesquels

---

(1) Par rapport à l'état électrique normal (état neutre).

(2) On notera, comme nouveautés, sur la figure 87 :

1° La représentation conventionnelle de la grille (par un pointillé épais);

2° La rencontre (sur le dessin) de deux fils :

a) Si, comme ici, les fils sont isolés l'un de l'autre, on pratique une interruption (fictive) de l'un des deux traits;

b) Si les deux fils étaient connectés, pour éviter toute erreur, on ajouterait un gros point noir à leur intersection.

La notation *zéro* (à propos de la tension), qui indique généralement une mise à la Terre (ou à la masse), ne doit pas soulever de difficulté :

« o + » indique une tension (du genre de celle du secteur continu, mais, ici, plus élevée) où la borne positive est en « + »;

pâlissent les générations successives des sans-filistes amateurs.

La cathode (*fig.* 87) étant chauffée (par un des deux procédés décrits au § **31**), appliquons 300 volts entre la plaque et la cathode. Si la grille n'existait pas (1), nous serions ramenés au cas de la figure 78 : les électrons émis par la cathode chaude seraient lancés dans le vide par le champ électrique qui y règne, et le milliampèremètre de droite indiquerait, par exemple, un courant de 10 mA.

Profitons maintenant des nouvelles possibilités que nous offre la présence de la grille, et supposons que nous établissions 2 volts (disons : par un seul accumulateur) entre la cathode et la grille (2) : la tension-grille est alors négative; la grille (« polarisée négativement ») se recouvre d'un excès d'électrons. Et voici comment va se comporter le faisceau d'électrons, qui, tout à l'heure, sautait sans obstacle de la cathode sur la plaque :

1° Ceux qui auront la « veine » de passer à travers les trous de la grille poursuivront leur trajet, comme si de rien n'était;

2° Mais ceux qui, « par guigne », auront quitté la cathode suivant une ligne droite qui rencontre (3) une partie métallique de la grille vont être repoussés (4) par les électrons présents à la surface et seront obligés — bon gré mal gré! — de rebrousser chemin.

Il n'y a pas besoin d'en dire plus pour que chacun conçoive que le courant-plaque sera *plus faible* quand la grille sera négative que quand il n'y aura pas de grille du tout (1).

Ce sont là, précisément, les données portées sur la figure 87; le courant-plaque n'est plus que 6 mA. Cette même figure montre

---

« o — » représente une tension (fournie, dans le cas présent, par un élément d'accumulateur), où la borne négative est en « — ».

Enfin, ne pas oublier qu'il y a un circuit supplémentaire (non dessiné) pour le chauffage de la cathode.

(1) Ou — ce qui revient au même — la tension-grille étant annulée (cathode et grille étant reliées métalliquement, en débranchant, bien entendu, l'accumulateur!).

(2) Et **non** entre la grille et la cathode, ce qui consisterait à appliquer une tension-grille *positive*. Le milliampèremètre de gauche n'est là qu'à titre démonstratif.

(3) Ou « qui passe très près de ».

(4) Car deux électrons se repoussent mutuellement, comme le font, en général, deux corps possédant des électricités de même nom (toutes deux négatives ou toutes deux positives).

également (sur le milliampèremètre de gauche) que le courant-grille est nul (1). Donc l'accumulateur de 2 volts *ne débite rien :* il ne « s'use » pas plus que si nous l'avions laissé dans l'armoire! On arrive donc à ce résultat inattendu que, *sans aucune dépense d'énergie,* il nous est possible de faire varier (2) le courant-plaque.

Il convient de tirer les conséquences de ce que nous venons d'apprendre (3).

Les données que nous nous sommes imposées :

$+$ 300 volts — 2 volts

et auxquelles la triode a répondu par 6 milliampères (4), auraient pu être prises fort différentes (en conservant, bien entendu, la même triode). Mais, comme il est déjà bien assez difficile de s'occuper d'une seule chose à la fois, nous allons d'abord maintenir *fixes* les 300 volts de tension-plaque et faire varier la tension-grille (« polarisation » de la grille), par exemple

de $-$ 3 volts à $+$ 2 volts,

en mesurant, chaque fois, au milliampèremètre de droite (*fig.* 87), les courants-plaque correspondants, ce qui donne les nombres suivants :

tensions-grille (en volts)	-3	-2	-1	0	$+1$	$+2$;
courants-plaque (en mA)	$+4$	$+6$	$+8$	$+10$	$+12$	$+14$.

La loi de variation est la plus simple qu'il est possible d'imaginer : chaque variation d'un volt est accompagnée d'une variation de deux milliampères. Ces points expérimentaux, portés sur un graphique (*fig.* 88) où la tension-grille est comptée sur l'horizontale et le courant-plaque sur la verticale, fournissent

---

(1) Il n'y a réellement aucune raison pour que la grille perde des électrons, puisqu'elle est constituée par un métal *froid,* placé dans le vide. Ce que nous venons d'expliquer (en 1° et 2°) nous apprend qu'elle ne peut pas non plus en gagner.

(2) Ou encore de *commander* (en anglais : *control*) le courant-plaque. Par mimétisme, les radioélectriciens et sans-filistes français ont « traduit » ce mot par « contrôler » (ce qui est une absurdité : une chasse d'eau *commande* l'écoulement de l'eau, elle ne le « contrôle » pas !).

Étant donné, d'autre part, qu'on appelle *relais* un dispositif destiné à agir sur le courant dans un certain circuit, la triode, employée dans ces conditions, est un relais *idéal* (et ceci, du fait des *inhabituelles* propriétés des électrons).

(3) Le lecteur aurait tort de s'impatienter, en s'imaginant que nous faisons l'« école buissonnière ». Non seulement nous avons suivi la seule voie possible, en nous limitant strictement à l'*essentiel,* mais il sera bientôt étonné de constater combien devient simple toute la question de l'*amplification,* ce qui est — personne n'en disconviendra — un « gros morceau » en radio!

(4) Au milliampèremètre de droite. Celui de gauche est devenu inutile, maintenant qu'il a joué son rôle... pédagogique.

une ligne droite (1) : c'est la ligne supérieure de la figure 88, où l'on retrouve (marqué d'un cercle) le point relatif aux données de la figure 87 (2).

Un second examen de la figure 88 nous convainc que — fort

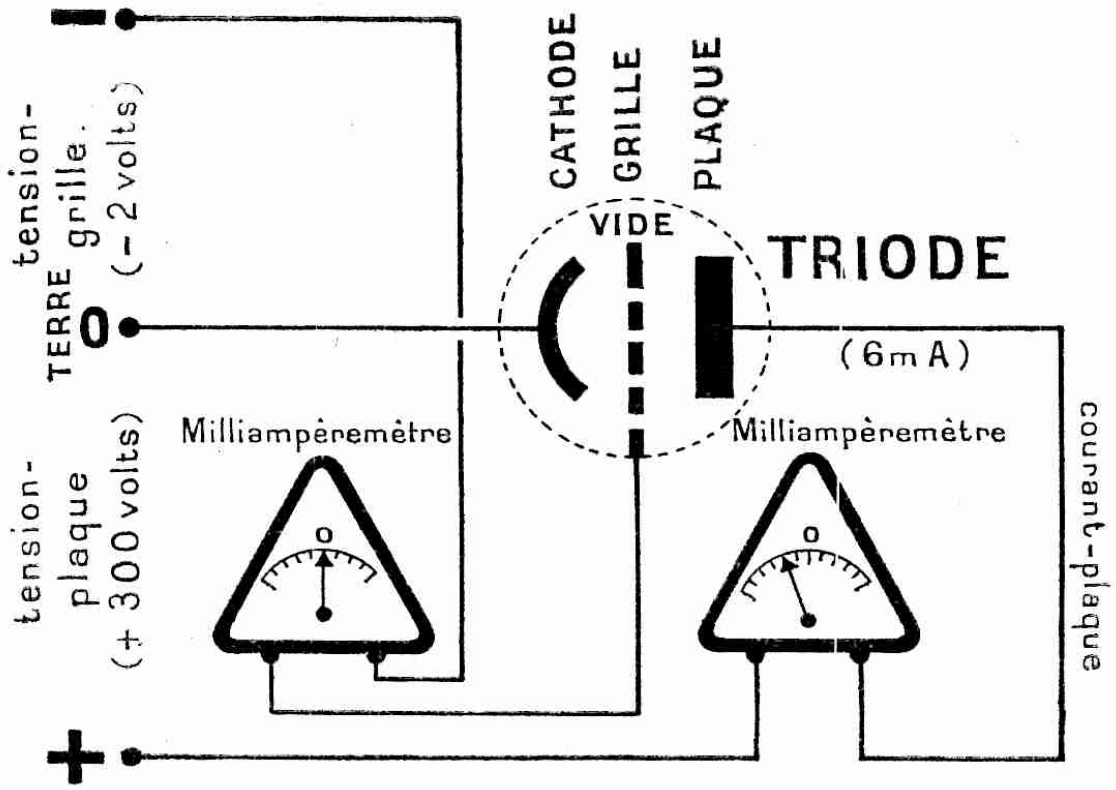


FIG. 87. — Courant-plaque d'une triode, quand on applique entre sa cathode et sa grille une tension négative. (Le courant-grille est nul.)

heureusement — les phénomènes ne sont pas plus compliqués quand on choisit **d'autres** tensions-plaque (200 volts, 100 volts) et qu'on les maintient *chaque fois* constantes, en faisant varier la tension-grille, ce qui donne, pour le courant-plaque, les valeurs représentées par les deux autres lignes droites (3).

---

(1) A la condition — spécifions-le dès maintenant, mais nous y reviendrons plus loin (§ **57**) — de rester dans les limites de notre graphique. Les hachures (*fig.* 88) sont là pour rappeler que nous nous interdisons provisoirement de considérer les valeurs très faibles du courant-plaque.

(2) Et (marqué d'une croix de multiplication) le cas de la diode (ou celui d'une triode, dans laquelle cathode et grille seraient directement reliées).

(3) On a ainsi ce qu'on appelle un « réseau de courbes » (ici : de droites) ou une « famille de courbes » (et l'on fait ainsi l'*économie* d'un graphique à trois dimensions, qui est moins intuitif sans entraînement). Il est manifeste que la droite du milieu (200 volts) est équidistante des deux autres (300 volts et 100 volts), ce qui simplifie considérablement les calculs (lesquels se ramènent à l'usage de la bienheureuse *règle de trois !*).

Ce même graphique (*fig.* 88) nous fait connaître diverses grandeurs, qui définissent la triode en question et dont nous dirons un mot, ne serait-ce que parce qu'on en parle tout le temps — souvent d'une façon sibylline — dans les ouvrages de radio :

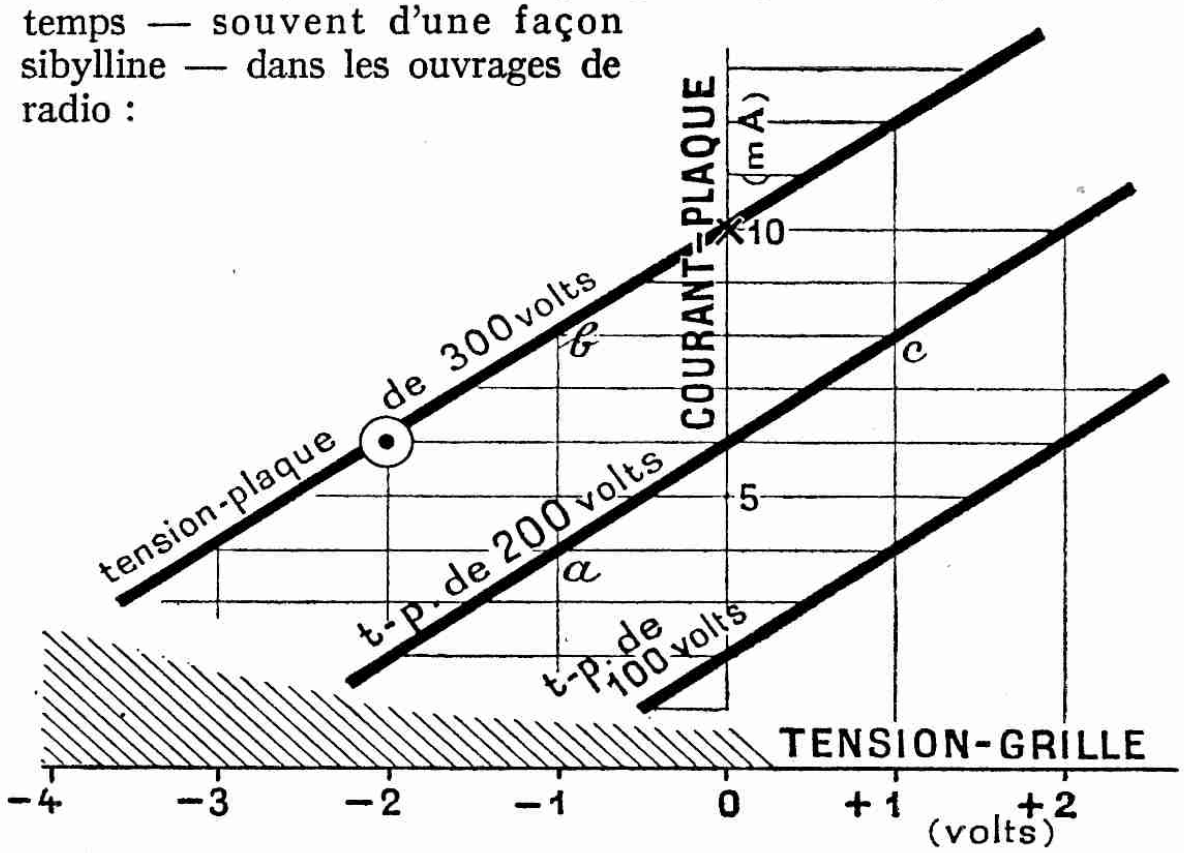


FIG. 88. — Trois caractéristiques (statiques) de la triode de la figure précédente.

On porte horizontalement les tensions-grille et verticalement les courants-plaque. Chacune de ces lignes droites correspond à une tension-plaque constante (300 volts, 200 volts, 100 volts).

I. Considérons le point *a* : tension-plaque : 200 volts; tension-grille : — 1 volt; courant-plaque : 4 mA,
et admettons que nous voulions augmenter le courant-plaque de 4 mA. Nous pouvons nous placer
soit au point *b* : tension-plaque : 300 volts; tension-grille : — 1 volt; courant-plaque : 8 mA,
soit au point *c* : tension-plaque : 200 volts; tension-grille : + 1 volt; courant-plaque : 8 mA.
Dans le premier cas (en *b*), il faut augmenter la tension-plaque de 100 volts (en conservant la même tension-grille). Dans le deuxième cas (en *c*), il suffit d'augmenter la tension-grille de 2 volts (en gardant la même tension-plaque).

On voit ainsi que la variation de la tension-grille est 50 fois plus efficace que la variation de la tension-plaque; et ce nombre 50 est, ici, le *coefficient d'amplification de la triode.*

II. En passant de *a* en *b* (*fig.* 88), la tension-plaque augmente de 100 volts, et le courant-plaque augmente de 0 A 004. Rappelons qu'en électricité (Georg Simon Ohm, 1826), on obtient des ohms en divisant des volts par des ampères : ici, en divisant 100 par 0, 004, on trouve 25 000, et l'on a posé (1) que la *résistance interne* de la triode est 25 000 ohms (2).

III. Il apparaît immédiatement que les trois lignes droites de la figure 88 ont la même inclinaison ou la même *pente.* Un instant de réflexion montre que la pente est d'autant plus grande que *ab* est plus grand **et** que *bc* est plus petit. On est donc tout naturellement amené à diviser *ab* (= 0, 004) par *bc* (= 2), ce qui donne 0, 002. On dit que la pente de la « caractéristique » de notre triode est, dans ces conditions, de 2 millièmes.

Remarquons incidemment que ces trois grandeurs :

coefficient d'amplification résistance interne pente,

ne sont pas indépendantes. On voit tout de suite que

$$0,002 \times 25\,000 = 50;$$

il est facile d'établir que ce n'est pas une coïncidence et que l'on a, en général :

(pente) × (résistance interne) = (coefficient d'amplification).

Ajoutons enfin que les caractéristiques décrites par la figure 88 ne sont pas toujours suffisantes : cela tient à ce que le circuit-plaque ne comporte pas, en pratique, une résistance aussi faible que celle du milliampèremètre (de droite) de la figure 87. Toutes les fois que l'on introduit une grande résistance dans le circuit-plaque d'une triode, il faut faire intervenir d'autres caractéris-

---

(1) Cette désignation empirique (et parfois fallacieuse) s'est révélée commode dans la pratique (en raison du caractère rectiligne et de l'équidistance des graphiques de la figure 88).

(2) A tension-grille invariable. (Il serait bon de relire la note (1) de la page 134, celle qui concerne la résistance du vide.)

tiques (1), appelées « caractéristiques dynamiques », par opposition avec celles que nous avons représentées (*fig.* 88), qui prennent le nom de « caractéristiques statiques ».

34. *L'amplification de tension.* — Il ne s'agit pas, pour l'instant, d'examiner comment on met, dans chaque cas, en œuvre les amplificateurs (ou « ampli »), mais uniquement de faire comprendre le *principe* de l'amplification. Nous prendrons comme exemple l'amplification de tension (2). Par exemple, disposant, à l'entrée **E,** d'une tension alternative (dite *tension d'attaque*) variant

entre + 1 volt et — 1 volt,

nous désirons obtenir, à la sortie **S,** une tension alternative (3) variant (avec la même fréquence)

entre + 8 volts et — 8 volts;

c'est ce qu'on nomme un « étage d'amplification » (4).

Pour cela, il suffit d'adapter le montage de la figure 87 et les explications (*fig.* 88) qu'il nous a inspirées. Pour profiter du courant-plaque, nous mettrons à profit la note sur l'électricité du § **1,** où nous remarquions notamment qu'on peut créer une tension par le passage d'un courant (5).

La figure 89 est une transposition de la figure 87, avec seulement deux modifications essentielles :

1° La tension d'attaque **E** est insérée dans le circuit-

---

(1) A nouveau rectilignes, mais moins verticales. Si, par exemple, la résistance extérieure était 100 000 ohms (§ **34**), les caractéristiques dynamiques auraient pour pente commune :

$$\frac{125\,000}{25\,000} \times 0{,}002 = 0{,}01 \text{ (ampère par volt)},$$

soit une pente cinq fois plus faible. De son côté, le coefficient d'amplification devient

$$\frac{100\,000}{125\,000} \times 50 = 40.$$

(2) Réservant à plus tard (§ **60**, 1re note) l'amplification de puissance, où l'on cherche à fournir une puissance importante (un grand nombre de watts) à l'appareil d'utilisation (relais, haut-parleur), inséré, lui aussi, dans le circuit-plaque.

(3) Nous ne l'obtiendrons d'ailleurs *pas seule*, car la tension de polarisation (— 2 volts) est amplifiée dans le même rapport.

(4) Au deuxième étage, on passerait de 8V à 64V; au troisième, de 64V à 512V.

(5) On parle (incorrectement) de « transformer » un courant en tension.

grille; entre la cathode et la grille, nous appliquerons ainsi une tension *ondulée* variant

entre — 3 volts et — 1 volt;

cette dernière tension reste constamment négative;

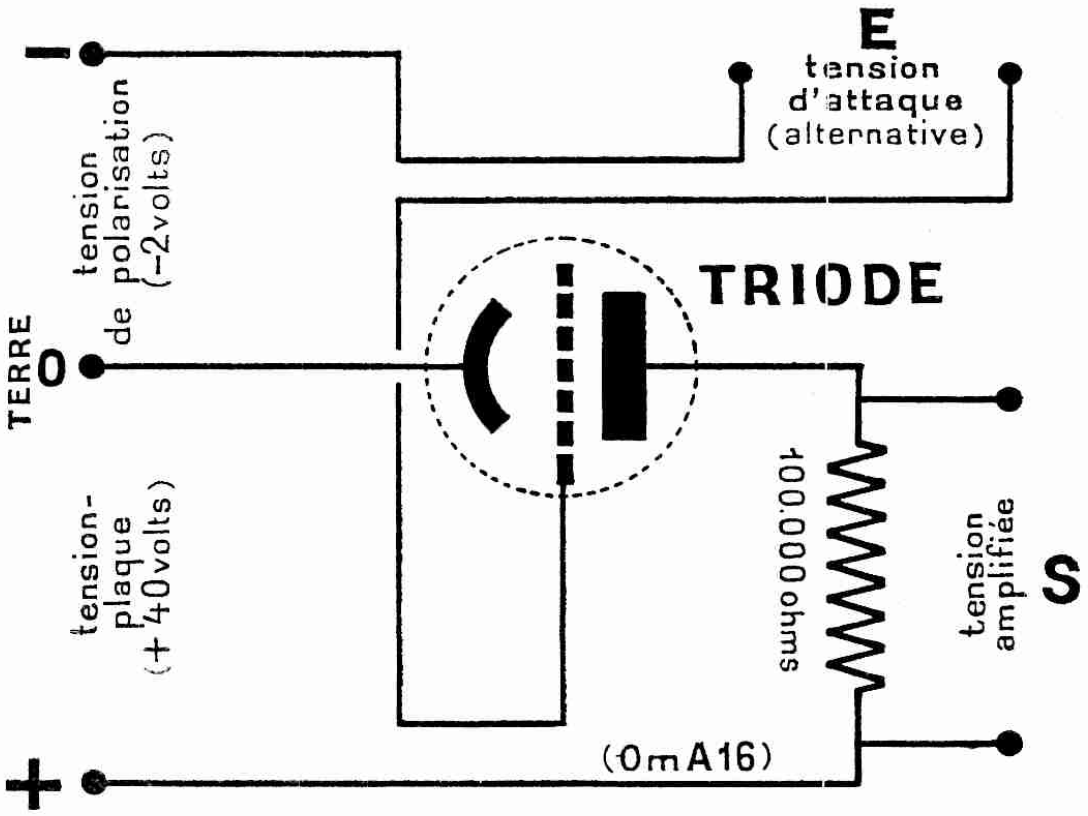


FIG. 89. — Principe de l'amplification de tension par triode (montage à résistance).

La tension à amplifier ou tension d'attaque (qui varie entre + 1 volt et — 1 volt) est superposée à la tension de polarisation de la grille (— 2 volts). La tension amplifiée (prise aux bornes d'une résistance de 100 000 ohms) se compose — comme il est expliqué à la figure 50 — d'une tension continue de 16 volts, à laquelle se superpose une tension alternative variant entre + 8 volts et — 8 volts. Le coefficient d'amplification est égal à 8.

(Revoir la figure 87 pour retrouver les noms des électrodes de la triode.)

2° Avec la tension-plaque choisie, le courant-plaque a une valeur moyenne de 0 mA 16 (il varie entre 0 mA 08 et 0 mA 24); le milliampèremètre, qui n'avait qu'un intérêt démonstratif, est remplacé par une forte résistance (1) de 100 000 ohms. La tension amplifiée **S**

(1) Les résistances utilisées en radio (comprises entre 100Ω et 10 MΩ) se présentent habituellement sous la forme de bâtonnets (longueur : entre 10 et 50 mm; diamètre : entre 3 et 11 mm). Les plus faibles résistances comportent un fil d'alliage; les plus grandes sont formées par une masse agglomérée de graphite et de matière isolante qui varie avec les fabricants (argile, bakélite, gomme laque, ...).

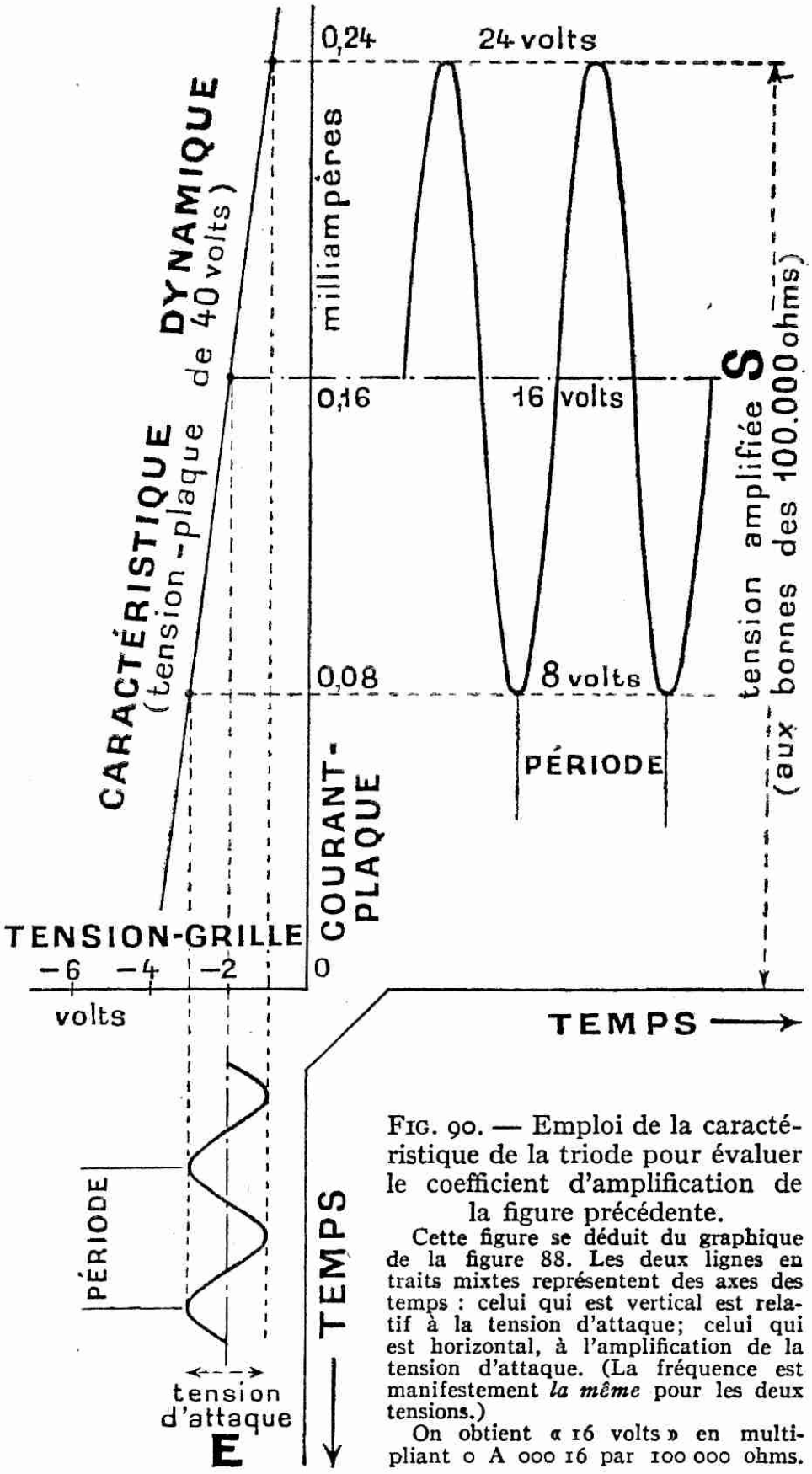


FIG. 90. — Emploi de la caractéristique de la triode pour évaluer le coefficient d'amplification de la figure précédente.

Cette figure se déduit du graphique de la figure 88. Les deux lignes en traits mixtes représentent des axes des temps : celui qui est vertical est relatif à la tension d'attaque; celui qui est horizontal, à l'amplification de la tension d'attaque. (La fréquence est manifestement *la même* pour les deux tensions.)

On obtient « 16 volts » en multipliant 0 A 000 16 par 100 000 ohms.

sera, elle aussi, *ondulée* (1) ; on la calcule tout simplement en multipliant par 100 000 les valeurs précédentes (2) du courant-plaque : la tension amplifiée variera donc

entre + 24 volts et + 8 volts.

La figure 90, qui s'inspire de la figure 88, justifie ces résultats et les rend intuitifs, en juxtaposant trois graphiques :

I. On voit (en haut et à gauche) ce que devient la caractéristique de la triode : correspondances des tensions-grille (— 3, — 2 et — 1 V) avec les courants-plaque (0 mA 24, 0 mA 16 et 0 mA 08) respectivement.

II. En bas et à gauche, on a porté verticalement les temps et horizontalement les valeurs successives de la tension-grille.

III. En haut et à droite, on a porté horizontalement les temps et verticalement les valeurs successives de la tension amplifiée.

Cette *amplification de tension* comporte une variante, qu'il convient de mentionner, tant pour son intérêt propre que pour montrer, sur un cas simple, l'équivalence de deux portions de circuit, qui, au premier coup d'œil, apparaîtraient sans aucun rapport.

La résistance de la figure 89 (montage à résistance) peut être remplacée par un circuit-bouchon ou circuit antirésonnant, c'est-à-dire (avec des valeurs appropriées) par le rectangle de la figure 28. Si l'on choisit, pour le condensateur et pour l'inductance,

500 pF 500 μH; 10 Ω,

la théorie (3) et l'expérience montrent que l'ensemble (4) sera équivalent à la résistance de 100 000 ohms de la figure 89. Hâtons-nous d'ajouter que cette équivalence *n'aura lieu* que pour

---

(1) C'est-à-dire formée d'une composante continue (16V) et d'une composante alternative (variant entre + 8V et — 8V). Nous connaissons (§ **16**) des filtres permettant de supprimer une de ces deux composantes.

(2) Exprimées, bien entendu, en ampères (et non en milliampères).

(3) D'une manière générale, la résistance apparente (100 000 ohms) se calcule en divisant la self-inductance (0 H 0005) par :
produit de la capacité (0 F 000000005) par la résistance (10Ω) de la bobine.

(4) On dit que, *pour la fréquence dont on va parler*, le circuit antirésonnant fonctionne comme une résistance pure (résistance morte, résistance ohmique).

la fréquence de résonance (1), laquelle se trouve immédiatement (*fig.* 32) à l'intersection de la rangée « 500 pF » et de la colonne « 500 μH » : on y lit 320 kilocycles. Pour toutes les autres fréquences, la résistance apparente du circuit antirésonnant est beaucoup plus faible; les *autres* fréquences ne sont pour ainsi dire pas amplifiées, de telle sorte que ce « montage à résonance » est *très sélectif* (d'où élimination des émissions à fréquences différentes). Enfin ce mode d'amplification présente un dernier avantage : le circuit-bouchon est également un obstacle pour la fréquence nulle (§ **15,** note) du courant continu, ce qui rend son alimentation plus économique (2).

35. ***L'entretien d'oscillations électroniques par couplage grille-plaque.*** — Nous abordons maintenant une tout autre question, apparemment sans rapports avec le problème traité au paragraphe **34,** mais dont la solution se calque néanmoins sur ce que nous y avons appris.

Cette question avait été esquissée à la fin du paragraphe **14;** au moment où nous avons fait la connaissance avec le circuit oscillant (bobine + condensateur) et avec sa fréquence propre, nous avons insisté sur le vice rédhibitoire qu'il présente et qui — si l'on n'y avait mis « bon ordre » — aurait obligé la radiophonie à n'être qu'un mot latino-grec, soit une inconsistante rêverie. Le circuit oscillant, *livré* à lui-même, est certes le siège d'oscillations électroniques, mais ces oscillations s'éteignent (*fig.* 33) après quelques centaines (ou quelques milliers) de périodes. Tant et si bien qu'une audition radiophonique ressemblerait à une conversation téléphonique perturbée par une tierce personne, qui s'amuserait à couper et à lancer le courant à un rythme précipité.

Comment y mettre bon ordre?

Considérons sans tarder la figure 91, en supposant d'abord que la bobine (40 μH) n'existe pas (3). Nous discernons, sur

(1) En conformité avec les nombres portés sur les figures 29 et 30.

(2) Ainsi, le courant moyen (*fig.* 90, en haut et à droite) n'est plus 0 mA 16, mais zéro. Et la tension amplifiée **S** (*fig.* 89) n'est plus ondulée, mais purement alternative, variant

entre — 8 volts et + 8 volts.

(3) Elle serait remplacée par un bout de fil (comme sur la portion correspondante de la figure 89). On peut aussi admettre (pour simplifier) que la résistance d'utilisation (20 000 Ω) n'existe pas non plus (qu'elle a été débranchée, sans être remplacée par rien).

cette figure, un circuit oscillant, identique (en principe) avec ceux dont nous nous occupons depuis la figure 27. Ici, nous avons choisi un condensateur de 500 pF et une bobine de

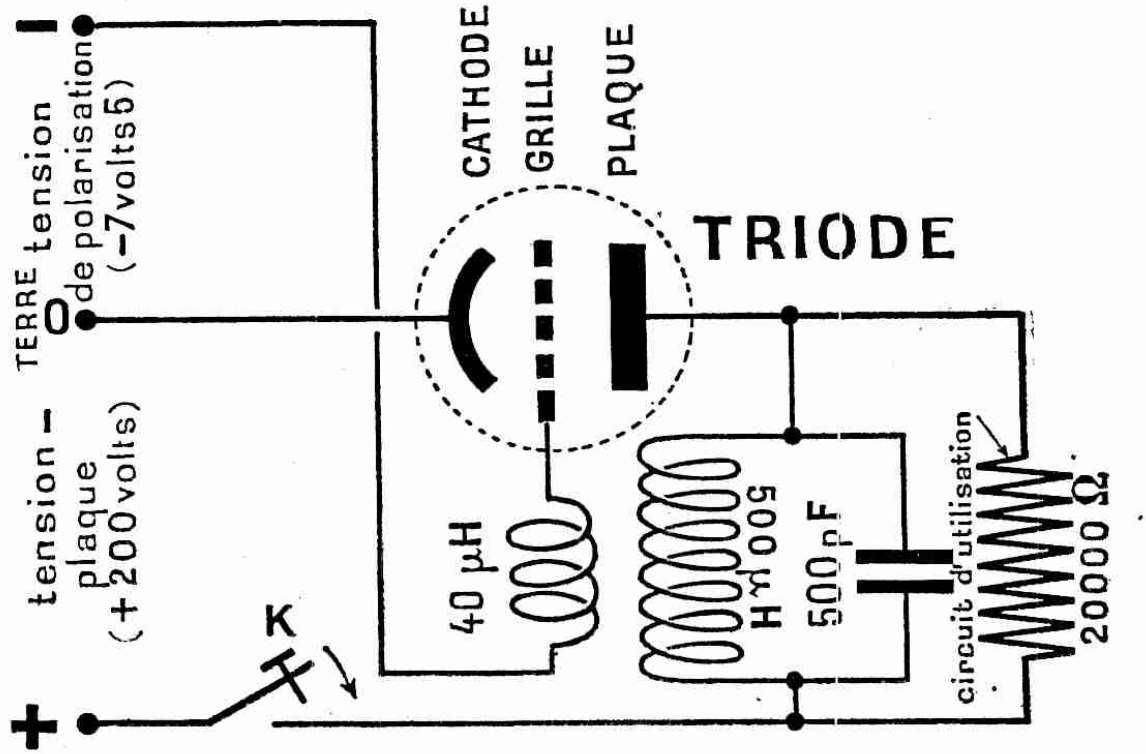


FIG. 91. — Principe de l'entretien des oscillations électroniques par triode (couplage grille-plaque).

La bobine de 40 μH joue ici le même rôle que la tension d'attaque de la figure 89. Dès que le circuit (500 pF; 500 μH) se met à osciller (320 kc), à la fermeture de K, la bobine de 500 μH agit comme le primaire d'un transformateur, dont la bobine de 40 μH est le secondaire; et les oscillations électroniques de 320 kc sont auto-entretenues par la tension-grille, qui varie en synchronisme.

500 μH (1); et, dans le cas où nous ne nous souviendrions plus de la fréquence propre correspondante, la consultation — désormais rituelle — du tableau de la figure 32 nous indiquerait qu'elle vaut 320 kilocycles.

I. Cette figure 91 étant ainsi simplifiée (par la pensée), la cathode étant chauffée (§ **31,** fin) et l'interrupteur K ouvert, il ne se passera rien (2). Mais, au moment où nous fermerons l'interrupteur, les deux extrémités du circuit oscillant seront soumises à une certaine tension,

(1) Comme à la fin du paragraphe **34.**

(2) Abstraction faite d'une « charge d'espace » (gaine d'électrons autour de la cathode chaude) [§ **31** fin, note].

qui sera une importante fraction (1) de la tension-plaque. Cette tension va jouer le même rôle que les 115 volts continus de la figure 31; des oscillations électroniques (à 320 kc) prennent naissance dans le circuit oscillant, et, comme dans le cas de la figure 31, ces oscillations s'amortissent (dégagement de chaleur), suivant un graphique du type de celui de la figure 33.

II. Jusqu'ici, donc, rien de nouveau. Mais nous arrivons à l'instant psychologique. C'est la figure 89 qui va nous tirer d'affaire :

a) Sur cette figure 89, nous avions inséré, dans le circuit-grille, une « tension d'attaque » alternative et obtenue par un dispositif indépendant;

b) Sur la figure 91 considérée en entier (et l'interrupteur K fermé), la tension d'attaque, à nouveau insérée dans le circuit-grille, va être fournie aux bornes de la bobine de 40 μH, couplée (2) avec la bobine de 500 μH du circuit oscillant.

En radioélectricité (comme dans toutes les questions scientifiques), on peut favoriser le lecteur en lui « mâchant la besogne », en sériant les difficultés; mais on est ensuite contraint de le « défavoriser », quand il faut lui rappeler, à chaque fois, ce qu'on lui a dit, car il l'a sans doute oublié... Il est impossible d'aller plus loin, si l'on n'a pas présent à l'esprit l'essentiel du paragraphe **11**, qui traite des transformateurs, c'est-à-dire du voisinage de deux bobines qui agissent l'une sur l'autre par induction.

---

(1) La figure 91 est calculée pour la triode :

résistance intérieure	10.000 Ω
coefficient d'amplification	20
pente de la caractéristique statique	0,002 A par V.

Comme la résistance du circuit oscillant (pour la résonance) est de 100 000 Ω (§ **34**), le courant-plaque se situe aux environs de

$$\frac{200}{100\,000} = 0 \text{ mA } 2$$

et la tension aux bornes du circuit oscillant vaut les $\frac{100.000}{110.000}$ de 200 volts.

(2) Les deux bobines sont, non pas voisines (comme la figure 91 le représente, pour la clarté du dessin), mais enroulées (sans contact métallique) autour du même axe (couplage serré).

Le courant alternatif (320 kc), qui traverse la bobine de 500 μH fonctionnant comme primaire, induit, dans le secondaire (bobine de 40 μH), un courant alternatif de même fréquence; il se produit donc, aux bornes de cette dernière bobine, une tension, qui jouera le rôle de la « tension d'attaque » **E** de la figure 89. La grille gardera, en quelque sorte, sa fonction amplificatrice (*fig.* 90), du fait qu'elle empêchera l'intensité de diminuer dans le circuit-plaque (1). En d'autres termes, les oscillations électroniques du circuit oscillant seront « auto-entretenues » par la triode, en conservant une amplitude *constante.*

Tel est l'un des dispositifs habituels pour réaliser des oscillations entretenues : l'énergie qui serait dissipée en chaleur au cours de l'amortissement est restituée par le générateur électrique qui produit la tension-plaque (2).

Pour ne pas effaroucher le lecteur et dans l'intention de progresser pas à pas, nous terminerons ici cette première incursion dans les « intervalles de vide », qui sont pour ainsi dire partout présents dans les montages de radio. Ce qu'il faut retenir dès maintenant — pour comprendre comment se fait l'*émission* des ondes porteuses —, c'est le fonctionnement des tubes électroniques dans l'*entretien* des courants alternatifs de haute fréquence (*fig.* 91) : il s'agit là de la « fonction oscillatrice » de ces tubes.

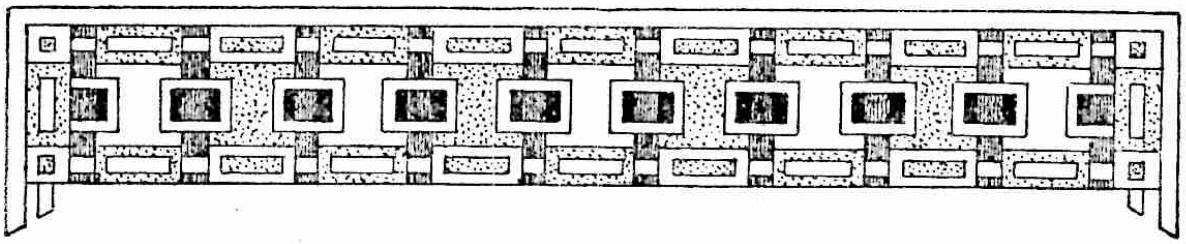
Mais, sur notre route, nous avons rencontré la « fonction amplificatrice » (*fig.* 89) : si cette dernière fonction est un acheminement (à peu près inévitable) vers la fonction oscillatrice, chacun se doute de son intérêt propre; puisque l'amplification augmente la portée au départ, en même temps qu'à l'arrivée, elle permet d'« accrocher » des stations extrêmement éloignées.

---

(1) A condition toutefois que le secondaire de ce transformateur soit branché dans le bon sens. (Il faut en effet s'arranger pour que la tension-grille soit *en opposition de phase* avec la tension-plaque.)

(2) Voici, sans y insister, quelques données complémentaires sur le montage :

puissance fournie par la pile	1 watt,
rendement	25 p. 100,
courant maximum dans le circuit oscillant.....	0 A 2.



Chapitre V

L'ÉMISSION DES ONDES PORTEUSES

36. *Pourquoi « porter » les sons?* — Avant d'aborder l'*inévitable* complication des stations d'émission (1), il n'est sans doute pas inutile de procéder à un examen de conscience, car ces quelques minutes de récréation nous feront sentir toute la valeur du mot « inévitable », qui vient d'être employé.

Limitons-nous au cas de la radiodiffusion (2), qui, pour l'instant du moins, est ce qui importe le plus au public. Pour se mettre dans l'ambiance, on pourra jeter un nouveau coup d'œil sur deux figures précédentes :

a) La figure 62, qui représente une antenne d'émission qui « vibre » en quart d'onde;

b) La figure 59, où sont indiquées, en divers endroits voisins, les valeurs instantanées des champs (électrique et magnétique), qui sont les composantes du rayonnement hertzien.

Profitant de notre longue expérience du vulgaire téléphone, on serait tenté de faire le raisonnement suivant. Considérons le clavier d'un piano, dont les notes ont des fréquences **mécaniques** (audibles) comprises (*grosso modo*) entre 50 cycles (à

(1) Comme celles dont, à titre d'exemples, nous avons donné la liste au tableau de la figure 69.

(2) Dans l'ensemble, les mêmes considérations sont valables pour la télévision (chap. IX et X).

gauche, sons graves) et 10 kilocycles (à droite, sons aigus) [1]. Rien n'est plus facile que de transmettre, par téléphone, un morceau de musique joué au piano (2). La première « idée » consistera donc à proposer la solution suivante :

a) Envoyer dans l'antenne (*fig.* 62) les fréquences musicales;

b) Et l'espace sera sillonné (*fig.* 59) d'un champ électromagnétique, qu'il « suffira » de capter au poste récepteur.

Et voilà la radiophonie « découverte »! Avec une pureté d'audition qui ne le céderait en rien à celle des transmissions téléphoniques...

Quel dommage qu'il faille déchanter!

Pour de multiples raisons, dont chacune constitue un vice rédhibitoire. Il nous suffira d'examiner les principales.

1° Pour transmettre « par sans-fil » la note la plus grave (à gauche) d'un piano, soit une fréquence de 50 cycles, l'abaque des figures 52-54 nous montre que la longueur d'onde est 6 000 km, d'où l'emploi d'une antenne de 1 500 km de long (la distance Lille-Nice et même davantage).

2° Il est vrai que les sons aigus (de 10 kc) sont moins exigeants, et qu'il suffit, pour eux, de 7 km et demi d'antenne, la longueur d'onde étant 30 km.

3° Ce n'est pas tout... Les données des figures 29 et 30 nous préviennent de l'acuité de la résonance d'un circuit oscillant (et, par conséquent, d'une antenne, § **25**) : l'antenne n'émet que sa fréquence propre (ou, à la rigueur, des fréquences très voisines). Pour émettre les 85 notes du piano, il faudrait ainsi 85 antennes *indépendantes* (donc 85 stations d'émission), en appliquant la règle générale : une station pour chaque note, et chaque note à sa station.

4° La puissance émise (pour un même courant dans l'antenne)

---

(1) On appelle « fréquences musicales » les fréquences **électromagnétiques** (les fréquences d'oscillations électroniques), qui sont comprises — *grosso modo* — dans ce domaine; elles rentrent dans la catégorie des *basses fréquences* (BF).

(2) Précisons que les vibrations de l'air atteignent alors le microphone (tout comme elles atteignent le tympan de l'oreille), et que les fils de jonction deviennent le siège d'oscillations électroniques à fréquences musicales. A l'autre bout, lesdites oscillations font vibrer synchroniquement (avec un retard infime) la membrane mince de l'écouteur téléphonique.

FRÉQUENCES D'ÉMISSION (en cycles)	LONGUEURS D'ONDE électro-magnétiques	LONGUEURS D'ANTENNE (quart d'onde)	INTENSITÉS maximums dans l'antenne
50 (gauche du piano)	6.000 km	1.500 km	8 milliards de milliards d'ampères
10.000 (droite du piano)	30 km	7 km 5	4 milliards d'ampères
600.000 (RADIO-LYON)	0 km 5	0 km 125	300 ampères

FIG. 92. — Caractéristiques de stations d'émission irréalisables, qui émettraient, avec une puissance de 150 kilowatts (comme RADIO-LYON), la première et la dernière note d'un piano.

varie *follement* avec la fréquence choisie (1). Inversement, si nos 85 stations voisines étaient calculées pour émettre la même puissance, il faudrait des courants des milliards de fois plus grands dans les antennes longues (notes graves) que dans les antennes courtes (notes aiguës). Le tableau de la figure 92 reproduit (en dernière ligne) les renseignements (2) sur l'émetteur radiophonique de Lyon, dont la puissance d'émission est 150 kW. Les deux premières lignes rappellent les données ci-dessus (en 1° et 2°), ainsi que les courants qu'il faudrait envoyer dans l'antenne pour pouvoir émettre 150 kW (également) à ces fréquences-là : on jongle avec les milliards et les milliards de milliards d'ampères, c'est-à-dire avec des courants sans commune mesure avec ceux qu'on utilise industriellement (3).

---

(1) Cela se conçoit aisément. Avec une fréquence de 600 kc, il se produit, à chaque seconde, 600.000 phénomènes différents, tandis qu'une fréquence de 10 kc n'en comporte que 10.000 pendant le même temps. (Se souvenir que la puissance est l'énergie par unité de temps.) La théorie et l'expérience s'accordent pour établir que le rapport des puissances émises (à même courant d'antenne) est

$$\frac{600.000 \times 600.000 \times 600.000 \times 600.000}{10.000 \times 10.000 \times 10.000 \times 10.000},$$

soit 1.300.000. Au point de vue de l'énergie électrique dépensée, il y a tout avantage à choisir des fréquences *aussi hautes* que possible : c'est là un immense avantage des « ondes courtes » (et « ultracourtes »).

(2) Fournis précédemment (*fig.* 69).

(3) A titre de comparaison, considérons une grande centrale d'énergie électrique (5 millions de kW), du genre de celle de Génissiat, si l'on veut. En supposant (ce qui n'est pas) que sa puissance fût débitée sous 100 volts, le courant total fourni *ne serait que* 50 millions d'ampères.

5° Du même coup, on s'interdirait (par exemple, dans les limites de l'Europe occidentale) de faire fonctionner simultanément deux stations à 85 antennes, sous peine de produire, dans les zones communes, un horrible charivari.

6° Enfin, voici le bouquet. Cet « orgue » immense ne servirait à rien, car, à l'arrivée au poste récepteur, les puissances correspondant aux sons émis n'auraient pas leurs rapports de départ respectés (1).

Moralité : si nous avons tenu à raconter en détail cette « histoire de fous », c'est pour que les lecteurs fassent connaissance avec l'inimaginable dissemblance des ordres de grandeur et qu'ils soient intimement persuadés que les idées les plus simples ne sont pas toujours les meilleures. Les sons de la radio (et les images de la télévision) doivent être transmis par l'intermédiaire d'*ondes porteuses,* dues à des oscillations électroniques de fréquence convenable et conservant indéfiniment la même amplitude (oscillations entretenues). Vouloir se passer des ondes porteuses, c'est — nous le savons maintenant (2) — un projet aussi déraisonnable que de faire une tapisserie sans canevas ou que d'imprimer un livre avec des caractères noircis, en se passant de tout support (par exemple, du papier qui constitue les pages)...

37. *Les diverses étapes de l'obtention des oscillations entretenues.* — Nous distinguerons donc dans une station radiophonique (3) deux groupes d'appareils :

1° Ceux qui nous fournissent la « toile de fond » (§ **3**), le « canevas » (§ **36**), bref les oscillations électroniques entretenues dans l'antenne;

2° Ceux qui vont «greffer », sur ces dernières, le « premier plan » (§ **3**), la « tapisserie », bref la modulation sonore (4), qui ne sera expliquée qu'au chapitre VI.

---

(1) A moins que l'amateur n'ait pris la précaution de disposer chez lui... 85 antennes indépendantes ou 85 filtres compensateurs (et un haut-parleur unique) !

(2) Et ce n'était nullement « évident » de prime abord.

Bien entendu, les deux comparaisons intuitives qui terminent la phrase du texte ne doivent pas être prises au pied de la lettre : à part cela, il n'y a *rien de commun* entre la radio et une tapisserie (ou un livre)... Il ne faut pas y voir plus d'analogie qu'entre les 300 ampères de la figure 92 et les 300 km qui séparent Dijon de Paris.

(3) Ou dans une station de télévision.

(4) Ou la modulation optique (chap. IX).

C'est, à nouveau, pour graduer les difficultés que nous procédons ainsi, que nous introduisons une séparation qui n'existe nullement dans la pratique (1). Il va falloir évoquer à peu près

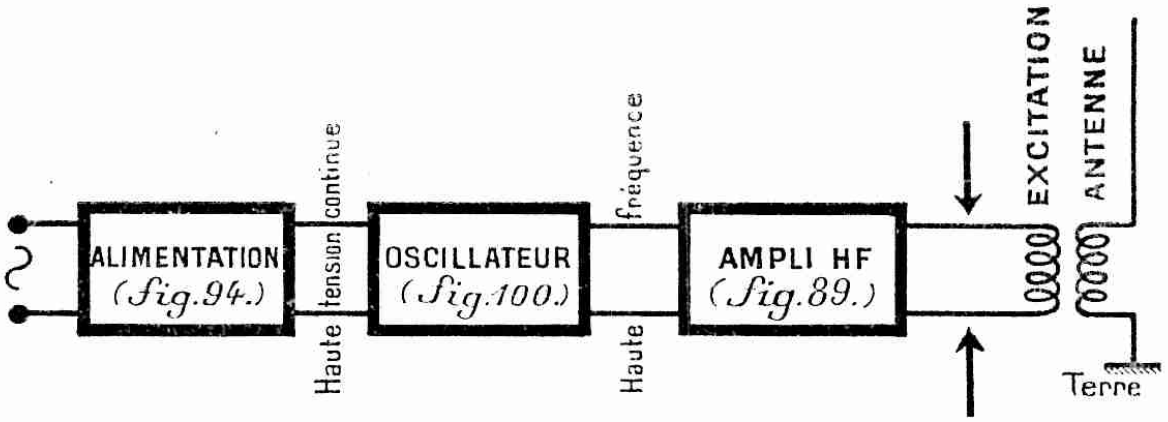


FIG. 93. — Ensemble des parties d'une station d'émission, qui concourent à provoquer, dans l'antenne, des oscillations électroniques entretenues de haute fréquence.
(Les deux flèches indiquent l'endroit où l'on « introduira le son ».)

tout ce qui a été décrit dans les quatre premiers chapitres : nous rappellerons les paragraphes et les figures qui expliquent les principes qu'on fait intervenir, et nous donnerons, dans chaque cas, une idée générale des organes qui permettent d'appliquer ces principes.

I. Comme dans les installations domestiques, on part d'une tension alternative (50 cycles) et on la transforme en haute-tension continue. Cette partie du dispositif a reçu le nom d'*alimentation* (§ **38,** *fig.* 94).

II. La partie suivante a pour but d'utiliser cette haute-tension (HT) pour la production d'oscillations électroniques entretenues à haute fréquence (HF) : c'est l'*oscillateur* (§ **40,** *fig.* 100).

III. Il s'agit ensuite d'*amplifier* ces oscillations de haute fréquence : les bornes de sortie de l'oscillateur présentent entre elles une tension, qui servira de « tension d'attaque » **E** dans le montage de la figure 89.

IV. Enfin, en principe, par le mode d'excitation indirecte (*fig.* 63 et 64), on soumet l'*antenne* à cette tension amplifiée (**S,** *fig.* 89), et l'antenne se charge alors

(1) Ainsi procède-t-on, dans les cours de physiologie, quand on étudie isolément la respiration et la circulation.

d'émettre, dans l'espace ambiant, un champ électromagnétique (*fig.* 59) ou, en d'autres termes, des ondes hertziennes possédant la même « haute fréquence » que les oscillations électroniques engendrées en **II.**

La figure 93 schématise ces diverses parties (1), formant elles-mêmes un ensemble de plusieurs appareils. Comme on le verra au chapitre VII, c'est entre l'« ampli HF » et l'« excitation » qu'on fera agir les organes modulateurs, qu'on « introduira le son ».

38. *L'alimentation.* — Cette première partie d'une station d'émission permet de transformer la tension alternative (50 cycles) du secteur (le plus souvent à haute-tension), sur lequel on est branché, en haute-tension continue, qui sera ensuite appliquée (comme aux figures 31 et 91) au circuit oscillant, qui est compris dans la deuxième partie (oscillateur).

L'alimentation comporte trois organes successifs :

I. Un *transformateur* (*fig.* 26), qui va fournir les diverses tensions dont on aura besoin;

II. Un *redresseur* (*fig.* 81-83), qui s'empare de la haute-tension alternative (aux bornes d'un des secondaires du transformateur), pour en faire une haute-tension ondulée (nous avons signalé l'emploi de plus en plus fréquent du convertisseur à vapeur de mercure, § **32**);

III. Un *filtre* (*fig.* 40 ou 42) — ou, en réalité, une suite de filtres —, qui, travaillant sur cette haute-tension ondulée, élimine ses variations et ne laisse passer qu'une haute-tension continue.

Passons rapidement en revue ces divers organes.

Le transformateur (à gauche de la figure 94) comporte un primaire **P** unique, directement branché sur le secteur alternatif. Mais il a trois secondaires :

1° Le secondaire *s*, fournissant une très basse tension alternative (quelques volts), qui sert à chauffer tous les filaments de toutes les cathodes (*fig.* 78) de la

(1) Se présentant sous forme de *quadripoles* (§ **15**, note), les bornes de sortie de l'un étant directement reliées aux bornes d'entrée du suivant.

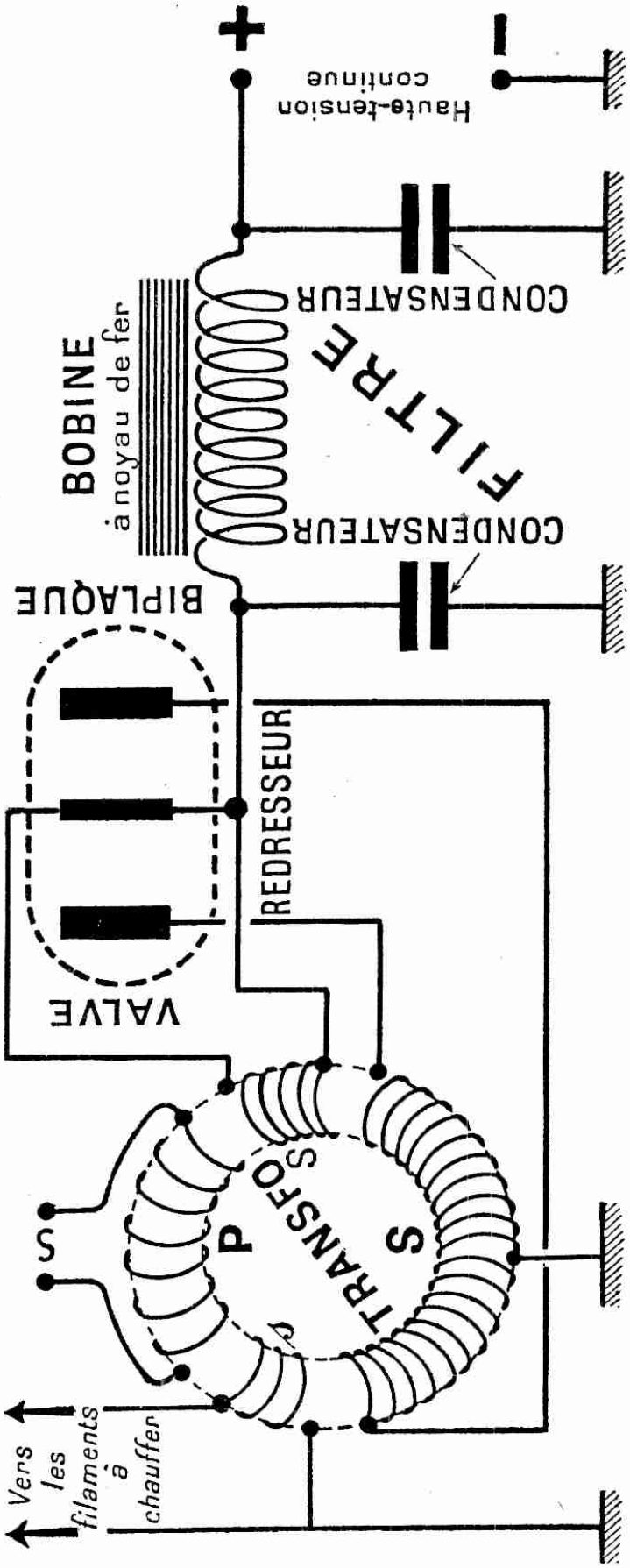


FIG. 94. — Un montage d'alimentation d'une station radioélectrique.

On reconnaît, de gauche à droite : le transformateur, le redresseur (par valve biplaque à chauffage direct, lequel permet d'utiliser les deux alternances de la tension alternative) et le filtre.

station d'émission (sauf celui que l'on voit — dans la valve biplaque — au milieu de la figure 94) ;

2° Le secondaire **S,** dont le milieu (point médian) est à la Terre (1), donne, au contraire, une haute-tension (par exemple : 11 500 volts), que l'on applique aux deux plaques du redresseur (valve biplaque) ;

3° Le secondaire S produit à nouveau une basse tension alternative, qui sert à chauffer le filament du redresseur.

Le redresseur (milieu de la figure 94) n'est pas difficile à comprendre, si l'on se reporte aux figures 81-83 ; nous avons vu alors qu'*une seule* diode fournissait (à partir de la tension « 115 volts », c'est-à-dire variant entre + 163 volts et — 163 volts, de la figure 82) une tension — toujours dans le même sens — représentée graphiquement par la figure 83 (tension « pulsée »). Si, à ce moment-là, nous avions utilisé *deux* diodes (2) montées « tête-bêche » (en sens inverse), la figure 83 n'aurait pas présenté de temps de repos, et l'on aurait eu l'apparence de la figure 95 (« tension pulsée »), où l'une des alternances de tension passe et où l'autre est inversée. Au lieu d'employer deux diodes, on peut grouper les quatre électrodes dans un même tube à vide, et l'on constate (3) qu'il est loisible de réunir les deux cathodes (4) en une seule, d'où la valve biplaque de la figure 94 (5).

Il reste à comprendre comment la tension (entre la cathode et la Terre), qui a la forme (6) pulsée de la figure 95, sera remplacée par une tension continue (*fig.* 97). Un calcul (7),

---

(1) On verra dans un instant pourquoi.

(2) Nous y avons alors fait allusion (§ **32**, 2°).

(3) Ce qui était d'ailleurs à prévoir.

(4) A chauffage indirect ou à chauffage direct.

(5) On se rend compte, sans qu'il y ait lieu d'insister davantage, que la tension moyenne est deux fois plus grande pour la figure 95 que pour la figure 83.

(6) Nous disons bien « la forme », car il nous a paru plus intuitif de faire abstraction de ses valeurs. Autrement dit, nos explications (simplifiées) ne tiennent pas compte du fait que nous ne travaillons pas sur la tension « 115 volts » d'alimentation (en haut et à gauche de la figure 94), mais que nous l'avons survoltée par le transformateur **PS**, dont le milieu du secondaire est relié à la Terre. Il suffira tout bonnement de se rappeler, en terminant, que la tension continue (*fig.* 97) devra être multipliée par le rapport de transformation (§ **11**, fin), pour obtenir *la valeur* de la « haute-tension continue », qui sera présente *à la sortie* (à droite de la figure 94).

(7) Ce calcul repose sur l'étude très profonde des « séries trigonométriques », effectuée par le mathématicien français Joseph Fourier. Encore un artisan de la radio... La question a été évoquée à la page 104 du *Mystère des nombres et des formes* 6e édition, Larousse).

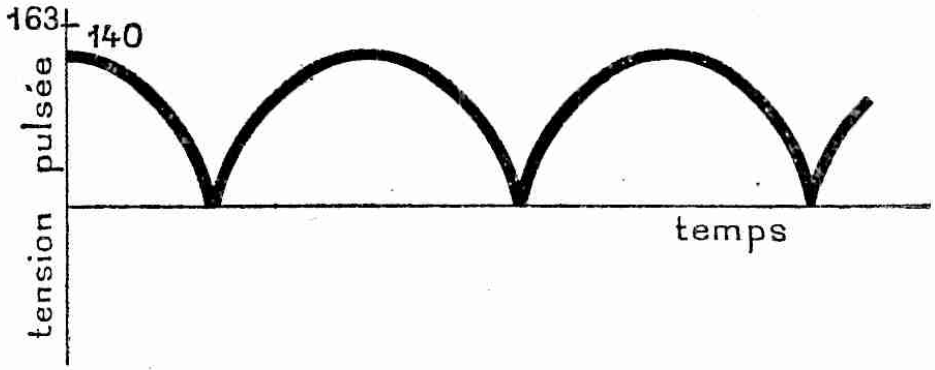


FIG. 95. — Redressement de la tension du secteur par deux diodes ou par une valve biplaque.

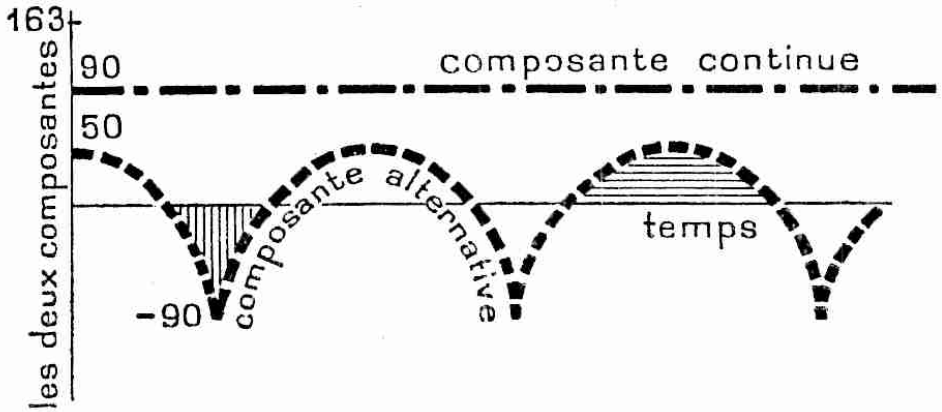


FIG. 96. — Graphique montrant que la tension pulsée de la figure 95 peut être considérée comme la somme de deux composantes. (La tension continue doit être choisie pour que les deux surfaces hachurées soient égales.)

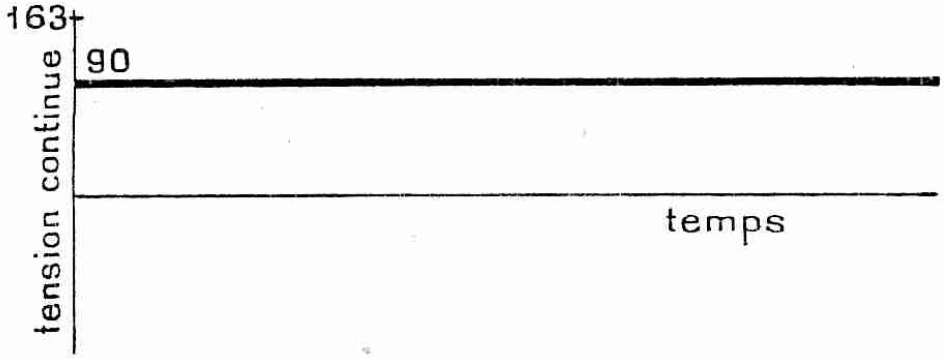


FIG. 97. — Effet du filtre passe-bas (bobine + deux condensateurs) de la droite de la figure 84.

Seule, la composante continue passe dans la bobine. (A remarquer que, pour simplifier, nous avons raisonné *comme si* la tension « 115 volts » n'avait pas été survoltée par le transformateur **P S** de la figure 84, si bien qu'à la sortie, on obtient une tension continue un grand nombre de fois *plus haute* que 90 volts.)

dont nous ne donnerons que le résultat, conduit à tracer les deux graphiques de la figure 96 : autrement dit, on vérifiera que si, à chaque instant (porté sur l'horizontale), on fait la somme algébrique des valeurs données, d'une part, par le trait mixte (toujours 90 volts) et, d'autre part, par le trait pointillé (valeurs variant entre + 50 volts et — 90 volts), on retrouve la courbe (en feston) de la figure 95. Ces graphiques sont tels que les deux surfaces hachurées soient égales, ce qui, physiquement parlant, veut dire que, pour cette « composante alternative », il y aura autant d'électrons qui passeront dans un sens que d'électrons se mouvant en sens inverse; et ce résultat est précisément atteint grâce à la précaution, que nous avons prise, de connecter à la Terre le milieu du secondaire **S.**

Tout ceci pour dire que nous avons (entre la cathode et la Terre) un mélange de deux composantes : l'une continue, et l'autre alternative (*fig.* 96). Par bonheur, nous avions « prévu l'avenir », en posant et résolvant (§ **16**) le problème de leur séparation ou, plutôt, celui de la conservation de l'une en consentant au sacrifice de l'autre. La droite de la figure 94 n'est autre chose que la reproduction de la cellule en Π (1) de la figure 38. Or, nous savons — pour l'avoir dit et redit — que la bobine (de très grande inductance, donc à noyau de fer) de la figure 94 favorise le passage de la composante continue par rapport à celui de la composante alternative (2). Et nous savons aussi que les condensateurs (*fig.* 94) s'opposent bien moins à la deuxième composante qu'à la première, pour cette bonne raison qu'ils sont un obstacle infranchissable à celle-ci.

Le montage d'alimentation de la figure 94 est donc un de ceux qui nous permettent de réaliser notre programme (première partie de la figure 93) : emprunter (*à l'entrée*) la tension du secteur alternatif et recueillir (*à la sortie*) une haute-tension

---

(1) On aurait pu également employer la cellule en T de la figure 40.

(2) Et ceci, d'autant plus que l'inductance de la bobine sera plus grande. Deux remarques accessoires :

1° La tension continue se trouve légèrement diminuée (ce qui n'a aucune importance, puisque l'on peut survolter à loisir par le transformateur **PS**);

2° La tension est d'autant plus continue (ses variations de part et d'autre de l'horizontale sont d'autant plus faibles) que l'on emploie un plus grand nombre de filtres les uns à la suite des autres (on s'arrête, par exemple, à trois, si l'on n'est plus gêné par les légères variations qui subsistent).

continue (par exemple : 10 000 volts). Par surcroît, nous avons (extrême gauche de la figure 94) de quoi chauffer tous nos filaments (donc toutes nos cathodes).

39. *Le quartz piézoélectrique.* — Abordons maintenant la fixation de la fréquence de la station d'émission (§ **37, II** et « oscillateur » de la figure 93).

Pour les raisons *péremptoires* qui seront exposées au début du paragraphe **40,** cette question ne saurait être traitée sans circonlocutions : il nous manque un ensemble de « préliminaires », qui exige tout un paragraphe de digressions. Cet état de fait est d'ailleurs gros de conséquences au point de vue de la culture générale : si l'on veut se tenir tant soit peu au courant de la science et des techniques contemporaines, il faut prendre sur soi de vaincre la disposition spontanée — et éminemment distrayante — de s'adonner au bricolage (« pour voir ») avec un bagage quasi nul. Nous l'avons déjà dit (§ **4**) : nous ne sommes plus à l'âge « béni » où il suffisait d'essayer n'importe quoi pour découvrir quelque chose d'intéressant; il y a déjà eu trop de chercheurs avant nous, et nous devons nous garder de sous-estimer la portée du vers d'Alfred de Musset (1833) :

Je suis venu trop tard dans un siècle trop vieux,

qui s'appliquait tout aussi bien à d'autres circonstances. Le progrès technique consiste — pour ainsi dire exclusivement — à puiser dans l'arsenal accumulé par la recherche scientifique pure de tous les pays. Et, pour en revenir au point précis où nous avons interrompu notre exposé, où les « intervalles de vide » s'imposaient tyranniquement, qui aurait pu soupçonner que la vedette allait être (transitoirement) le cristal de roche, la lame de quartz convenablement taillée?

En 1880, Pierre Curie (1) était, bien entendu, profondément imprégné de cette idée directrice, à savoir que, ce qui importe avant toutes choses, c'est d'établir des lois générales (de préférence, de forme mathématique), et que les applications — ingénieuses et utiles — surgiront par-dessus le marché. Les

(1) Qui devait s'immortaliser par d'autres admirables recherches (notamment sur la radioactivité) et qui travaillait alors avec son frère aîné Jacques Curie.

frères Curie s'intéressaient alors à la disposition des atomes (1) qui constituent les cristaux de quartz; c'est cette structure qui rend possible, chez certains cristaux (comme le quartz), l'existence de l'effet piézoélectrique (direct ou inverse). L'effet direct consiste dans l'apparition d'une tension électrique (perturbation du nombre des électrons) sur les deux faces d'une lame, quand on la soumet à un écrasement ou à une traction. (L'effet inverse [2] est — on le devine — l'amincissement ou l'épaississement de ladite lame, quand on la soumet à une tension électrique.)

Etant donné la réversibilité de ces deux phénomènes, on conçoit qu'une lame de quartz (3), taillée convenablement et

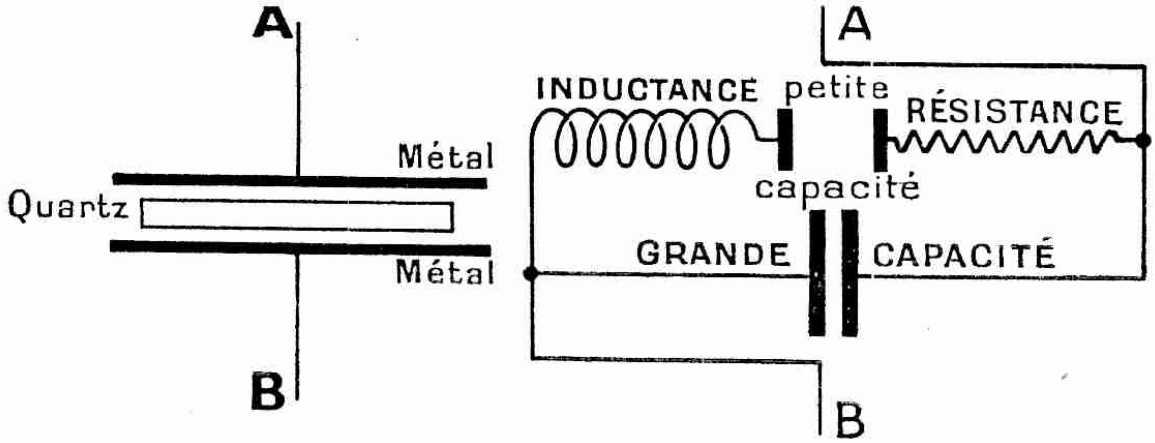


FIG. 98. — Le quartz piézoélectrique, tel qu'il est employé en radioélectricité.
FIG. 99. — Le circuit électrique équivalant au quartz piézoélectrique.

soumise à une tension alternative de fréquence appropriée (*fig.* 98), sera le siège d'amincissements et d'épaississements — d'ailleurs extraordinairement faibles (de l'ordre du dix-millième de mm) —; on dit qu'elle « vibre » avec une certaine fréquence, qui est sa fréquence propre. Cette vibration mécanique est accompagnée d'accumulations et de raréfactions

(1) Atomes d'oxygène et atomes de silicium (à raison de deux des premiers pour un des seconds). Dans *Idées nouvelles* (pp. 161-162, 7e édition, Larousse), on trouverait, sur ce sujet, des détails complémentaires, qui ne sont d'ailleurs pas indispensables à la compréhension du présent exposé (à la condition de renoncer à approfondir un peu plus, de se contenter par exemple du mot « convenablement » dans la locution : *lame convenablement taillée*).

(2) L'effet piézoélectrique inverse a été mis en évidence (1881) par le physicien français Gabriel Lippmann (1845-1921).

(3) Les armatures métalliques (*fig.* 98) n'appuient pour ainsi dire pas sur la lame en contact (ou n'appuient même pas du tout) pour laisser toute liberté aux vibrations mécaniques.

d'électrons sur les deux faces opposées. C'est le physicien allemand A. Hund qui établit (1927) la relation qui existe entre l'épaisseur de la lame et sa fréquence propre : la fré-

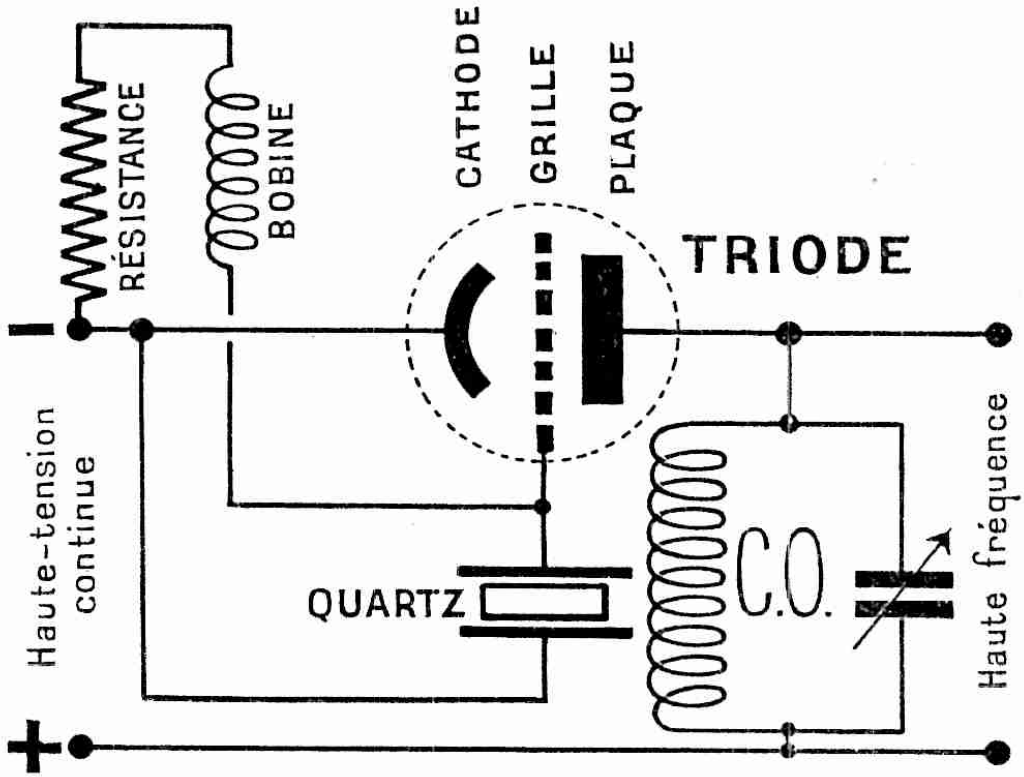


FIG. 100. — Principe de l'entretien des oscillations électroniques avec une commande par quartz. Le maître oscillateur en quartz remplace le couplage grille-plaque de la figure 93, et la résistance produit la polarisation automatique de la grille.

quence est d'autant plus grande que la lame est plus mince; une lame de 4 mm 78 d'épaisseur (1) a une fréquence propre de 600 kc, et l'on peut, dans la pratique, obtenir toutes les fréquences comprises entre 25 kc et une dizaine de Mc (2).

(1) Et dont les autres dimensions (qui n'agissent aucunement sur la fréquence propre) sont de l'ordre de celles d'une pièce de monnaie.

(2) D'après la relation de Hund, les très hautes fréquences obligeraient à prendre des quartz, qui, de par leur minceur, seraient trop fragiles. On s'en tire par le « multiplicateur de fréquences », lequel consiste à amplifier sélectivement (§ **15**) une des fréquences incluses dans la perturbation (« distorsion ») qui apparaît dans toute amplification.

La précédente technique est chose courante. De récentes études expérimentales ont conduit à utiliser (pour les très hautes fréquences ou « hyperfréquences ») la résonance de molécules *gazeuses* (maître oscillateur à gaz ammoniac).

Ce dernier maître oscillateur possède une stabilité telle que, si on l'applique au réglage d'une horloge, cette dernière n'avancera ni ne retardera de plus d'une seconde en trente mille siècles (elle est réalisée sous le nom publicitaire d' « horloge atomique » aux États-Unis).

Ainsi donc, une lame de quartz possède, comme un circuit oscillant, une fréquence propre, qui est extrêmement stable; on a même pu montrer qu'elle est équivalente, dans un montage, au circuit représenté par la figure 99, avec les données approximatives suivantes :

résistance.....	quelques milliers d'ohms
inductance.....	quelques millihenrys
petite capacité.....	quelques centièmes de picofarad
grande capacité.....	quelques picofarads

Vraisemblablement guidé par les techniques — à peine antérieures — mettant à profit les ultrasons (§ **47**), l'Américain Walter G. Cady eut, en 1922, l'idée de se servir du quartz piézoélectrique comme « pilote », comme « maître oscillateur » (1) pour *commander* la fréquence d'une station d'émission radioélectrique, ainsi que nous allons le voir au prochain paragraphe.

40. *L'oscillateur à commande par quartz.* — Grâce à notre incursion (§ **39**) dans la piézoélectricité, nous sommes armés pour comprendre la deuxième partie (§ **37, II**) des stations d'émission radioélectrique.

Le montage de la figure 91 permet de se familiariser avec le principe de la production d'oscillations électroniques entretenues. Leur fréquence se trouvait imposée par la fréquence propre (2) du circuit oscillant (alors : 500 pF + 500 μH). Malheureusement, dans la pratique, cette capacité et cette inductance ne resteront pas rigoureusement invariables : elles dépendent notamment des conditions atmosphériques (température ambiante, état hygrométrique de l'air, etc.), et un minime changement concomitant de la fréquence propre (3) provoquerait d'*inadmissibles* perturbations. C'est que les commissions internationales (4) assignent aux stations des fréquences précises, qu'elles doivent maintenir rigoureusement (5) sous peine d'interférer avec leurs voisines (6) : ne pas empiéter sur le voisin, de sorte que les réceptions des deux restent correctes.

---

(1) On dit aussi : comme « chef d'orchestre », ou encore comme « organe donnant le pouls à l'émission ».

(2) Prise, à titre d'exemple, égale à 320 kc.

(3) Une variation d'un pour cent de la fréquence choisie (*fig.* 91) la ferait passer à 317 kc ou à 323 kc.

(4) Pour éviter l'encombrement de l' « éther », comme disent ineptement

On a été conduit à employer systématiquement le dispositif de Cady (§ **39**), c'est-à-dire à abandonner la commande par circuit oscillant (*fig.* 91), pour lui substituer la commande par quartz (*fig.* 100). Les deux montages ont bien des points communs : tous les deux comportent une tension d'entrée, une triode, un circuit oscillant C. O. Et la présence de ce dernier commence par provoquer dans le circuit-plaque un courant de haute fréquence. Voici alors les différences entre les deux montages.

La grille est portée spontanément à une certaine tension par rapport à la cathode et, pour éviter que cette tension ne s'annule, on a disposé (en haut et à gauche, *fig.* 100) une forte résistance (7). Enfin on place, dans le circuit-grille, le maître oscillateur (8), qui se met à vibrer mécaniquement (§ **39**) sous l'influence de la tension-grille, et cette vibration mécanique est accompagnée (nous le savons) de l'apparition d'une tension alternative, ayant pour fréquence la fréquence propre de la lame de quartz. Si nous voulions retrouver les 320 kc qui étaient réalisés par le précédent montage (*fig.* 91), il faudrait employer, dans le montage actuel (*fig.* 100), une épaisseur de 8 mm 96 (d'après la relation de Hund, § **39**). Spécifions bien que c'est le cristal piézoélectrique (à peu près toujours en quartz) qui impose sa fréquence au circuit-plaque; et ceci aurait lieu même si le condensateur était débranché (9). Il ne fait d'ailleurs pas de doute (10) que le courant-plaque sera beaucoup plus intense, si le circuit oscillant C. O. est en résonance avec la fréquence du quartz (11);

(§ **26**, note) les gens qui se croient renseignés.

(5) La commande par quartz, *au cours de journées entières*, laisse la fréquence constante à 0,0001 % près (ou même à 0,00001 % près) : le quartz piézoélectrique est un véritable *étalon de fréquence*. La seule condition est que la température du quartz reste constante (à moins d'un degré près).

(6) Nous verrons (chap. VII) que la modulation occasionne un étalement de la fréquence sur 4 kc 5 en plus ou en moins; et c'est pour cela que les émetteurs, en principe, diffèrent les uns des autres d'au moins 9 kc (« bande passante » de 9 kc).

(7) Qui rend les mêmes services que la tension de polarisation de la figure 91 (c'est la polarisation *automatique* de la grille, § **63**). La BOBINE introduite dans le montage de la figure 100 a pour but d'éliminer la composante continue de la tension, qui, sans cela, agirait sur les armatures du quartz (et y provoquerait une déformation permanente).

(8) Au lieu de la bobine de 40 μH, qui (*fig.* 91) était couplée avec l'inductance (500 μ H) du circuit oscillant.

(9) Les deux bouts de fil restant libres.

(10) En conformité avec les nombres des tableaux des figures 29 et 30.

(11) On conservera (puisqu'il s'agit toujours de 320 kc) les valeurs portées sur la figure 91 pour le condensateur et pour la bobine.

et c'est pour parfaire la résonance que nous avons dessiné un condensateur variable.

L'oscillateur à commande par quartz se place, comme nous l'avons vu (*fig.* 93), à la suite du montage (*fig.* 94) d'alimentation (1). Un tel oscillateur ne peut admettre qu'une puissance relativement réduite (2), d'où la nécessité de lui adjoindre plusieurs étages (chap. VIII) d'amplification (AMPLI HF de la figure 93). Le principe de l'amplification ainsi que celui de l'excitation de l'antenne ont été précédemment décrits (3) : il n'y a rien d'essentiel à ajouter pour le moment.

Ainsi équipée, la station d'émission radioélectrique est prête à recevoir la modulation acoustique (chap. VII) pour la radiophonie ou la modulation optique (chap. IX) pour la télévision.

---

(1) Le lecteur notera que, pour simplifier les dessins, les bornes de sortie (à droite) de la figure 94 et les bornes d'entrée (à gauche) de la figure 100 ont été *interverties*. Naturellement, il faut relier plus à plus et moins à moins.

(2) Le tube électronique de la figure 100 — même dans les stations les plus puissantes — est une *toute petite* triode.

(3) Les références ont été données en **III** et en **IV** (§ **37**).

Chapitre VI

SONS ET ULTRASONS

41. ***Les fréquences sonores.*** **—** Maintenant que nous sommes bien persuadés (§ **36**) que les sons doivent être « insérés » quelque part dans une station d'émission (*fig.* 93), il n'est pas inutile de faire connaissance avec les appareils couramment employés pour capter les sons ou pour les restituer, ainsi qu'avec les procédés d'enregistrement, les nouveautés phonographiques et la musique électronique, pour en finir par le prolongement des sons vers les fréquences plus élevées (ultrasons). C'est là toute une nouvelle science, l'*électroacoustique,* qui vient de naître en quelques décades.

Il va être question de *fréquences sonores* (et ultrasonores) pour définir un phénomène qui se reproduit identiquement à lui-même un grand nombre de fois de suite. Nous avons déjà défini le mot « fréquence » à propos des oscillations électroniques (ou courants électriques alternatifs, §§ **7** et **14**) et des variations du champ électromagnétique (§§ **7** et **22**). Si nous utilisons encore ce mot (à juste titre), c'est qu'il a un sens très général et qu'il s'applique à *tout* phénomène périodique : il convient à la fois aux oscillations électroniques (de 50 cycles) du courant alternatif du secteur et aux vibrations élastiques (de 435 cycles) des deux branches du diapason normal.

Toute l'acoustique est ainsi tributaire de la notion de fréquence, comme toute la partie spécifiquement électromagnétique de la radioélectricité. Mais, à part cela, les vibrations de l'acoustique n'ont **rien de commun** avec les oscillations de la radio-

électricité (1) : les ondes sonores qui partent de la cavité buccale ou d'un instrument de musique n'ont **rien de commun** avec les ondes électromagnétiques émises par une antenne. En particulier, les ondes sonores ne se propagent pas dans le vide (2), tandis que c'est dans le vide que les ondes électromagnétiques (et donc la lumière) se propagent le mieux (sans affaiblissement).

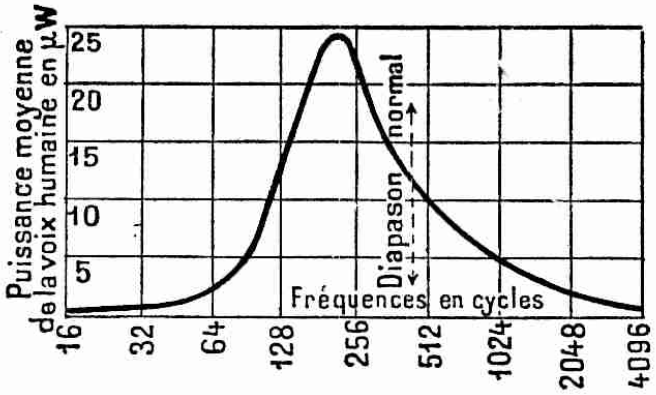


FIG. 101. — Graphique exprimant (en microwatts) les puissances sonores mises en jeu dans une conversation moyenne.

Nous n'avons pas à rappeler ici (3) les grandes lignes de l'acoustique moderne, mais il importe de préciser (par trois graphiques) quelques ordres de grandeur sur les fréquences (sonores) et les puissances (acoustiques), en relation avec les grandeurs correspondantes dont il a été question en radioélectricité.

1° La figure 101 indique comment se répartit, entre les fréquences (4), la puissance acoustique d'une conversation courante.

---

(1) C'est pour cela qu'il est recommandable (comme nous le faisons ici) de bien distinguer : *vibrations* élastiques (ou mécaniques) de la matière et *oscillations* des électrons ou des champs.

(2) La vitesse du son *dépend* du milieu matériel où il se propage (de l'ordre de : 300 m par sec dans l'atmosphère; 1500 m par sec dans l'eau; 5000 m par sec dans le fer). On définit, à partir de cela, la longueur d'onde (§ **22**) d'un son dans une substance donnée, à une certaine température, etc.

Pour éviter toute confusion qui pourrait provenir d'une appellation habituelle : « fréquence sonore » concerne une vibration (matérielle) et « fréquence musicale » (§ **36**) a trait à une oscillation électronique (de basse fréquence). On dira que, dans le téléphone, la membrane du microphone *vibre* avec une certaine fréquence sonore; que les électrons de la canalisation *oscillent* avec une fréquence musicale (de même valeur) et qu'à l'autre bout, la membrane de l'écouteur *vibre* avec une fréquence sonore (encore de même valeur).

(3) Sans qu'il soit obligatoire de s'y rapporter, signalons que l'acoustique a été abordée à plusieurs reprises dans d'autres ouvrages de la même Collection (Larousse) : *Qu'est-ce que...*, 9e édition, pp. 173-192; *Pour connaître...*, 7e édition, pp. 162-167; *Idées nouvelles*, 8e édition, pp. 151-176; *la Mécanique du visible et de l'invisible*, pp. 272-285.

(4) On notera que, suivant l'horizontale, les fréquences ne sont pas portées en progression arithmétique (comme on le fait presque toujours), mais en progression géométrique. Le *la* normal (435 cycles) se situe ainsi, non pas aux $\frac{179}{256}$ de l'intervalle 256-512, mais aux 845 millièmes (ou aux $\frac{217}{256}$).

Le maximum de puissance a lieu au voisinage de 200 cycles (150 c pour les hommes et 250 c pour les femmes). Cette puissance est tellement faible qu'il faudrait rassembler vingt millions de speakers pour que, parlant en même temps, ils émettent un kW. Pour un même speaker, la puissance peut varier dans le rapport d'un à dix mille; et, d'un speaker à un autre, dans le rapport d'un à cinq cents.

2° Le diapason (quand il est *entretenu* électriquement) émet un son, apparemment continu et produit par des vibrations régulières (sinusoïdales), représentées par un graphique du genre de celui de la figure 12. Les bruits sont des sons fortement *amortis*. Les notes musicales émises par les divers instruments (à cordes, à vent,...) correspondent à des courbes très compliquées. La voix humaine l'est également, et la figure 102 donne une idée (1) des fréquences présentes dans les voyelles (**ou, o, a, i**), selon qu'elles sont prononcées par un homme ou par une femme (2).

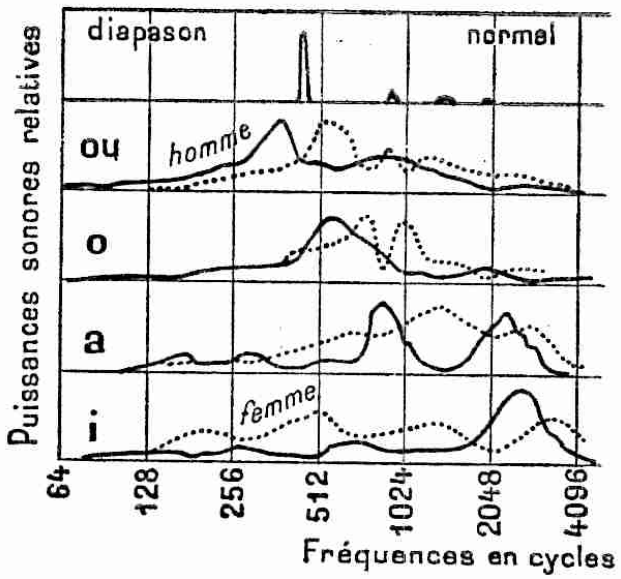


FIG. 102. — A côté du son (à peu près pur) émis par un diapason normal (435 cycles), les voyelles prononcées par un homme ou par une femme sont de structures bien compliquées.

---

(1) Les consonnes ont aussi été le point de départ de recherches expérimentales très poussées.

(2) Considérons la quatrième rangée (voyelle **a**) de cette figure 102. Certes, **a**, ce n'est pas que ça, mais c'est, *avant tout*, ça. A ce propos, il est piquant de confronter cette connaissance de base, cette connaissance précise avec le verbiage des cuistres, vis-à-vis desquels Molière s'est montré justement féroce (*le Bourgeois gentilhomme*, II, IV) :

LE MAITRE DE PHILOSOPHIE. — Il faut commencer selon l'ordre (!) des choses par une exacte (!) connaissance(!) de la nature (!) des lettres et de la différente manière de les prononcer toutes. Il y a cinq voyelles ou voix : **a, e, i, o, u.**

MONSIEUR JOURDAIN. — J'entends tout cela.

LE MAITRE DE PHILOSOPHIE. — La voix **a** se forme en ouvrant fort la bouche.

MONSIEUR JOURDAIN. — **a, a**, ma foi, oui. Ah! que tout cela est beau! Vive la science!

L' « explication » d'un texte comme celui-ci n'offre aucune espèce d'intérêt intellectuel (autant collectionner des timbres ou faire des mots croisés), si l'élève n'a pas une maturité suffisante et si le professeur est étranger à la physiologie.

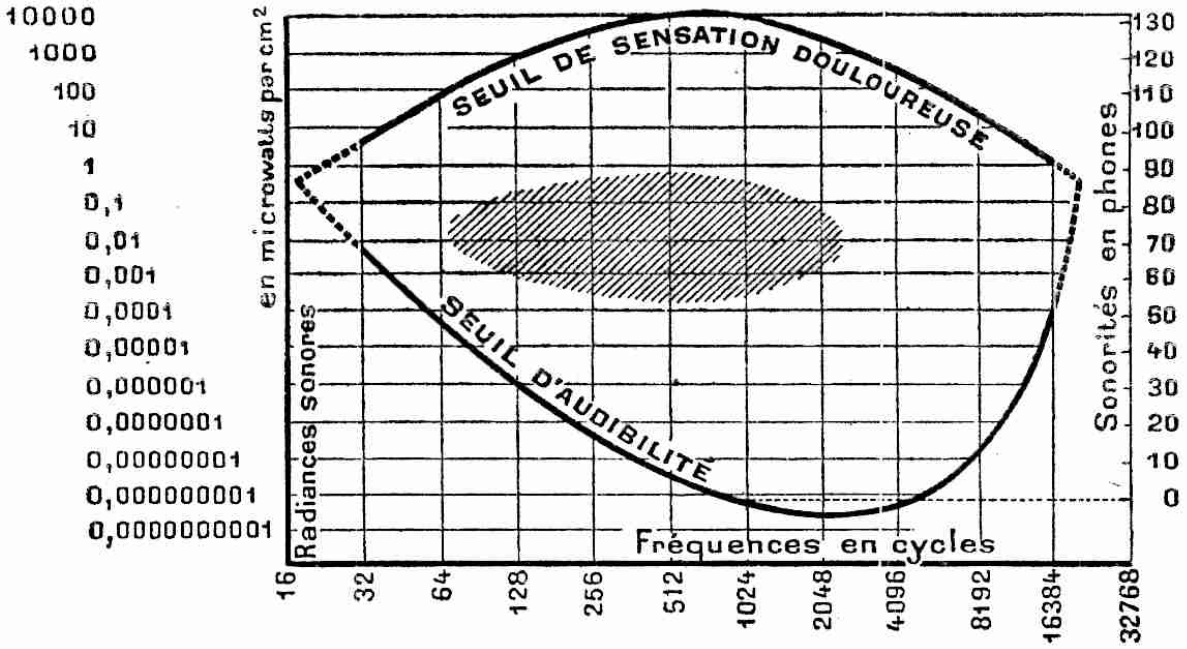


FIG. 103. — La surface intérieure aux deux courbes représente le domaine où l'oreille humaine est sensible. Cette sensibilité s'exprime aussi bien en unités énergétiques (microwatts par cm²) qu'en unités acoustiques (phones). La figure fournit en même temps la correspondance entre ces deux sortes d'unités. (La surface hachurée donne une idée du domaine de la voix humaine : l'homme perçoit beaucoup plus de sons qu'il n'en émet.)

3° Voilà quelques détails pour le son au départ, et en voici d'autres pour le son à l'arrivée. Il s'agit (*fig.* 103) de la sensibilité de l'oreille humaine en fonction des fréquences sonores : les sons trop graves (infrasons) et les sons trop aigus (ultrasons) ne provoquent aucune perception.

On soupçonnera, grâce à ces aperçus, que les dernières décades ont accumulé (surtout en Amérique) une très riche documentation. Ne nous y trompons pas : c'est parce qu'ils ont été précédés par des « savants du son » que les ingénieurs du son ont pu améliorer la technique de la radiodiffusion, ainsi que celle du cinéma.

42. *Le microphone; la distorsion.* — Le microphone

Comme quoi une prétendue « culture » littéraire — à laquelle un enseignement scientifique (d'ailleurs insuffisant) n'a rien à envier — reste lamentablement anachronique... Une des besognes urgentes de l'heure présente réside en l'épuration — ou, du moins, la modernisation — des instructeurs de la jeunesse. Un professeur de philosophie, auteur de manuels réputés, nous confiait, il y a plus de vingt ans : « Je sais trop bien combien une éducation presque exclusivement littéraire nous prépare mal à notre enseignement. » Et la situation n'a fait qu'empirer depuis.

(ou, familièrement, le « micro ») est un *traducteur* son-courant. Cela veut dire qu'on a une membrane, que l'on oblige à *vibrer* (mécaniquement), en la frappant par des ondes acoustiques (aériennes) — lesquelles sont produites, soit par la bouche du speaker de service, soit par un orchestre, soit enfin par l'enregistrement préalable (§ **43**) d'un des cas précédents —; et que, par un dispositif quelconque, le micro (muni de deux bornes) est alors traversé par un courant électrique variable, qui « traduit » en *oscillations* électroniques (de même structure dans toutes leurs particularités) les vibrations de la membrane.

Une fois de plus, nous abandonnerons à leur malheureux sort les « écrivains en T. S. F. », qui ne sont que cela : ils abreuvent le lecteur éventuel de détails interminables, sans se rendre compte qu'il n'y aura pas d'« éventualité » et que personne ne les lira. Ce travers ne s'insère pas dans la ligne générale de cet exposé, qui veut être plus culturel que technique. Il faut néanmoins distinguer deux grandes catégories de microphones :

I. Le microphone-rhéostat, qui exige, en outre, une tension électrique extérieure (continue) : il est formé essentiellement d'une multitude de « mauvais contacts », voisins de la membrane, et qui deviennent plus ou moins bons, selon les vibrations de cette dernière. La résistance varie en conséquence, et le courant aussi, puisque la tension appliquée est constante. Le plus curieux dans l'affaire, c'est que, moyennant certaines précautions (dictées par une longue pratique), la traduction des vibrations sonores en oscillations électroniques est très satisfaisante...

II. Le microphone-dynamo n'a pas, en principe, besoin d'aide pour fonctionner. On sait qu'une dynamo est une machine qui reçoit de l'énergie mécanique et qui restitue de l'énergie électrique. Les dynamos usuelles sont des « rotateurs », tandis que ce type de microphone est un « vibrateur ». On sait également qu'une dynamo jouit de la *réversibilité;* en d'autres termes, si l'on y dépense de l'énergie électrique, elle fournira de l'énergie mécanique (donc, si l'on sait s'y prendre, de l'énergie sonore). La réversibilité du microphone-dynamo conduit donc au haut-parleur-moteur, qu'il soit électrodynamique (*fig.* 109), électromagnétique, électro-

statique, électro-n'importe quoi. C'est là tout bénéfice pour nous : il nous suffira de décrire (§ **45**) un type usuel de haut-parleur (traducteur courant-son) ; en imaginant qu'il « marche à rebrousse-poil » (1), nous connaîtrons l'essentiel du second type de microphone.

L'utilisation des résistances de contact (**I**) pour réaliser un traducteur son-courant a été imaginée en 1878 par l'ingénieur américain David Hughes. Les microphones modernes (de téléphonie et de radiodiffusion) sont des appareils de précision, parfaitement étanches, de grande sensibilité (2), pratiquement indéréglables et pouvant prendre toutes les positions. Ces multiples conditions — et bien d'autres encore — ont soulevé de délicats problèmes de construction, dont nous n'avons cure. La figure 104 (3) représente (très schématisé) un microphone moderne : le courant entre (par exemple) dans la lame vibrante L (en aluminium), qui est solidaire de l'électrode mobile E (en charbon soigneusement poli). A quelques millimètres de celle-ci se trouve l'électrode fixe **E** (identique à la précédente et par où sort le courant). C'est dans l'intervalle qui sépare les deux électrodes (dit « chambre de graphite ») qu'est introduite la poudre de graphite, convenablement tassée. C'est entre les grains de cette poudre qu'apparaissent les mauvais contacts qui font varier la résistance électrique de l'ensemble sous l'influence des vibrations de la lame. Les oscillations électroniques, constituant le courant

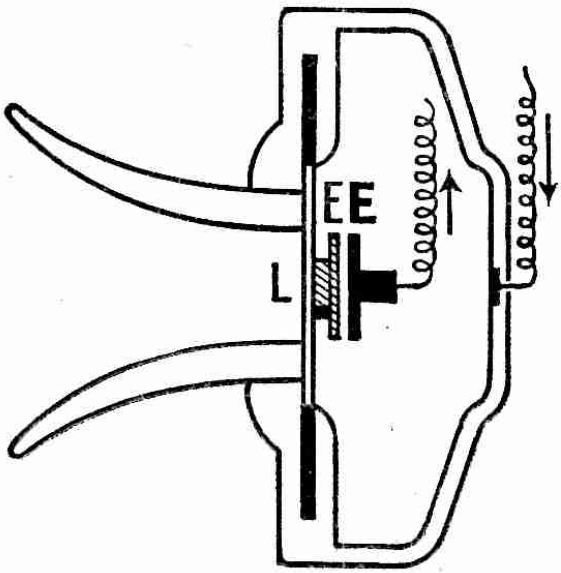


FIG. 104. — Coupe schématique d'un microphone à poudre de graphite.

(1) Cette expression est strictement exacte, puisque le haut-parleur sert aussi comme microphone dans certains montages téléphoniques.

C'est à ce même paragraphe **45** que nous ferons allusion aux microphone, pick-up, haut-parleur *piézoélectriques*.

(2) Pour donner une idée suggestive des sensibilités réalisables, rappelons que le physicien allemand F. Trendelenburg a pu inscrire (1927) des bruits aussi faibles que ceux des palpitations du cœur ou des soufiles respiratoires.

(3) Il faut rompre avec la tradition des vulgarisateurs, qui trouvent moins fatigant de décalquer des dessins industriels (où leurs lecteurs ne verront que des boulons ou des écrous).

microphonique (ou « courant de parole »), sont ainsi le « calque » des sons émis.

Il est fort heureux qu'on puisse parler dans un « micro » — et aussi écouter un haut-parleur — sans se faire la moindre idée de la complexité des phénomènes qui se produisent dans une lame vibrante (1). Ces derniers ont fait l'objet de milliers de travaux expérimentaux et théoriques, qu'il n'est pas question d'aborder ici. Toutefois, il existe un point qu'il faut bien préciser en raison de son intérêt culturel : nous avons plusieurs fois fait allusion à la résonance (2), c'est-à-dire à la sélectivité. Eh bien! microphone et haut-parleur doivent être calculés pour être aussi **peu** sélectifs que possible, afin de laisser passer *uniformément* tous les sons audibles ou, si l'on préfère, l'un et l'autre doivent « rendre » la « bande » entière de fréquences (*fig.* 103) comprise entre les sons sourds et les sons stridents,

20 cycles et 20 kilocycles,

soit la bande des fréquences sonores. Faute de quoi, les paroles deviennent inintelligibles (3), la musique est déformée et perd son caractère esthétique. On englobe ces défauts sous la dénomination — assez mal choisie (4) — de « distorsion ». Il a fallu étudier, sous cet angle, tous les procédés qui captent ou restituent les sons (téléphone, phonographe, radiophonie, cinéma, musique électronique) ; on peut considérer que le problème, en ce milieu du XX^{e} siècle, est d'ores et déjà résolu en très

---

(1) Ni des phénomènes (encore plus compliqués) dont les cordes vocales et le tympan sont le siège. *Rien que pour les voyelles*, la figure 102 nous en donne une idée.

(2) Peu importe que cette résonance soit électrique (*fig.* 29 et 30) ou mécanique. Au paragraphe **14**, la résonance (électrique) était très aiguë (le circuit *oscillant* était extrêmement « sélectif »).

(3) Dans chaque cas, l'intelligibilité se définit par le pourcentage des paroles qui sont susceptibles d'être comprises. Contrairement à ce qu'aurait fait supposer une opinion hâtive, l'intelligibilité est surtout due aux fréquences aiguës :

1° Si, avec un filtre passe-haut (§ **16**), on coupe toutes les fréquences graves, il reste un filet de voix (« voix de tête »), d'ailleurs tout aussi clair;

2° Si, au contraire, un filtre passe-bas (§ **16**) élimine les fréquences aiguës, la voix reste pratiquement aussi intense, mais elle est brouillée et indistincte.

Bien entendu, l'intelligibilité dépend de toutes les circonstances de la production et de la restitution sonores : puissance de la parole (*fig.* 101), vitesse de débit, qualité intrinsèque du speaker, valeur des transmissions, résonance acoustique du studio, bruits ambiants, ...).

(4) Le mot — moins pédant — d'*altération* eût été préférable.

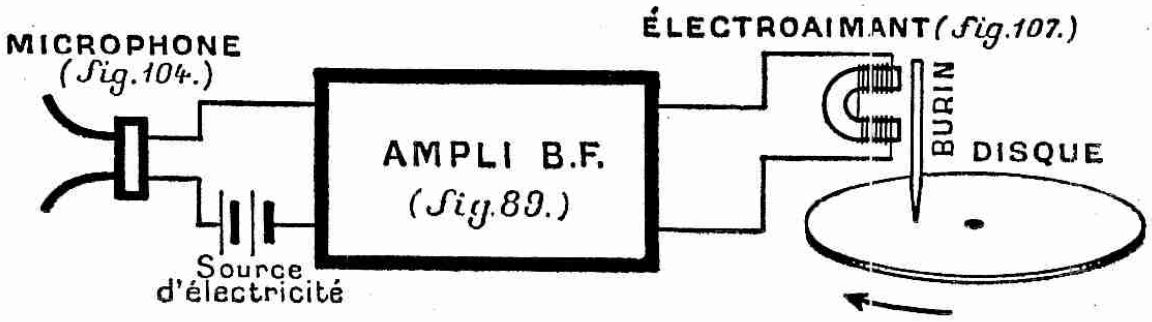


FIG. 105. — Enregistrement des sons sur disque de phonographe.

bonne approximation. Tel est le bilan de deux décades d'électro-acoustique (§ **41**).

43. *Procédés d'enregistrement.* — Pour éviter les «incidents techniques» (retards, accrocs, etc.) qui risqueraient de se produire au cours de l'émission des causeries et des concerts, et, aussi, pour faire passer à diverses reprises le même programme, les studios de radiodiffusion usent presque toujours d'un enregistrement préalable, qui permet de « différer » l'émission et qui supprime pratiquement tout imprévu dans l'horaire chronométré de la « chaîne » (sans parler de la possibilité d'une censure... politique ou autre).

1° *Enregistrement sur disques.* Le principe en est rappelé par la figure 105 : la puissance (très faible) des courants microphoniques est accrue par le passage à travers un amplificateur (§ **34**) à basse fréquence, et les bornes de sortie sont branchées sur un électroaimant, qui fait mouvoir *latéralement* (1) une palette de fer doux, munie d'un burin graveur. Celui-ci trace un sillon sinueux sur un disque de phonographe, disque en métal recouvert d'un vernis (2). Il faudra ensuite « lire le son » dont on a conservé la trace; nous indiquerons comment un peu plus tard (§ **44**).

2° *Enregistrement sur film.* C'est le procédé employé dans le cinéma sonore (3).

3° *Enregistrement électromécanique.* Cet enregistrement est

(1) Dans ces derniers temps, on commence à répandre la gravure *en profondeur*, ce qui permet une meilleure reproduction des sons graves.

(2) Des dispositifs automatiques sont prévus pour « changer de disque » au cours des longs enregistrements, sans qu'il se produise d'interruption perceptible.

(3) Procédé inhabituel en radiodiffusion et qui a d'ailleurs été traité autre part (*Idées nouvelles*, 8e édition, pp. 151-154, Larousse).

une combinaison des deux précédents : actionner un burin graveur par le courant microphonique (amplifié) et lui faire tracer une « piste sonore » par arrachement d'un vernis noir opaque, qui recouvre une couche de gélatine (*fig.* 106).

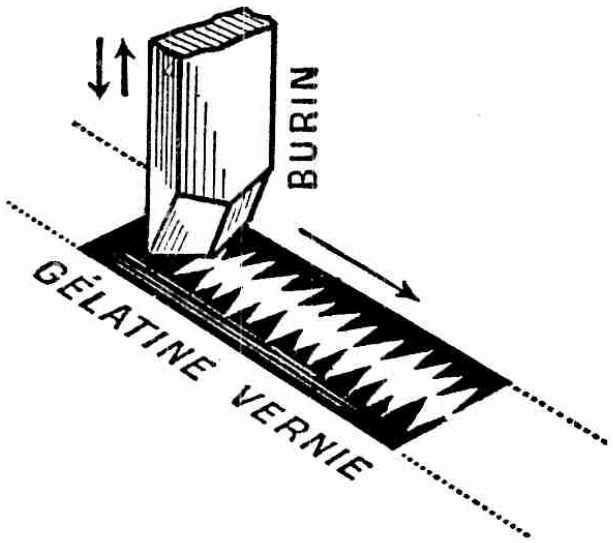


FIG. 106. — Enregistrement électromécanique des sons.

4° *Enregistrement par magnétophone.* En 1897, l'ingénieur danois Valdemar Poulsen eut l'idée de se servir (sous le nom de « mnémophone ») de longs fils très fins (en acier spécial), en les faisant passer entre les pôles d'un électroaimant parcouru par le courant microphonique. Les variations de ce dernier laissaient une « trace » (1), et il suffisait de passer à nouveau ce fil entre les pôles de l'électroaimant (cette fois-ci sans courant et appelé « lecteur de son ») pour y provoquer, par induction électromagnétique (§ **11**), des variations de courant (oscillations électroniques) qui reproduisaient les sons primitifs. Cette invention resta longtemps en sommeil : l'ingénieur allemand C. Stille l'a reprise en 1930, ce qui conduisit au *magnétophone.* Il ne faut pas se figurer que c'est là une question de vocabulaire; la mise au point industrielle n'était pas réalisée... On emploie concurremment (2) aujourd'hui un ruban de matière plastique (6 mm × 0 mm 05), où est incorporé de l'oxyde de fer (qui la colore en brun). L'absence de frottement assure une fidélité parfaite, et l'aimantation subsiste à peu près indéfiniment (3), d'où la possibilité d'une suite illimitée de restitutions des sons.

(1) Consistant en aimantations différentes dans les diverses parties du fil. Cette « trace » (de nature électronique) échappe à toute mise en évidence (abstraction faite des courants produits lors de la restitution du son).

(2) Le fil fin présente toutefois l'avantage d'un bien moindre encombrement.

(3) On peut d'ailleurs supprimer cette aimantation en faisant passer la bande entre les pôles d'un électroaimant, parcouru par un courant électrique convenable, et la bande (redevenue vierge) est prête à un nouvel enregistrement. Nous venons de parler du magnétophone à propos des émissions radiophoniques différées, mais il se généralisera vraisemblablement dans de nombreux cas : phonéthèques, transmissions accélérées, enregistrement de conversations téléphoniques, dictée du courrier commercial, etc.

44. *L'électrification du phonographe.* — Il sera fait quand même une brève allusion à ce sujet, qui est à la limite du plan de cet exposé, car, d'une part, les émissions différées emploient encore actuellement des disques (§ **43,** 1°) et, d'autre part, les *phonographes électriques* mettent en œuvre des dispositifs classiques en radioélectricité.

A l'époque héroïque (1), à l'époque du bricolage, les promesses du phonographe étaient uniquement mécaniques : précédé par nos compatriotes Léon Scott de Martinville (1857) et Charles Cros (1877), l'Américain Edison (1878) s'y intéressa en passant, mais c'est avec son compatriote Graham Bell (1888) et d'autres chercheurs que l'appareil devint progressivement pratique. Et, cependant, ce ne fut que peu d'années plus tard (1894) que le phonographe commença à profiter des améliorations de toutes sortes, apportées par la juxtaposition de l'énergie électrique, sous l'impulsion première de l'ingénieur suisse François Dussaud. Il convient de voir là l'origine du « lecteur électrique » ou phonocapteur, qu'on désigne communément par le mot anglais « pick-up » (prononcer : *piqueuppe*), littéralement « recueilleur ».

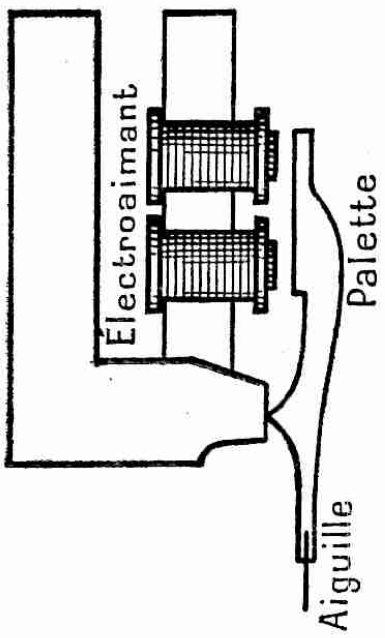


FIG. 107. — Principe du pick-up.

Le pick-up s'appuie sur la réversibilité de l'électromagnétisme et de l'induction : il suffit de remplacer, dans la figure 105, le burin graveur par une aiguille qui suivra les sinuosités du sillon du disque; la palette en fer doux (solidaire de l'aiguille) se déplacera latéralement et induira dans l'électroaimant (*fig.* 107) des courants, qui traduiront exactement les sons enregistrés. Le montage complet (*fig.* 108) est la réplique de la figure 105 : la restitution utilise (en sens inverse) les mêmes phénomènes que l'enregistrement; les courants induits, après passage dans l'am-

(1) Auguste Lumière rapporte (1948) que, lorsque le phonographe fut présenté à l'Académie des sciences (1er mars 1878), l'un des membres de la docte compagnie (section de médecine et chirurgie), dont le nom (Jean Bouillaud) ne dit plus rien à personne, parla de « ventriloquie » et s'exclama, dans un beau mouvement d'indignation : « Jamais on ne me fera croire qu'un vil métal puisse remplacer le noble appareil phonétique, dont Dieu gratifia l'être qu'il créa à son image ».

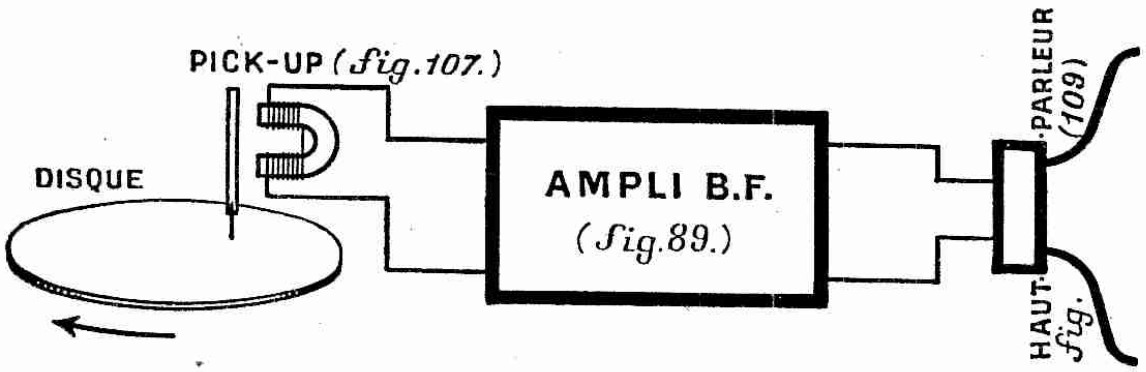


FIG. 108. — Restitution des sons par le phonographe électrique.

plificateur basse fréquence (1), viennent actionner le haut-parleur. Certains pick-ups modernes utilisent un cristal piézoélectrique (§ **39**) ou une photocellule (§ **77, III**).

Le principal avantage du pick-up est de réduire les grincements de l'aiguille sur le disque; par les qualités de l'enregistrement, de l'amplification et de la restitution, le phonographe électrique (appelé parfois *électrophone*) a conquis tous les amateurs de musique. Les progrès de la valeur esthétique, en phonographie et en radiodiffusion, ont marché de pair : le haut-parleur est commun à ces deux techniques (2).

45. *Le haut-parleur.* — C'est le traducteur courant-son (3). Etant donné la réversibilité de cette traduction, microphone (4) et haut-parleur ne vont différer que par des détails, que nous considérons ici comme accessoires. En particulier,

---

(1) Sans amplification, le pick-up serait resté une curiosité de laboratoire... Les postes récepteurs modernes sont équipés pour l'audition des disques : ils comportent (derrière l'appareil) une prise de courant, dite *prise pick-up*, qui permet d'utiliser, en phono, les amplis BF de radio. On s'arrange, comme de juste, pour que les émissions ou les parasites ne viennent pas troubler le fonctionnement du phonographe; nous expliquerons plus loin comment (mise en court-circuit des bobines et condensateurs d'accord radio, en plaçant le contacteur en position **0**, *fig.* 148).

(2) Un concert radiodiffusé est de la musique « fraîche »; une audition de disque est de la musique « de conserve ». La seule différence, c'est que, dans le premier cas, la musique est portée (chap. V) par les ondes électromagnétiques, tandis que, dans le second, on porte le disque (ou plutôt sa copie) du studio d'enregistrement au domicile de l'amateur. L'un des progrès techniques de notre époque consiste à offrir des conserves dont la valeur est comparable à celle des produits frais...

(3) Au même titre que le vulgaire écouteur téléphonique.

(4) Il s'agit, bien entendu, de ce que nous avons appelé le microphone-dynamo (§ **42, II**), car le microphone-rhéostat (§ **42, I**) — et, en particulier, le microphone à graphite (*fig.* 104) — *n'est pas* réversible.

l'embouchure du microphone est remplacée par le *pavillon* du haut-parleur, lequel pavillon a donné lieu à des recherches très étendues, dont nous n'avons pas à parler.

De même que tout moteur, un haut-parleur comporte une partie fixe (stator), qui est traversée par des courants variables (bobine) ou qui est soumise à une tension variable (armature fixe d'un condensateur). Mais la partie mobile n'est plus (comme dans les moteurs proprement dits) un rotor; c'est un vibrateur : soit une pièce de métal magnétique (1), soit une petite bobine très légère, soit enfin l'autre armature d'un condensateur.

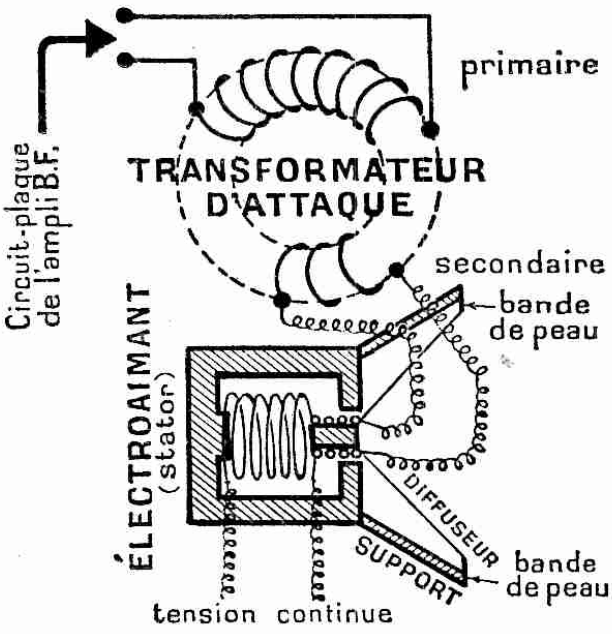


FIG. 109. — Un haut-parleur électrodynamique à excitation (avec transformateur d'attaque).

La bobine vibrante est solidaire du diffuseur conique en carton. L'une des extrémités de cette bobine peut être reliée à la Terre (ou à la masse).

C'est le second de ces dispositifs qu'utilise l'un des *bons* haut-parleurs les plus répandus : le haut-parleur électrodynamique. La figure 109 nous en représente schématiquement un modèle : le stator, qui est ici (2) un électro-aimant (ou, plus brièvement, « électro »), produit un champ magnétique intense (dû au passage d'un courant continu ou d'un courant alternatif redressé, qui devrait [3] être filtré, § **16**). La bobine mobile est alimentée — avec interposition d'un transformateur dévolteur (4) — par le courant-plaque du dernier étage d'amplification (§ **34**) basse fréquence : ce courant a épousé

---

(1) Cas de l'écouteur téléphonique.

(2) C'est un haut-parleur à enroulement d'excitation.

Naturellement, cet enroulement est supprimé si le stator est un aimant permanent (haut-parleur excellent, mais cher).

(3) Contrairement aux habitudes de beaucoup de constructeurs, qui n'utilisent qu'une bobine de filtrage (au lieu de deux) et qui n'hésitent pas à se servir, à cet effet (pour des raisons d'économie), de l'enroulement lui-même du haut-parleur.

(4) Rapport de transformation : entre $\frac{1}{10}$ et $\frac{1}{50}$ (de dix à cinquante fois moins de spires au secondaire qu'au primaire).

toutes les sinuosités de la parole ou de la musique primitive, et il les transmet à la bobine mobile, ce qui l'oblige à vibrer, en entraînant le cône ou diffuseur en carton (ou en étoffe bakélisée) [1]. C'est ce diffuseur, qui, dans le haut-parleur, est la source sonore : la substance dont il est fait a la propriété de ne posséder aucune fréquence propre (aucune sélectivité), ce qui lui permet de s'accommoder de toute la bande de fréquences de la figure 103.

Grâce aux perfectionnements successifs (2) dont il a été l'objet, le haut-parleur est parvenu à remplir tout un ensemble de conditions difficilement compatibles : rendre (comme on vient de le voir) tous les sons, depuis les plus graves jusqu'aux plus aigus; mieux émettre les sons faibles que les sons forts (3); transmettre les sons les plus intenses sans altération; enfin n'introduire aucun son parasite.

46. *La musique électronique.* — En tant qu'autre « banlieue » de la radioélectricité, nous ferons une rapide incursion dans le domaine de la « musique électronique ».

A propos de l'obligation de « porter » les sons dans la radiodiffusion (§ **36**), nous avons rappelé ce fait qu'il est impossible d'aménager une station d'émission sur le modèle d'un orgue électrique. Les conditions sont totalement différentes dès qu'il ne s'agit plus de propager à grande distance des ondes électromagnétiques basse fréquence, mais de produire sur place, par des circuits oscillants convenables, des courants alternatifs de fréquences musicales, que l'on envoie dans un haut-parleur. C'est là le principe de divers essais, dont certains sont, dès à présent, fort réussis (4), auxquels on a donné des noms ronflants (5);

---

(1) Les bords de la grande base du tronc de cône sont maintenus sur le support par l'intermédiaire d'une bande de peau (*fig.* 109).

(2) Signalons, pour sa remarquable fidélité, le haut-parleur piézoélectrique. En l'espèce, le quartz (§ **39**) ne convient pas, car, possédant une fréquence propre, il n'émettrait qu'un son. Fort heureusement, il existe des cristaux sans fréquence propre (ou apériodiques), dont le type est le tartrate sodicopotassique (vulgairement appelé « sel de Seignette ») : un cristal, convenablement taillé, est disposé (comme on sait, *fig.* 98) entre les deux armatures d'un condensateur.

La piézoélectricité est d'ailleurs surtout appliquée aux cas du microphone et du pick-up. (Ces trois appareils doivent être soigneusement protégés contre l'humidité.)

(3) Comme l'exige la physiologie de l'oreille humaine.

(4) Givelet, Hammond, Martenot, Puget, Sarnette, Toulon.

(5) Dignes de spécialités pharmaceutiques et où l'on a introduit beaucoup d' « éther », qui n'a vraiment rien à faire là-dedans (moins qu'ailleurs si possible).

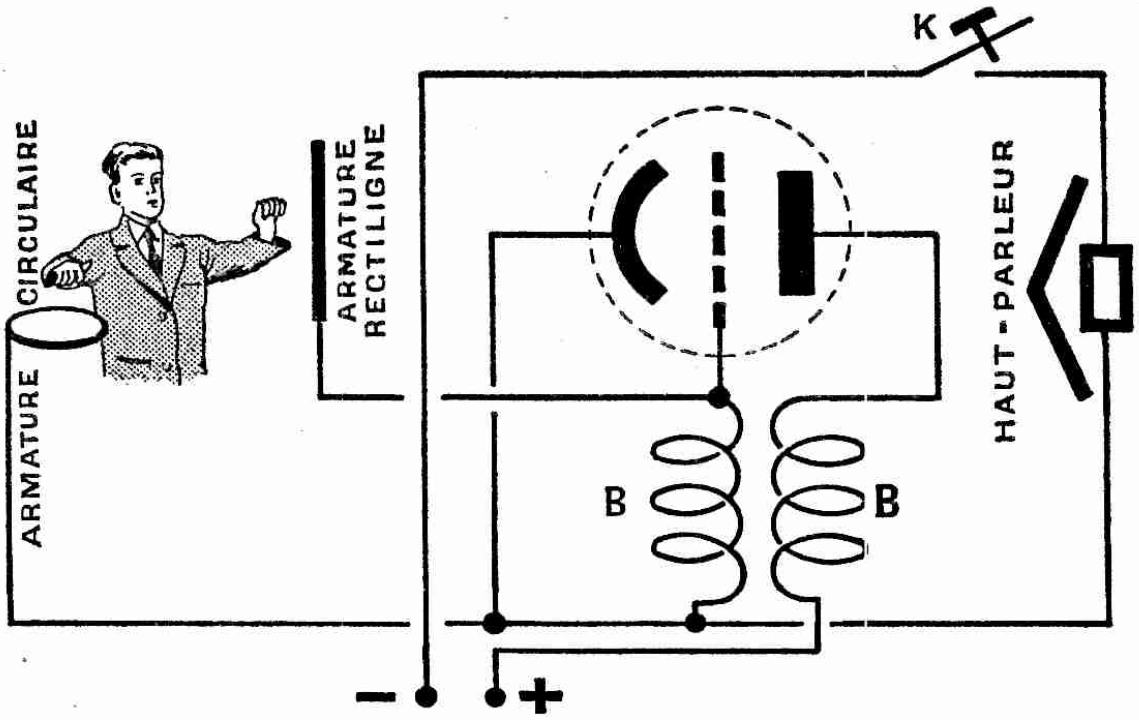


FIG. 110. — Principe de la production de la musique électronique.

on s'entend pour les englober actuellement sous la désignation — moins prétentieuse — de *musique électronique*.

Il n'est pas question de passer ici ces essais en revue; on devrait y consacrer de nombreuses pages, fourmillant de détails longs à expliquer. Pour saisir « de quoi il retourne », nous nous bornerons à rappeler les premières tentatives en France, qui virent le jour en 1927 et qui étaient dues aux deux ingénieurs russes Goldberg et Theremin.

Rien n'est plus facile (*fig.* 27) que d'obtenir un circuit oscillant à fréquence propre musicale; et le moyen le plus simple de faire varier cette fréquence, c'est de modifier (*fig.* 14) la capacité du condensateur (1). Dès 1927, on a songé à ne conserver qu'une armature métallique (fixe) à ce condensateur et à remplacer la deuxième par une main de l'exécutant [2] (le corps de celui-ci étant suffisamment conducteur de l'électricité et se trouvant, de ce fait, relié à la Terre). Sur la figure 110 (montage original rectifié), on distingue deux de ces condensateurs : l'un formé

(1) On peut également changer la note musicale émise en agissant (*fig.* 23) sur l'inductance de la bobine.

(2) Qui se donne l'allure d'un chef d'orchestre (chef d'un orchestre invisible d'électrons).

d'une armature rectiligne (1) et de la main gauche du virtuose, l'autre formé d'une armature circulaire (1) et de sa main droite. Lorsqu'on ferme l'interrupteur K, la triode (2) entretient des oscillations électroniques, qui ont ici la fréquence du circuit oscillant constitué par la bobine **B** et par le condensateur main gauche-armature rectiligne. Le courant-plaque (ainsi produit) est d'ailleurs modifié par le courant-grille, où se trouvent la bobine B et le condensateur main droite-armature circulaire (puisque les deux circuits sont couplés par suite de la mutuelle inductance des bobines B et **B**). On ajoute au montage une triode amplificatrice (*fig.* 89), qui n'est pas représentée sur la figure 110 (pour ne pas surcharger le dessin). Les courants alternatifs à fréquences musicales passent dans le haut-parleur, qui émet alors des sons (3).

Tel est le principe. Les chercheurs et constructeurs actuels y ajoutent des claviers, des pédales, des clés, des onglets,... bref tous les accessoires inhérents à ce genre de choses. Outre la possibilité d'une puissance acoustique illimitée, la musique électronique réussit à remplacer un groupe d'instrumentistes par un seul et à produire des effets sonores étranges (mélodie lointaine, écho,...) ou des bruits naturels (synthèse du tonnerre ou de la tempête sur mer).

47. *Les vibrations mécaniques ultrarapides.* — Tout comme la musique électronique, le domaine des ultrasons est, pour ainsi dire, en marge du plan du présent ouvrage. Il convient néanmoins d'ajouter (4) quelques mots à ce propos, car, d'une part, l'émetteur-récepteur d'ultrasons met à profit les montages classiques de radioélectricité et, d'autre part, il complète fort heureusement le radar (chap. XI), précisément dans les conditions où celui-ci se révèle inapplicable (5).

---

(1) Appelée « antenne » par les premiers inventeurs (qui n'y comprenaient pas grand chose).

(2) Comme à la figure 91.

(3) On a commencé par s'apercevoir empiriquement que l'armature rectiligne agissait principalement sur la hauteur des sons (leur fréquence), et l'armature circulaire sur leur intensité (leur puissance).

(4) Nous nous sommes appesantis sur le maître oscillateur (§ **39**) et nous avons fait allusion (§ **44**) au pick-up piézoélectrique. On trouvera d'autres indications sur les ultrasons dans *Idées nouvelles* (8e édition, pp. 160-176, Larousse).

(5) Étant donné que les eaux douces (et, encore plus, l'eau de mer) sont suffisamment conductrices de l'électricité pour que les ondes *électromagnétiques* y soient absorbées à une distance infime de l'émetteur.

On désigne sous le nom de fréquences ultrasonores l'ensemble des fréquences mécaniques (1) qui prolongent les fréquences sonores *au-delà* de 20 kilocycles (*fig.* 103). De telles fréquences avaient été obtenues à la fin du XIX^e^ siècle par le grand savant anglais Francis Galton (1822-1911) en modifiant le vulgaire sifflet, et l'on atteignit rapidement 170 kilocycles. A l'heure actuelle, l'utilisation des phénomènes piézoélectriques a porté cette limite supérieure à près d'une centaine de mégacycles (2). Ces fréquences, émises dans un milieu convenable, donnent lieu à des ondes ultrasonores ou ultrasons, qui se propagent avec l'une des vitesses du son (§ **41,** 2^e^ note).

En 1915, l'ingénieur russe Constantin Chilowsky fit remarquer que les fréquences ultrasonores (entre 20 et 40 kc) qui conviennent le mieux au sondage et à la détection d'obstacles sous-marins ont la même valeur que les fréquences électromagnétiques d'un emploi usuel en radiotechnique. C'est alors que Paul Langevin (1872-1946) combina cette idée avec la découverte (§ **39**) des frères Curie, familiarisé qu'il était avec les mesures de radioactivité au moyen du quartz piézoélectrique; c'est ainsi que, sous l'impulsion et l'autorité de Langevin, furent mis au point l'émetteur et le récepteur ultrasonores, destinés à la chasse aux sous-marins ennemis au cours de la première lutte des Alliés contre l'Allemagne. Cette technique a été reprise et perfectionnée (3) par les Anglo-Saxons au cours de la guerre 1939-1945.

On concevra l'efficacité des ultrasons par le fait qu'ils constituent des ondes *élastiques* ultracourtes (longueur d'onde de l'ordre de 300 m), qu'ils se propagent rectilignement avec une absorption minime et qu'ils peuvent être facilement dirigés. La direction de l'émetteur à quartz (avec entretien d'oscillations électromagnétiques par tube électronique, *fig.* 91) permet de déterminer la ligne où se trouve l'obstacle, et la réception, sur un second quartz, de l'onde sonore réfléchie indique la distance (4).

---

(1) Ou fréquences *élastiques* (mais *non* les fréquences électromagnétiques).

(2) La plus grande fréquence élastique connue est la fréquence propre des atomes du diamant (40 téracycles). Tous les atomes matériels vibrent spontanément (et éternellement !) avec une certaine fréquence : 5 fois plus petite (pour le cuivre), 20 fois plus petite (pour le plomb), ... que pour le diamant.

(3) Sous le nom d'« asdic » (Allied Submarine Devices Investigation Committee = Comité allié de recherches et inventions sous-marines).

(4) Tout simplement en multipliant la demi-durée (au bout de laquelle on note l' « écho ») par la vitesse (1500 m par sec) de propagation dans l'eau.

En temps de paix, les projecteurs ultrasonores guident les navires notamment par temps brumeux (présence d'autres navires, entrée des ports, fonds sous-marins, banquises,...) ; ils localisent les bancs de poissons; ils sont équipables en appareils de téléphonie sous-marine dans des conditions de parfait secret. Il est possible que la diffraction de la lumière par les ultrasons serve de base à un procédé de modulation optique en télévision (1).

(1) Dans les autres branches de l'industrie, signalons l'amélioration des noyaux (poudre magnétique + isolant) des bobines pour haute fréquence et celle des plaques photographiques, la stérilisation du lait, le contrôle métallurgique, le traitement ultrasonore des alliages fondus.

Chapitre VII

MODULATION ET DÉTECTION ACOUSTIQUES

48. *Du microphone au haut-parleur.* — Peu à peu, nous avons rassemblé notre documentation. Et nous sommes en bonne voie pour comprendre la petite phrase sans malice (§ **1**) : « Parler à un bout, entendre à l'autre. » On parle dans le microphone (*fig.* 104) ; on entend par le haut-parleur (*fig.* 109).

Il y a bien eu incidemment un léger accroc : c'est au moment (§ **36**) où nous avons été obligés d'admettre qu'il est impossible de transmettre les sons à distance, en envoyant des courants à fréquences musicales dans l'antenne émettrice, d'où l'inévitable « détour » par les ondes porteuses (chap. V). Le chapitre suivant (chap. VI) a rappelé ce qu'il fallait savoir d'acoustique pour posséder quelques notions sur le traducteur son-courant (ou microphone) et sur le traducteur courant-son (ou haut-parleur). Le premier problème qui se pose est d'*incorporer* le son aux oscillations électroniques engendrant les ondes porteuses : c'est le problème de la *modulation* (à la station d'émission). Le second problème sera exactement l'inverse du premier : il consistera à *extraire* le son des oscillations électroniques provenant des ondes porteuses (modulées) : c'est le problème de la démodulation ou — comme on dit plus souvent — de la *détection* (au poste récepteur).

L'ensemble de ces opérations, qui partent du microphone pour aboutir au haut-parleur, est schématisé par les cinq graphiques des figures 111-115, où l'on a choisi des données (vraisemblables) aussi simples que possible : le microphone émet le sixième *si* du

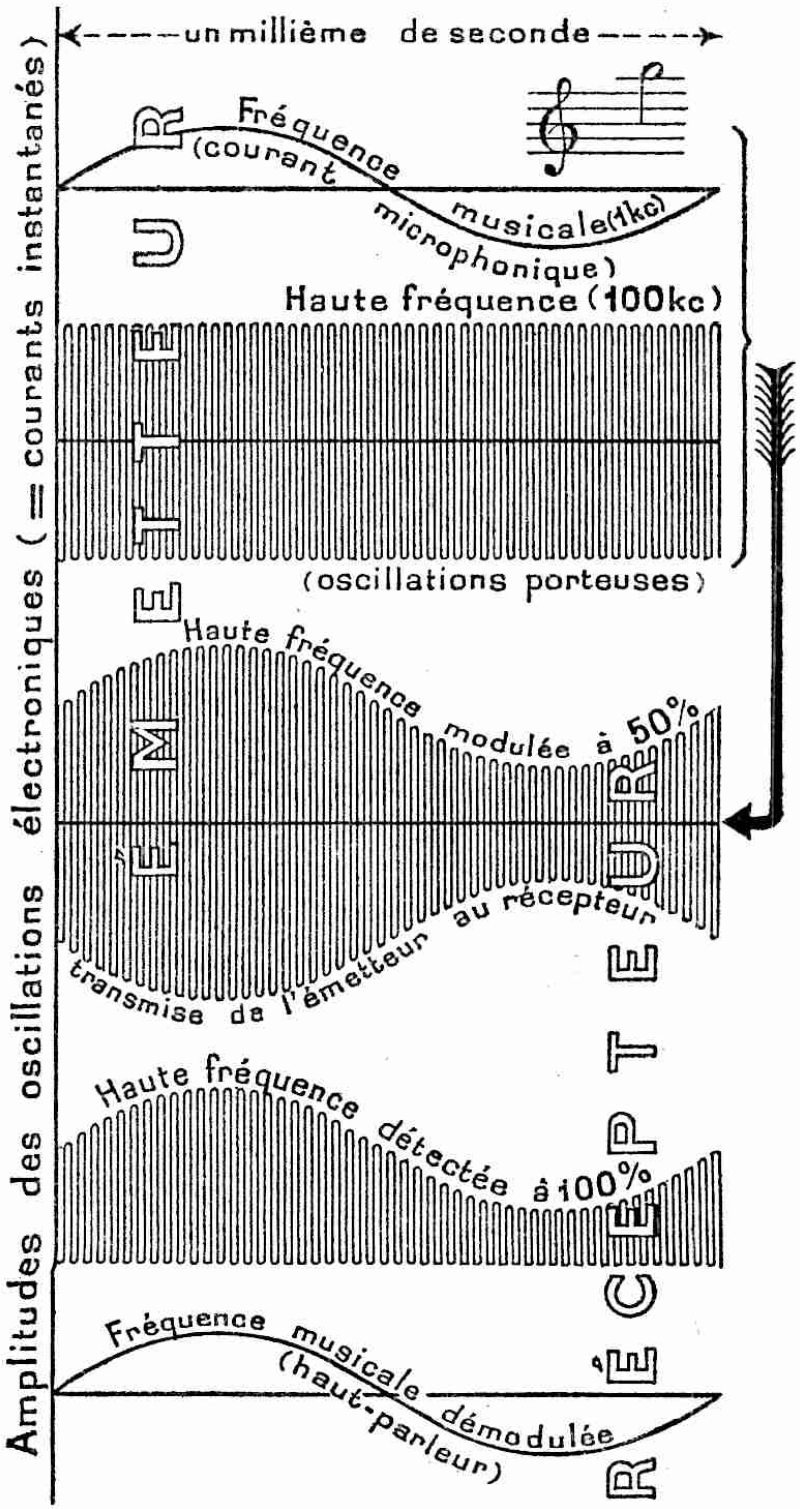


FIG. 111-115. — L'essentiel de la liaison radioélectrique entre une station d'émission et un poste récepteur.

L'émetteur (*fig.* 111-112) produit séparément une basse fréquence (par exemple, le sixième *si* d'un piano, 1 kc) au moyen du microphone (*fig.* 104) et une haute fréquence (*fig.* 91 ou 100). Ceci fait, l'émetteur superpose ces fréquences (*fig.* 113) et c'est précisément la modulation (d'amplitude).

La figure 113 représente trois choses (à des échelles différentes) : 1° le courant dans l'antenne d'émission; 2° le champ électromagnétique (longueur d'onde : 3 000 m) entre l'émetteur et le récepteur; 3° le courant dans l'antenne (ou le cadre) de réception.

Au récepteur, le courant alternatif de la figure 113 est transformé en un courant à sens unique (*fig.* 114) : c'est la démodulation ou détection. Et il ne reste plus (*fig.* 115) qu'à envoyer ce dernier dans le haut-parleur (*fig.* 109). « Parler à un bout, entendre à l'autre. » (§ **1**).

piano (fréquence : 1 kc), et l'oscillateur (par couplage grille-plaque [*fig.* 91], ou, mieux, à commande par quartz [*fig.* 100]) produit des oscillations électroniques de 100 kc, lesquelles lanceront à travers l'espace un champ électromagnétique de 100 kc (longueur d'onde : 3 000 m). La figure 111 représente le courant microphonique, et la figure 112 donne (*à la même échelle*) les oscillations électroniques *prêtes* à recevoir la musique. Ainsi se trouve réalisée la condition indispensable, à savoir que la fréquence porteuse doit être bien plus grande que la fréquence musicale — elle est ici cent fois plus grande (1) — : le son va s'inscrire sur les oscillations porteuses à la manière d'une gravure sur une trame (ou, comme nous l'avons déjà dit, à la manière d'une tapisserie sur un canevas).

La figure 113 s'obtient en combinant (ainsi qu'on le verra bientôt, §§ **50** et **51**) les deux figures précédentes 111 et 112. Pour prendre un cas simple, nous avons supposé que le courant maximum dans le microphone est deux fois plus petit que le courant maximum haute fréquence : on dit que la « profondeur » de la modulation est 50 % (ou que le « taux de modulation » est 50 %). C'est donc un champ électromagnétique de cette même allure qui partira de l'antenne à une vitesse de 300 000 km par sec et qui provoquera, dans le poste récepteur (supposé accordé à 100 kc), des oscillations électroniques de forme identique (2). Point n'est besoin d'explications supplémentaires pour se rendre compte que nous avons ici affaire à une *modulation d'amplitude* (3).

Pour des raisons que nous expliciterons plus loin, le poste récepteur doit « démoduler » ou *détecter* : c'est ce qu'indique la figure 114. En principe, on pourrait utiliser n'importe quel redresseur (§ **32**), n'importe quel conducteur à sens unique, qui arrête (qui « coupe ») l'« onde inverse » (le courant en sens

---

(1) Ce nombre *cent* est d'ailleurs à peine suffisant, comme nous le suggérerait un nouveau coup d'œil sur la figure 69 : on ne prend plus aujourd'hui des ondes porteuses aussi longues. Nos données n'ont qu'un intérêt explicatif : une fréquence très supérieure à 100 kc n'aurait pu être dessinée sur les figures 112-114.

(2) Cette figure 113 concerne donc à la fois : le départ, le chemin franchi et l'arrivée (*voir* la légende des figures 111-115); c'est ce graphique 113 qui caractérise la liaison radioélectrique, dans le cas du sixième *si* émis sur 3.000 m.

(3) Ce type de modulation reste encore le plus employé, bien que la *modulation de fréquence* (§ **52, II**) gagne du terrain depuis quelques années.

inverse) [1]. Il ne reste plus qu'une dernière opération à effectuer : le lecteur devinera peut-être qu'il faudra faire intervenir un filtre passe-bas (§ **16**), et la fréquence musicale sera isolée (*fig.* 115) pour actionner le haut-parleur. Et voilà comment (Dieu sait par quelles complications, que le lecteur commence à entrevoir) on saute de la figure 111 à la figure 115, comme si microphone et haut-parleur étaient dans le même local (2).

49. *La structure complète d'une station d'émission.* — Cela dit et pour faire le point, nous avons tout d'abord à compléter notre figure 93, qui se limitait volontairement à la production d'oscillations électroniques d'amplitude constante (le canevas de la tapisserie ou la trame de la photogravure).

C'est à cela qu'est destinée la figure schématique 116, qu'il est bon d'examiner en même temps que la figure 93. Du coup, le nombre des « parties » a doublé, mais, soyons tranquilles, on s'arrêtera là.

On retrouve la tension alternative, l'alimentation, l'oscillateur (3), l'amplification haute fréquence et l'antenne excitée indirectement. Ce qu'il y a de nouveau, c'est :

d'une part, l'« embranchement » producteur de son (microphone [4], avec son amplification basse fréquence) ;

d'autre part, dans le circuit principal, l'insertion du modulateur que le courant microphonique (5) va attaquer et que l'on fait généralement suivre d'un nouvel amplificateur (dit « ampli de sortie »), reposant sur le principe bien connu (§ **34**) et sur lequel il n'y a rien à dire d'intéressant pour nous.

Il nous faut maintenant entrer dans quelques détails sur la combinaison des figures 111 et 112 (qui donnent le graphique

---

(1) Lorsque le courant inverse est *totalement* supprimé (cas simple de la figure 114), la détection est à 100 %.

(2) Bien entendu, cet exposé préliminaire s'en tient strictement à l'essentiel, puisque, notamment, il n'y est pas question d'amplification (§ **34**).

(3) La figure 93 portait : « oscillateur (*fig.* 91) », alors qu'on a inscrit (*fig.* 116) : « oscillateur (*fig.* 100) ». Cela tient à ce que, au paragraphe **37**, nous ignorions encore la commande par quartz (§ **40**), dont la radiotechnique ne peut plus se passer.

(4) Nous savons qu'il est indifférent d'employer un microphone-dynamo (§ **42, II**) ou un microphone-rhéostat (§ **42, I**), mais il est nécessaire d' « exciter» *ce dernier* appareil au moyen d'un générateur auxiliaire à courant continu.

(5) La couverture de l'ouvrage représente une émission radiophonique publique.

de la figure 113). Disons une fois pour toutes que les deux premières figures ne se combinent pas par addition (1). En réalité, on ne fait pas intervenir le courant microphonique *pur* de la figure 111, mais on lui superpose un courant continu, de telle sorte qu'on obtient finalement (à l'entrée du modulateur de la figure 116) un courant *ondulé*, représenté par la figure 117 : cette superposition est obtenue par les polarisations *négatives*, dans les montages que nous allons décrire : « petite polarisation » de la figure 118; « polarisation » de la figure 119. (Le lecteur est prévenu qu'il a été jugé inutile de revenir ultérieurement sur ce détail, car ce ne sont pas les choses à expliquer qui vont nous faire défaut...)

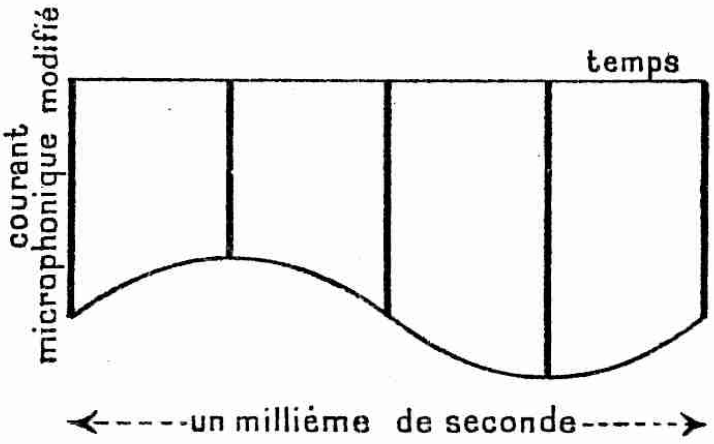


FIG. 117. — Avant toutes choses, il est nécessaire de superposer un courant continu au courant microphonique de la figure 111.

50. *La modulation d'amplitude par commande de plaque.* — Nous allons une fois de plus — et ce ne sera pas la dernière — mettre à profit la surprenante souplesse des « intervalles de vide ». Ce que nous voulons obtenir, c'est une tension du genre de la figure 113 à la sortie **S** du modulateur de la figure 116 ou, en d'autres termes, un courant de haute fréquence (modulé basse fréquence) dans le circuit-plaque du dernier tube électronique.

Il y a ici deux variantes (dont nous n'indiquerons que les plus simples) mises en œuvre :

1° On peut agir *directement* sur le courant-plaque (haute fréquence non encore modulée) au moyen du courant microphonique modifié (*fig.* 117) : c'est la *commande par plaque;*

2° Etant donné les propriétés bien connues (§ **33**) de la grille d'une triode, c'est le circuit-grille qu'on attaque

(1) Comme ce serait la première idée qui viendrait à l'esprit. Effectivement, on s'arrange pour qu'ils se combinent par *multiplication*, ainsi que l'avait établi le calcul avant que la pratique l'ait vérifié.

par le courant microphonique, et la modulation du courant-grille se répercute sur le courant-plaque (*commande par grille*, § **51**).

L'un et l'autre de ces deux dispositifs sont employés : le premier est plus fidèle; le second est plus économique (la puissance consommée est beaucoup plus faible).

Le montage de la commande par plaque est celui de la figure 118.

Ne nous effarouchons pas de la présence de *deux* triodes, mais entraînons-nous à « lire un schéma » (comme disent les sans-filistes). Cette compréhension s'acquiert assez vite, dans la mesure où les radiotechniciens, promus vulgarisateurs, sont (plaisanterie à part) suffisamment clairs. L'idée directrice se résume en quelques slogans : commencer par le commencement, distinguer l'essentiel de l'accessoire, faire chaque chose en son temps, sérier les difficultés, éviter d'oublier l'instant d'après ce qui vient d'être établi l'instant d'avant (1).

Les indications portées sur la figure 118 suffisent à déblayer le terrain (2) : la triode de gauche est une amplificatrice (§ **34** et *fig.* 89), qui ne sert qu'à donner une valeur convenable au courant microphonique. Il s'ensuit que les vibrations élastiques de la membrane du micro seront reproduites par les fréquences musicales du courant-plaque de ladite triode, et le primaire P du transformateur induira dans le secondaire S un courant de la même forme.

Passons maintenant à la partie de droite (*fig.* 118). Cette fois-ci, nous retrouvons le couplage grille-plaque (*fig.* 91), sur lequel nous avons longuement insisté à propos de l'entretien des oscillations électroniques. Ce qui nous suggère cette remarque importante qu'une triode modulatrice n'est, au fond, qu'une triode

---

(1) Toutes qualités de perspicacité qui se retrouvent dans les problèmes de mathématiques et de physique, voire dans la version latine. Une question scientifique comporte toujours des traductions faits-symboles et des traductions symboles-faits (les symboles pouvant être — dans les cas les plus élémentaires — des mots). L'étude des langues vivantes (dont l'utilité *pratique* est patente) et celle des langues mortes ont une portée intellectuelle infiniment plus restreinte : elles se confinent dans les traductions mots-mots (et réciproquement).

Les techniciens commencent d'ailleurs à réclamer une réforme complète de l'enseignement de base, de l'enseignement culturel, dans le sens que nous préconisons depuis plusieurs décades (par exemple : U. Zelbstein, dans la revue *Toute la radio*, juin 1949).

(2) Comme d'habitude (ne l'oublions pas), on n'a pas dessiné les circuits de chauffage des filaments des cathodes.

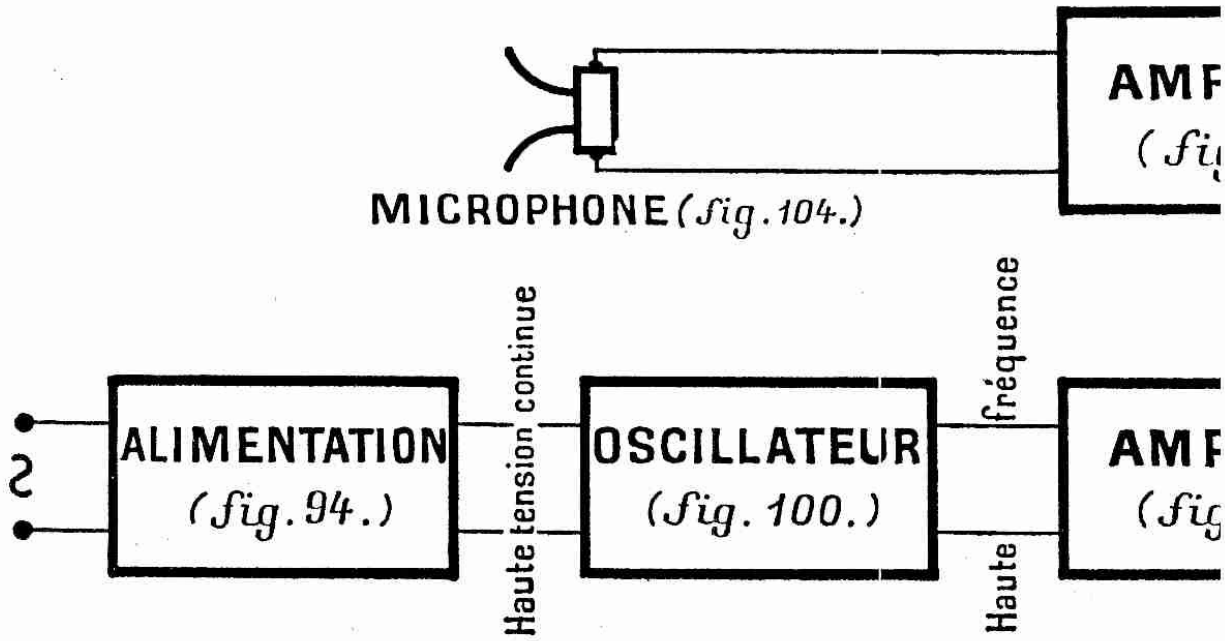


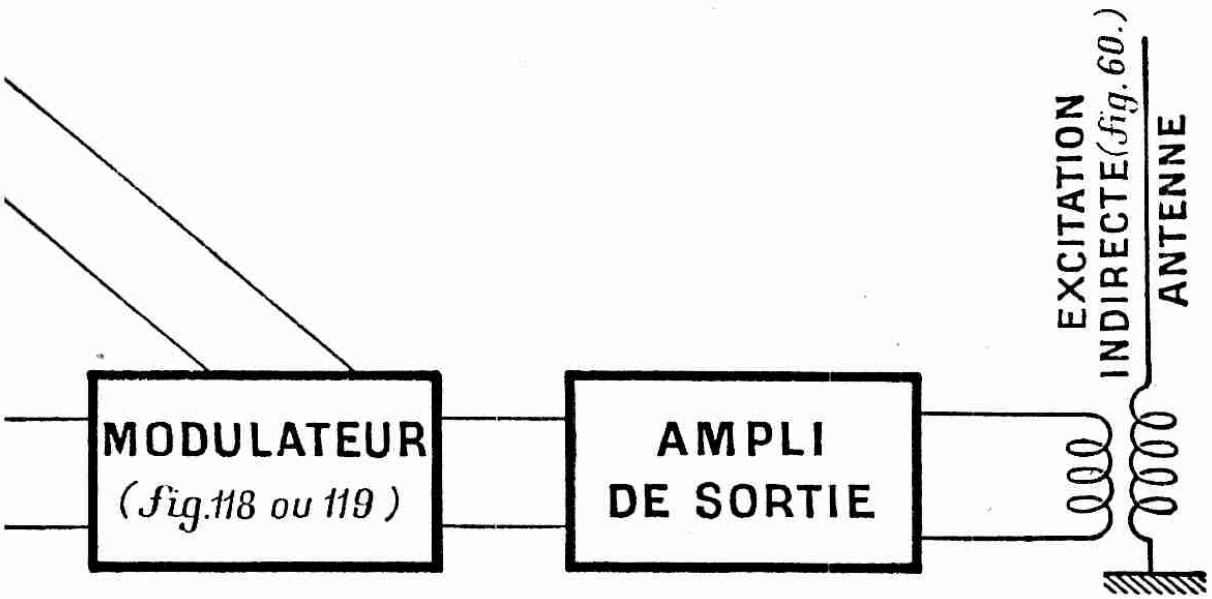
FIG. 116. — Ce qu'il faut ajouter à une station d'émission (*fig.* 9

oscillatrice (§ **35**). La seule différence, c'est qu'à la figure 91 les oscillations entretenues gardaient une amplitude constante, tandis que, maintenant, ce qui va être entretenu (par le couplage grille-plaque de la figure 118), ce sont les oscillations complexes dont le circuit-plaque de la triode de droite est le siège.

Or, que se passe-t-il — ou, plutôt, quel courant passe-t-il — dans ce circuit-plaque? Il comprend d'abord le même circuit oscillant C. O., dont la fréquence propre est, à nouveau, celle de la fréquence d'émission choisie, mais il y a aussi le secondaire S de tout à l'heure, qui obéit à la voix du speaker ou à la musique de l'orchestre. Par suite, et sans qu'il soit possible d'insister davantage (quand on se limite au langage grammatical), le lecteur concevra que la modulatrice opérera cette fameuse combinaison qui devait conduire des figures 111 et 112 à la figure 113.

Notre but est ainsi atteint : les bornes de sortie **S** de la figure 118 remplissent bien le rôle qui avait été dévolu aux bornes de droite du modulateur de la figure 116. Il n'y a plus qu'à les relier (1) à l'antenne, et la station d'émission fonctionnera normalement (au lieu de n'« émettre que le silence », comme cela se produit quand les oscillations électroniques ne sont pas modulées).

(1) Après une ultime amplification (*fig.* 116).



d'oscillations électroniques entretenues, pour y incorporer le son.

51. ***La modulation d'amplitude par commande de grille.*** — Cette deuxième variante n'exigera qu'un minimum d'explications, car nous avons tout ce qui nous permet de lire le montage de la figure 119.

D'abord, il ne s'y trouve qu'une triode (1). De plus, cette triode est montée d'une façon qui ressemble bigrement à la précédente (de droite) : même circuit oscillant C. O., même couplage grille-plaque. En bref, c'est derechef l'oscillatrice de la figure 91 ; d'après tout ce qui a été expliqué au paragraphe **35,** les oscillations électroniques vont être entretenues dans le circuit-plaque, avec la fréquence propre du circuit oscillant C. O. Une différence cependant (et tout est là) : tandis que, pour la figure 91, la tension-grille avait une amplitude toujours identique à elle-même, maintenant (*fig.* 119), la tension-grille sera modifiée par le secondaire S, qui est inséré dans le circuit-grille, et ce secondaire, par l'intermédiaire du microphone (2), copie consciencieusement la parole et la musique. Nous aurons donc, entre les bornes de

(1) Ne nous hâtons pas de chanter victoire, car, en pratique, l'amplificatrice BF de la figure 118 est toujours insérée (elle n'a été omise que pour ne pas surcharger le dessin). Un excellent exercice consisterait à refaire la figure 119 en la complétant par la deuxième triode (c'est d'ailleurs, pour ainsi dire, immédiat...).

(2) Supposé, dans ce cas de figure (nous ne nous lassons pas de le répéter), un microphone-dynamo (car un microphone-rhéostat ne fonctionne pas sans source d'électricité, § **42**).

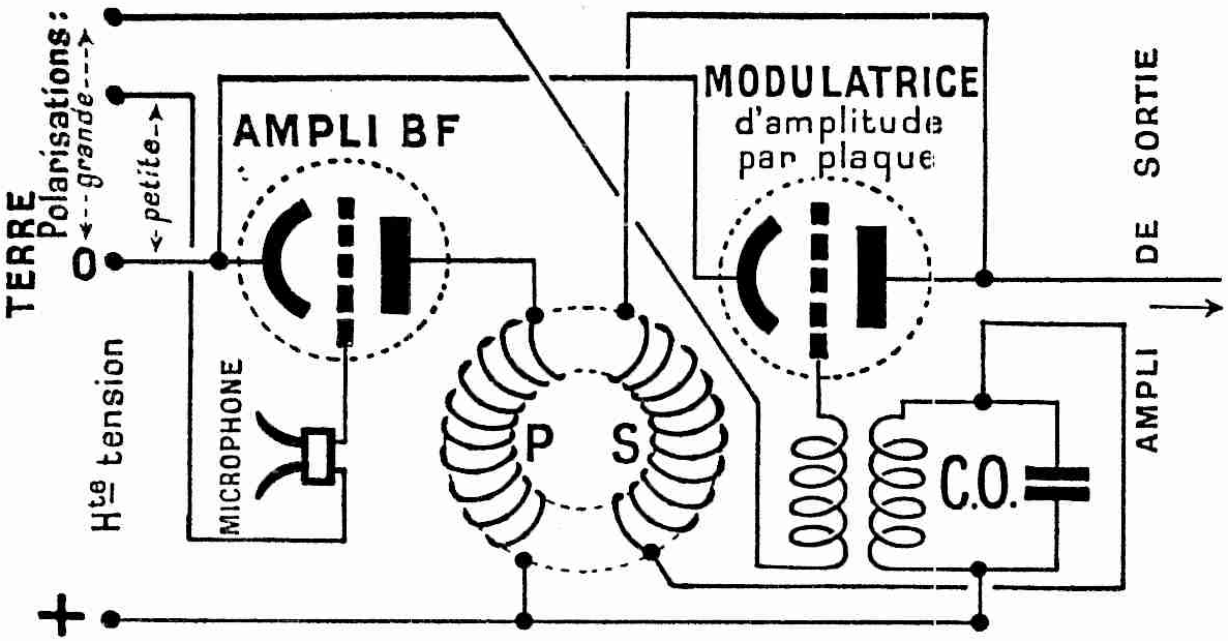


FIG. 118. — La modulation d'amplitude par commande de plaque.
La triode de gauche n'est qu'un accessoire, qui reproduit le montage de la figure 89. La triode de droite se comporte, en réalité, comme une oscillatrice (*fig.* 91), mais ce qu'elle entretient, c'est une combinaison de la haute fréquence du circuit oscillant C.O. et de la basse fréquence provoquée par le microphone dans le secondaire S du transformateur.

sortie **S,** une tension modulée de la forme du graphique de la figure 113, et on la traitera comme il est dit à la fin du précédent paragraphe.

Pour en finir avec les deux variantes de la modulation d'amplitude, nous indiquerons une remarque générale, en marge des travaux théoriques de notre compatriote Joseph Fourier (§ **38,** note), lesquels ont si fortement accéléré — à un siècle de distance — les progrès de la science radioélectrique. Si nous reprenons les sinuosités inégales de la figure 113, on doit admettre que ce rayonnement hertzien est assimilable à la superposition de quatre ondes :

1° L'onde porteuse (*fig.* 112), de fréquence 100 kc;
2° Une onde latérale haute, de fréquence 101 kc;
3° Une onde latérale basse, de fréquence 99 kc;
4° L'onde parasite, de fréquence 200 kc.

Ces considérations, que nous mentionnons en passant en renonçant à les approfondir davantage, interviennent constamment dans les perturbations occasionnées, dans les auditions radiophoniques, par les stations d'émission, de fréquences (ou de longueurs d'onde) voisines. L'usager n'y peut rien, mais les ingénieurs de la

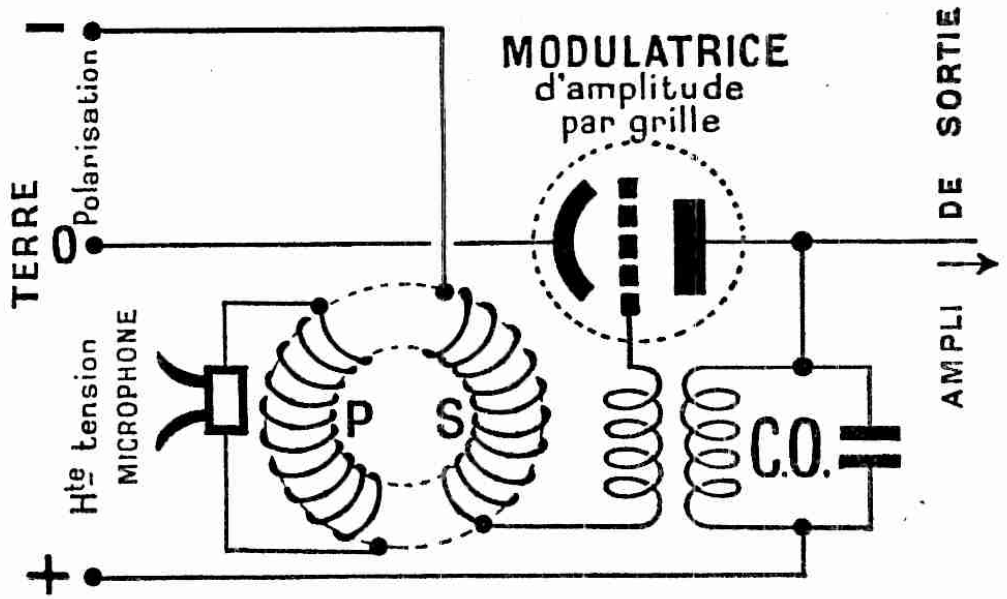


FIG. 119. — La modulation d'amplitude par commande de grille. La triode se comporte comme une oscillatrice (*fig.* 91), mais ce qu'elle entretient, c'est une combinaison de la haute fréquence du circuit oscillant C. O. et de la basse fréquence provoquée par le microphone dans le secondaire S du transformateur.

radio, grâce notamment à Fourier, sont armés pour y mettre bon ordre.

52. *Autres procédés de modulation.* — Sans avoir besoin de reprendre les comparaisons intuitives (sur les tapisseries ou les photogravures), nous voyons que *moduler,* c'est disposer d'oscillations (électroniques) HF parfaitement régulières et y « inscrire » une BF, étant bien spécifié que ce qui définit la BF, c'est, d'une part, la *valeur* de cette basse fréquence (d'où la hauteur du son) et, d'autre part, l'*amplitude* (d'où l'intensité du son).

Jusqu'ici (§§ **50** et **51**), il n'a été question que de « modulation d'amplitude » : c'est, en effet, le procédé théoriquement le plus simple, celui qui devait venir le plus vite à l'esprit. Les figures 111-115 rappellent, sans plus, comment les deux facteurs

{ facteur-fréquence
{ facteur-amplitude (taux de modulation)

se sont naturellement insérés.

En ce milieu du XX^e^ siècle, la modulation d'amplitude conserve son importance, encore que l'on y distingue quelques signes de lassitude. Il n'est pas sûr que les prochaines années continuent à enregistrer cette prédominance, et il est bon que le lecteur soit

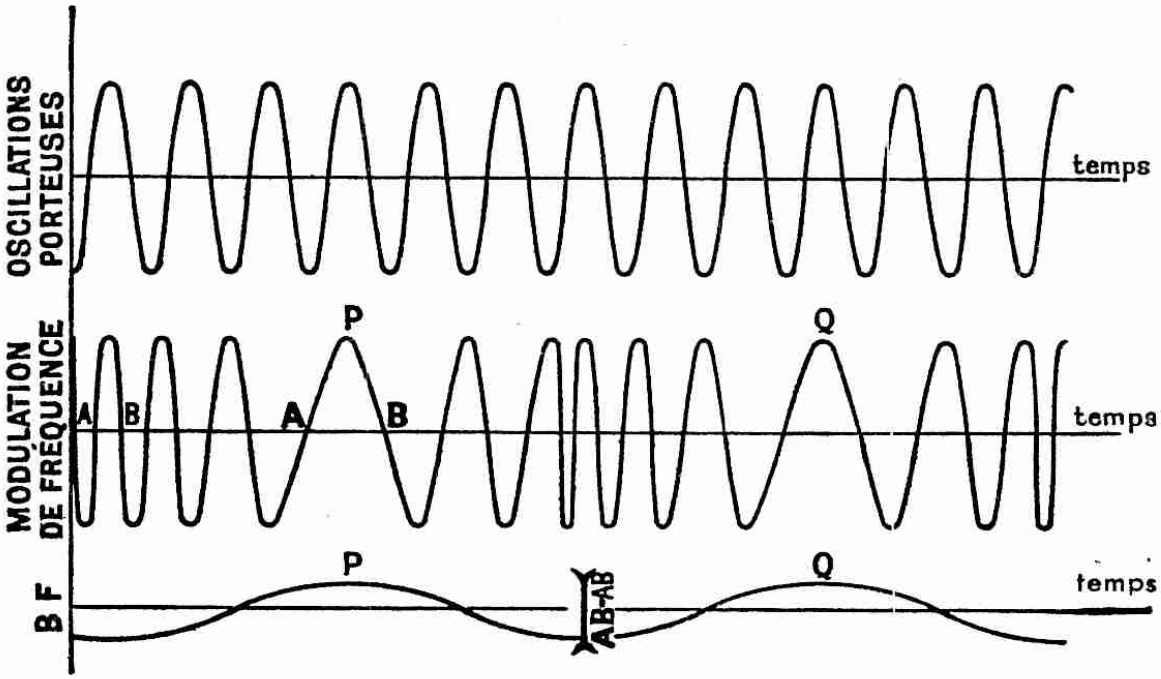


FIG. 120 à 122. — La modulation de fréquence. Comment on module l'onde porteuse et comment on y enregistre les sons.

averti de ce qui se trame dans la coulisse, ne serait-ce que pour ne pas perdre très rapidement pied : essais d'aujourd'hui, réalisations de demain. Mais l'exposé détaillé de ces « essais de réalisations » nous entraînerait bien loin et nous obligerait à leur consacrer des développements tout à fait disproportionnés avec le reste de l'ouvrage. Il nous a fallu ici choisir une « cote mal taillée », un « moyen terme », se proposant de dire en quoi consistent les autres procédés de modulation à l'ordre du jour, sans s'attarder à aucun montage : le lecteur sera, pour le moins, prévenu de quoi il s'agit.

I. Nous ne mentionnerons que pour mémoire la *modulation de phase* (1), sans même indiquer comment on y déniche les deux facteurs qui doivent émerger.

II. Au contraire, la *modulation de fréquence* est celle qui, présentement, sollicite le plus l'attention des radioélectriciens.

---

(1) Tout au plus rappellerons-nous ce qu'on entend par *phase* (le décalage étant une différence de phase). Il suffit de se reporter aux :
figures 12 et 13 figures 18 et 19,
qui nous fournissent les deux cas extrêmes. Entre la « quadrature en avance » et la « quadrature en retard » (du courant sur la tension), il y a, pour les décalages, toutes les valeurs intermédiaires possibles. (Le cas moyen est le « décalage nul » ou variations « en phase ».)

Son principe est donné par les figures 120-122. La figure 120 reproduit la figure 112 (1), et la figure 122 reproduit la figure 115.

Dans la modulation de fréquence, les oscillations électroniques modulées conservent la même amplitude (à l'inverse de la figure 113), mais, toujours à l'inverse de cette même figure, la fréquence de ces oscillations électroniques varie (autour de 100 kc) entre une fréquence minimum en P ou en Q (*fig.* 121) et une fréquence maximum (au milieu de PQ).

Les deux distances PQ (*fig.* 121 et 122), qui représentent *des temps*, sont égales entre elles et égales (en l'occurrence) à $\frac{1}{1000}$ seconde. La plus courte durée PQ entre deux oscillations HF de même fréquence fournit donc le *facteur-fréquence* de la BF.

Quant au *facteur-amplitude*, il résulte (comme l'indique la figure 122) de la différence entre la plus grande période **AB** et la plus petite période AB des oscillations électroniques modulées.

C'est ainsi que, dans la « modulation de fréquence », on « fabrique » les sons que l'on veut faire entendre aux usagers de la radio (2).

III. Reste la *modulation d'impulsions*.

Les oscillations électroniques porteuses dont on part ne sont plus celles de la figure 120 (ou plutôt de la figure 112) : elles sont constituées par une alternance de repos et d'oscillations de *très haute* fréquence (*fig.* 123) ou, comme on dit, par une alternance de repos et d'impulsion (3). Ceci forme « la matière » à laquelle on « incorporera le son ».

Plusieurs possibilités se présentent alors; nous en choisirons

---

(1) Sous peine de ne rien pouvoir représenter, nous avons été obligé d'écarter considérablement les « boucles » de la sinusoïde. Il s'ensuit que le rapport de la HF à la BF est invraisemblablement petit, ce qui, finalement, n'offre aucun inconvénient, si l'on ne perd pas de vue que c'est de la figure 112 (et non de la figure 120) qu'il s'agit.

(2) Parmi les toutes dernières applications de ce genre de modulation, on doit mentionner son utilisation dans l'enregistrement des bandes sonores des films : l'élimination totale des parasites (§§ **27-28**) permet la synchronisation sons-images.

(3) Repos et impulsion se succèdent *régulièrement*, sans que les deux durées correspondantes soient nécessairement identiques (ainsi que la figure 123 l'indique pour simplifier).

une : la modulation par largeur de bande d'impulsions (1). En d'autres termes, l'antenne émettra des ondes électromagnétiques interrompues, à intervalles réguliers, mais qui dureront plus ou moins longtemps (*fig.* 124).

La modulation de fréquence (en **II**) nous laisse deviner l'apparition des deux facteurs dans cette autre technique. Les deux distances PQ (*fig.* 124 et 125), qui représentent *des temps,* sont égales entre elles et égales (pour le sixième *si*) à $\frac{1}{1000}$ seconde. La plus courte durée PQ entre deux bandes d'impulsion de même largeur impose ainsi le *facteur-fréquence* de la BF.

Quant au *facteur-amplitude,* il résulte de la différence entre les plus longues bandes **MN** d'impulsion et les plus courtes MN.

Sans nous appesantir sur les avantages respectifs des techniques **II** et **III,** il nous suffira de mentionner leur supériorité globale sur la modulation d'amplitude (§§ **50** et **51**) : insensibilité aux perturbations parasites (§ **28**) et diminution relative du bruit de fond; excellente reproduction des contrastes sonores; amélioration du rendement; enfin (pour **III**) — ce qui peut paraître une gageure — possibilité de transmettre plusieurs programmes (paroles ou musique) simultanément sur la même onde porteuse (2).

53. ***Radiotélégraphie; radiotéléphonie.*** — Nous ne mentionnerons ces deux branches de la radiotechnique que pour spécifier que *nous les laissons de côté :* non pas que leur importance sociale soit négligeable, mais le lecteur concevra en gros ce qui s'y passe et, surtout, la moindre précision exigerait de

---

(1) Comme autre solution, on peut maintenir constante la durée d'impulsion et décaler la bande tantôt en avant, tantôt en arrière (c'est-à-dire tantôt à gauche, tantôt à droite).

Cette deuxième solution repose sur la variation des moments où l'on émet des impulsions toutes pareilles (modulation de fréquence d'impulsions), tandis que le principe énoncé dans le texte consiste à envoyer des impulsions à des intervalles identiques, lesquelles transmettent plus ou moins d'énergie (ce qui est, en quelque sorte, une modulation d'amplitude d'impulsions).

(2) Le lecteur comprendra qu'il ne saurait être question d'entrer ici dans des détails. D'une part, les indications précédentes sont bien trop sommaires pour y suffire, et, d'autre part, il faudrait sacrifier plusieurs pages, si l'on voulait — en conformité avec la règle que nous nous imposons — reprendre les choses dès le début.

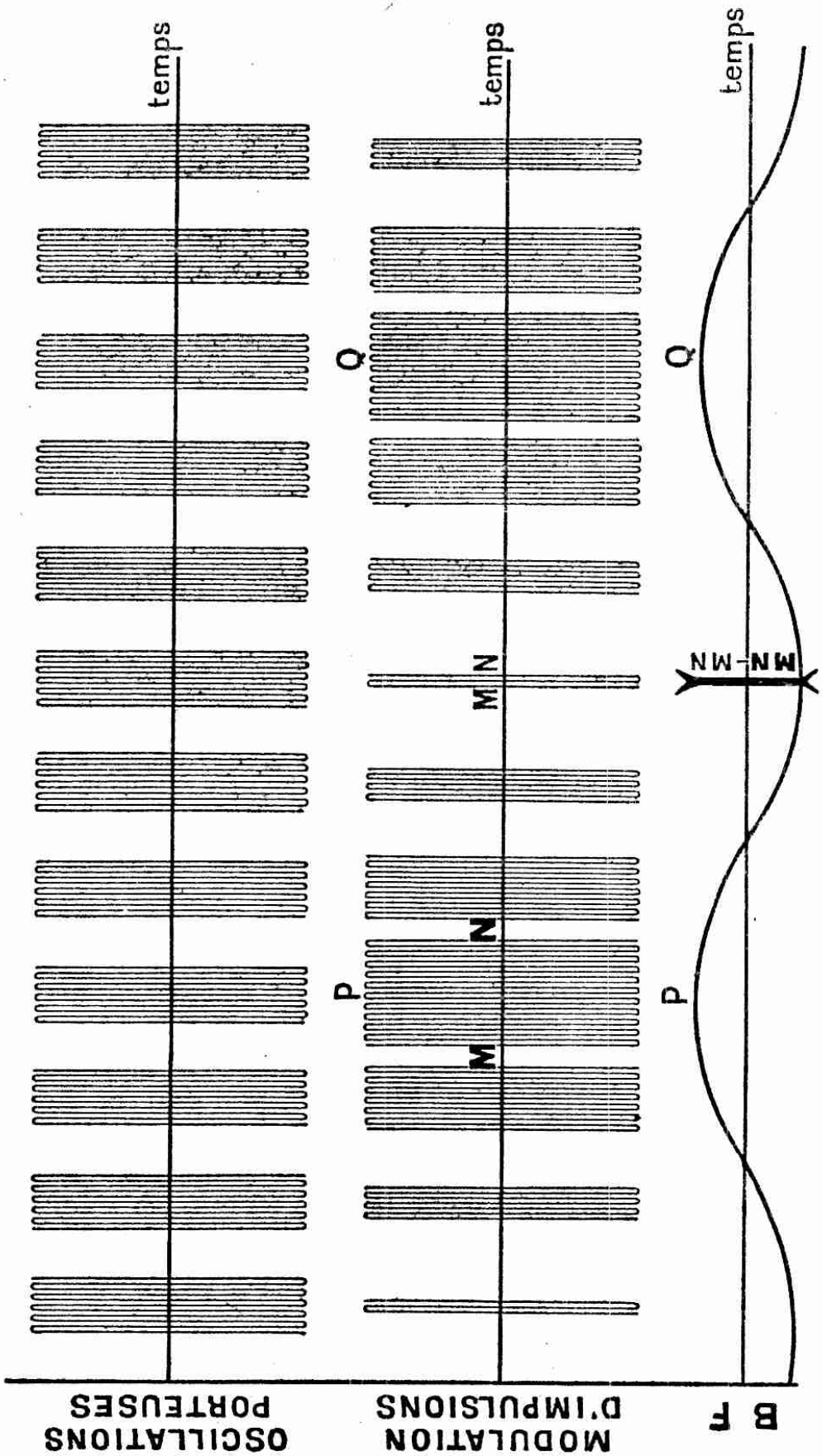


FIG. 123 à 125. — La modulation d'impulsions.
La figure 123 indique comment on découpe l'onde porteuse en « tranches » et comment, en modifiant ces tranches, on y incorpore le son.

longs développements sur les appareils de télégraphie et de téléphonie ordinaires.

La radiotélégraphie débuta par la « lecture au son » de l'alphabet Morse (1) ; il est manifeste (§ **52, III**) qu'un télégramme peut être transmis par une modulation d'impulsions : de deux sortes d'impulsions (l'une brève, pour les points; l'autre longue, pour les traits) [2]. Ce n'était là d'ailleurs qu'une technique fort primitive, extrêmement lente et n'assurant pas le secret des dépêches. Chacun a entendu parler des vitesses ultrarapides de transmission, des transmissions multiples, des téléscripteurs, etc. Encore une fois, nous n'insisterons pas.

54. *Les modes de détection.* — Nous voici parvenus à un tournant de cet exposé.

Après les préliminaires indispensables (chap. II-IV), qui faisaient la part égale à l'émission et à la réception, abstraction faite d'un intermède d'acoustique (chap. VI), toutes nos explications (§§ **36-40** et §§ **48-53**) se sont trouvées en quelque sorte centrées sur les stations d'émission. Loin de nous l'intention de suggérer que les faits décrits dans ces onze paragraphes ne puissent jamais intervenir dans les postes récepteurs de radio; la suite (chap. VIII) se chargerait d'un démenti. Mais il n'en reste pas moins qu'il s'agissait d'acquérir quelques aperçus concernant la naissance et la venue de la voix (ou de la voie) des ondes.

Tournant brusque : notre intérêt se porte dès cet instant sur le poste récepteur. Et cependant nous avons jugé préférable de *ne pas* ouvrir ici un nouveau chapitre. C'est que, d'une part, les développements qui commencent vont alléger notablement le récit (fort complexe et généralement fort embrouillé) de ce qu'il faut connaître de la réception. Mais, d'autre part et surtout, comme nous le savons (§ **48**), modulation et détection ne sont que les aspects inverses d'un seul et même problème : le poste récepteur se voit contraint à trier (*fig.* 114-115) les fréquences que la station d'émission, à son corps défendant (§ **36**), avait dû emmêler.

---

(1) Voir les dictionnaires Larousse.

(2) La modulation-Morse est donc extrêmement simple. Selon l'adage : « Qui peut le plus peut le moins », les recherches techniques sur la radiophonie ont puissamment contribué à l'amélioration des exploitations radiotélégraphiques.

Voilà pourquoi nous traitons de la démodulation (ou détection) tout de suite après la modulation. Question très vaste, où il faut élaguer, sous peine de lui consacrer une place disproportionnée. En se limitant à l'essentiel, nous passerons successivement en revue :

1° La détection-diode, qui tend à remplacer toutes les autres;

2° La détection par caractéristique de grille, de valeur comparable à celle de la précédente;

3° La détection par caractéristique de plaque, la plus ancienne, moins satisfaisante, mais restant intéressante à connaître comme principe;

4° La détection par cristal, qu'on peut définir, avec Jules Romains (1), un « monument des premiers efforts du génie moderne ».

55. *La détection-diode.* — Il nous faut, pour l'heure, nous référer au paragraphe **32,** où il est dit que la détection n'est qu'une *espèce* du *genre* redressement (par conducteurs « à sens unique ») : l'usage a prévalu de parler de détection quand il s'agit du redressement des oscillations électroniques complexes (2), dont la figure 113 nous a fourni un exemple intuitif (3). La diode (*fig.* 78) est un admirable appareil de redressement, et il eût été facile d'en déduire que ce serait *aussi* un admirable appareil de détection. Mais les progrès d'une science qui se construit n'ont que de très vagues rapports avec la logique démonstrative (c'est là sans doute une infériorité inhérente à la *recherche* scientifique). Aussi a-t-on vu les radioélectriciens, qui arrivaient à faire ce qu'ils voulaient avec la triode amplificatrice (*donc* oscillatrice et modulatrice), supposer implicitement que le mieux était d'employer cette merveilleuse triode (qu'ils avaient sous la main et qui amplifiait du même coup) dans les dispositifs de détection. Une telle mode dura plusieurs lustres : pendant tout ce temps, on s'emberlificota avec la triode et des montages que

(1) L'auteur, dans *Knock* (1923, acte I^er^, fin), faisait allusion à une vieille guimbarde, à un « double-phaéton, arrangé, sur le tard, en simili-torpédo

(2) Où l'on distingue, d'après Fourier, *quatre* fréquences distinctes (p. 202)

(3) En réservant — de manière tout à fait arbitraire — le terme de *redressement* pour le cas où l'on a affaire au secteur (50 cycles). Le lecteur est prévenu que, sur ce détail de vocabulaire, il nous a paru que le pli était pris (regrettablement, mais définitivement).

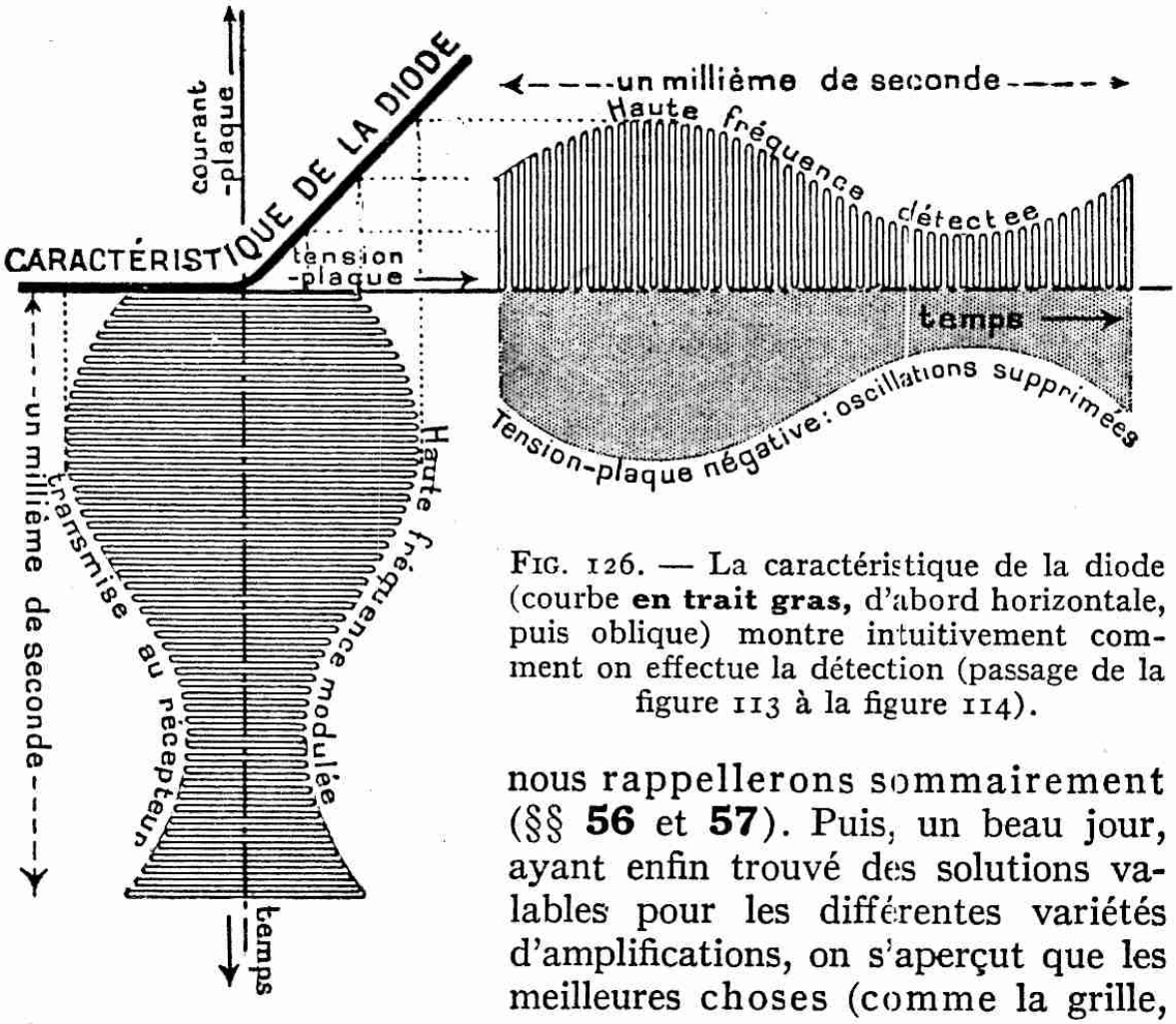


FIG. 126. — La caractéristique de la diode (courbe **en trait gras,** d'abord horizontale, puis oblique) montre intuitivement comment on effectue la détection (passage de la figure 113 à la figure 114).

nous rappellerons sommairement (§§ **56** et **57**). Puis, un beau jour, ayant enfin trouvé des solutions valables pour les différentes variétés d'amplifications, on s'aperçut que les meilleures choses (comme la grille, § **33**) ne doivent pas servir à tout. Tant et si bien qu'en ce milieu du XX^e^ siècle, nous assistons à la mort lente de la triode détectrice.

Somme toute et en passant le temps perdu par le compte profits et pertes, l'étude approfondie de la triode n'aura pas été complètement inutile, car elle familiarisa les radiotechniciens avec les caractéristiques (*fig.* 88 et 90). Eh bien! la diode (*fig.* 78) possède, elle aussi, une caractéristique, que l'on s'est préoccupé d'améliorer pour faire, de ce tube, un détecteur idéal.

La figure 126 a été dessinée suivant les mêmes indications que la figure 90, avec toutefois *cette différence essentielle* que l'on porte, suivant l'horizontale, les tensions-plaque, les tensions entre la cathode et la plaque (1); on a tout fait pour que cette caractéristique soit une *ligne droite* dans les conditions où l'on

(1) Alors que, sur les figures 88 et 90, on portait les tensions-grille.

opère (1). Dans le cas présent, il s'agit moins d'une simplification des calculs (2) que d'une *rigoureuse proportionnalité* de la haute fréquence détectée à la haute fréquence à détecter, ce qui élimine toute perturbation (toute « distorsion ») : la détection « linéaire » (3) — comme on l'appelle — se remarque par sa grande fidélité, donc par son excellente « musicalité » (§ **71**).

Nous n'avons jusqu'ici regardé que le coin N.-O. de la figure 126. Les parties S.-O. et N.-E. se comprennent immédiatement par quiconque a suivi les explications circonstanciées qui furent données à propos de la figure 90. La tension appliquée à la plaque (tension entre la plaque et la cathode) n'est autre que la haute fréquence modulée (*fig.* 113), provenant de l'émetteur et parvenant à l'antenne (ou au cadre) du récepteur : elle est représentée dans la partie S.-O. de notre figure 126, où les temps sont portés (pendant la durée d'un millième de seconde) suivant le trait mixte vertical. Comme pour la figure 90, la caractéristique nous fournit à nouveau le courant-plaque correspondant à la tension-plaque (les traits pointillés et ponctués concrétisent ce passage à la partie N.-E. de cette même figure 126, où les temps sont portés, au cours de la même durée, suivant le trait mixte horizontal). Mais cette partie N.-E. n'est que la reproduction de la figure 114 : le problème de la détection-diode est donc résolu en principe (4).

Il faut encore « traduire » ce principe en montage (5) : la figure 127 nous en fournit un exemple, choisi (comme d'habitude) parmi les plus simples. Il y a *encore* deux tubes électroniques, dira-t-on; mais, maintenant, l'attention doit se fixer sur le tube de droite (diode détectrice), le second (triode amplificatrice)

---

(1) Le début du graphique est légèrement courbe, et la fin (très loin vers l'autre bout) serait une horizontale (courant de saturation, § **31**, note). Pour les valeurs négatives de la tension-plaque, le courant-plaque est *constamment nul* (puisque la diode est un conducteur à sens unique).

(2) La « bienheureuse » *règle de trois* (§ **33**, note).

(3) Appelée « linéaire » parce que, à l'inverse de la figure 134 (par exemple), la partie utilisée (*fig* 126) de la caractéristique est une *ligne droite.*

(4) Toute la partie S.-E. du graphique (*fig.* 126) *est absente,* car, quand la plaque (froide) est négative par rapport à la cathode (chaude), les électrons sont incapables (§ **31**) de s'élancer à travers le vide (de la plaque vers la cathode), et le courant-plaque *ne peut* passer en sens inverse.

(5) Et enfin « traduire » le montage en réalisation pratique (ce qui exige que l'on complète l'acquisition chez le libraire par des achats chez le marchand d'appareils radio...).

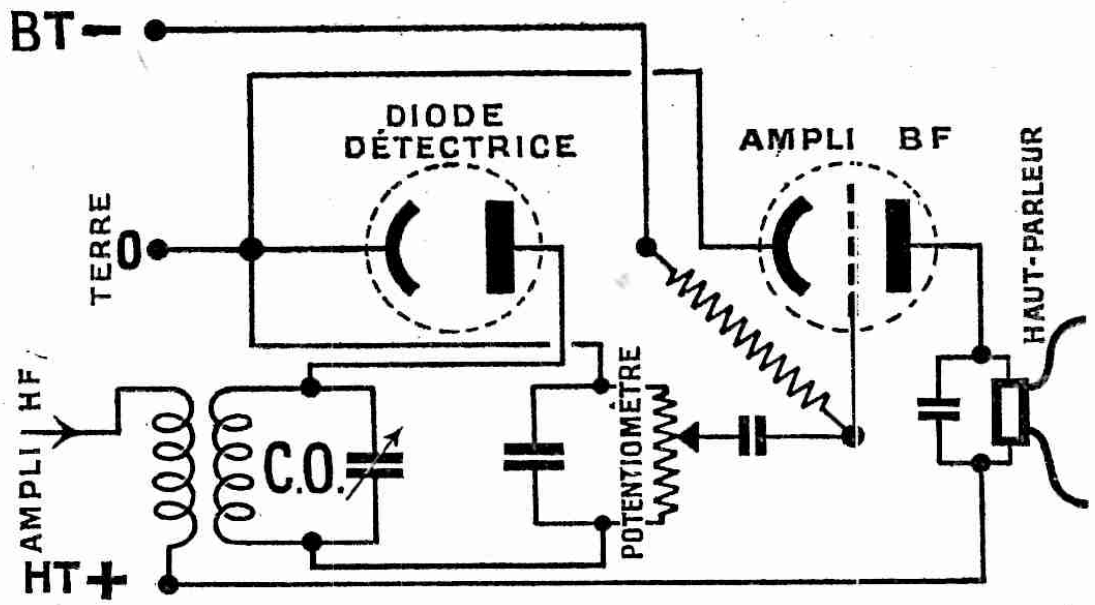


FIG. 127. — La détection-diode, accompagnée d'un ampli BF par triode (*fig.* 89).

Le circuit oscillant C.O. est accordé sur la haute fréquence modulée, qui provient de la station d'émission. Le circuit-plaque de la diode, parcouru par un courant de haute fréquence (modulée-détectée), est lié par un condensateur à la grille de la triode, dont le circuit-plaque contient le haut-parleur.

n'étant là que pour se familiariser avec ce qu'on *met après*, dans le poste récepteur : ce sera autant de gagné...

Quelle est la tension-plaque (la tension entre plaque et cathode) de la diode détectrice? Un peu d'habitude nous suggérera que c'est essentiellement (1) la tension aux bornes du circuit oscillant C. O. Celui-ci doit être le siège d'oscillations électroniques (2) représentées (indifféremment) par la figure 113 ou par la partie S.-O. de la figure 126; le circuit oscillant C. O. est d'ailleurs accordé (ici : sur 100 kc; par exemple : 5 nF + 500 μH; *revoir* la figure 32). Ces oscillations électroniques sont provoquées par le couplage entre la bobine de C. O. et la bobine d'extrême gauche, qui est insérée dans le circuit-plaque d'un ampli HF. Tout ce que nous venons de dire au début du présent paragraphe, à propos de la figure 126, nous conduit à penser que la partie du circuit comprise entre la borne inférieure de C. O. et la cathode sera parcourue par un courant (redressé), qui aura la forme du graphique de la figure 114 ou de celui de la partie N.-E. de la figure 126.

(1) On laisse tout d'abord de côté le second « rectangle », comprenant un condensateur et la résistance appelée « potentiomètre » (ce qui revient à le mettre en court-circuit, à le remplacer par un simple fil).

(2) De fréquence 100 kc (dans notre exemple) et, au surplus, modulées.

Cela dit et procédant par étapes, il est temps de consacrer pendant quelques instants nos soins au « second rectangle », qui (à droite) avoisine le circuit oscillant C. O. Le courant (*fig.* 114) se trouve (comme l'âne de Buridan) en face d'une dérivation : un condensateur et la résistance marquée « potentiomètre ». A cet instant précis, je suis là pour vous rappeler un détail que vous avez sans doute oublié : au sujet des filtres (§ **16**), il a été montré qu'un condensateur se laisse d'autant mieux traverser par un courant alternatif que sa fréquence est plus haute (*fig.* 43) ; nous en concluons tout de suite que la haute fréquence s'écoulera préférentiellement dans la capacité (de gauche), et donc que la basse fréquence (vers laquelle nous aspirons : fréquence musicale) sera favorisée dans la résistance (de droite).

La figure 127 montre en outre une « prise » (représentée par une flèche) sur cette résistance; plus cette prise sera haute (sur le dessin) et plus elle sera éloignée de la Terre (point **0**), donc plus la tension (par rapport à la Terre) sera grande. Nous avons ainsi la faculté de prélever, sur une résistance, des tensions variables, et c'est ce que l'on nomme un *potentiomètre*. Ici, le potentiomètre a pour effet de régler le « volume sonore » (au moyen d'un bouton moleté que l'on tourne). Bien entendu, le volume sonore varie dans le même sens que la tension : tous les deux diminuent ensemble, quand on déplace la prise du haut vers le bas.

A l'opposé des détections par triode (§§ **56** et **57**), la détection-diode ne produit pas d'amplification. C'est la raison pour laquelle nous avons joint, à droite de la figure 127, un amplificateur basse fréquence (1), ce qui nous permet de dire incidemment comment on l'« attaque ». Nous savons — pour l'avoir dit (§ **34** et *fig.* 89) et redit — que la tension à amplifier est appliquée à la grille d'une triode. La liaison entre détection et amplification se fait au moyen d'un condensateur, celui qui est tout de suite à droite de la prise et qui empêche le courant continu de passer (comme dans la figure 39). La résistance, qui est dessinée obliquement, a pour but d'appliquer à la grille (polarisée négativement) la tension BF détectée. Le circuit-plaque

(1) Dans la pratique, on utilise en général une chaîne de *plusieurs* étages d'amplis BF.

de la triode amplificatrice comprend (entre la plaque et la Terre) le haut-parleur, qui est { disposé entre les bornes d' / « shunté » par } un condensateur, lequel, à nouveau, laisse passer (*fig.* 43) une haute fréquence résiduelle, ce qui en débarrasse d'autant le courant basse fréquence qui, seul, intéresse le haut-parleur.

56. ***La détection-triode-grille.*** — Nous nous en occuperons brièvement (1) en passant, et ceci pour deux raisons : d'une part, elle constitue une technique encore employée, et, d'autre part, elle nous offre un excellent exemple (en même temps très simple) consistant à faire jouer à un seul tube électronique (*fig.* 129) le rôle de deux autres (*fig.* 127).

Pour le montrer, nous redessinerons (*fig.* 128) cette précédente figure 127, avec une seule modification de détail : les cinq électrodes sont réduites à quatre (par suite de la réduction des deux cathodes à une seule), et le tout est disposé dans une même ampoule de verre (2).

Il devient alors facile de passer de la figure 128 à la figure 129 : il n'y a qu'à confondre la plaque de gauche avec la grille et, par suite, supprimer les organes de liaison (3). On remarquera, d'une part, que la polarisation BF a disparu et, d'autre part, qu'on ne dispose plus de moyen pour agir (§ **55**) sur le « volume sonore » (4).

Ainsi, on voit, sur cette figure 129, que la grille de la triode

---

(1) Une théorie — même élémentaire — dépasse de beaucoup le niveau de cet ouvrage. Il s'agit, en fait, d'une utilisation de la *caractéristique de grille*, c'est-à-dire du graphique où l'on continue à porter horizontalement les tensions-grille (comme dans la caractéristique ordinaire ou « caractéristique de plaque », *fig.* 88, 90 et 130), mais où l'on porte verticalement le *courant-grille*. La caractéristique de grille (comme la caractéristique de plaque [*fig.* 130]) présente — à l'extrême gauche — une *courbure*, et c'est celle-ci qui intervient dans le dispositif en question (*fig.* 129). On concevra que, ne pouvant entrer dans des explications de plusieurs pages, nous nous dispensions d'insister.

(2) Le tube électronique bizarre de la figure 128 est d'ailleurs assez répandu : on l'a tout naturellement baptisé « diode-triode ». A noter, entre parenthèses, qu'on a remplacé (*fig.* 129) le haut-parleur par un écouteur téléphonique E (audition au casque), pour le cas où la puissance de sortie serait insuffisante (sans nouvelle amplification).

(3) Condensateur et résistance aboutissant à la grille (*fig.* 128).

(4) D'où utilité (sans reparler de l'excitation — mentionnée à l'avant-dernière note — d'un haut-parleur) d'un ou plusieurs étages ultérieurs d'amplis BF, dans lesquels la commande du volume sonore sera prévue.

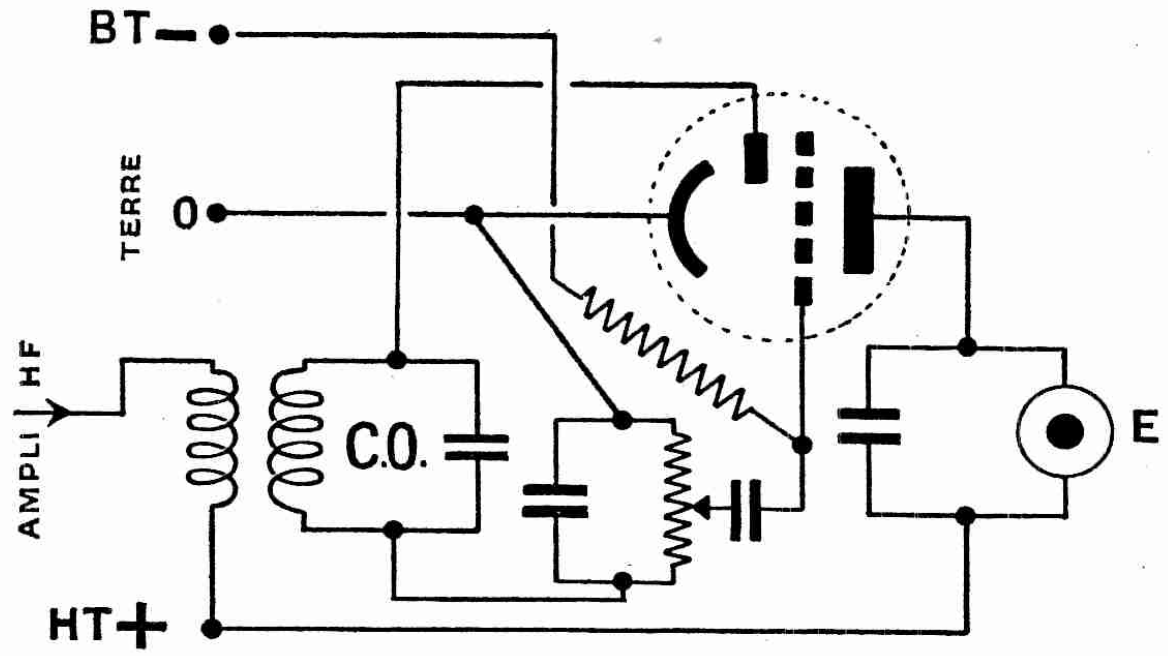


FIG. 128. — Montage souvent employé, mais considéré ici comme terme de passage entre la détection-diode (*fig.* 127) et la détection-triode-grille (*fig.* 129).

fonctionne à la fois comme plaque de la diode détectrice et comme grille de la triode de l'ampli BF (*fig.* 127).

57. *La détection-triode-plaque.* — C'est la plus ancienne détection par tube électronique, celle qui était venue tout de suite à l'esprit, celle qui, aux alentours de 1925, représenta sans

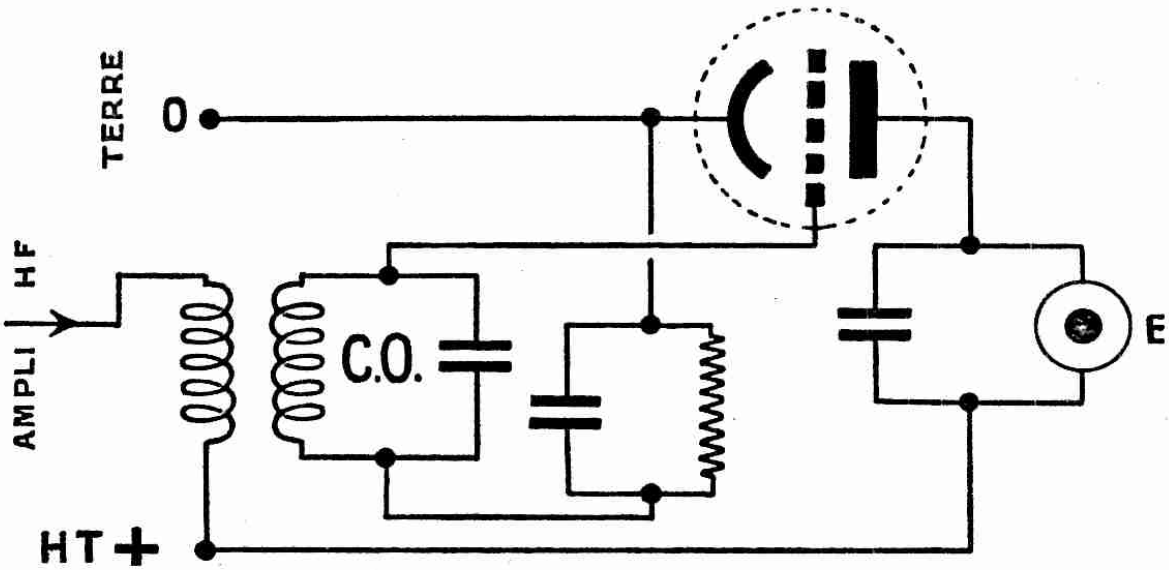


FIG. 129. — La détection-triode-grille, exigeant, en principe, au moins un étage d'ampli BF pour pouvoir remplacer par un haut-parleur l'écouteur téléphonique E.

aucun doute l'immense progrès des « postes à lampes » sur les « postes à galène » (§ **58**) : non seulement la portée était considérablement accrue, mais la « musicalité » était bien meilleure, et l'on n'était pas à la merci de dérèglements aussi fréquents qu'inopinés. Nous allons situer l'un et l'autre de ces postes dans la radiotechnique actuelle (en remontant le cours de l'histoire) ; mais il ne s'agit pas là de faire une « concession au passé » (ce qui n'est guère dans nos habitudes), car l'un et l'autre montage rendent encore de bons services au sans-filiste amateur, plus spécialement au débutant, qui y trouvera un « exercice d'assouplissement » profitable, voire nécessaire.

A propos de l'amplification (§ **34**), nous avons fait connaissance (*fig.* 90) avec l'emploi d'une caractéristique (1) de la triode : c'était — nous le soupçonnons maintenant — une caractéristique de plaque; en d'autres termes, on portait (*fig.* 88) horizontalement la tension-grille et verticalement l'intensité du courant-plaque. Cela dit, il est indispensable de revenir sur les hachures de cette figure 88 : elles concernaient une zone que nous nous étions interdit de franchir (dans l'amplificatrice, *donc* dans l'oscillatrice et dans la modulatrice). Cette zone était celle des tensions-grille *fortement* négatives (celle de la surpolarisation de la grille) ; nous l'avions réservée (§ **33,** note) pour plus tard, et le moment est venu de tenir nos promesses...

La première chose à faire est de confronter la partie N.-O. de la figure 90 avec la partie supérieure de notre nouvelle figure 130 (2). Si, sur ces deux figures, les échelles horizontales (tensions-grille) sont restées *les mêmes,* ici (*fig.* 130), le courant-plaque a été porté à une échelle *beaucoup plus grande,* de telle sorte que le graphique «début de la caractéristique de plaque de la triode » doit normalement prolonger vers le bas (3) la droite oblique de la figure 90.

Il n'y a plus que quelques mots à ajouter pour comprendre

---

(1) La figure 88 donnait des caractéristiques *statiques*. Pour simplifier, nous nous limiterons, dans ce qui suit, à celles-ci, laissant de côté les caractéristiques dynamiques, mentionnées incidemment à la fin du paragraphe **33**.

(2) On fait naturellement abstraction, pour l'instant, de la « haute fréquence partiellement détectée », qui n'a été représentée là que pour gagner de la place, en remplissant une surface qui serait restée blanche.

(3) Bien entendu, en prenant une échelle beaucoup plus petite. (On voit que nous sommes maintenant en pleine zone hachurée de la figure 88.)

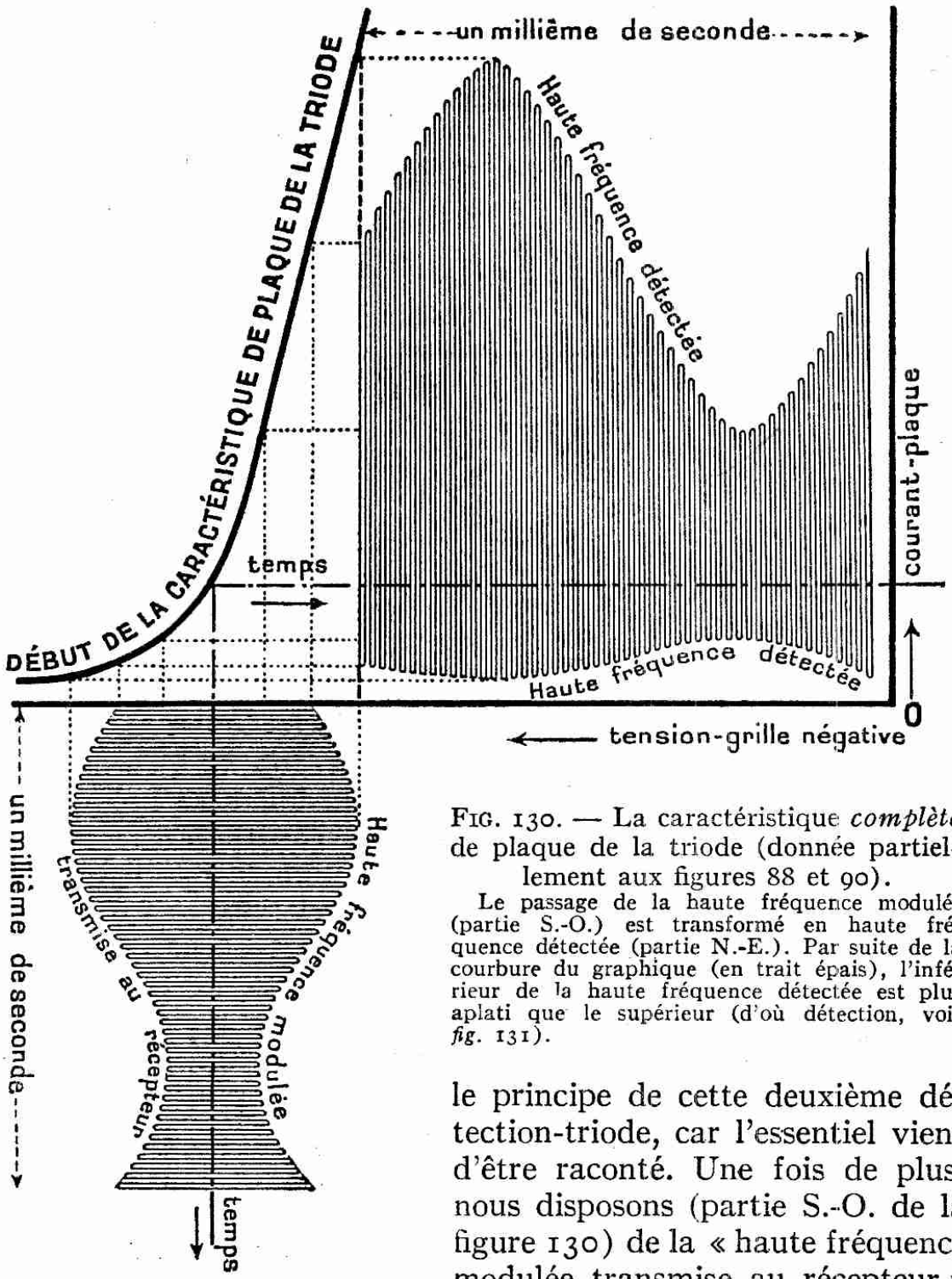


FIG. 130. — La caractéristique *complète* de plaque de la triode (donnée partiellement aux figures 88 et 90).

Le passage de la haute fréquence modulée (partie S.-O.) est transformé en haute fréquence détectée (partie N.-E.). Par suite de la courbure du graphique (en trait épais), l'inférieur de la haute fréquence détectée est plus aplati que le supérieur (d'où détection, voir *fig.* 131).

le principe de cette deuxième détection-triode, car l'essentiel vient d'être raconté. Une fois de plus, nous disposons (partie S.-O. de la figure 130) de la « haute fréquence modulée transmise au récepteur » (*fig.* 113), puis nous allons l'appliquer à la grille de la triode détectrice, et enfin nous rechercherons graphiquement ce qui va en résulter, comme nous l'avons fait il n'y a pas longtemps (*fig.* 126) pour la détection-diode.

Dans la figure 126, l'axe (vertical) des temps de la « haute

fréquence modulée » passait par le coude brusque des deux portions rectilignes de la caractéristique de la diode. De même ici (*fig.* 130), on polarise la grille de la triode (surpolarisation négative) suffisamment pour que l'axe (vertical) des temps de la « haute fréquence modulée » parvienne au maximum de courbure (1) du « début de la caractéristique de plaque de la triode ». A cet axe (vertical) des temps (en trait mixte) de la tension-grille va correspondre un axe (horizontal) des temps (également en trait mixte) du courant-plaque. Et les oscillations électroniques (à nouveau de 100 kc et à nouveau modulées à 1 kc), dont le circuit-plaque sera le siège, comporteront des variations autour de la valeur constante (horizontale, en trait mixte) due à la surpolarisation de la grille. Pour obtenir, à chaque instant, l'intensité résultante (*fig.* 131), il suffit de faire la somme des deux courants composants (2).

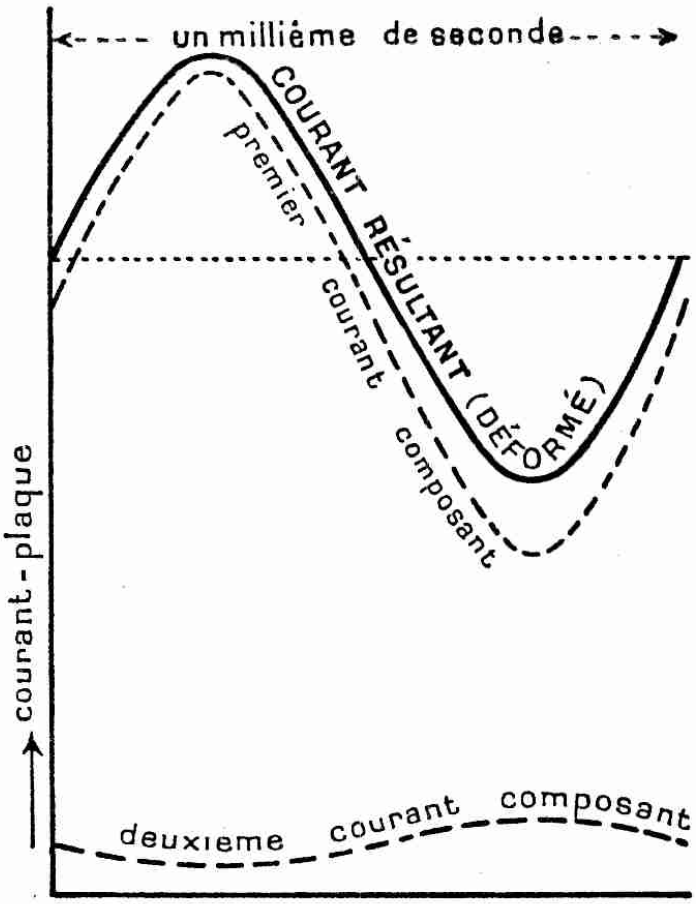


FIG. 131. — Courant résultant, d'après la figure précédente.

Voici (*fig.* 132) un des montages utilisés pour cette détection-triode par caractéristique de plaque. En comparant les *figures*

(1) C'est pour cela qu'on a nommé cet ancien dispositif : « détection par courbure de la caractéristique de plaque ».

(2) On constate que le courant résultant est quelque peu déformé : notre sixième *si* (*fig.* 111) sera souillé d'harmoniques (sons de fréquences double, triple, ...). La détection est ainsi accompagnée de « distorsion ». Au contraire, la diode (détection linéaire) est beaucoup plus *fidèle*. Il est vrai que la triode (*fig.* 130) produit, du même coup, une certaine amplification, mais, maintenant que nos oreilles sont devenues légitimement exigeantes, ceci ne compense pas cela.

90 et 130, on s'aperçoit que la polarisation négative de la grille doit être beaucoup plus forte (disons : dix fois) dans le second cas (détection) que dans le premier (amplification). Il n'y a plus dès lors — pour passer d'un montage d'amplification (*fig.* 89)

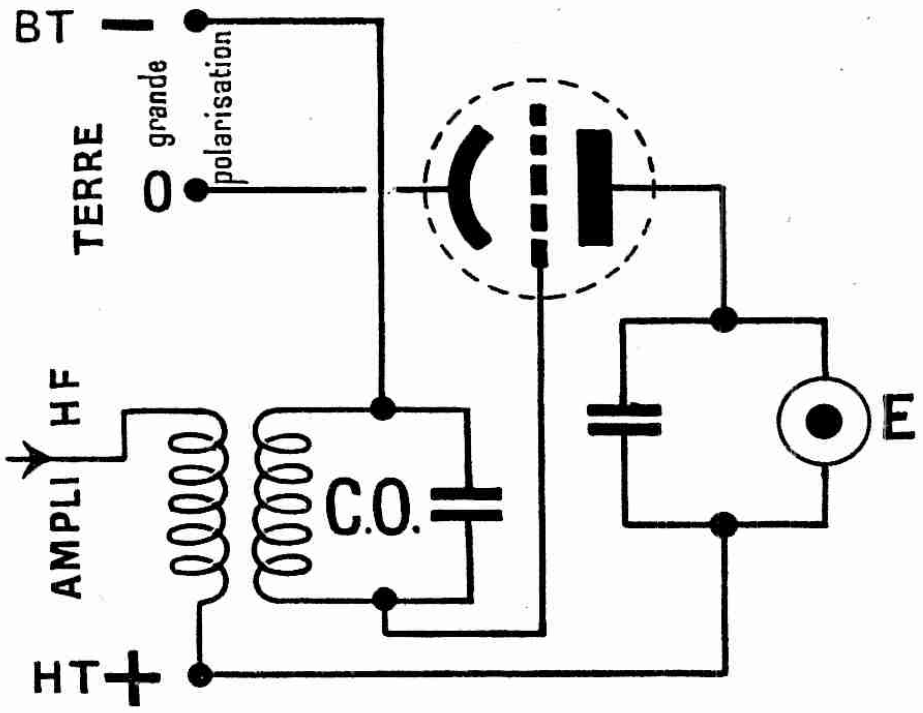


FIG. 132. — La détection-triode-plaque, exigeant, en principe, au moins un étage d'ampli BF pour pouvoir remplacer par un haut-parleur l'écouteur téléphonique E.

au montage projeté de détection (*fig.* 132) — qu'à reprendre la mise en série de la polarisation (faible) et de la tension oscillante **E** : c'est ce que nous voyons sur notre nouvelle figure, puisque, à la grande polarisation, on a additionné la tension oscillante due au circuit C. O. (lui-même excité par le courant sortant du dernier ampli HF).

Comme dans la figure 129, le circuit-plaque comprend l'écouteur E, avec son condensateur traditionnel (dont nous avons alors expliqué le rôle).

58. *Le détecteur à cristal. Le transistron.* — En passant de la triode détectrice au détecteur à cristal, nous remontons, de la veille de la radio, à l'avant-veille de la T. S. F. : c'est une manière originale d'écrire l'histoire, mais cela convient parfaitement au but que nous visons en ce moment.

Dans les dernières années du XIX^e^ siècle, on savait (1) que certains contacts — notamment des contacts métal-cristal (2) — peuvent jouer le rôle de conducteurs à sens unique (3). Ce ne sont d'ailleurs nullement des valves parfaites (comme la diode de la figure 126) : le passage des électrons (dans le sens métal-cristal) est, par exemple, dix fois plus facile que le passage en sens inverse (4).

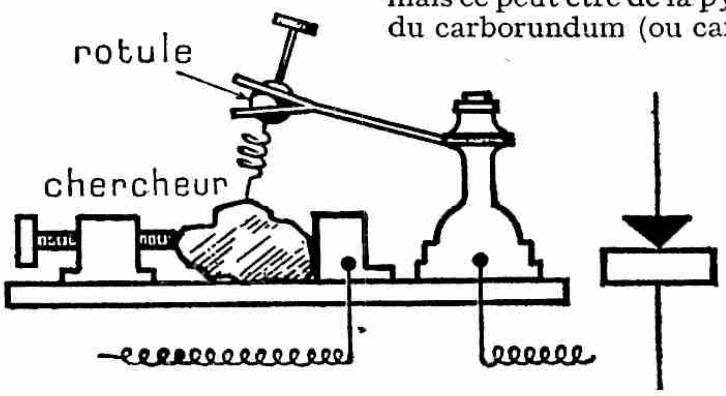


FIG. 133. — Le détecteur à cristal et sa représentation conventionnelle.

(1) Sans qu'on paraisse connaître avec précision à qui la découverte de cette conductivité unilatérale doive être attribuée. L'invention et l'usage du détecteur sont exempts de ce battage insistant qui accompagna le cohéreur (§ **23**, dernière note). Tout au plus garde-t-on le souvenir des essais honnêtes, effectués en France (1900) par un militaire du nom de Camille Tissot, aidé par le constructeur d'appareils Philippe Pellin; on signale aussi qu'un Américain, Greenleaf W. Pickard (né en 1878) effectua des recherches systématiques à partir de 1902. En radiophonie, le détecteur à cristal servit longtemps et peut encore servir, tandis que le cohéreur y est inemployable. Et cependant personne n'a songé à faire de Pellin et de Tissot des héros (ou des saints).

(2) Ce cristal est le plus souvent de la galène (ou sulfure de plomb naturel); mais ce peut être de la pyrite (ou sulfure de fer naturel), du carborundum (ou carbure de silicium artificiel), ... Le métal est un fil inoxydable (argent, acier chromé, ...) à pointe acérée et partiellement enroulé en ressort (pour que la poussée au contact ait une valeur convenable) : c'est le chercheur (*fig.* 133), ainsi désigné parce qu'on le déplace à la main pour trouver les « points sensibles » du cristal, ceux pour lesquels l'audition se trouve empiriquement être la meilleure. Ce grattouillage n'est sans doute pas de la science, mais on éprouve de temps à autre la légitime fierté du pêcheur qui amène un gros poisson. Les points sensibles sont d'ailleurs à la merci des trépidations, et aussi des parasites atmosphériques (§ **28**). Depuis que le redresseur sec (§ **32**, note) est connu, il a été préconisé pour remplacer la « galène » dans des postes récepteurs, auxquels on ne peut manifestement pas demander grand chose.

(3) Cette conductivité unilatérale semble provenir tant de la structure cristalline locale que de la différence de courbure des surfaces en contact (et se rapprocher du « pouvoir des pointes »); il est possible, également, qu'interviennent des phénomènes électrolytiques. Cette question d'ordre théorique reste encore assez obscure, au même titre que l'explication du cohéreur. En tous cas, « galène » et cohéreur jouent des rôles sans aucun rapport et ne se rattachent sûrement pas à la même raison (§ **23**, dernière note).

(4) En d'autres termes, c'est le chercheur qui fonctionne comme la cathode d'une diode, et le cristal comme la plaque de la diode. Précisons (encore que le lecteur s'en soit peut-être aperçu de lui-même) qu'on peut sans inconvénient intervertir les bornes de la « galène », puisqu'il n'importe pas de recevoir, dans l'écouteur, le courant direct ou le courant inverse (du moment que l'une des alternances est *très* favorisée par rapport à l'autre).

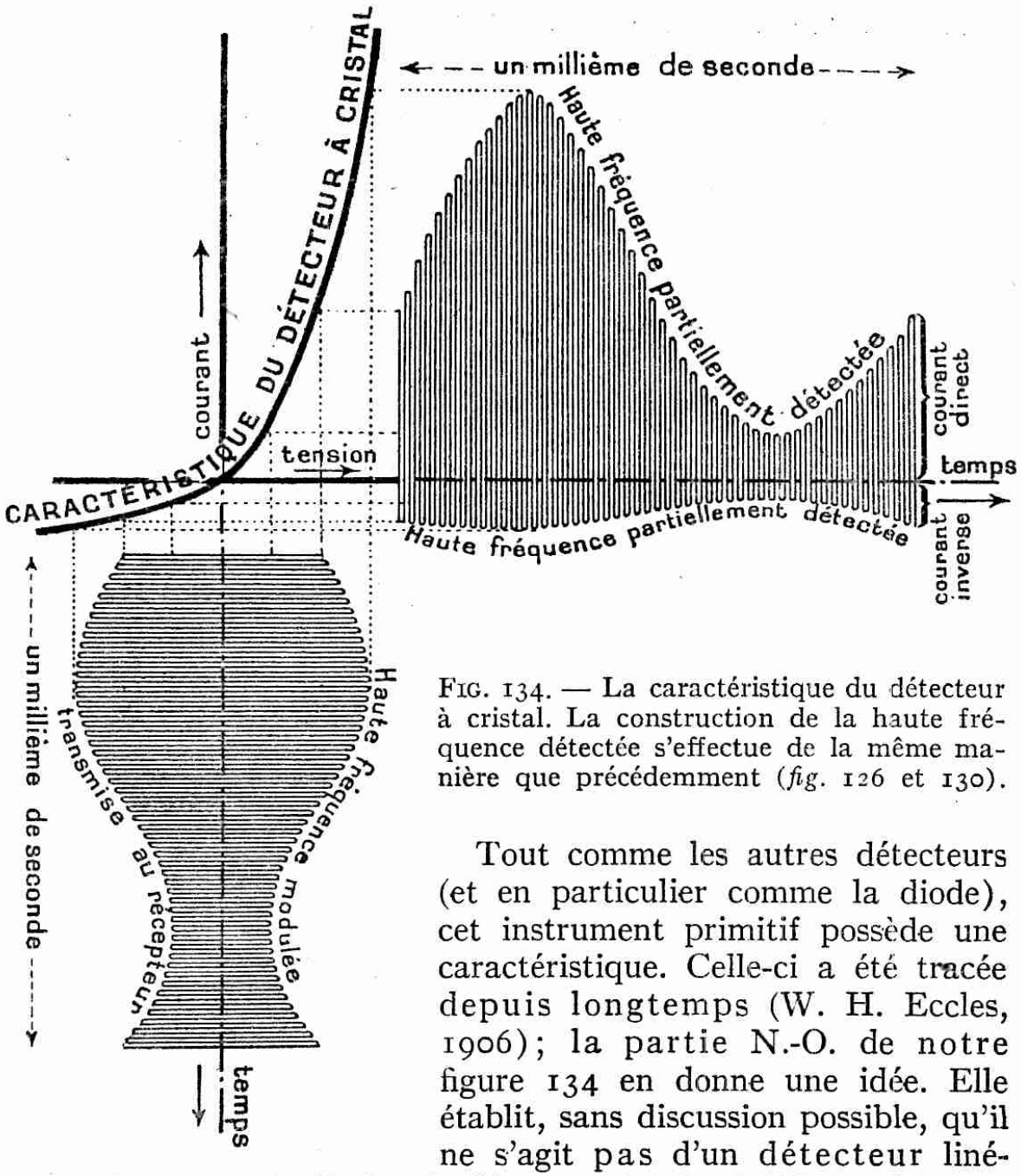


FIG. 134. — La caractéristique du détecteur à cristal. La construction de la haute fréquence détectée s'effectue de la même manière que précédemment (*fig.* 126 et 130).

Tout comme les autres détecteurs (et en particulier comme la diode), cet instrument primitif possède une caractéristique. Celle-ci a été tracée depuis longtemps (W. H. Eccles, 1906); la partie N.-O. de notre figure 134 en donne une idée. Elle établit, sans discussion possible, qu'il ne s'agit pas d'un détecteur linéaire (1), comme la diode : le détecteur à cristal déforme les sons (*fig.* 135), en dépit de sa réputation usurpée (provenant manifestement de l'enthousiasme un peu aveugle des chercheurs de points sensibles). La figure 134 nous donne une dernière fois la construction graphique de la « haute fréquence détectée »; les explications précédentes (*fig.* 126 et 130) nous dispensent d'insister : en

(1) Mais d'un détecteur « parabolique », d'après la forme de la courbe en trait épais (*fig.* 134).

l'occurrence, l'histoire contemporaine nous fait instantanément comprendre l'histoire ancienne.

La figure 136 ne suscitera pas, non plus, d'amples commentaires; il s'agit du plus simple des postes récepteurs, muni d'un écouteur téléphonique (et non d'un haut-parleur, car il ne faut pas être trop difficile...). Après ce montage rudimentaire, qui, certes, « marche », quand on veut accrocher une station d'émission voisine, nous pourrons aborder (chap. VIII) le problème général de la réception par « postes à lampes », comme on disait jadis par antiphrase.

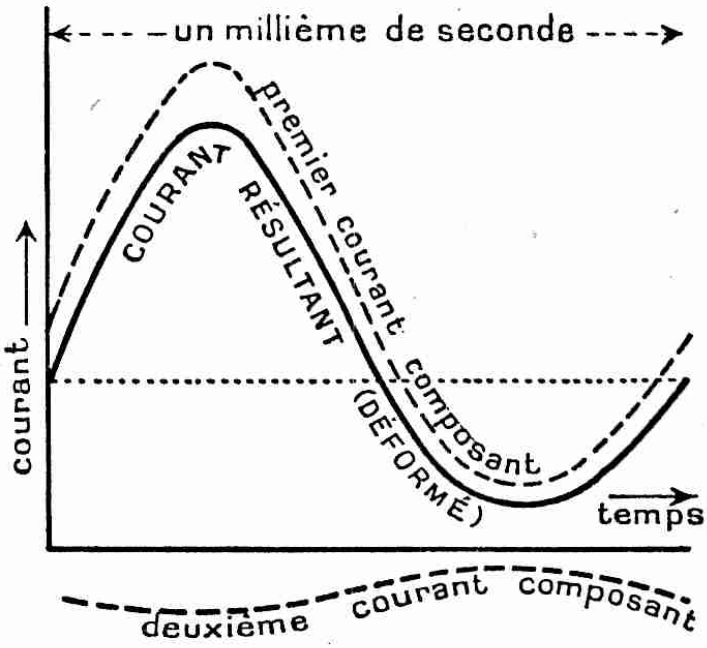


FIG. 135. — Courant résultant, d'après la figure précédente. (La déformation des sons est encore plus marquée que dans la détection-triode-plaque, *fig.* 131.)

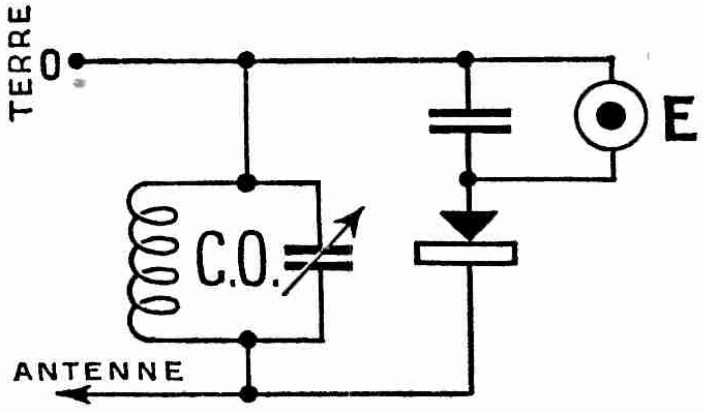


FIG. 136. — Le poste à galène (ou récepteur réduit à sa plus simple expression).

L'antenne capte les ondes modulées et les transforme en oscillations électroniques conformes, qui excitent le C.O. accordé (condensateur variable). Le détecteur à cristal (galène) favorise une des deux alternances des oscillations modulées, et le condensateur fixe laisse passer préférentiellement la haute fréquence, tandis que les bobines de l'écouteur E sont plus perméables à la basse fréquence.

Ici s'introduit une remarque fort instructive.

Jusqu'en 1949, nous assistions au triomphe incontesté des tubes électroniques aux deux bouts du sans-fil, et les « ustensiles à contact » (cohéreur, détecteur à cristal, voire redresseur cuproxyde) semblaient bien ne plus devoir y jouer aucun rôle essentiel. Le problème sera-t-il *partiellement* retourné? C'est ce qu'il

est impossible de dire à l'heure actuelle, puisque les recherches en question sortent à peine du domaine du laboratoire...

Toujours est-il que les « Bell Telephone Laboratories » (New-York) et (simultanément, quoique avec un peu de retard) le laboratoire des P. T. T. (Paris) ont obtenu des résultats notables, principalement dans le sens des amplificateurs sur les lignes téléphoniques, et vraisemblablement transplantables en radio.

C'est en 1886 que le chimiste allemand Siemens Winkler (1838-1904) découvrit, dans les mines de Saxe, un nouveau corps simple (1), qu'il baptisa germanium. Pendant soixante ans, il n'apparut pas qu'un brillant destin fût réservé au germanium, mais son isolement désintéressé, sans arrière-pensée utilitaire, par un obscur chercheur, commence à porter ses fruits : il tient lieu de semi-conducteur dans le montage de la figure 137, appelé « transistor » (2) en Amérique (1948) et francisé ici sous le nom de *transistron*. Deux fils métalliques G et P (3) — et non plus un, comme dans le détecteur à cristal — sont en contact avec la petite masse de germanium (prolongée en bas par une lame métallique); ces deux fils sont plus fins que des cheveux, et leur écartement ne dépasse pas cinq centièmes de mm (4).

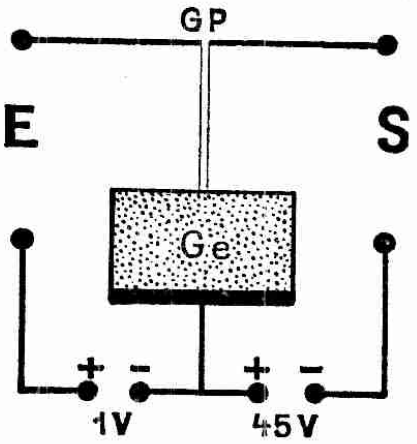


FIG. 137. — Principe du transistron (étudié actuellement en Amérique et en France avec l'intention de le substituer à certains tubes électroniques).

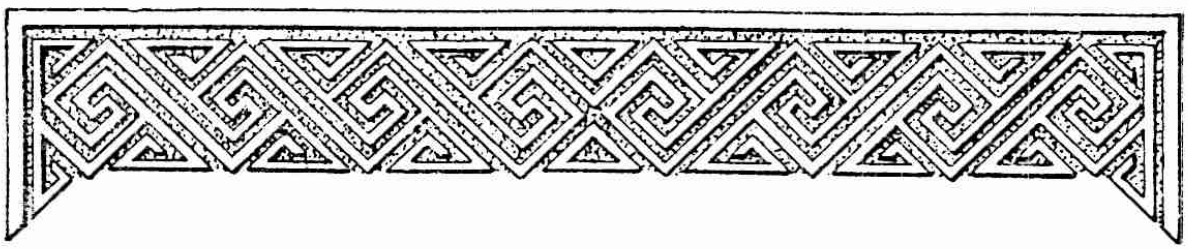
(1) D'ailleurs prévu (1871) par le grand savant russe Dimitri Mendéleïeff (1834-1907) et devant faire partie, comme troisième représentant, de la famille : carbone, silicium, ..., étain, plomb (ce qui lui conférait, par avance, les propriétés d'un semi-métal). Au point de vue électrique, le germanium est 60.000 fois moins conducteur que le cuivre, et 10 fois moins que le carbone.

(2) « Transistor » est la contraction des deux vocables anglais « transfer » et « resister », qui, au fond, ne veulent pas dire grand chose en l'occurrence.

(3) Nous les avons désignés par G et par P, car le premier joue un rôle analogue à celui de la grille d'une triode et le second à celui de la plaque. A noter que la « grille » est ici positive, et la « plaque », négative.

(4) On explique (assez grossièrement) le transistron par les considérations suivantes : le courant du circuit d'entrée **E**, en traversant le semi-conducteur Ge, provoque, dans son voisinage immédiat, une zone où la répartition des électrons est perturbée (?). Comme cette zone fait partie du circuit de sortie, il se trouve (?) qu'il se produit, en **S**, des variations plus importantes qu'en **E**. Dans des phénomènes aussi mal définis, la démarche est habituelle : on trouve d'abord, et l'explication correcte ne vient que bien après...

Le plus extraordinaire, c'est qu'on obtient, comme cela, des amplifications de l'ordre de *cent*, pour des fréquences qui vont jusqu'à 10 Mc, mais avec des puissances extrêmement faibles (25 mW, par exemple). Il serait donc illusoire de se figurer que le transistron (ou transistor) puisse servir à tout. Dans les limites de son utilisation, il subsiste qu'il élimine l'« intervalle de vide » (donc l'ampoule de verre ou de métal) et surtout le chauffage d'une cathode, d'où un rendement nettement supérieur à celui des tubes électroniques.



Chapitre VIII

LE RÉCEPTEUR DE RADIOPHONIE

59. *Réception directe et superhétérodyne.* — Les sept précédents chapitres auront réussi à mettre le lecteur dans l'ambiance. S'il les a lus — ou si, préalablement, il en comprenait l'essentiel —, il pourra, à bon droit, remplacer la phrase sacramentelle : « La radio? je n'y comprends rien », par cette autre, moins défaitiste : « La radio? je commence à y voir quelque chose ».

Mais il ne sera pas, pour si peu, au bout de ses peines... Et ce n'est pas jouer le rôle de mauvais plaisant que de proclamer — en toute sincérité — que c'est maintenant que les complications commencent. Soyons sérieux : peut-il y avoir un lecteur — pour aussi intelligent qu'il soit (ou qu'il se croie) — qui puisse légitimement s'imaginer qu'il lui suffira de dix minutes pour se mettre au courant d'un siècle d'électricité théorique et de plusieurs décades de perfectionnements pratiques? Eh bien! dans leur ensemble, les 218 premières pages de cet ouvrage avaient pour but de remplir la première partie de ce programme. Les 50 pages du présent chapitre vont, dans le même esprit, s'occuper de la deuxième.

Il est hors de doute, en dépit des racontars, que la quasi-unanimité des pionniers de la radiotechnique ont puisé dans l'arsenal accumulé par la recherche scientifique pure de tous les pays

(§ **4**) : malgré tout ce qu'on a prétendu, les exceptions ont été fort rares (1).

Les complications commencent... pour plusieurs raisons. D'une part, il faudra se reporter à tout ce qui a été dit. D'autre part, les instruments et les montages — même simplifiés — sont bien plus longs à décrire que les appareils relativement schématiques qui nous ont servi, jusqu'ici, à décrire les grands faits de base. Enfin, si les sept premiers chapitres étaient surtout « de la science », le reste de l'ouvrage sera presque exclusivement « de la technique », avec cette opposition regrettable que les savants s'expriment plutôt moins mal, dans leur domaine, que les techniciens dans le leur, et, aussi, cette conséquence qu'il y a de bonnes mises au point scientifiques, sans qu'on puisse en dire autant du côté technique. Il est nécessaire, à chaque instant, de classer, grouper, ordonner, élaguer, supprimer, rectifier, pour donner un tableau des préoccupations actuelles, en étant d'ailleurs encouragé par cette constatation qu'en radio (et aussi en télévision) *le plus fort est fait* (en ce milieu du XX^{e} siècle) et par la présomption que les résultats importants subsisteront.

Nous pressentons depuis le chapitre III (et le chapitre VII nous a renforcé dans notre impression) qu'un poste récepteur est une station d'émission **retournée :**

dans la deuxième (*fig.* 116), on part du microphone, on module et l'on aboutit à l'antenne;
dans le premier, on part du collecteur d'ondes (antenne ou cadre), on démodule (ou détecte) et l'on aboutit au haut-parleur.

Pour déblayer le terrain (2), nous considérerons deux étapes :

---

(1) Ce n'est qu'en période de *défrichement* qu'on peut, sans encourir de blâme, essayer n'importe quoi, « pour voir ». En général, d'ailleurs, on ne voit pas grand chose. Et même, dans les cas les plus favorables, on ne sait pas, le plus souvent, tirer profit de ce qu'on a vu. Or, la période de défrichement est *révolue* depuis au moins vingt ans, sans espoir de retour à cet « âge d'or »...

(2) A l'émission, nous avions également « déblayé le terrain », en traitant le problème en deux temps : la production des ondes porteuses (§§ **36-40**) et la modulation (§§ **48-52**). Il faut d'ailleurs se garder de pousser trop loin le parallélisme, car :

à l'émission, on ne peut pas se dispenser du deuxième temps (modulation);
à la réception, on peut s'en tenir au premier, si l'on renonce à accrocher *toutes* les émissions; mais cette complication présente (nous le verrons) d'immenses avantages.

le poste à réception directe, qui travaille sur la haute fréquence qu'il reçoit et qui, pour nous Français, permet de capter localement les émissions de la figure 69; ses principaux organes (§ **60**) sont donnés par la figure 138 (p. 232-233), sur laquelle nous aurons à « broder » jusqu'au paragraphe **65;**
le poste à réception par changement de fréquence (ou — en remplaçant ces huit mots par deux — le superhétérodyne), schématisé par la figure 139 (mêmes pages) et dont nous ne parlerons qu'aux paragraphes **66-68.**

Il ne nous restera alors qu'à compléter ces indications générales par ce qu'on pourrait appeler les « fignolages », d'ailleurs souvent indispensables (§§ **69-70**). Et, à titre de conclusion de ce chapitre, nous insisterons sur les qualités maîtresses — relativement contradictoires — du poste récepteur moderne : la sélectivité et la musicalité (§§ **71-72**).

60. ***La structure d'un poste à réception directe.*** — Si la réception « en direct » n'est plus employée aujourd'hui que pour des postes de second ordre, elle n'en est pas moins — au point de vue de l'initiation — l'intermédiaire indispensable pour accéder au « paradis » (actuel) du superhétérodyne, avec ses multiples et perfectibles accessoires.

Tout ceci pour dire que l'examen sérieux de la figure 138 se révèle absolument indispensable, ne serait-ce que du fait que tous ses organes se retrouvent dans la figure 139 (donc dans tous les postes d'amateur).

Examen sérieux... et commenté.

On voit, sur cette figure 138, quels sont les précédents montages auxquels il faut se reporter (en n'oubliant pas les explications du texte qui les ont accompagnés : excitation de l'antenne, § **25;** amplification, § **34** [1]; alimentation, § **38;** haut-parleur, § **45;**

---

(1) C'est ici qu'il convient de signaler, en quelques mots, la différence d'intention qui sépare l'ampli HF et l'ampli BF.

α) Avec le premier (ampli de tension), on cherche à obtenir le plus de *volts* possible, car c'est « avec des volts » qu'on attaque la détectrice;

β) Au contraire, dans le deuxième, on veut avoir beaucoup d'*ampères*, ce qui conduit à choisir des tubes électroniques de résistance interne (§ **33, II**) relativement faible. Cette grande intensité se retrouvera dans la bobine mobile du haut-parleur, qui méritera bien son nom, ce pourquoi on parle alors d' « ampli de puissance ».

détection-diode, § **55**). Tout y est : c'est, si l'on veut, un jeu de puzzle, une espèce de meccano, un projet de construction, dont nous possédons les briques et dont il nous faut maintenant (1) décrire le ciment.

En laissant de côté, pour l'instant, le chauffage des cathodes (2), le récepteur « en direct » reçoit, de l'extérieur, deux tensions :

I. Une tension haute fréquence modulée, qui lui arrive « par sans-fil » et qui s'applique au collecteur d'onde; cette tension est *incroyablement faible* (nous l'avons dit à la fin du paragraphe **26**);

II. La tension du réseau alternatif (« 115 volts »-50 cycles), laquelle donne notamment naissance (*fig.* 94) à la haute-tension continue HT, qui revenait sur les « schémas » précédents avec une insistance... de mauvais goût (3).

Nous comptons (*fig.* 138) six « prises de Terre » (§ **25**). En réception, on parle plutôt de *prises de masse* ou de connexions à la masse, au châssis du poste (tout comme dans l'équipement électrique des autos), la masse des postes modernes devant être, autant que possible, mise à la Terre (ce qui élimine quantité de parasites). Ces « masses » présentent un double intérêt :

1° Toutes les tensions sont « amenées », chacune, par *un seul* fil (bien isolé) : on utilise la tension entre ce fil et la masse;

2° En réalisant des « masses » avec des pièces métalliques soudées, très courtes et très larges, on élimine d'un seul coup tous les effets perturbateurs qui auraient été occasionnés par la capacité (§ **8**), par l'inductance (§ **10**) et par la résistance (§ **16,** fin) des conducteurs que ces prises de masse remplacent. C'est donc toute

---

(1) Ce « ciment », ces organes de liaison (§ **64**) existaient certes dans les stations d'émission (chap. V et VII); mais nous les avons délibérément passés sous silence, d'une part pour ne pas compliquer *encore* l'exposé à ses débuts, et, d'autre part, parce qu'il est préférable d'en parler à propos d'appareils à la portée de la main. Les explications y gagnent en progressivité. Au surplus, le lecteur curieux n'y perd rien, car il n'aura qu'à appliquer ensuite, au cas de l'émetteur, les précisions fournies (à propos du récepteur) sur les liaisons **L** (*fig.* 138).

(2) Dont nous allons reparler.

(3) Nous dirons quelques mots (§ **61**) du cas (défavorable) où le domicile de l'usager est branché sur un secteur continu.

une partie du montage qui ne cause pas d'ennui et dont on n'a pas à se préoccuper (il subsiste suffisamment de complications pour les amateurs, de difficultés à résoudre...).

Toutes les parties supérieures de la figure 138 se sont déjà présentées si souvent (au cours des derniers chapitres) qu'il est inutile d'y revenir. Tout au plus est-il bon de se remémorer la figure 94, qui a été tracée à propos des stations d'émission et qui convient, mot pour mot, pour tous les postes-secteur (en direct ou en hétérodyne), pourvu que l'on dispose de l'alternatif.

Indiquons donc, à titre d'exercice, comment il faut faire correspondre mutuellement la figure 94 et l'ALIMENTATION de la figure 138 (1) :

a) Les cinq prises de Terre (*fig.* 94) sont schématisées en la seule « masse » de l'« alimentation »;

b) La tension alternative (en haut et vers la gauche de la figure 94) se retrouve à droite de l'« alimentation »;

c) La haute-tension continue (obtenue à l'extrême droite de la figure 94) apparaît à la partie supérieure de l'« alimentation ». Cette HT (+ 250 volts, par exemple) existe, bien entendu, dans les deux cas, *par rapport à la masse;*

d) Le chauffage (direct ou indirect) des cathodes (§ **31**) s'aperçoit à l'extrême gauche de la figure 94. L'un des fils y est à la Terre (en réception : à la masse), et on s'arrange maintenant pour qu'il y ait « 6 volts 3 » alternatifs (tension variant entre + 8 volts 9 et — 8 volts 9) sur le second fil de cette même figure. Passant à la figure 138, on ne s'étonnera pas que (par application des mêmes considérations) le chauffage s'obtienne par un fil (marqué Ch). Ajoutons qu'on aurait pu subdiviser en trois ce fil (partant de l'« alimentation »); mais il revient au même (et il est plus clair) de relier, sur le dessin,

l'ampli HF et la détectrice
la détectrice et l'ampli BF

par deux simples fils Ch.

(1) Et aussi, pour ne plus y revenir, de la figure 139.

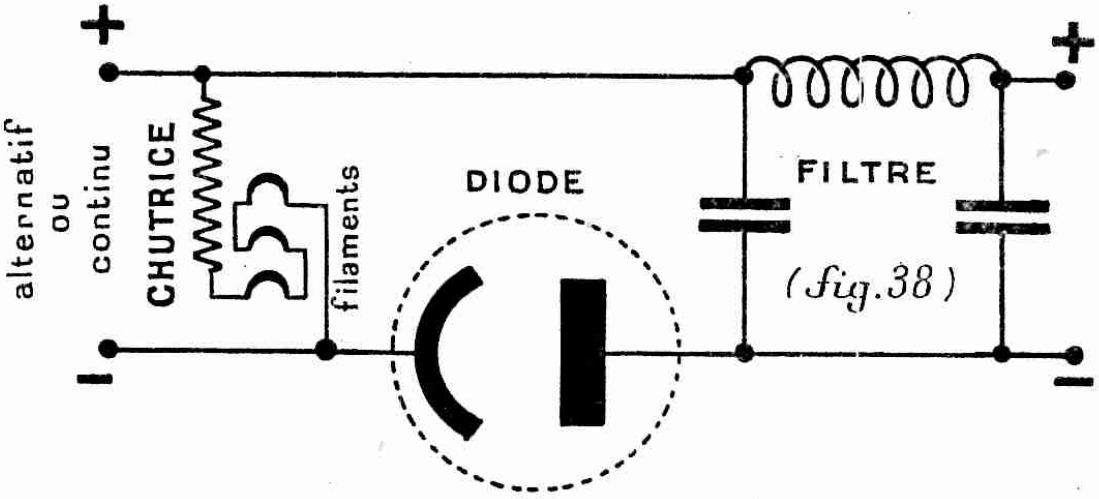


FIG. 140. — Alimentation tous courants.
A gauche, le circuit de chauffage (indirect) des cathodes et, à droite, l'obtention d'une tension continue, au moyen d'une diode redresseuse et d'un filtre en Π.

C'est au paragraphe **64** que nous donnerons les développements indispensables sur les organes de liaison **L.**

61. ***Alimentation tous courants.*** — Les réseaux alternatifs, en France, à l'heure actuelle, sont de beaucoup les plus répandus : c'est la raison pour laquelle, sur nos figures schématiques 138 et 139, nous sommes partis de « 115 volts » (sous-entendu : 50 cycles) [1].

Dans ses débuts, l'*alternatif* a été maudit par les sans-filistes, car on n'avait pas encore fixé la technique permettant d'obtenir (*fig.* 94) la haute-tension *continue*, nécessaire à la polarisation des plaques des tubes électroniques.

La situation est renversée désormais : c'est le secteur continu qui est maintenant « chargé des péchés d'Israël », pour cette raison décisive que la tension (disponible) de 115 volts continus ne peut être accrue, si ce n'est par des appareils rotatifs compliqués (§ **62**). On est donc pratiquement contraint, en continu, de s'arranger avec la tension (115 volts) du réseau.

Mais comme, d'autre part, on n'est jamais assuré qu'un poste, primitivement prévu pour le continu, ne servira jamais un jour

(1) Naturellement, si l'usager dépendait d'un réseau triphasé (lequel comporte une tension étoilée de « 115 volts » et une tension composée de « 200 volts »), il aurait avantage à brancher son poste (à la condition qu'il s'y prête) sur la plus grande de ces deux tensions.

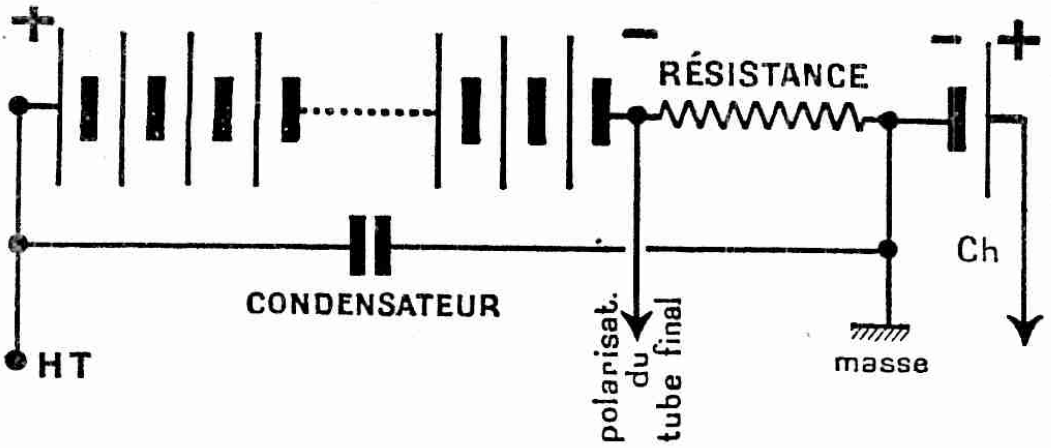


FIG. 141. — Alimentation d'un poste-batteries.

sur l'alternatif, on a résolu la question en imaginant des postes « tous courants » (1).

Le principe, facile à comprendre, est donné par la figure 140.

I. Les filaments de chauffage (chauffage indirect, § **31**) sont disposés en série (les uns à la suite des autres) sur le secteur, et l'on fixe le courant convenable au moyen d'une résistance invariable, déterminée une fois pour toutes (et dénommée résistance chutrice ou résistance « chauffante »);

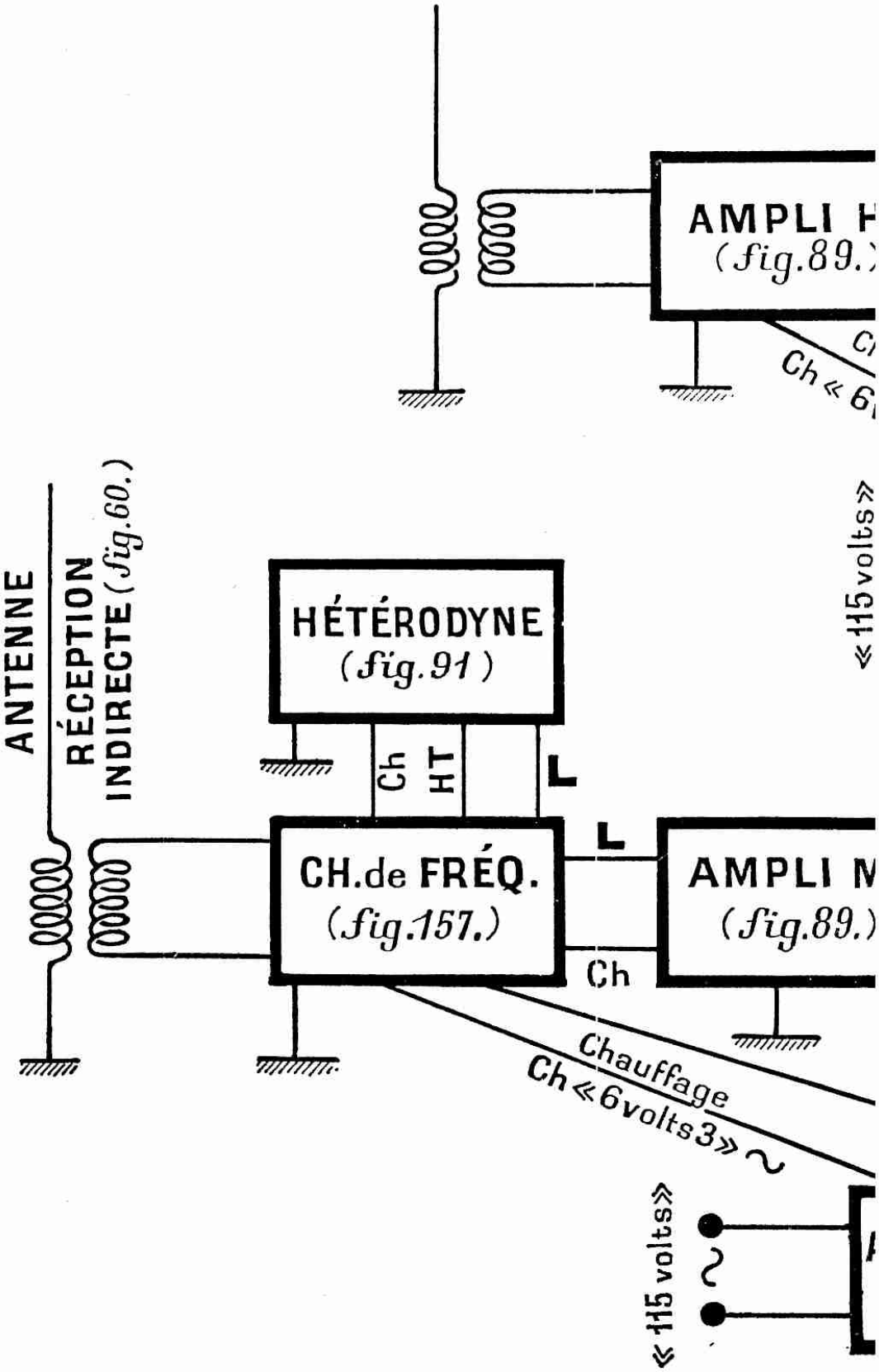
II. La tension de polarisation des plaques est obtenue à droite (*fig.* 140), après emploi d'une diode redresseuse et d'un filtre en Π.

Toutes les complications de ce montage (chauffage indirect, et non direct; diode; filtre) sont rendues nécessaires pour que le poste puisse être utilisé en alternatif.

62. *Poste-batteries et poste-auto.* — A l'âge héroïque de la radio (tout de suite après la Première Guerre mondiale), on ne distinguait pas entre postes-secteur (*fig.* 138 et 139) et postes-batteries, pour cette simple raison que les premiers n'existaient pas : les techniciens n'avaient pas encore mis au point cette

(1) A proscrire formellement, si l'on est sûr d'être toujours sur l'alternatif, ne serait-ce que pour la tension continue, beaucoup plus faible, qu'il fournit dans ce cas.

D'autre part, son rendement est minime, puisque la résistance chutrice dissipe inutilement *au moins* autant d'énergie que les filaments et que, pour produire la haute-tension, on perd (en alternatif) une alternance sur deux, à nouveau sous forme de chaleur.


AMPLI F
(fig.89.)
Ch « 6
« 115 volts »
ANTENNE
RÉCEPTION INDIRECTE (fig.60.)
HÉTÉRODYNE
(fig.91)
Ch
HT
CH.de FRÉQ.
(fig.157.)
AMPLI M
(fig.89.)
Ch
Chauffage
Ch « 6volts3 » ~
« 115 volts »
~

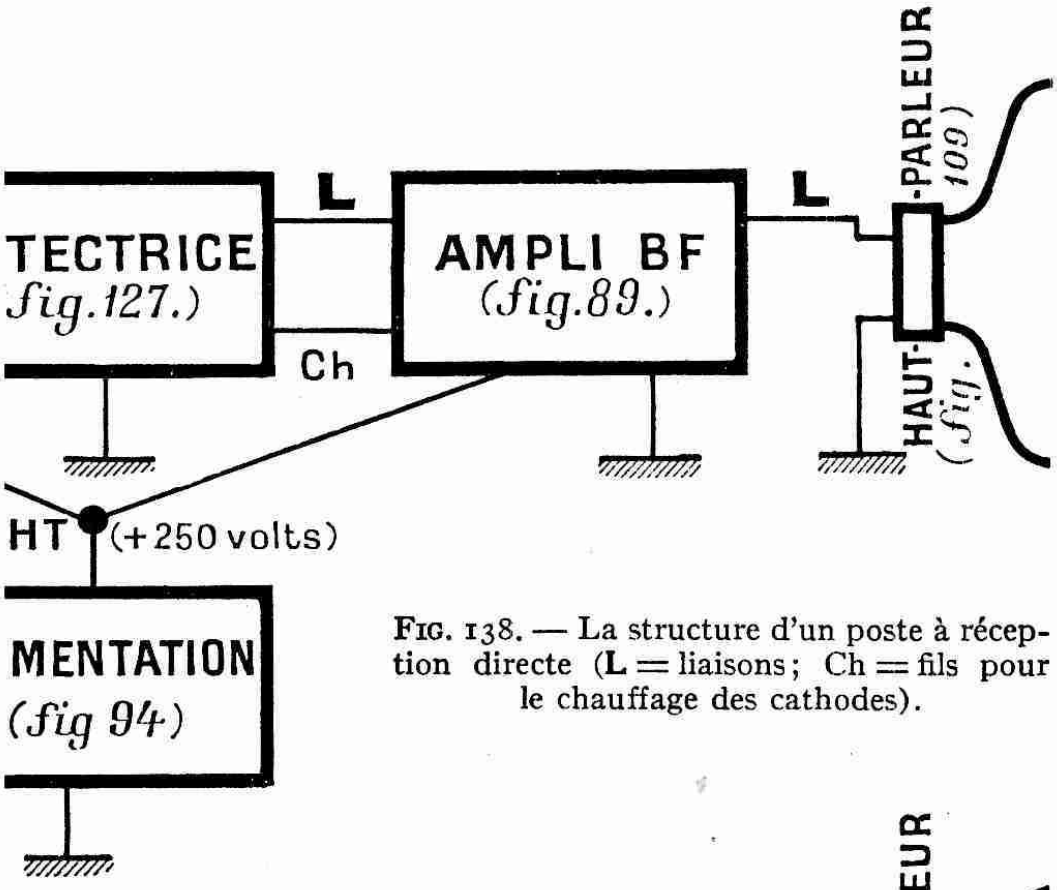


FIG. 138. — La structure d'un poste à réception directe (**L** = liaisons ; Ch = fils pour le chauffage des cathodes).

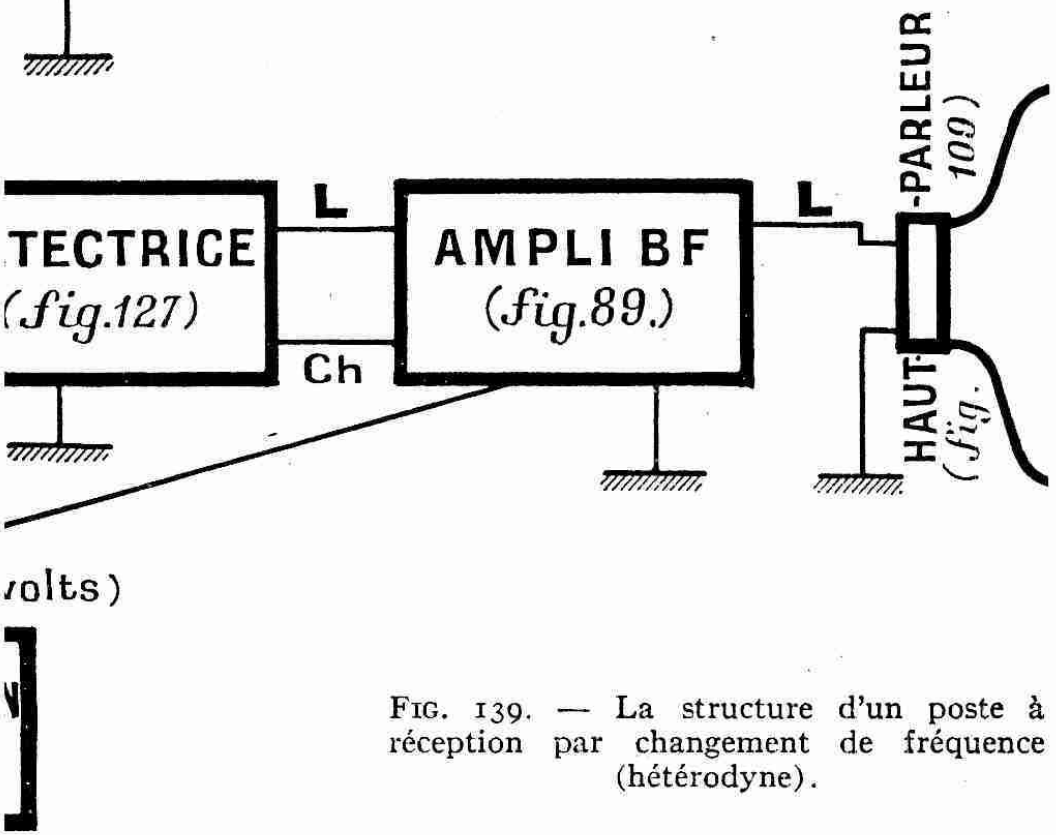


FIG. 139. — La structure d'un poste à réception par changement de fréquence (hétérodyne).

cascade d' « astuces » qui rendent tout Français moyen « apte à la radio », en n'exigeant de lui que deux gestes :

enfoncer une fiche;
tourner un bouton.

Bref, à l'âge héroïque, semblable en cela à Monsieur Jourdain, tout un chacun « faisait du poste-batteries » sans le savoir... Pour le moment et en France au moins, ce genre de poste récepteur ne mène qu'une existence effacée : il continue toutefois à régner sur les postes transportables (1), et l'on est bien content de l'avoir à sa disposition lorsque l'on subit les « délestages » d'électricité (les « coupures »), que notre manque d'outillage moderne et les courtes vues des dirigeants continuent d'imposer au troupeau des usagers.

Force est alors de recourir aux batteries d'accumulateurs (2) ou aux piles sèches (3).

Pour le chauffage Ch des cathodes, il suffit d'un élément, et l'on s'en tient au chauffage direct (§ **31**), afin de réduire au minimum la consommation d'électricité (afin d'avoir à recharger cet élément le moins souvent possible).

La HT, dont nous parlons sans cesse et qui sert à la polarisation de toutes les plaques des tubes électroniques, est de l'ordre de 100 volts (50 éléments), de telle sorte qu'on réalise le montage de la figure 141, laquelle indique la prise de masse, et l'adjonction d'une résistance et d'un condensateur. (Celui-ci empêche la haute fréquence de traverser la batterie; et la résistance assure

---

(1) Y compris les postes-auto.

(2) Un élément d' « accu » (2 volts) se représente conventionnellement par deux traits parallèles : l'un, long et mince (+) [borne peinte en rouge]; l'autre, court et gros (—) [borne peinte en noir]. Les accus se rechargent :

1° Sur le continu, en mettant les accus en série avec une lampe servant de rhéostat;

2° Sur l'alternatif, en employant un *chargeur*, c'est-à-dire un transformateur (*fig.* 26), dont le secondaire contient un redresseur (p. 144, note 1), le plus souvent un cuproxyde (*fig.* 60).

Dans les deux cas, il faut prendre bien soin de ne pas « se tromper de pôles », ce qui aurait pour résultat, non seulement de mettre les accus « à plat », mais même de les rendre inutilisables.

On trouvera des détails sur les accus dans deux autres volumes de la même Collection (8e édition, Larousse) : *Idées nouvelles* (pp. 74-76) et *la Chimie au laboratoire* (pp. 116 et 121-123).

(3) Voir *l'Electricité à la ville...*, p. 98 (8e édition, Larousse). Les postes transportables ou « récepteurs à bretelles » pèsent environ 3 kg, batteries comprises.

la polarisation automatique [1] de la grille du deuxième et dernier ampli BF.)

Quant aux postes-auto (2), nous n'en donnerons que quelques indications très générales, que nos connaissances antérieures nous autorisent à abréger. Comme source d'électricité, on utilise naturellement la batterie d'accus (généralement 6 volts, parfois plus), qui est la pièce maîtresse de l'équipement électrique (3) de la voiture.

Les cathodes sont à chauffage indirect (4), le filament chauffant (§ **31**) étant directement branché sur la batterie.

Pour la HT, deux procédés différents se partagent aujourd'hui la faveur du public :

1° Une commutatrice ayant l'aspect d'une dynamo (ou un convertisseur analogue), que l'on soumet aux 6 volts et qui produit, entre les deux autres bornes, une tension continue comprise entre 180 et 250 volts. Cette tension est régularisée au moyen d'un filtre en Π (comme celui de la figure 140) ; le rendement est médiocre (de l'ordre de 35 %) ;

2° Un vibreur (dont le principe est le même que celui de la vulgaire sonnerie trembleuse), qui fournit une « tension pulsée » rappelant celle de la figure 113 (avec un maximum de 6 volts, dans l'exemple choisi). Cette tension — parce que pulsée — peut maintenant attaquer le primaire d'un transformateur survolteur, dont le secondaire comprend une valve biplaque (*fig.* 94) pour le redressement (5), ainsi que l'inévitable filtre en Π (*fig.* 38). Le rendement est plutôt meilleur, mais il faut prévoir un filtrage plus énergique et, surtout, le

---

(1) En disposant de la sorte la résistance de polarisation (au lieu de la placer, comme d'habitude, entre la cathode et la masse), elle se trouve traversée par *la totalité* des composantes HT, ce qui permet de porter la cathode à une tension plus élevée.

(2) Dont on reconnaît la présence par une tige verticale, souvent garnie d'un éteuf en matière plastique, à l'avant de la voiture.

(3) Voir *l'Electricité à la ville, à la campagne, en auto*, pp. 178-190 (8e édition, Larousse).

(4) On préfère le chauffage indirect, en dépit de sa plus forte consommation d'électricité, car l'inertie calorifique plus grande de telles cathodes compense les variations de la tension des accus.

(5) La valve biplaque est parfois remplacée par un second vibreur, synchronisé avec le premier.

blindage métallique (§ **64**) du vibreur (1) pour absorber les parasites (§§ **27-28**) qu'il émet en abondance.

63. *Polarisations automatiques des tubes électroniques.* — Dans nos montages de principe, il a été souvent question de polarisation : on entend par là l'application d'une tension *continue* (de valeur et de sens convenables) entre la cathode et la grille (ou entre la cathode et la plaque) d'un tube électronique. C'est ainsi que (*fig.* 90) nous avons raisonné sur une tension-grille de — 2 volts pour faire comprendre le principe de l'amplification; à ce propos (§ **33**), nous avions spécifié que nous nous servions d'un élément d'accumulateur. Il est temps à présent de dire que, pour les récepteurs fixes, c'est une complication inutile et que, de plus, on ne pourrait pas faire directement intervenir la tension exacte (2) qui est prévue pour les tubes courants. Des dispositifs ingénieux — qu'il aurait été maladroit de décrire plus tôt — permettent de polariser automatiquement, soit la grille, soit la plaque.

1° *Polarisation-grille.* Nous la ferons comprendre en deux temps.

Supposons d'abord (*fig.* 142) que nous ayons affaire à une diode (3). Dans le circuit-plaque, nous constatons la présence d'une BOBINE (accouplée à une autre bobine, *non représentée*, laquelle produit par induction, dans la BOBINE, des oscillations électroniques). Comme, d'autre part, l'extrémité inférieure H de notre BOBINE est à + 250 volts, le circuit-plaque sera le siège d'un courant *ondulé*, dont nous avons déjà rencontré des exemples (notamment : *fig.* 37, à gauche, et *fig.* 117) et qui consiste en la juxtaposition d'une composante alternative (due à l'induction) et d'une composante continue (due à la HT de + 250 volts).

Que voyons-nous à gauche de cette même figure 142? Au contraire de la figure 89, la cathode n'est pas directement mise à la masse : elle l'est par l'intermédiaire d'une « résistance

---

(1) Ou des vibreurs.

(2) Puisque, avec des accus, la tension ne pourrait varier que par « bonds » de *deux* volts (abstraction faite de la médiocrité de ces appareils et de la sujétion d'avoir à les recharger).

(3) Ou — comme nous le savons (§ **33**, note) — à une triode, où cathode et grille seraient reliées métalliquement.

shuntée », c'est-à-dire par l'ensemble d'une résistance et d'un condensateur *en dérivation*. En nous reportant maintenant au tableau de la figure 43, nous concevrons que la composante continue passera *tout entière* dans la résistance et qu'en choisissant convenablement (1) la capacité du condensateur, la composante alternative ne passera que par ce dernier, sans rencontrer d'obstacle notable. Il s'ensuit que le courant continu, circulant dans la résistance, portera la cathode à une tension positive (par rapport à la masse). Cette résistance est calculée pour qu'on ait :

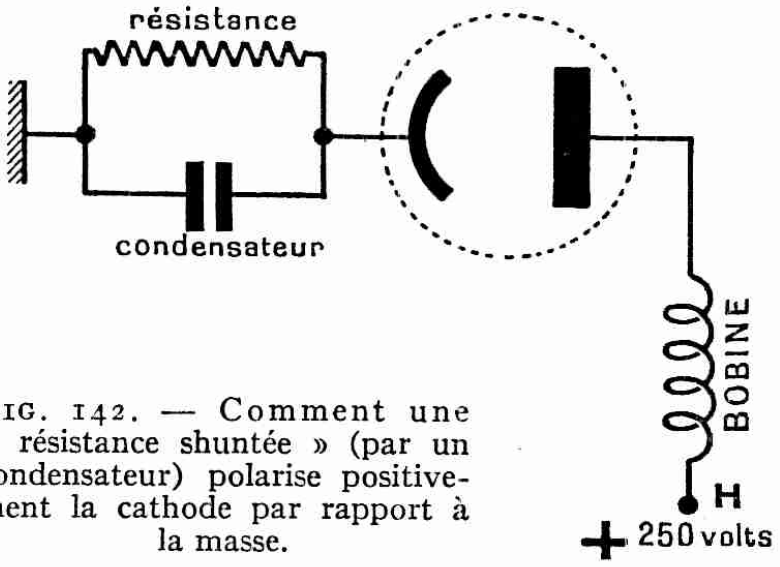


FIG. 142. — Comment une « résistance shuntée » (par un condensateur) polarise positivement la cathode par rapport à la masse.

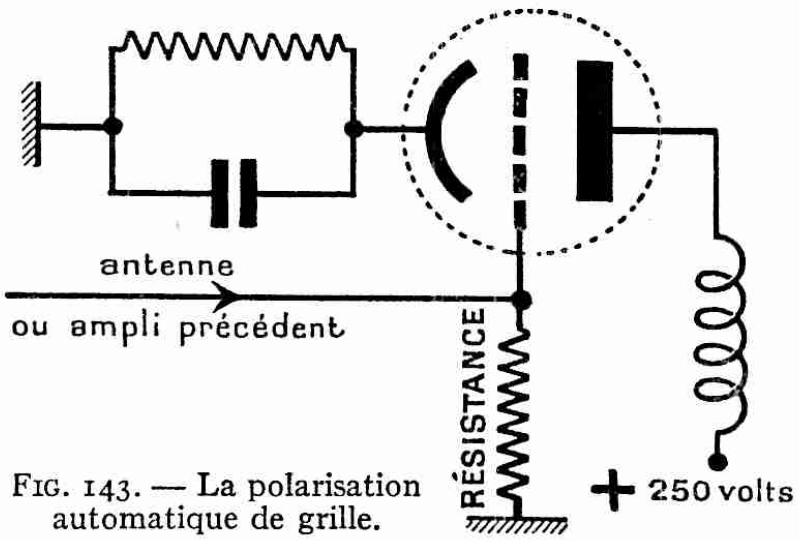


FIG. 143. — La polarisation automatique de grille.

α) *En haute-tension* (amplis HF) :

tension entre masse et cathode : + 3 volts,
tension entre cathode et masse : — 3 volts;

β) En basse-tension (amplis BF) :

tension entre masse et cathode : + 20 volts,
tension entre cathode et masse : — 20 volts.

---

(1) Pour fixer les idées, partons des données suivantes :
fréquence : 1000 kc résistance : 500 ohms.
Si le condensateur (électrolytique, § **8**, fin, note) a une capacité de 1 μF, ce qui correspond (*fig.* 43) à l'introduction de 0 ohm 2, la composante alternative passera 2 500 fois plus facilement dans le condensateur que dans la résistance.

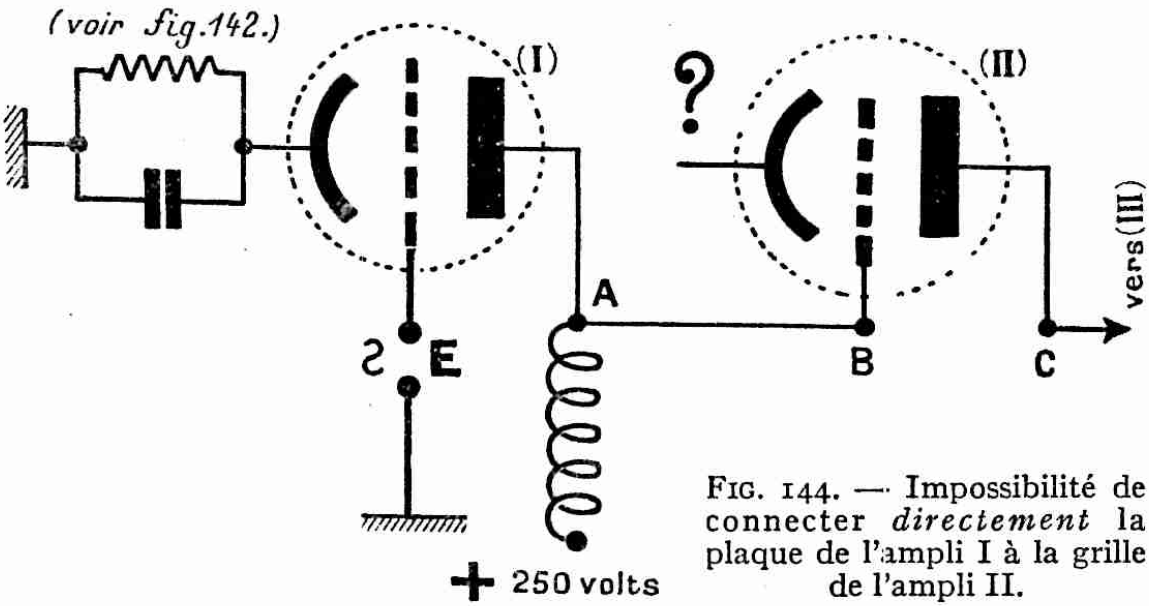


FIG. 144. — Impossibilité de connecter *directement* la plaque de l'ampli I à la grille de l'ampli II.

Nos explications sont terminées, car nous comprenons immédiatement le cas *réel* de la figure 143. *C'est la grille qui est à la masse* (1), ce qui donne :

tensions entre cathode et grille : soit — 3 volts, soit — 20 volts.

Ce dispositif, très simple et universellement adopté, réalise donc automatiquement (2) la polarisation négative de la grille, soit précisément ce que nous désirions avoir (*fig.* 89) pour que l'amplification se produise dans les meilleures conditions.

2° *Remarque sur les polarisations-plaque.* Qu'il s'agisse des amplis HF ou des amplis BF, la plaque du premier étage d'amplification (pour abréger, la plaque de l' « ampli I ») est polarisée par la « haute-tension » (250 volts, dans l'exemple ci-dessus).

Que va-t-il se passer au deuxième étage (à l' « ampli II ») ?

Notre figure 144 (à gauche) reproduit la figure 143 (3). L'idée la plus naturelle consisterait à relier directement la plaque I à

(1) La RÉSISTANCE (*fig.* 143) a déjà été rencontrée à la figure 127 ; ici, elle permet d'appliquer à la grille la tension alternative, qui provient de l'antenne (ou de l'ampli précédent) : tension purement alternative, puisque la composante continue est éliminée par un condensateur (non représenté).

(2) Par « prélèvement » sur la haute-tension (ici : + 250 volts).

(3) Une simple variante dans le dessin : en **E** (entrée de l' « ampli I »), nous avons représenté, suivant nos conventions, la tension alternative appliquée (disons : de haute fréquence). On voit que, *en moyenne*, la tension-grille est bien *nulle*.

la grille II par un gros fil AB (sans résistance). Mais il ne faut pas croire que :

La façon la plus simple est toujours la meilleure,

comme eût dit La Fontaine, qui ajoutait :

Nous l'allons montrer tout à l'heure.

On sait, en effet, que, dans l'ampli I et par rapport à la masse, les tensions se répartissent comme suit (en haute fréquence, par exemple) :

cathode I : + 3 volts grille I : 0 volt
plaque I : + 250 volts.

Comme le fonctionnement de l'ampli II exige que les précédentes *différences* soient conservées, il faudrait qu'on y ait :

cathode II : + 247 volts grille II : + 250 volts
plaque II : + 500 volts;

et ensuite :

cathode III : + 497 volts grille III : + 500 volts
plaque III : + 750 volts, etc.

d'où une véritable « débauche » d'accumulations et de raréfactions d'électrons, autrement dit de hautes-tensions variées (et de plus en plus dangereuses), ce qui aurait pour premier effet de compliquer singulièrement l'alimentation des figures 138 ou 139...

En conséquence, il est, sinon impossible, du moins impraticable de se passer d'*organes de liaison*. Nous allons leur demander (§ **64**) de nous débarrasser de ces tensions *continues*, qui croîtraient et se multiplieraient comme à plaisir. Par bonheur, notre magasin de connaissances contient deux méthodes, entre lesquelles nous pourrons congrûment choisir, pour barrer la route à ce « continu » envahissant. Ce sont, d'une part, les bobines d'accouplement (ou transformateurs sans fer) et les transformateurs usuels (ou bobines d'accouplement à âme de fer), dont on sait (§ **11**) qu'ils ne fonctionnent qu'en alternatif. Et ce sont, d'autre part, les condensateurs, dont nous avons dit et redit le caractère essentiel (§ **16** et *fig.* 43) de ne pas se laisser traverser par les courants de fréquence nulle (qui sont précisément les courants continus).

64. *Organes de liaison.* — Les « liaisons » **L** diffèrent notablement, selon que l'on travaille sur :

la haute fréquence, c'est-à-dire la gauche de la figure 138 (jusqu'à la détectrice) ;
la basse fréquence (1), c'est-à-dire la droite de la figure 138 ou 139 (à partir de la détectrice).

Ce qui oppose essentiellement ces deux cas extrêmes, c'est que la haute fréquence (2) exige une résonance très aiguë (*fig.* 29 et 30), donc une très grande sélectivité (3).

Il ne nous reste rien à apprendre sur les liaisons HF (et MF), car l'essentiel a été décrit implicitement sur la figure 127 : sa partie S.-O. comporte, en effet, deux bobines accouplées (par induction), la deuxième bobine s'intégrant à un circuit oscillant C. O. accordé sur la haute fréquence (d'après les données de la figure 32). Nous n'en avons pas moins reproduit (*fig.* 145) ce montage — souvent dénommé : « transformateur (sans fer) à secondaire accordé » —, et nous y avons spécifié d'où venaient les « entrées » et où allaient les « sorties », en supposant (comme c'est souvent le cas) que la chaîne d'amplification comporte trois étages (4).

C'est ainsi que se réalisent communément les liaisons **L,** qui (*fig.* 138 et 139) ont été indiquées à gauche de la détectrice (5).

Deux solutions s'offrent à nous pour les **L** à droite de ces mêmes figures. Maintenant, il faut accueillir une large bande (entre 50 c et 10 kc) de basses fréquences (fréquences musicales),

---

(1) Ou fréquence musicale (fréquences inférieures à 10 kc).

(2) Et la moyenne fréquence. L'une et l'autre, en dépit de l' « étalement » (sur 4 kilocycles et demi en plus ou en moins) que provoque la modulation (§ **51**, fin).

Bien entendu, on *s'accorde* sur la fréquence moyenne (fréquence « porteuse ») de l'émetteur choisi, telle qu'elle était (en direct [*fig.* 138]) ou telle qu'elle devient (dans l'hétérodyne [*fig.* 139]).

A noter (pour le lecteur soucieux de purisme) que la radioélectricité est chose trop compliquée pour s'en tenir aux slogans puérils, tels que « chou vert ou vert chou », « bonnet blanc ou blanc bonnet », etc. :

Fréquence moyenne est le milieu d'une bande de fréquences, qui, à partir de 1 000 kc (par exemple), s'étale (après modulation) entre 995 kc et 1 005 kc;

Moyenne fréquence est ce qu'est devenue la fréquence moyenne d'une très haute fréquence, à l'endroit précis où on lit les lettres MF sur la figure 139.

(3) Ainsi que nous l'avons dit (§ **59**, fin), le problème de la sélectivité en BF ne sera abordé que dans la conclusion (§ **71**).

(4) Une seconde de réflexion résoudrait les cas de deux, quatre, cinq... étages.

(5) Ces liaisons HF (et MF) doivent être obligatoirement *blindées*, c'est-à-dire enfermées dans une enveloppe métallique, pour éviter les couplages avec d'autres éléments du poste.

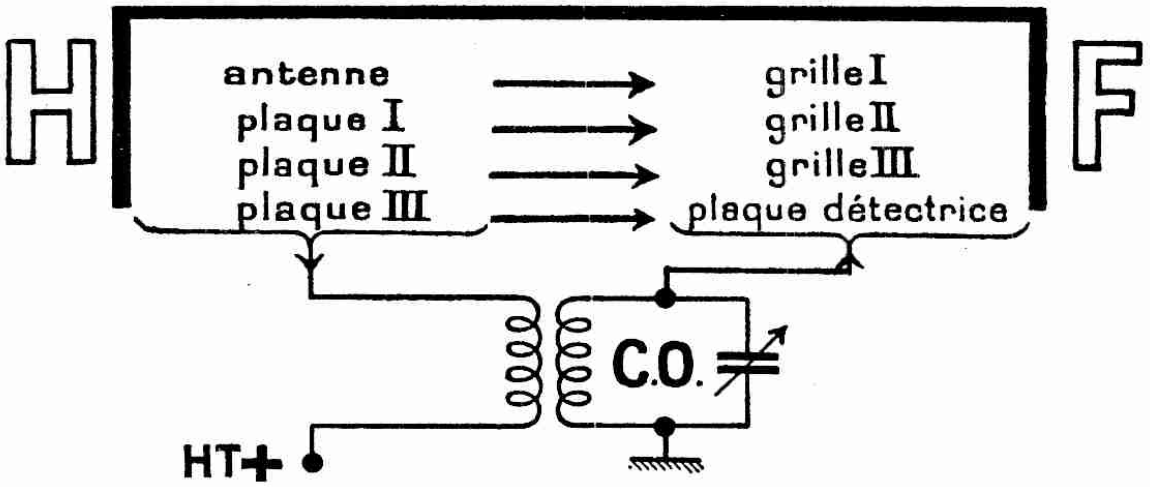


FIG. 145. — Le transformateur (sans fer) à secondaire accordé (liaisons en haute fréquence).

Pour la moyenne fréquence, on utilise (*fig.* 156 et 157) un transformateur à primaire et secondaire accordés.

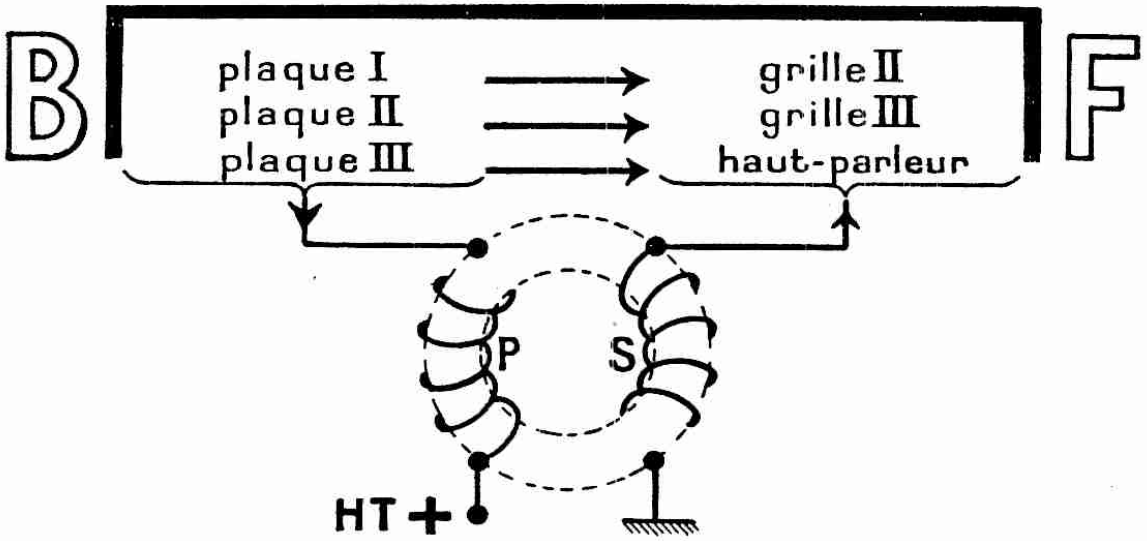


FIG. 146. — Première variante de la liaison en basse fréquence.

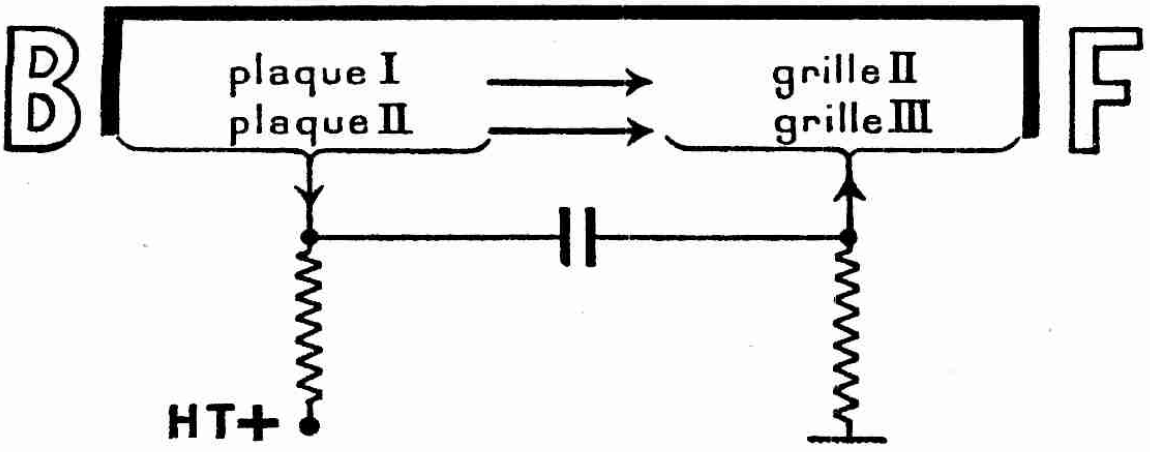


FIG. 147. — Deuxième variante de la liaison en basse fréquence.

autant que possible sans affaiblissement ni renforcement d'aucune d'elles.

Lorsque nous avons fait connaissance avec le transformateur (§ **11,** fin), il n'a pas été question de sélectivité (ou de résonance aiguë) et ceci à juste titre, car le transformateur (*fig.* 26) est — dans le monde de l'électrotechnique (1) — le type du bon vivant, d'humeur égale et qui s'accommode de tout. A cela près qu'il ne veut «rien savoir », lorsqu'on lui offre, comme pâture, du courant continu, et — par miracle! — c'est précisément ce que nous désirions qu'il fît (§ **63,** fin).

La figure 146 schématise (sans indiquer les blindages) un type usuel de liaison en basse fréquence (avec, comme ci-dessus, les « entrées » et « sorties » éventuelles) ; cette liaison donne toute satisfaction, abstraction faite de ce qu'un bon transformateur BF est un appareil coûteux.

Pour remédier à cette « plaie d'argent » (qui n'est pas mortelle...), mais non sans mettre une sourdine aux exigences de musicalité, il est possible (dans les deux premiers cas de la figure 146) de mettre à profit (*fig.* 147) la propriété des condensateurs, que nous avons rappelée à la fin du paragraphe **63.** La résistance de gauche (par exemple : 100 000 Ω) produit la polarisation de plaque, de telle sorte que celle-ci soit portée à une haute-tension positive, qui sera une fraction importante de HT (*fig.* 147). Quant à la résistance de droite (1 MΩ), elle ne peut être traversée que par le courant *alternatif* sortant du condensateur (1 μF) ; elle a pour effet d'appliquer à la grille la tension alternative que l'on désire amplifier à nouveau, tout en maintenant ladite grille à une tension moyenne *nulle* (comme il se doit [*fig.* 143]).

Avec les valeurs précédentes (qui ne sont d'ailleurs que des ordres de grandeurs), chaque étage peut atteindre un coefficient d'amplification égal à 75, soit

$$75 \times 75 \times 75 = 421\,875$$

pour trois étages! Encore que cette valeur ne s'applique qu'à

---

(1) Et dans le domaine des fréquences qui nous intéressent. Il convient de noter, entre parenthèses, que le fer doux (feuilleté) ne s'emploie jamais qu'en BF. Jusqu'en ces derniers temps, on n'utilisait, en HF et en MF, que des bobines d'accouplement (ou transformateurs à âme d'air); mais on tend de plus en plus à améliorer leur rendement, en les munissant du noyau de fer pulvérulent, à grains isolés enrobés dans une matière plastique.

une tension initiale *très faible,* elle laisse une marge suffisante pour que tous les espoirs soient permis...

65. *Accord sur la station d'émission.* — Le premier circuit oscillant d'un poste récepteur (1) doit avoir une fréquence propre (§ **14**) identique à celle des ondes porteuses de la station qu'on désire capter : les figures 29 et 30 — souvent évoquées — indiquent l'acuité de la résonance et l'avantage qu'on trouve à réaliser l'accord aussi exactement que possible.

C'est maintenant que le tableau de la figure 32 va se rappeler — une fois encore — à notre bon souvenir. Les cinquième, sixième, septième et huitième lignes se situent au centre de nos préoccupations, ainsi que les sept premières colonnes : elles couvrent toutes les fréquences comprises entre 100 kc (grandes ondes) et 30 Mc (ondes courtes), suivant l'abaque des figures 52-54.

Dans tous les récepteurs modernes (*fig.* 138 et 139), le réglage sur l'émetteur s'effectue en deux étapes, en agissant successivement sur deux boutons :

1° Le contacteur, destiné au « changement d'onde » (selon la catégorie — ondes courtes, petites ondes, grandes ondes [2] — de l'émission choisie), peut prendre quatre positions, dénommées : « ampli pick-up » (3), « ondes courtes », « petites ondes », « grandes ondes »;

2° Le second bouton est, au contraire, susceptible d'une rotation continue : il comporte — pour rendre la manœuvre à la portée de toutes les intelligences comme de toutes les nonchalances — les noms des principaux émetteurs.

---

(1) Celui qui, dans les postes en direct (*fig.* 138), attaque la grille du premier ampli HF (et celui qui, dans les montages de superhétérodynes des figures 156 et 157, est désigné par C.O.1).

(2) Il faut faire bien attention que — par suite d'une dénomination défectueuse — un *fossé* s'est creusé entre grandes ondes-petites ondes, d'une part (§ **27, I**), et ondes courtes, d'autre part (§ **27, II**). Rappelons les ordres de grandeur:

GRANDES ONDES	supérieures à 1 km	inférieures à 300 kc
PETITES ONDES	entre 750 m et 200 m	entre 400 kc et 1 500 kc
ONDES COURTES	entre 75 m et 10 m	entre 4 Mc et 30 Mc
ONDES ULTRACOURTES	entre 1 m et 1 cm	entre 300 Mc et 30 Gc

(3) Voir §§ **44** (note) et **70, III** (note).

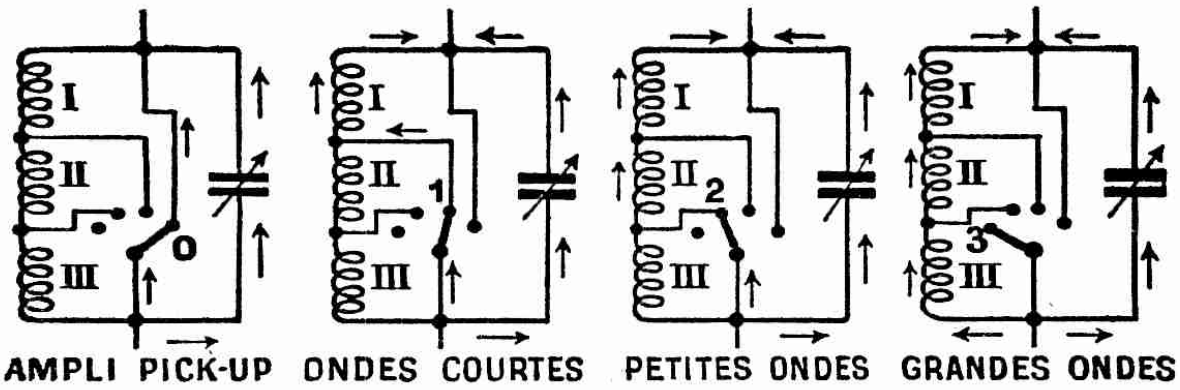


FIG. 148-151. — Le contacteur pour changement d'onde.

Le contacteur procède donc à un premier classement; le bouton de commande parfait le réglage.

Les figures 148-151 en indiquent les principes.

Chacune d'elles représente (à gauche) *le même* condensateur variable, qui réalise l'étape 2°, mentionnée ci-dessus (1).

La droite de ces mêmes figures schématise trois bobines I, II, III (qui sont, en fait, d'inductances différentes) disposées en série (2).

α) Pour l'audition de disques (§ **44,** note, fin), bobines et condensateurs sont en court-circuit : le circuit oscillant est supprimé (*fig.* 148, position **0**).

β) Pour les *ondes courtes* (*fig.* 149, position **1**), lesquelles exigent (*fig.* 32) une faible inductance (toutes choses égales d'ailleurs), il n'y a (comme les petites flèches l'indiquent) que la bobine I et le condensateur dans le circuit oscillant.

γ) Pour les *petites ondes* (*fig.* 150, position **2**), le circuit oscillant est formé du condensateur et des bobines I et II.

δ) Enfin, pour les *grandes ondes,* la self-inductance doit être grande (*fig.* 32). Comme les petites flèches de la

(1) Nous verrons (§ **68**), à propos du superhétérodyne, comment le même bouton assure la *commande unique* (donc simultanée) des deux condensateurs variables (portés sur le même axe) des circuits oscillants C.O.1 et C.O.2 des figures 156 et 157.

(2) Cette « trisection » des bobines s'effectue non seulement sur le circuit C.O.1 (qui existe seul en réception directe), non seulement sur le circuit C.O.2 (*fig.* 156 et 157), mais encore sur la bobine d'antenne (*fig.* 138 et 139), commune au « direct » et au superhétérodyne. Bien entendu, le même bouton actionne les deux (*fig.* 138) ou les trois (*fig.* 139) contacteurs.

figure 151 (position **3**) le rappellent, le circuit oscillant se compose (en plus du condensateur) des bobines I, II et III.

C'est ici qu'il convient de placer quelques mots — pas plus — sur les collecteurs d'onde (antenne et cadre).

La réception sur cadre (rappelée schématiquement par la figure 59) a connu quelque regain de faveur — lors de l'occupation (1940-1944) — à cause de ses propriétés directrices (1) : il était alors utile d'atténuer les brouillages opérés par les émetteurs sous contrôle nazi... Depuis, le cadre a pratiquement disparu des postes du commerce, car c'est une inutile complication, indépendamment du fait que les deux côtés verticaux fonctionnent comme deux antennes, où les oscillations électroniques se produisent *en sens inverse* (ce qui a manifestement pour effet de réduire considérablement la puissance reçue).

La question de l'*antenne réceptrice* n'a aucun rapport avec celle de l'antenne émettrice (§§ **24-26**), où une grande valeur de la puissance émise importait par-dessus tout. Il est certes exact qu'une antenne *accordée* (2) capte une puissance plus importante, mais les superhétérodynes actuels se contentent d'une antenne quelconque (non accordée) : ce sera, par exemple, un fil isolé à l'intérieur d'un appartement (3).

La seule difficulté qui se présente, c'est le cas où l'immeuble habité est construit en béton armé (dont les masses de fer absorbent à peu près complètement les rayonnements électromagnétiques). Il est préférable (4), dans ces conditions, de fixer une antenne (1 m 50) au-dessus des toits et de la relier au poste par un fil entouré d'une gaine métallique [§ **64**] (« descente blindée »), ce qui permet d'éliminer la plupart des parasites (§§ **27** et **28**).

66. *La structure d'un superhétérodyne.* — Comme

(1) Mises à profit dans d'autres circonstances (§ **96**).

(2) Cet accord serait impraticable par variation de la longueur d'antenne. On l'obtient aisément, au contraire, avec un condensateur variable (*fig.* 66) en série avec une bobine d'antenne. Mais alors, il est bon de parfaire le réglage, en utilisant un montage auxiliaire qui rappelle le poste à galène (*fig.* 136).

(3) Étant donné que ce fil est toujours trop court pour l'accord, le fait de le toucher du doigt accroît la longueur de l'antenne, et l'on constate un renforcement de l'audition.

(4) Bien entendu cette disposition présenterait des avantages en toutes circonstances.

promis, nous en avons fini avec le principe et les pièces maîtresses du poste à réception directe (*fig.* 138). Il est temps de s'occuper de la figure 139, qui, au premier coup d'œil, apparaît comme une complication de la précédente : il faut donc avoir présents à l'esprit les développements que contiennent les paragraphes **60-65** et qui restent valables, sauf spécification du contraire.

Débarrassons-nous d'abord de la question (insignifiante) de vocabulaire. Un des organes (*fig.* 139) porte le nom HÉTÉRODYNE, et le poste lui-même est, par abréviation (p. 227), appelé « superhétérodyne ».

> Etymologiquement, le mot *hétérodyne* (qui fit son apparition aux alentours de 1920) signifie « autre puissance », pour rappeler qu'en plus de la puissance électromagnétique HF (qui parvient de l'émetteur), le récepteur produit *localement* une autre puissance électromagnétique, à nouveau HF, mais de fréquence légèrement différente. Il s'ensuit que la partie (*fig.* 139) baptisée HÉTÉRODYNE est, en tous points, comparable (1) à l'OSCILLATRICE de la figure 93 (ou de la figure 116). Quant au mot *superhétérodyne*, il a été forgé par application inconsciente d'une « figure de rhétorique » (dont le nom importe peu), qui consiste à désigner le tout du nom d'une de ses parties. Cette partie, c'est l'ensemble des deux organes : HÉTÉRODYNE et CHANGEUSE DE FRÉQUENCE (*fig.* 139) ; et, de cet ensemble, il sort une *troisième* fréquence, qui est calculée pour être, une fois de plus, une haute fréquence (2).

Ces chinoiseries étymologiques et linguistiques (qui n'ont que trop retenu notre attention) n'ont pas fait avancer le problème d'un pas. Il reste à comprendre la raison principale pour laquelle

---

(1) L'étude sommaire (§§ **36-40** et **48-52**) des stations d'émission nous procure, par surcroît, l'agréable surprise de voir notre nouvelle besogne plus qu'à moitié accomplie...

(2) Dans les débuts, en radiotélégraphie, on parlait d'hétérodyne quand la fréquence résultante (cette troisième fréquence) était une basse fréquence (fréquence musicale) ; puis on a (sans vergogne !) ajouté le préfixe latin « super » à un mot grec (les Anglo-saxons — toujours pressés — disent *superhet*), lorsqu'il a été jugé nécessaire de placer la fréquence résultante dans les HF.

N'allons pas croire qu'il y ait quelque espoir de reprendre l'idée simple et naturelle, consistant à faire sortir une fréquence musicale de la changeuse de fréquence (*fig.* 139) ! Il suffit de se rappeler (chap. V) que, seules, les hautes fréquences sont susceptibles d'incorporer des sons...

les deux organes supplémentaires ont « fait fortune », puisqu'ils forment partie intégrante de tout récepteur ayant quelque prétention à la sensibilité, à la sélectivité et à la fidélité.

Reportons-nous, pour cela, à la figure 145, ainsi qu'à la remarque qui l'accompagnait : cette remarque concernait la nécessité d'avoir un C. O. accordé, dans chaque liaison entre étages d'amplification successifs; pour peu que le poste soit sensible et qu'il comprenne cinq étages HF, ce serait cinq condensateurs à régler, toutes les fois que l'on passerait d'une émission à une autre. Bref, on aboutirait à une quasi-impossibilité pratique.

En définitive, il est beaucoup plus commode d'attaquer le premier étage d'amplification par une fréquence fixe, dite moyenne fréquence, qui restera invariable quel que soit l'émetteur à accrocher. C'est pour cela que la figure 139 porte la mention AMPLI MF à l'endroit où la figure 138 indiquait AMPLI HF. Les cinq condensateurs (dans notre exemple) auront des capacités déterminées une fois pour toutes : ce pourrait être (et ce sera effectivement) des condensateurs fixes.

Il y a un certain parallélisme à noter entre les deux techniques suivantes :

A l'émission, on choisit une haute fréquence *invariable* (§ **40**), qui sera modulée par *toutes* les fréquences musicales à transmettre;

Dans la réception moderne, on choisit une moyenne fréquence *invariable,* que l'on amplifie de la même manière pour *toutes* les émissions à capter.

Nous donnerons tout à l'heure (§ **68**) quelques renseignements sur les deux organes caractéristiques du superhétérodyne. Il nous suffira, pour l'instant, de montrer graphiquement ce qui résulte de la présence simultanée (dans un circuit) de deux sortes d'oscillations électroniques de fréquences peu différentes.

On supposera qu'on veuille capter Radio-Bordeaux (1 205 kc [*fig.* 69]); la période est donc $\frac{1}{1\,205\,000}$ s (*fig.* 152). L'hétérodyne n'aura qu'à produire des oscillations électroniques d'une fréquence de 1 105 kc, pour que, par superposition (1), la fréquence résultante

(1) Le graphique en trait **gras** (*fig.* 152) s'obtient par addition algébrique des valeurs correspondantes des deux autres.

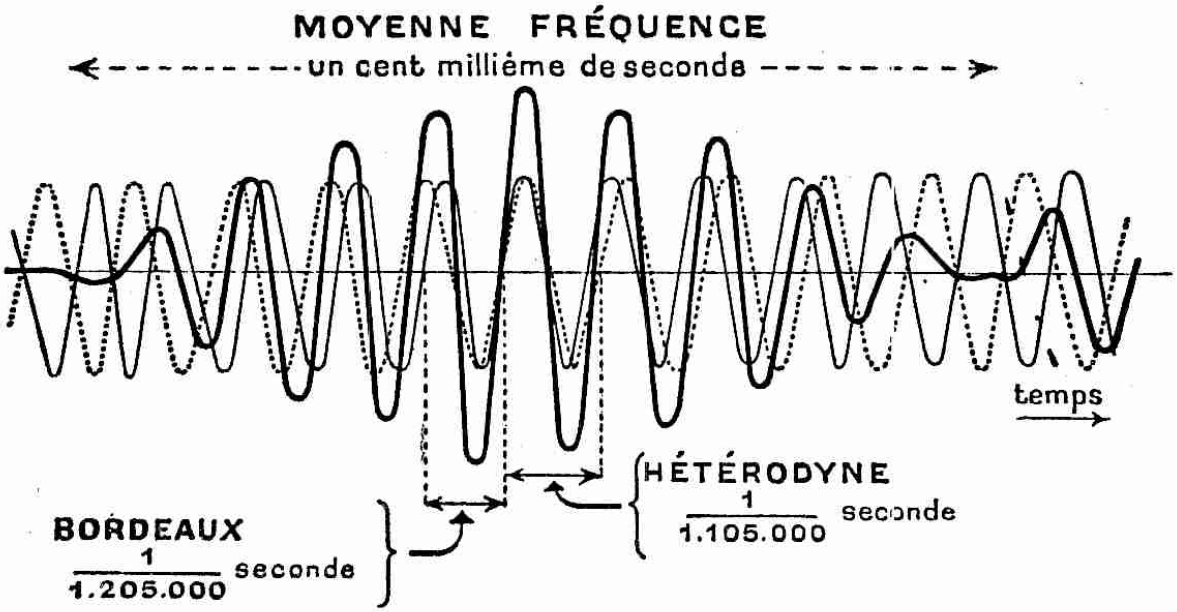


FIG. 152. — En superposant à Radio-Bordeaux (1 205 kc) la fréquence locale de 1 105 kc, il apparaît une fréquence de 100 kc, qui est la « moyenne fréquence » à amplifier. (L'hétérodyne aurait pu également engendrer des oscillations électroniques de 1 305 kc, au lieu de 1 105.)

soit 100 kc [1]. (C'est le phénomène des « battements », bien connu en acoustique [§ **28**].)

Avant de poursuivre notre exposé, il nous faut ouvrir une parenthèse à propos de tubes électroniques (plus complexes que la triode) dont nous allons avoir besoin, et qui — en raison de leur complication même — n'auraient guère pu trouver place dans le chapitre IV.

67. *Les tubes électroniques à plusieurs grilles et plaques.* — Tout en laissant pressentir (*fig.* 76-77) la compli-

(1) Si, un peu plus tard, on s'intéressait à Radio-Lyon (602 kc [*fig.* 69]), on ferait produire par l'hétérodyne une fréquence de 502 kc (ou — tout aussi bien — de 702 kc). Dans les deux cas et à nouveau, la moyenne fréquence (fréquence résultante) serait toujours 100 kc, et tout le reste du poste accueillerait maintenant Lyon avec la même fidélité qu'il l'avait fait pour Bordeaux antérieurement.

La moyenne fréquence de 100 kc a été uniquement prise pour fixer les idées par un graphique facile à dessiner (*fig.* 152). Dans bien des cas, on prend 465 kc, ce qui donnerait pour la deuxième fréquence composante (produite localement) :

avec Radio-Bordeaux : 1 205 — 465 = 740 kc;
avec Radio-Lyon : 602 — 465 = 137 kc.

D'après ce qui vient d'être dit dans le texte, on choisirait :

avec Allouis (*fig.* 69) : 164 + 465 = 629 kc.

Bien entendu, tout cela se fait automatiquement, par commande unique (*fig.* 157).

DÉSIGNATION	NOMBRE DES		
	CATHODES	GRILLES	PLAQUES
Diode (*fig.* 81, § **31**)	1	0	1
Triode (*fig.* 87, § **33**)	1	1	1
Valve biplaque (*fig.* 94, § **38**)	1	0	2
Diode-triode (*fig.* 128, § **56**)	1	1	2
Téthrode (§§ **66** et **67**)	1	2	1
Penthode (*fig.* 155, § **66**)	1	3	1
Octhode (*fig.* 156, § **66**)	1	5	2

FIG. 153. — Un tout petit nombre de tubes électroniques.

cation d'un grand nombre de tubes modernes, notre première incursion (chap. IV) dans les « intervalles de vide » ne nous avait fourni que des notions très sommaires, qui, d'ailleurs, se sont complétées çà et là, en méprisant cette solution de facilité, qui consisterait (comme on le fait si souvent) à recopier, sans justification, des recettes. Bien au contraire, nous avons choisi, chemin faisant, des problèmes fondamentaux qui se posaient *effectivement;* et les nouveaux tubes ont surgi comme possibilités offertes par la science au technicien pour combler ses vœux. C'est ainsi que nous avons successivement introduit :

la diode (à propos du redressement),
la triode (à propos de l'amplification),
la valve biplaque (à propos de l'alimentation),
la diode-triode (à propos de la détection).

Le tableau de la figure 153 nous remémore le « passé », en *nous* guidant vers l'« avenir » : il est délibérément *très incomplet* (1), car rien n'est plus opposé à nos intentions que de reproduire des pages et des pages de catalogues de constructeurs, ou des ribambelles de « schémas » en pagaille. Dans quelques centaines de pages, on ne pourrait tout dire qu'en faisant bon marché des explications (et les explications sont, pour nous, *l'essentiel*) : il s'ensuit que les questions très embrouillées (de par la nature des choses) vont être, soit passées sous silence,

(1) Ce serait un stigmate de dégénérescence infantile que d'examiner à la queue leu leu tous les tubes, suivant l'ordre du nombre croissant des électrodes.

soit traitées d'une façon très générale (1), quand leur importance pratique nous interdira de les omettre totalement.

Conformément à ce déblayage, il convient de passer rapidement en revue les buts visés par la penthode (2) et par l'octhode (2), en terminant par quelques mots sur le « tube à pente variable », qui est, en général, au minimum une téthrode (2).

1° *L'amplification par penthode.* Nous avons « vécu » jusqu'à présent sur l'amplification par triode (*fig.* 89), laquelle amplification met à profit le « coefficient d'amplification » (§ **33, I**) de ce tube électronique. Depuis lors (et pour sérier les difficultés), on s'en est tenu aux grandes lignes du fonctionnement (3) : parmi les trois grandeurs électriques que nous traînons avec nous (depuis la fin du chapitre II), il ne fut question que de la « résistance interne » (§ **33, II**). Or, si l'inductance (réellement infime) d'un tube n'occasionne pas d'ennuis, il n'en est pas de même pour la capacité.

C'est maintenant qu'il faut se souvenir qu'une triode véritable n'est aucunement constituée à la manière de sa représentation conventionnelle (*fig.* 87, par exemple). En particulier, la grille (4) a réellement la forme d'un ressort à boudin, enfilé (sans contact) à l'intérieur d'un cylindre métallique creux, qui est la plaque. Or, nous savons, depuis le début (*fig.* 8), que deux surfaces

---

(1) En d'autres termes, les explications (pour la fin du présent chapitre) vont aller en s'amenuisant. C'est que, d'une part, on peut légitimement tenir pour invraisemblable que le lecteur — parvenu sans encombres à cet endroit précis — n'ait pas acquis un certain entraînement. Et, d'autre part, il serait de mauvaise politique que d'insister aussi « pesamment » sur des « pointes d'épingle » que sur des faits primordiaux, qui interviennent en toutes circonstances.

(2) La désignation orthographique des tubes électroniques complexes a fait, chez nous, l'objet de discussions... byzantines. Tant que la France n'aura pas adopté la simplification radicale (et peut-être futile) des Italiens et des Espagnols qui écriraient : « farmaci », « téatre », « ortografe », « artritisme », « catolike » ou « dicimétri »), le plus sage est de continuer à s'inspirer le plus possible du grec, en conservant : dyssymétrie, cathode, téthrode, penthode et octhode (dont les deux premiers, tout au moins, figurent explicitement dans les dictionnaires Larousse).

(3) Ne pas prétendre, à ce propos (ainsi qu'on le fait trop souvent), que l'on aurait esquissé une « théorie », qui se révélerait plus ou moins « démentie » par la « pratique ». Dans une étude aussi poussée que l'est aujourd'hui celle des tubes électroniques, il est normal qu'une théorie « simplifiée » (ou « approchée ») n'interprète pas la totalité des observations : il y a des cas où une théorie approfondie (faisant intervenir d'*autres* facteurs, initialement négligés *exprès*) est indispensable à la mise en œuvre d'une « pratique » satisfaisante.

(4) Nous l'appellerons plus loin : « grille de commande » ou « grille principale » GP.

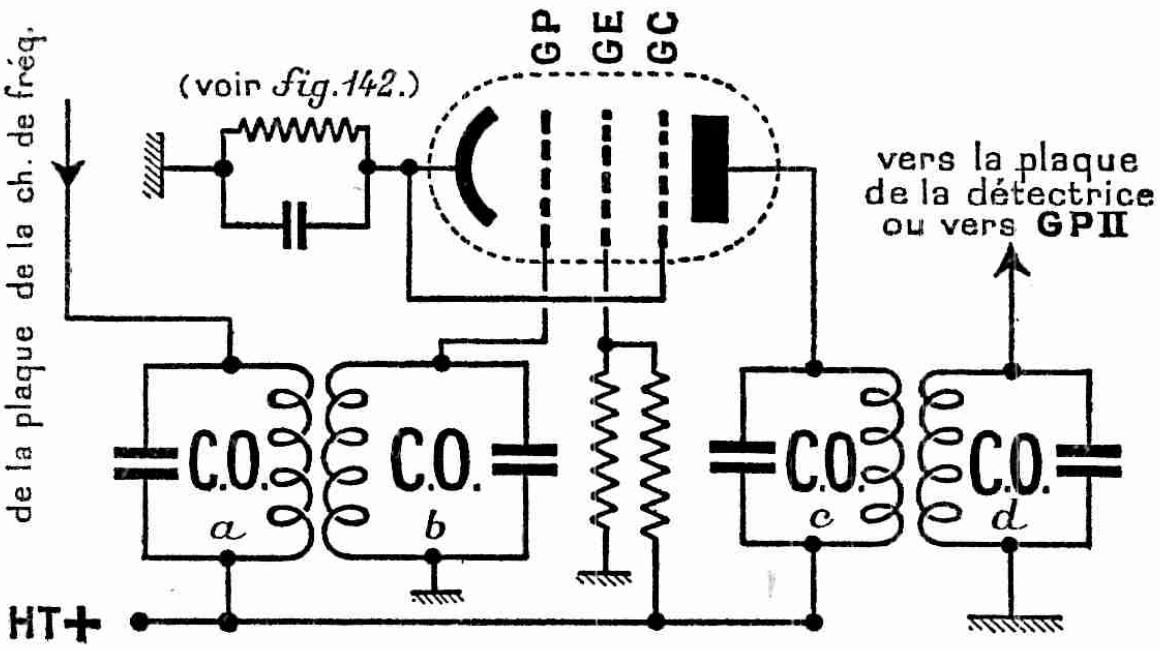


FIG. 154. — Ampli MF par penthode.

métalliques en regard (1) ne sont autres qu'un condensateur. Par conséquent, une triode — du fait même de sa structure — n'introduit pas seulement (dans un circuit) une résistance, mais aussi une capacité propre, dont, parfois, les effets sont loin d'être négligeables : c'est ainsi que la triode produit des oscillations électroniques parasites (2), ce qu'on nomme « l'effet de réaction » (§ **70, II,** β).

Ces défectuosités sont d'ailleurs de l'histoire ancienne, puisque, en 1925, deux physiciens (l'un allemand : Walter Schottky; l'autre américain : Albert W. Hull) y portèrent simultanément remède par l'adjonction de deux grilles supplémentaires, qui « blindaient » la grille principale (3). On s'en fera une idée en ajoutant (par la pensée), sur la figure 89, deux pointillés de plus (l'un entre la cathode et la grille, l'autre entre la grille et la plaque), en les portant à deux tensions positives convenables.

Notre figure 154 représente un ampli MF par penthode. On y remarque avant tout deux groupes de circuits oscillants

(1) Même quand elles sont incurvées, même quand elles présentent (comme ici la grille) des évidements.

(2) Assumant une fonction oscillatrice (*fig.* 91), qu'on ne lui demandait pas...

(3) Ce perfectionnement (on s'en aperçut plus tard) était, à d'autres égards, un empirement : il avait le défaut de déformer la caractéristique (*fig.* 90 et 120 du tube. Ceci pour expliquer que la penthode de l'ampli actuel (*fig.* 154) ne réalise pas exactement la conception originelle de Schottky et de Hull.

couplés (1) : tous ces C.O. sont en résonance (*fig.* 32) avec la fréquence sur laquelle on travaille. Le premier groupe (*a* et *b*) a pour effet de porter la grille de commande (grille accélératrice ou grille principale GP) à une tension moyenne *nulle*, puisque C. O. *b* est à la masse; le deuxième groupe (*c* et *d*) agit de la même façon à l'égard de GP II (la grille de commande du second étage d'amplification, qui fait suite à l'étage dessiné sur la figure 154). Le grille-écran GE (2) remplit la fonction de « blindage », dont il a été question au précédent alinéa; elle est maintenue à une tension constante, grâce à l'utilisation de *ses* deux résistances (ces deux résistances sont parcourues sensiblement par le même courant, et la tension est d'autant plus grande qu'il y a moins d'ohms à gauche et plus à droite) [3].

2° Les *tubes à pente variable* constituent un autre perfectionnement, qui a provoqué, depuis 1930, tant de recherches théoriques et expérimentales que nous pourrions (avec les simples connaissances que nous possédons) lui consacrer une vingtaine de pages. Mais, dans le plan général de cet exposé, ces tubes n'ont droit qu'à quelques lignes, destinées à en révéler le principe et à suggérer les multiples facteurs qui seront mis à profit.

Il nous faut, comme d'habitude, « pêcher » dans l'acquis. C'est la caractéristique qui réoccupe la vedette, non pas son extrémité gauche (*fig.* 130) — réservée à la détection —, mais sa partie moyenne (*fig.* 88), qui, sans précautions spéciales, est rectiligne (4). Nous avions (§ **33, III**) défini la « pente » de

---

(1) Les bobines de *a* et *b* (ou de *c* et *d*) forment ce que l'on appelle également « un transformateur à primaire et secondaire accordés », ce qui n'est qu'une variante du transformateur à primaire accordé de la figure 145.

(2) Quant à la grille GC (ou grille-cathode, ou grille-frein, ou grille d'arrêt, ou — en anglais — suppressor), qui est à la même tension (+ 3 volts en HF, § **63**, 1°) que la cathode (puisqu'elle lui est métalliquement reliée), son but est d'empêcher les « électrons secondaires » de refluer vers la gauche (dans la partie intéressante de la penthode, entre GC et la cathode). Disons simplement que l'on entend par là les électrons qui pourraient être émis par la plaque, aux instants où celle-ci serait à une tension inférieure à celle de GE.

On voit qu'au niveau où nous nous maintenons opiniâtrement, la complication deviendrait inextricable si le lecteur souffrait d'un besoin exagéré de certitude (§ **1**) et si, pour le satisfaire, l'auteur avait l'obsession de *tout* expliquer (§ **4**) sans rien laisser dans l'ombre.

(3) On retrouve ici le principe du potentiomètre (*fig.* 127), avec cette différence que les résistances de gauche et de droite sont fixées une fois pour toutes par le constructeur.

(4) Nous continuons à raisonner sur la triode, bien que les tubes à pente variable soient, le plus souvent, des penthodes.

cette caractéristique et donné, comme exemple, le cas où cette pente vaut 2 millièmes *tout le long* de cette caractéristique (autrement dit : quel que soit le point de fonctionnement, quelle que soit la polarisation — négative — de la grille).

Le but atteint est celui-ci :

α) En chaque point, la caractéristique reste suffisamment rectiligne (dans la zone d'utilisation) pour que l'amplification s'effectue correctement (sans occasionner de distorsion), comme dans la figure 90;

β) Mais, quand on passera d'un point à un autre suffisamment éloigné, la ligne droite d'utilisation sera plus ou moins inclinée, d'où un coefficient d'amplification plus ou moins considérable. Comme la nouvelle caractéristique est concave vers le haut, l'amplification va être d'autant plus forte que la grille aura une polarisation plus minime (1). On pressent les avantages que l'on pourra tirer de cet automatisme (§ **69**).

Ce résultat exigera — on s'en doute — maintes complications de construction, dans le détail desquelles il nous est impossible d'entrer ici. Disons seulement que, parmi la dizaine de solutions pratiques, on retient souvent, soit la section de la grille en deux ou trois tronçons, soit l'enroulement de la grille non plus sur un cylindre, mais sur un tronc de cône.

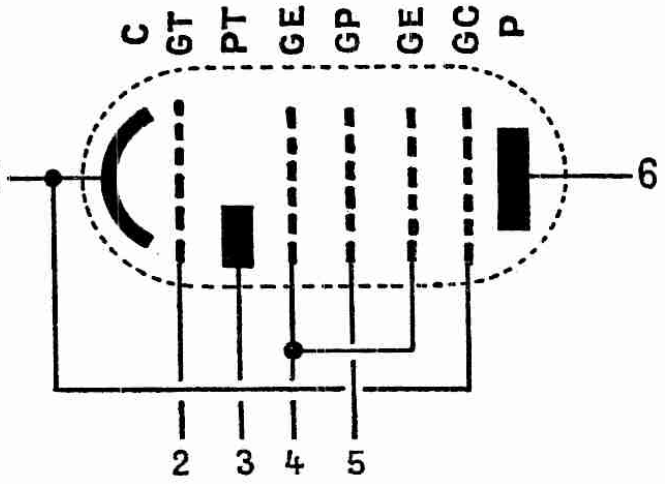


FIG. 155. — Deux tubes électroniques en un seul : l'octhode.

3° Passons à l'*octhode*, que nous allons utiliser (§**68**) comme *unique* tube d'entrée dans les plus modernes des superhétérodynes. C'est — nous le savons (*fig.* 153) — un tube électronique à une seule cathode, à cinq grilles et à deux plaques (*fig.* 155).

(1) On peut ainsi faire varier l'amplification de chaque étage dans le rapport de un à cinq cents.

Comment allons-nous faire pour nous y retrouver (1) dans tout cela? Il suffit de bien faire attention à ce que nous venons de dire (en 1°) et de nous souvenir qu'il nous est déjà arrivé, dans le temps, de « ramasser » deux tubes électroniques (*fig.* 127) en un (*fig.* 128).

L'octhode dont nous parlons (*fig.* 155) résulte de l'unification, avec cathode C commune, d'une triode et d'une penthode :

la triode (2) se reconnaît tout à gauche; elle est accessible par trois broches : la broche 1, qui conduit à la cathode C; la broche 2, qui correspond à la grille GT (= grille de triode); la broche 3, communiquant avec la plaque PT (= plaque de triode);

quant à la penthode, elle exige quatre (3) broches : 1, 4, 5 et 6; on remarque à nouveau quelques-uns des constituants de la figure précédente : la cathode C, la grille principale GP, la grille-cathode GC. Quant à la grille-écran GE, elle est, en réalité, dédoublée (4) autour de la grille principale, en reprenant la vieille idée de Schottky et de Hull.

Nous verrons, au prochain paragraphe, que toutes les électrodes jouent leur partie dans l'ensemble (comme des instruments dans un orchestre), ce dont il n'y a pas lieu de s'étonner, puisqu'elles ont été prévues pour cela (5). Ce résultat de longues recherches, tant théoriques qu'expérimentales, n'en laisse pas moins rêveur quiconque en prend connaissance pour la première fois.

---

(1) Surtout, pas de défaitisme! Et n'imitons pas nos contemporains de la brousse sud-africaine, qui ne disposent que de trois noms de nombres, correspondant respectivement à « un », à « deux » et à « beaucoup »...

(2) Qui, dans ce que nous voudrons en faire (§ **68**), fonctionnera comme oscillatrice (*fig.* 91), c'est-à-dire comme « hétérodyne » de la figure 139.

(3) La broche 1, commune à la cathode et à la grille-cathode (GC, comme sur la figure 154). La broche 4, qui est celle de la grille principale GP. La broche 5, où se réunissent les deux grilles-écrans GE. La broche 6, atteignant la plaque P.

Bien entendu, deux autres broches (non représentées sur la figure 155) *sont* nécessaires pour le chauffage (indirect) de la cathode du tube électronique : l'une de ces dernières sera reliée à la masse, et la deuxième aux « 6 volts 3 » alternatifs, qui sont indiqués sur la figure 139.

(4) Strictement parlant, il vaudrait mieux parler d'hexode que de penthode, mais ce détail n'a vraiment aucune importance.

(5) Cette « finalité » n'est en rien contraire aux réflexions que nous avons développées au début (§ **1**, 2°). En dépit des dénégations affectives ou mystiques, ce serait un non-sens qu'une finalité non intentionnelle, c'est-à-dire qui ne serait pas le fait (raison générale, § **1**) d'un système nerveux complexe. En l'espèce : l'intelligence des savants et des techniciens.

68. *La changeuse de fréquence.* — Nous disposons maintenant de la documentation préalable, qui nous permet d'aborder les organes qui se surajoutent à un poste en direct (*fig.* 138) pour en faire un hétérodyne.

La superposition de deux courants de haute fréquence (*fig.* 152), en vue d'obtenir une moyenne fréquence, s'effectue de plusieurs façons différentes; nous n'en retiendrons que deux (1), qui suffiront à nous donner une vue d'ensemble de la question. Il est entendu une fois pour toutes que les circuits oscillants C.O. 1 et C.O. 2 (*fig.* 156 et 157) sont équipés avec le contacteur (*fig.* 148-151) pour le « changement d'onde ».

1° *Emploi de deux triodes* (*fig.* 156). Nous nous sommes arrangés — comme faire se devait — pour connaître toutes les pièces détachées de notre jeu de puzzle.

a) Dans la partie N.-O., l'hétérodyne est un *oscillateur local* (ou particulier), dont le principe est celui de la figure 91 (2). Dans le cas où C.O. 2 (C.O. d'hétérodyne) oscillerait seul (C.O. 1 ou circuit d'accord étant supposé coupé), les oscillations électroniques (HF localement produites) seraient à 1 105 kc (pour reprendre notre exemple sur Radio-Bordeaux).

b) Le reste de la figure 156 (en admettant un instant que le C.O. d'hétérodyne ou C.O. 2 est, à son tour, coupé) est un montage d'amplificatrice (*fig.* 89) : Radio-Bordeaux (1 205 kc; HF captée) ferait osciller,

---

(1) On aurait pu consacrer une page de texte et une page de figures à la description d'une *variante* de la première méthode. Ladite variante consiste à garder la triode oscillatrice de la figure 156 et à y remplacer la triode de droite par une bigrille (ou téthrode) :

C GE GP P.

La haute fréquence captée (circuit oscillant C. O. 1) est appliquée à la grille principale GP, tandis que la grille-écran GE est connectée directement à la grille de l'oscillatrice, reliée par ailleurs au circuit oscillant C.O. 2 (haute fréquence produite). Sous l'influence simultanée des deux grilles GP et GE, le courant-plaque de la bigrille sera en moyenne fréquence.

Le lecteur n'éprouvera aucune difficulté à compléter ce montage « bigrille-oscillatrice », en s'inspirant des figures 156 et 157. (Ce sera même, pour lui, un excellent exercice de révision.)

La bigrille peut être remplacée avantageusement par une penthode ou par la partie modulatrice d'une octhode.

(2) A cela près que la bobine seule est dans le circuit-plaque et que le circuit oscillant C.O. 2 attaque la grille (alors que c'était l'inverse au paragraphe **35**) : ce sont deux moyens équivalents d'assurer le couplage grille-plaque.

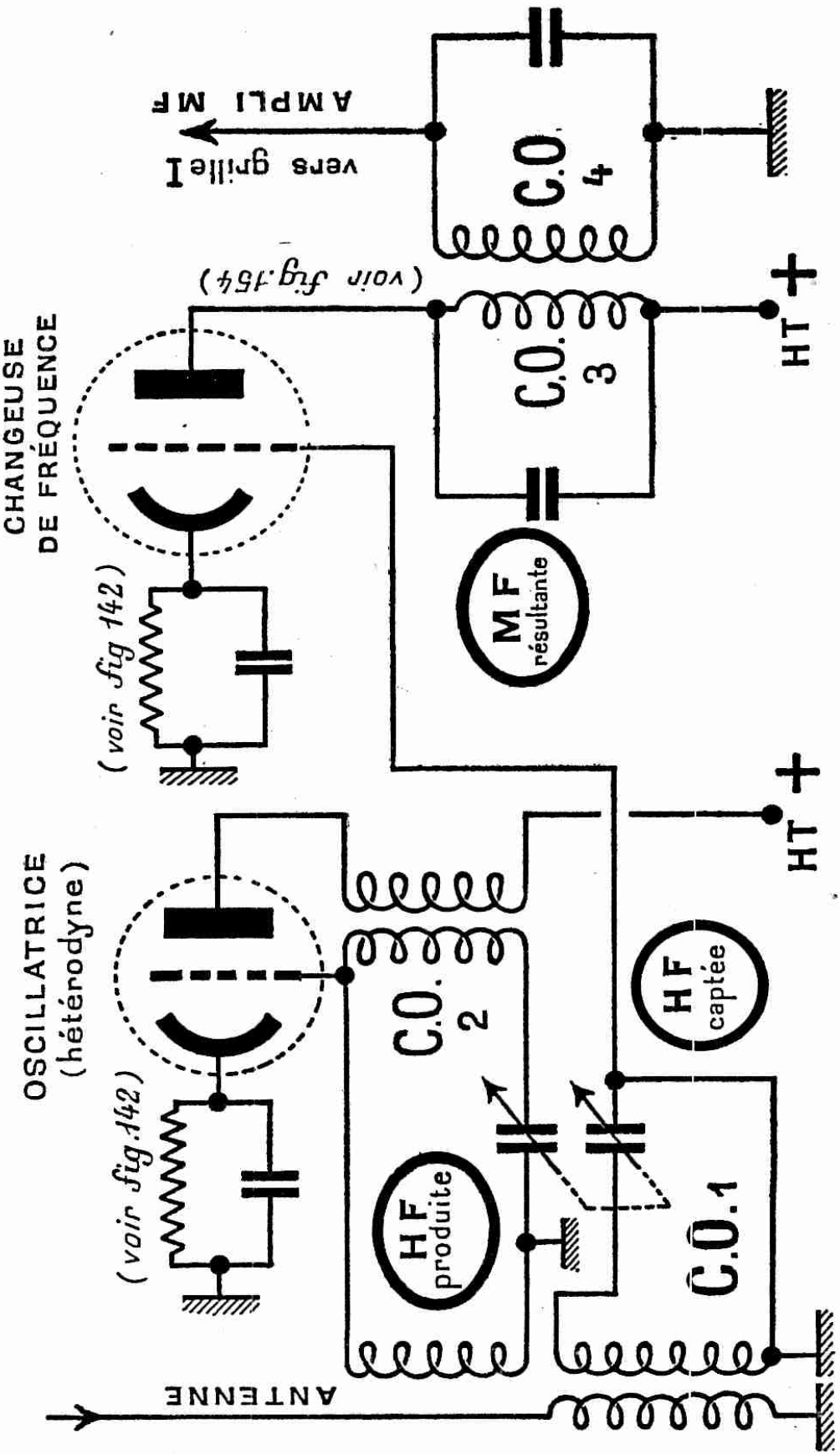


FIG. 156. — Réalisation des deux premiers organes (*fig.* 139) d'un superhétérodyne par l'emploi de deux triodes. (Lorsque l'appareil est en ordre de marche, la mention « HF captée » s'applique seulement à l'antenne.)

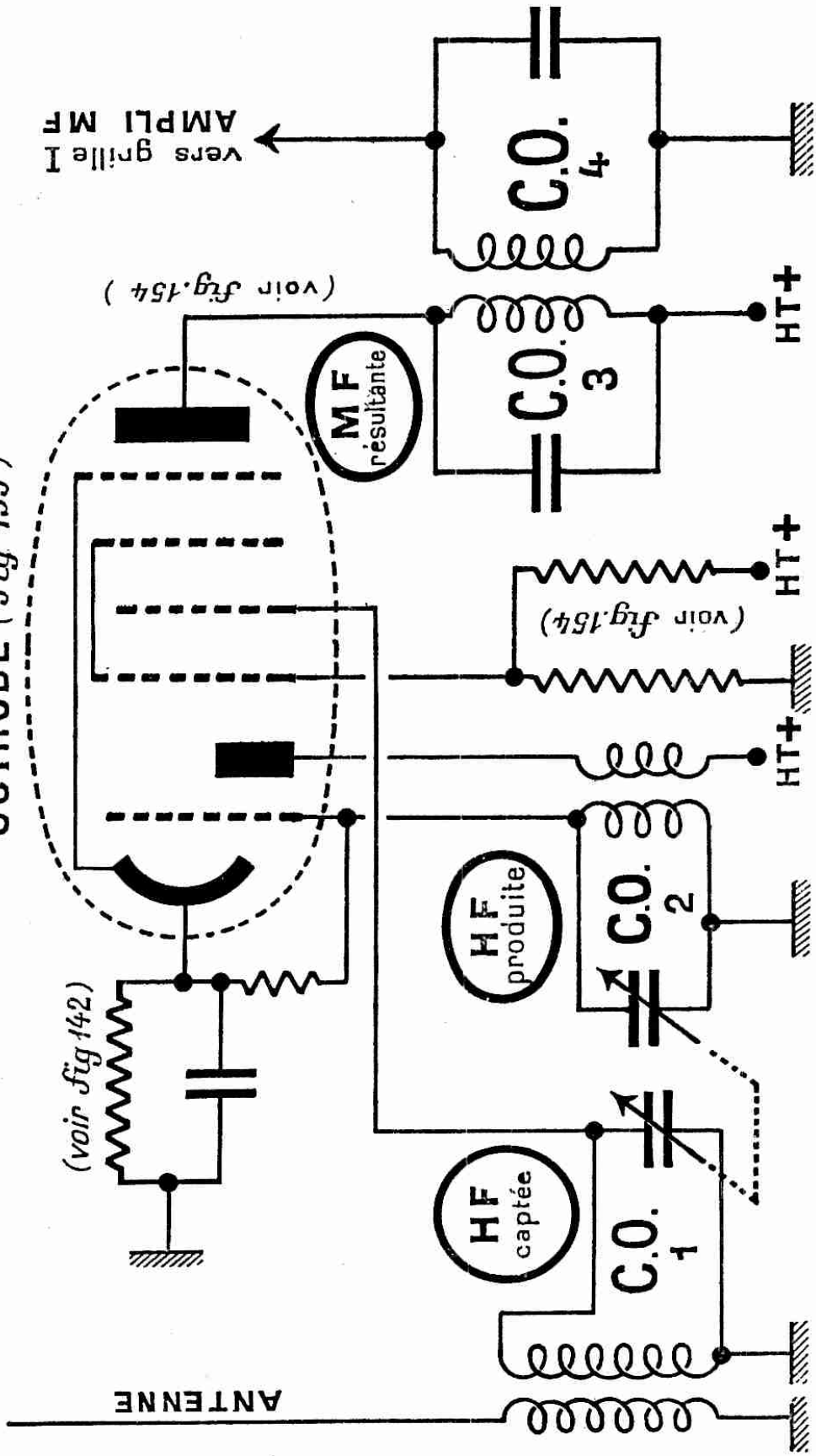


FIG. 157. — Réunion (au moyen d'une octhode) de l'hétérodyne et de la changeuse de fréquence de la figure 139. (Les deux condensateurs sont souvent réglés par un seul bouton : « commande unique », *fig.* 160-163.)

à cette fréquence-là, le circuit C.O. 1 (qui, d'ailleurs, ne transmettrait rien, puisque C.O. 3 et C.O. 4 ne sont pas accordés!).

En réalité, tout marche à la fois... La bobine de C.O. 1 est couplée *en même temps* avec la bobine d'antenne (1 205 kc) **et** avec la bobine de C.O. 2 (1 105 kc) : c'est donc *dans* la première de ces bobines qu'a lieu l'addition représentée par la figure 152, et c'est bien de la moyenne fréquence (ici : 100 kc) qui attaque la grille de la changeuse de fréquence (*fig.* 156).

2° *Emploi d'une octhode* (*fig.* 157). Les deux tubes sont « fondus » en un seul (en un seul « tube double », présentant toutes les améliorations qui nous sont connues depuis le précédent paragraphe) [1]. Il n'est pas utile de revenir sur la grille GC et sur les grilles jumelées GE de la figure 155 (qui ne sont, pour ainsi dire, que du « fignolage » : du fignolage souvent indispensable dans la pratique, mais qui n'intervient pas dans la compréhension du montage de la figure 157).

a) Si C.O. 1 (circuit d'accord) était coupé, C.O. 2 (1 105 kc, HF localement produite dans le même exemple) attaquerait l'octhode par la grille GT, et le courant sortant de P aurait cette fréquence;

b) Si C.O. 2 (circuit d'hétérodyne) était coupé, C.O. 1 (1 205 kc, HF captée) attaquerait l'octhode par la grille GP, et le courant sortant de P aurait cette autre fréquence.

En ordre normal de marche, les deux attaques ont lieu, et c'est à l'intérieur même de l'octhode que se réalise la superposition (*fig.* 152) des deux fréquences, d'où l'indication « MF résultante » de la figure 157. A nouveau, ce sont (ici) des oscillations électroniques de 100 kc qui agiront sur la grille du premier étage d'amplification MF.

En rassemblant les deux tubes (*fig.* 156) en un seul (*fig.* 157), on abaisse le prix d'achat, on économise le chauffage d'une cathode, mais surtout on supprime le couplage *par bobines* de C.O. 1 et de C.O. 2 (lequel s'effectue *dans l'octhode*).

Dans les deux cas, le résultat obtenu est tellement satisfaisant qu'il peut être considéré comme définitif.

---

(1) A la place de l'octhode, on emploie également une triode-hexode ou une triode-heptode.

α) Pour loger toutes les fréquences musicales et pour éviter le brouillage d'émetteurs de hautes fréquences voisines, on désirait (§ **40**) laisser passer (avec une intensité constante) toute la bande des fréquences comprises (dans l'exemple choisi) entre 95 kc 5 et 104 kc 5 (trait ponctué de la figure 158);

β) Et, ce qu'on obtient effectivement, c'est le graphique en trait continu de cette même figure 158.

Il nous reste quelques mots à dire sur la « commande unique » (représentée par des pointillés sur les figures 156 et 157), c'est-à-dire sur le moyen de régler *par un seul bouton* les **deux** condensateurs variables (montés sur le même axe) de C.O. 1 (accord) et de C.O. 2 (hétérodyne). L'enjeu — en tant que simplification — était inestimable; on peut même affirmer que le succès du superhétérodyne dépendait de cette réalisation, laquelle est remarquable d'ingéniosité.

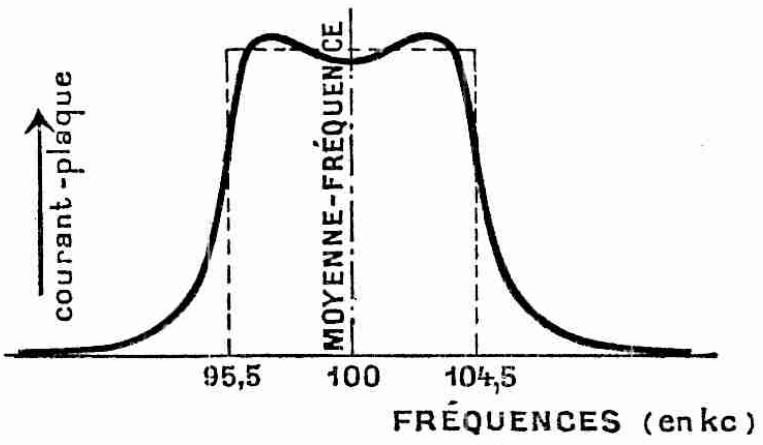


FIG. 158. — La bande passante d'un superhétérodyne.
(Si la moyenne fréquence choisie était 465 kc, il suffirait d'écrire :
460,5 465 469,5.)

Son sort était lié à la connaisance des infinies possibilités que nous offrent les lois quantitatives de l'électricité. Sans entrer dans aucun des calculs (quoique le calcul soit tout dans l'affaire), *il nous* suffira de rappeler (§ **8, I** et **II**) que :

I. Quand, à un condensateur, on en ajoute un autre *en dérivation*, tout se passe comme si la surface du premier était accrue, et la capacité de l'ensemble est augmentée;

II. Quand, à un condensateur, on en ajoute un autre *en série*, tout se passe comme si l'épaisseur du premier était accrue, et la capacité de l'ensemble est diminuée.

Ceci posé, nos figures 159-162 représentent — compliqué pour la dernière fois — l'un quelconque des circuits oscillants C.O. 1 et C.O. 2. On y voit, en plus du condensateur variable qui nous préoccupe, deux autres condensateurs (réglés par le constructeur,

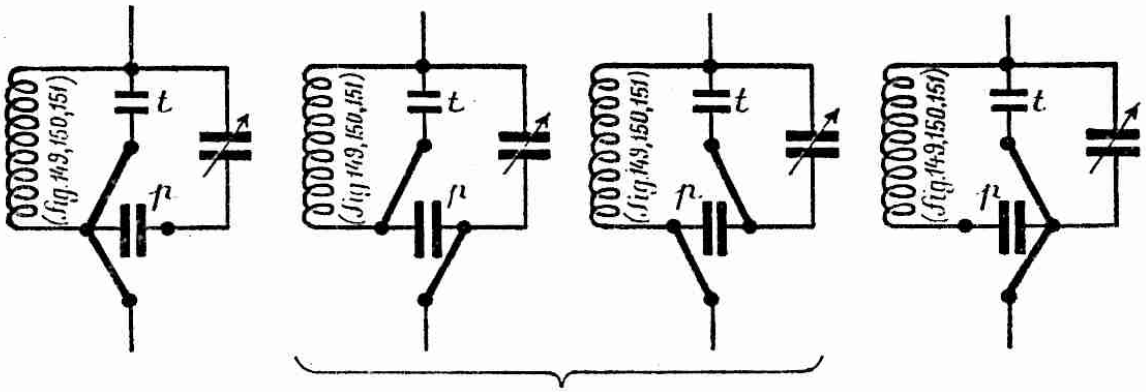


FIG. 159 à 162. — Les trois montages possibles du trimmer et du padding pour la commande unique des condensateurs de C. O. 1 et de C. O. 2 des figures 156 et 157. (Les figures 160 et 161 sont effectivement identiques.)

mais fixes pour l'amateur) : le condensateur *t* (1) et le condensateur *p* (2). Les conducteurs de jonction (en traits **gras**) — soudés une fois pour toutes (3) — peuvent occuper quatre positions, dont deux se confondent (4) :

1° (*fig.* 159) le condensateur *p* est en série sur le condensateur variable;

2° (*fig.* 160 et 162) le condensateur *p* est en série sur le condensateur *t;*

3° (*fig.* 162) le condensateur *p* est en série sur la bobine (5).

Pour chaque type de poste récepteur, le calcul (1935) suggère celui des trois montages qu'il y a avantage à choisir, tout en donnant les valeurs des capacités des quatre condensateurs additionnels. Les armatures mobiles (*fig.* 14) des deux condensateurs variables (de C.O. 1 et de C.O. 2) tournent en même temps, tandis que reste constante la différence (100 kc dans notre exemple, mais plus souvent de l'ordre de 450 kc) entre la fréquence du circuit d'accord et celle du circuit d'hétérodyne. Voilà ce qui se passe quand on manœuvre

Machinalement, sans savoir comment

---

(1) En anglais : « trimmer », qui veut dire *arrangeur* (capacité de quelques pF).

(2) En anglais : « padding », qui veut dire *remplisseur* (capacité de quelques nF).

(3) Les deux « trimmers » et les deux « paddings » étant fixés à demeure par le fabricant, sur le boîtier des deux condensateurs rotatifs (de C.O. 1 et de C.O. 2) et sur le bloc des bobinages.

(4) Par suite du fait qu'un condensateur se comporte de même pour les courants direct et inverse.

(5) C'est-à-dire : soit sur la bobine I (*fig.* 149); soit sur les bobines I, II (*fig.* 150); soit sur les bobines I, II, III (*fig.* 151).

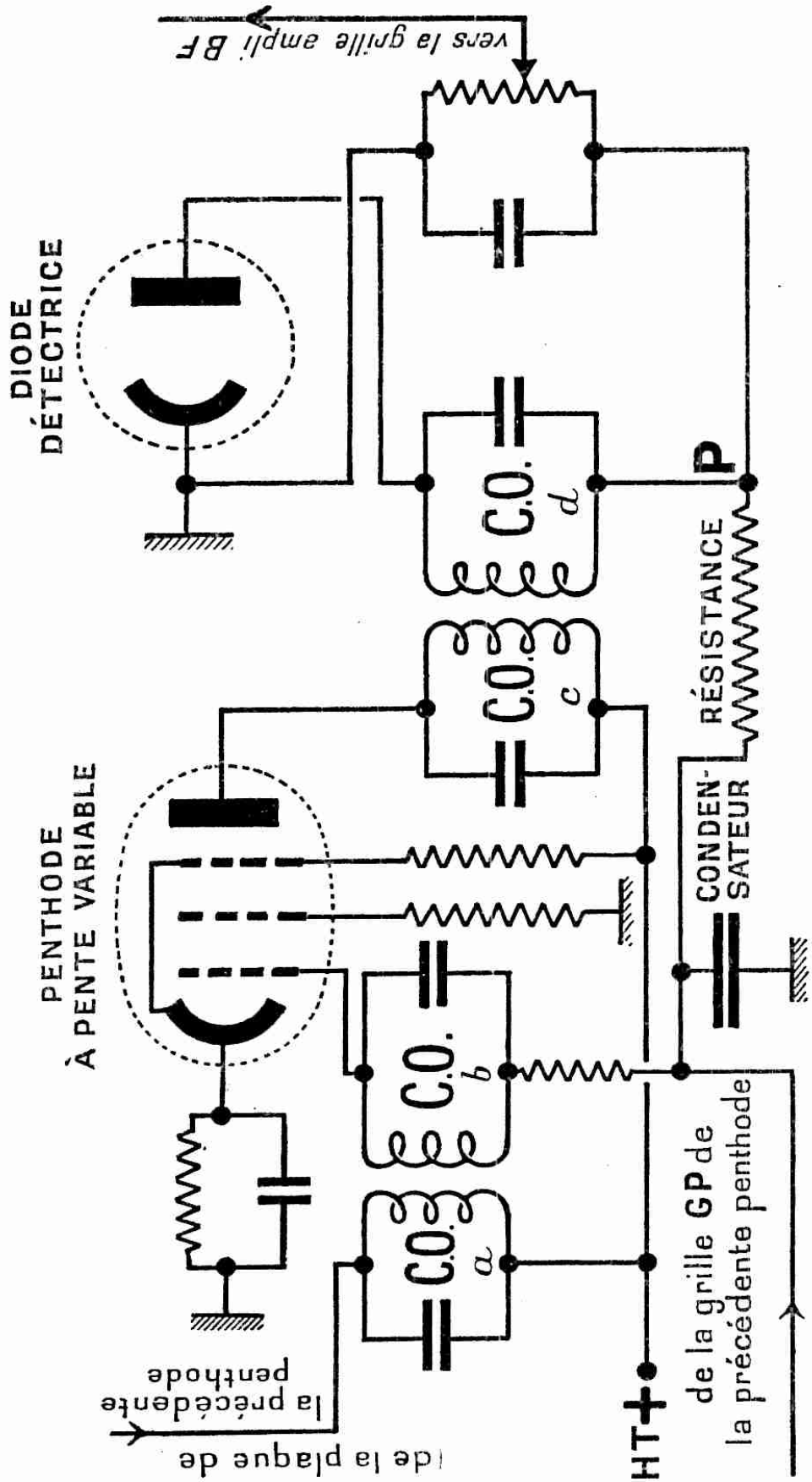


FIG. 163. — L'antifading ou CAV (commande automatique du « volume sonore »).

C'est tout simplement une juxtaposition des deux figures 154 et 127, avec cette différence essentielle que C.O. *b* et les C.O. analogues des précédents amplis MF ne sont plus reliés à la masse (comme sur la figure 154), mais au point **P** de la détectrice, par l'intermédiaire du circuit filtreur RÉSISTANCE-CONDENSATEUR.

le bouton de l'indicateur d'accord, comportant une aiguille se déplaçant devant un cadran, où sont inscrits les noms des stations d'émission.

69. *Améliorations de la réception.* — Quoique le mot anglais « fading » puisse se traduire par *évanouissement* (§ **28**), un substantif — baroquement formé et qui a fait fortune — est employé pour caractériser une recherche d'optimum (1) : c'est l'*antifading*, qui correspond à la lutte (*sur deux fronts*) contre les affaiblissements **et** les renforcements. D'ailleurs, on utilise de plus en plus la fameuse CAV (2), abréviation pour « commande automatique du volume », abréviation regrettable, non pas en tant que telle, mais parce qu'il ne saurait être question ici de mètres cubes, de « volume » (expression déplorablement argotique), mais de *puissance*, plus précisément de puissance sonore (*fig.* 101 et 103). Tout bien pesé, il n'y a aucun inconvénient à garder CAV (3), mais à la condition expresse de n'être pas dupe de l'ineptie...

Cette commande automatique (antifading ou CAV), préconisée dès 1926, est schématisée par la figure 163, qui se comprend facilement en ne perdant pas de vue les points suivants :

Les étages d'ampli MF (dont la figure 163 représente le dernier [4]) sont montés avec des penthodes *à pente variable* (§ **67**, 2°), qui ont pour propriété d'amplifier *d'autant plus* que leur grille principale GP (5) est soumise à une polarisation négative plus petite.

L'idée ingénieuse a consisté à utiliser la composante continue du courant BF pour polariser les grilles des amplis MF : lorsque la valeur moyenne de l'intensité de la BF diminuera, l'amplification augmentera, et inversement.

---

(1) Comme dans tous les phénomènes biologiques, il convient de remplir des conditions d'optimum; ici : optimum entre le silence et l'assourdissement. Autres exemples : optimums entre le froid et le chaud, entre l'*inanition* et l'*empiffrerie*, entre l'obscurité et l'éblouissement. (Voir aussi § **71**, début, note.)

(2) Prononcé généralement *céavé* et imité de l'anglais AVC (Automatic Volume Control [*évici*]). L'ineptie est moins flagrante en anglais, puisque « volume » *(vollioumme)* y signifie vulgairement : « étendue de la voix ».

(3) L'abréviation correcte CAPS (prononcée *la capce*) se recommanderait cependant par son air gouailleur et bon enfant, mais n'en demandons pas trop, puisque le pli est pris.

(4) Tandis que la figure analogue 154 donnait le *premier* étage d'ampli MF (par penthode *ordinaire*).

(5) Celle qui est reliée à C.O. *b* (*fig.* 163).

La mise en œuvre de cette idée apparaît en confrontant la partie droite de la figure 163 avec la figure 154 :

> Dans la figure 154, le circuit oscillant C.O. *d* de la plaque de la diode était à la masse; dans la figure 163, C.O. *d* est relié à un point **P,** qui est, d'une part, connecté à la BF et, d'autre part, en liaison avec toutes les grilles GP des penthodes MF, par l'intermédiaire d'une RÉSISTANCE et d'un CONDENSATEUR (1).

L'antifading (ou CAV) présentera néanmoins l'inconvénient suivant, au moment où l'on cherchera à « accrocher » une station donnée, en tournant le bouton de l'indicateur d'accord (§ **68,** fin) qui agit sur les condensateurs variables : lorsque l'on passera par la position exacte de l'accord, l'antifading agira « en plein » dans le sens de l'affaiblissement et le courant-plaque (2) de la penthode de la figure 163 sera minimum.

L'existence de ce minimum (3) va justement servir à parfaire le réglage, d'une façon beaucoup plus précise (4) qu'on ne peut l'obtenir en faisant coïncider un repère sur le trait d'une graduation. On emploie, à cet effet, un « indicateur visuel d'accord » (5), fondé sur ce fait que les électrons (expulsés d'une cathode incandescente et chargée négativement) illuminent une cupule FF métallique (chargée positivement), lorsque celle-ci est enduite d'une substance fluorescente (§ **77, III,** fin).

La figure 164 représente, en coupe (6), le tube que l'on

---

(1) Cet ensemble (résistance, de l'ordre du mégohm, et condensateur, de l'ordre de 100 nF, dont une armature est à la masse) est aussi dénommé *dispositif filtreur*. Les précédentes valeurs ont été calculées de telle sorte que les « silences » d'un morceau de musique ne provoquent pas d'amplification supplémentaire. Autrement dit, les grilles GP (*fig.* 154) des penthodes ne seront pas soumises aux variations instantanées de la BF, mais seulement à ses variations moyennes.

(2) Ce courant circule dans le fil qui relie la plaque de la penthode (*fig.* 163) au circuit C.O. *c*.

(3) Pour le mettre en évidence, il suffirait d'intercaler (dans la portion de circuit indiquée à la note précédente) un milliampèremètre (*fig.* 87). Mais les constructeurs préfèrent mettre entre les mains de l'usager moyen un appareil moins cher et plus facile à consulter.

(4) Outre que l'œil est plus sensible que l'oreille, il est avéré qu'un maximum de perception sonore ne correspond pas forcément au meilleur réglage.

(5) Dit encore « indicateur cathodique d'accord », ou bien « œil magique » (quoique l'appareil moderne soit un perfectionnement notable de ce que les Américains avaient d'abord désigné sous ce dernier vocable).

(6) La cupule FF est, bien entendu, de révolution, et l'écran E est un petit disque circulaire opaque.

examine en bout, et la figure 165 décrit ce que l'on voit : un cercle noir (qui est l'écran opaque E, ménagé pour que la cathode brillante soit masquée au regard) et un anneau lumineux (fond de la cupule FF) qui est reproduit en grisé.

L'indicateur visuel n'est pas complet comme cela ; on lui adjoint deux tiges DD (*fig.* 166 et 168), dites électrodes de déviation (1) et reliées entre elles métalliquement.

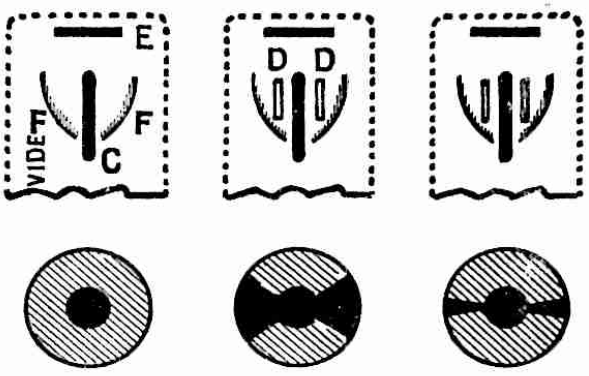


FIG. 164 et 165. — En haut : coupe de l'indicateur visuel (sans les électrodes de déviation). En bas : ce que l'on verrait en regardant par en dessus.

FIG. 166 et 167. — En haut : les électrodes de déviation sont fortement négatives. En bas : les deux secteurs d'ombre sont larges.

FIG. 168 et 169. — En haut : les électrodes de déviation sont faiblement négatives. En bas : les deux secteurs d'ombre sont étroits.

1° Lorsque DD est fortement négatif, les électrons lancés par la cathode ne peuvent s'en rapprocher : ils n'atteignent la cupule qu'aux endroits libres, et l'on a l'apparence de la figure 167 : deux larges secteurs brillants et deux larges secteurs obscurs.

2° Au contraire, quand DD est faiblement négatif, les trajectoires électroniques contrariées sont bien moins nombreuses : les secteurs brillants occupent presque tout le champ visuel et les secteurs sombres sont très déliés (10° par exemple).

Le montage (sur lequel nous n'insisterons pas) [2] a pour effet de rendre solidaires le minimum de courant et le minimum de polarisation des électrodes DD : pour obtenir le meilleur accord avec l'émetteur choisi, l'auditeur n'aura qu'à faire tourner le bouton de l'indicateur d'accord, de telle sorte que, par tâtonne-

(1) Analogues (comme rôle) à la grille d'une triode.
(2) On rassemble souvent, en un même tube, l'indicateur visuel et une triode amplificatrice (en tout : quatre électrodes).

ments, le secteur lumineux de l'indicateur visuel soit le plus large possible (1).

70. *Améliorations de la basse fréquence.* — Il suffira de décrire les trois réalisations les plus importantes (2), pour que le lecteur se rende compte de l'intérêt de ce que nous avons appelé les « fignolages en BF » :

I. Le push-pull (prononcer : *pouche-poule*),dispositif de compensation tendant à neutraliser les harmoniques pairs provenant de l'amplification;

II. La contre-réaction, par laquelle on atténue les distorsions dues aux amplis BF;

III. La commande de tonalité (3), grâce à quoi l'auditeur rendra, à sa guise, la réception plus grave ou plus aiguë.

I. Le push-pull (4) est facilement mis en œuvre par l'emploi de la prise médiane des transformateurs (*fig.* 146), qui nous est connue depuis les figures 26 **(M)** et 94.

Il s'agit du dernier étage d'ampli BF (*fig.* 170). Le secondaire S d'entrée a sa prise médiane à la masse, et chacune de ses deux extrémités à la grille principale de l'une ou l'autre de deux penthodes amplificatrices : les tensions-GP de celles-ci vont donc varier *en opposition de phase* (§ **7,** fin, note), ce qui aura pour effet de compenser (de neutraliser) les dyssymétries (ou « distorsions »), dont la figure 130 (N.-O.) nous a donné un exemple.

Les grilles-écran des penthodes (5) sont connectées, à la fois,

---

(1) Le système décrit dans le texte présente l'inconvénient de devoir être réglé à un niveau *moyen* de sensibilité (trop grande pour les réceptions fortes et vice versa). Pour étendre le champ d'utilisation, on a rapidement songé, (« trèfle cathodique ») à profiter de l'existence de *deux* secteurs : l'un, réglé à une faible sensibilité, sert à l'ajustement sur les émissions puissantes, et inversement pour le second.

(2) Il n'y a rien à ajouter sur l'audition des disques de phono (§§ **44** et **65**, *a*), sauf un détail ci-dessous en **III** (*fig.* 174).

(3) Plus fréquemment nommée « contrôle » de tonalité, en persévérant (§ **33**) dans le contresens de traduction du mot anglais « control » *(keunnetrôle)*.

(4) Littéralement le « pousse-tire » (comme dans le jeu d'enfants *pousse-moi tire-moi*). La locution française « va-et-vient » a été spécialisée dans une autre acception (*l'Electricité à la ville...*, p. 81, 8e édition, Larousse).

(5) En réalité : des penthodes améliorées, qui, à la différence des anciens modèles, ne donnent pas d'harmoniques impairs.

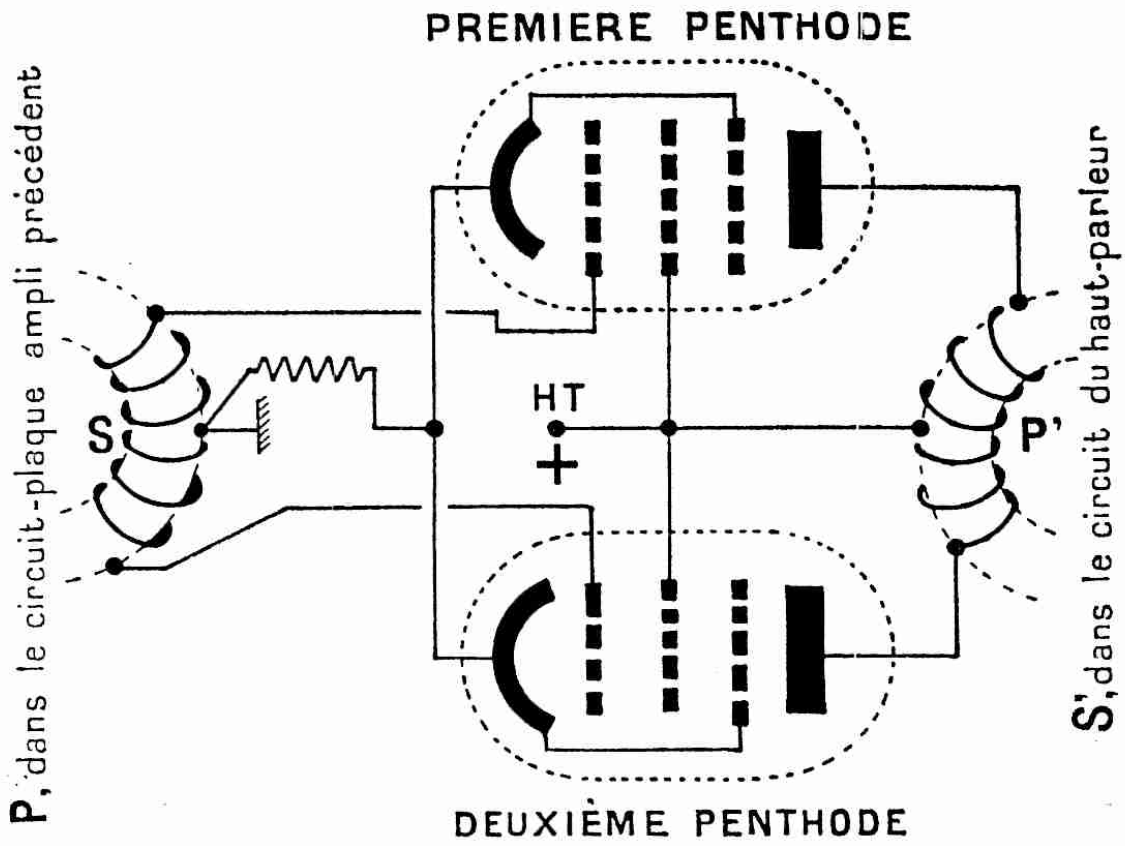


FIG. 170. — Le push-pull (au dernier ampli BF) consiste essentiellement à couper en deux moitiés les enroulements des transfos et à employer deux amplificatrices.

avec la haute-tension et avec la prise médiane du primaire P′ du transformateur de sortie, dont les extrémités sont reliées, chacune, aux plaques des penthodes.

Signalons, comme avantage supplémentaire du push-pull, que les composantes continues s'annulent réciproquement, d'où l'absence de champ magnétique constant dans les noyaux de fer des transfos, ce qui les fait précisément travailler dans les meilleures conditions.

II. A l'un et l'autre bouts du sans-fil, il existe une voie directe de transmission. Dans les postes récepteurs, c'est le sens : collecteur d'ondes vers haut-parleur (*fig.* 138-139). Lorsque, dans un des organes, la transmission s'effectue à rebrousse-poil (les oscillations électroniques de sortie influant sur celles d'entrée), on dit qu'il y a *réaction* (1). Une explication — sim-

(1) Nous ne dirons rien de la super-réaction (1921), qui n'est d'ailleurs applicable qu'aux ondes courtes (§ **65**, 8).

plifiée à l'extrême (1) — nous fera entrevoir de quoi il s'agit.

α) La figure 171 reproduit l'entrée (2 millivolts) et la sortie (20 mV) d'un étage ordinaire d'amplification; le coefficient d'amplification (§ **33, I**) est dix.

β) On prélève la tension aux bornes d'une *petite* fraction (disons : les 9 centièmes) de la résistance de sortie et on dispose cette tension en série (et en phase) avec la tension d'entrée (*fig.* 172) : il y a *réaction* (au sens que nous venons de dire) et le coefficient d'amplification se trouve *accru* (ici : décuplé) : les 2 mV d'entrée deviennent 200 mV à la sortie (2).

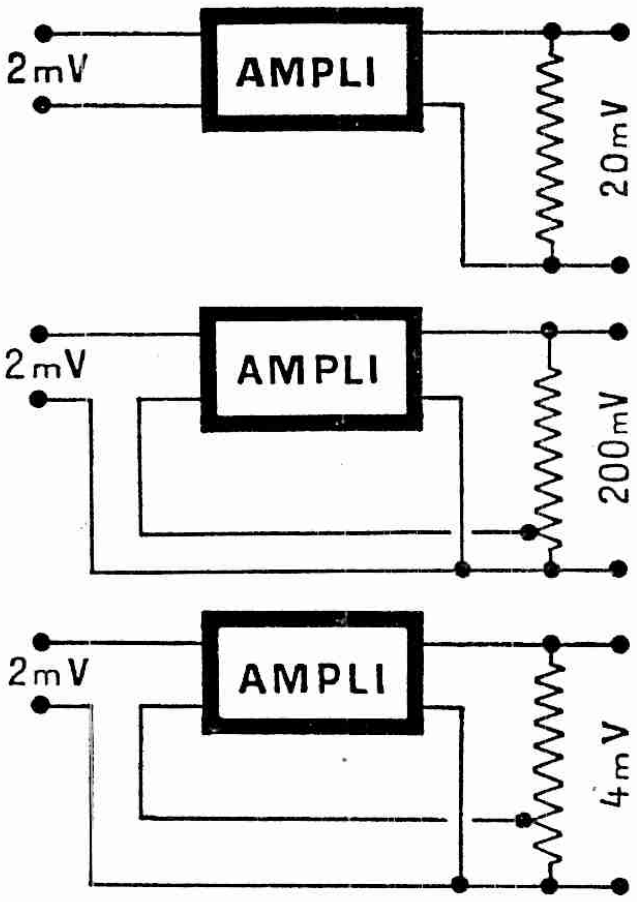


FIG. 171, 172 et 173. — L'amplification ordinaire, la réaction et la contre-réaction.

γ) Si, au contraire (*fig.* 173), la fraction prélevée est *notable* (disons : la moitié) et si on *oppose* (3) la tension ainsi prélevée à la tension d'entrée, le calcul et l'expérience montrent que la tension de sortie n'est plus que le double de la tension d'entrée, de telle sorte que

(1) Les données numériques, dont nous rappelons l'ordre de grandeur, ne peuvent être justifiées que par un calcul algébrique, d'ailleurs élémentaire. (Le lecteur n'aura qu'à les admettre en tant que résultats expérimentaux.)

(2) Il y aurait là un moyen de suramplifier, mais la distorsion se trouverait considérablement exagérée, et nous savons, au surplus, que ce sont les possibilités d'amplification qui manquent le moins.

(3) Sur l'opposition de phase, voir § **7**, fin.

Pour désigner cette opération, on emploie communément les mots « réinjecter » et « réinjection », qui font image.

le coefficient d'amplification est cinq fois plus faible que dans le montage primitif (*fig.* 171) ; c'est pour cela que l'on dit que, dans ce dernier cas, il y a *contre-réaction.*

Ne nous moquons pas de cet amplificateur, qui amplifie moins, après qu'on s'est ingénié à le perfectionner! Et ceci, pour deux raisons. La première, c'est — répétons-le — que nous sommes assez riches pour nous payer ce luxe radiotechnique. La deuxième, c'est qu'une telle « anti-amplification » présente des avantages aussi précieux qu'inattendus. Le coefficient d'amplification (en contre-réaction) ne dépend pratiquement que de la « fraction prélevée » : aussi la tension de sortie (ici : 4 mV) sera-t-elle insensible aux variations accidentelles du secteur (qui alimente nos chauffages de cathodes et notre HT) ; et *surtout,* même si le coefficient d'amplification du tube électronique varie avec la fréquence de la tension d'entrée, la tension de sortie (en contre-réaction) ne dépend pas de cette fréquence : toutes les fréquences musicales seront amplifiées dans le même rapport (1).

III. Nous traiterons succinctement le troisième sujet annoncé au début du présent paragraphe. Il a été rappelé (§ **42,** fin, note) qu'en favorisant les sons aigus, la parole transmise par radio devient plus intelligible; on a, de plus, remarqué que les auditeurs préfèrent une certaine *tonalité,* les uns plus aiguë, les autres plus grave. C'est pour répondre à ces désirs que le poste récepteur comporte une commande manuelle de tonalité.

Notre figure 174 ne saurait apparaître compliquée qu'aux yeux d'un lecteur qui n'aurait pas suivi les développements antérieurs.

A gauche, nous retrouvons, à peu de chose près, le point **P** (début de l'antifading) et la diode, déjà reproduite (*fig.* 163).

A droite, nous retrouvons le primaire P′ du transformateur (*fig.* 170), mais, cette fois-ci (pour simplifier), sans la prise médiane du push-pull.

Les résistances et condensateurs de liaison (dont nous ne

---

(1) Ajoutons que, si la caractéristique de l'amplificatrice n'est pas linéaire (ce qui a pour effet de *créer* des harmoniques, donc une « distorsion »), ces harmoniques gênants sont affaiblis ici dans le rapport de un à deux (et, en général, en raison inverse du coefficient d'amplification global du montage [*fig.* 173]).

Pour préciser intuitivement le mécanisme de la contre-réaction, on peut dire qu'elle revient à provoquer, sur la tension d'entrée, des déformations *en sens inverse* de celles que l'ampli lui fera subir. On conçoit sans plus qu'il y ait la possibilité d'une *compensation* (partielle).

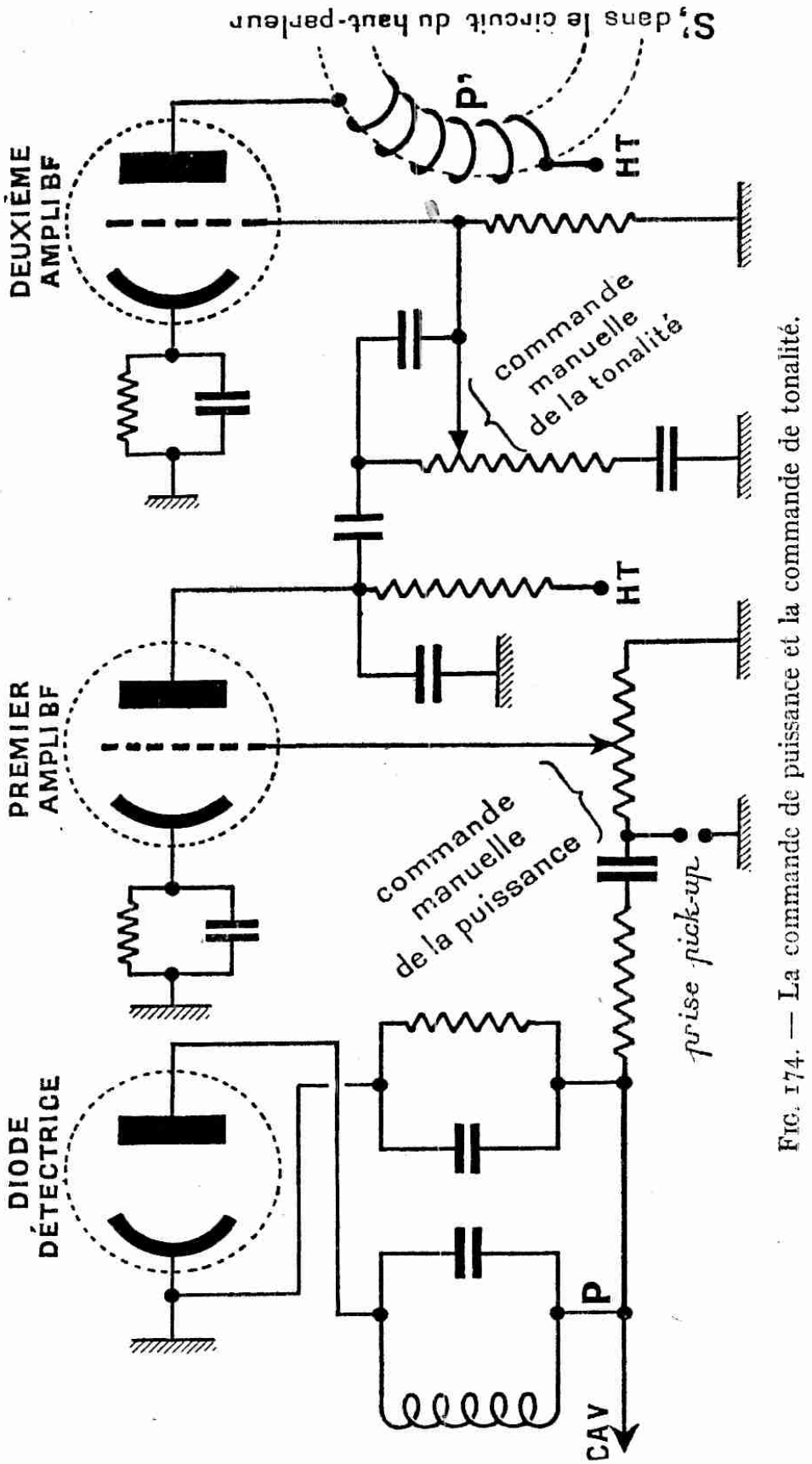


FIG. 174. — La commande de puissance et la commande de tonalité.

pouvons dire ici tous les secrets) ne doivent plus étonner le lecteur, qui en a déjà une bonne idée d'ensemble. Il a été représenté deux étages d'ampli BF, qui contiennent, chacun, un potentiomètre (1). Le potentiomètre de puissance sonore (de « volume ») a déjà été expliqué (§ **55**) ; le second potentiomètre remplit les mêmes fonctions à l'égard de la tonalité. Tout va dépendre des capacités du condensateur en dérivation et du condensateur placé entre la résistance de ce potentiomètre et la masse : lorsque le curseur mobile se trouvera à l'une des extrémités, la commande de tonalité fonctionnera d'une manière analogue à celle d'un filtre passe-haut (§ **16**), et les BF supérieures seront moins défavorisées que les autres (les sons deviendront, dans l'ensemble, plus aigus). Et c'est l'inverse qui se produira pour l'autre extrémité, avec, bien entendu, tous les intermédiaires désirables (2).

71. ***Le compromis entre la sélectivité et la musicalité.*** — En dépit de tous les « fignolages », dont nous venons de donner une idée (§§ **69** et **70**), il reste une ombre au tableau, un vice rédhibitoire, une contradiction entre deux désirs également légitimes. Ce qui nous conduit (une fois de plus) à railler l'enthousiasme de Leibniz, pour qui notre monde était le meilleur des mondes possibles (3).

En deux mots, voici le drame : si, de part et d'autre de la fréquence porteuse (de l'émetteur choisi), le poste récepteur

α) laisse passer une bande étroite de fréquences, il sera *sélectif* (il ne sera gêné par aucun autre émetteur),

---

(1) La figure 127 en avait déjà un.

Sur la figure 174, on a représenté la prise pick-up (pour audition de disques) ; rappelons que le contacteur du changement d'onde doit alors être dans la position **0** (*fig.* 148), de manière à éliminer toute possibilité de réception radio.

Signalons que, sur cette même prise pick-up, on peut brancher un micro : c'est là le principe de l'amplification locale des sons (discours, musique) par haut-parleur.

(2) Lorsque le poste récepteur est pourvu d'une contre-réaction (§ **70, II**), point n'est besoin de recourir à un montage du genre du précédent (*fig.* 174) : il suffit de munir le dispositif de contre-réaction d'un contacteur, grâce auquel seront introduits divers organes supplémentaires (résistances ou condensateurs).

(3) Indépendamment du fait que le métaphysicien allemand ne définissait pas « meilleur », et qu'il n'envisageait pas diverses sortes de « possibles ». En l'occurrence, La Palisse aurait eu raison contre lui, en constatant que notre monde est ce qu'il est... Ce sont là des petitesses dont les plus grands esprits ne réussissent pas à s'affranchir. Dieu soit loué ! nous n'en sommes plus à cette mentalité primitive (si l'on se reporte à l'avant-dernière citation du paragraphe **2**).

mais il ne sera pas *musical* (car les hautes fréquences sonores — présentes dans les harmoniques — seront supprimées, d'où « distorsion »);

β) laisse passer une large bande de fréquences, il sera *musical* (puisque toute l'émission sera «*fidèlement* » captée), mais il ne sera pas *sélectif,* étant donné que l'audition sera brouillée par la réception du programme d'au moins une station de fréquence porteuse voisine.

Vaut-il mieux être inhospitalier et sélectif, ou accueillant et musical (1)? D'où la recherche d'un compromis (2) ou, ce qui revient au même, d'un optimum, d'un nouvel optimum (§ **69,** début, note). Autrement dit, l'usager de la radio dispose, à chaque instant, d'un excès de richesse, constitué par toutes les *bandes de modulation,* voisines, des émetteurs qu'il *pourrait* recevoir; mais il fixe obligatoirement son choix sur *l'un* d'entre eux, et le problème consiste à « découper » une *bande passante* qui lui donne à peu près satisfaction.

Bande de modulation... Bande passante... Il est indispensable d'ajouter ici quelques compléments.

On sait (*fig.* 103) que l'oreille humaine est (inégalement) sensible au domaine des fréquences (sonores) comprises entre 16 c et 20 kc. La modulation de Radio-Bordeaux (1 205 kc), par exemple (*fig.* 69), consiste à superposer à cette fréquence

---

(1) Ce dilemme rappelle une chanson un peu triviale d'étudiants. A la condition de sacrifier le rythme des vers, point n'est besoin de traduire en latin (ce fameux latin, qui, « dans les mots, brave l'honnêteté »), pour que « le lecteur français soit respecté » : *Vaut-il mieux boire et vomir, ou ne pas boire et avoir le cafard?* Comme quoi le bon sens populaire (sans que l'on s'en doute) sert de prétexte à d'importants et assez délicats exercices de logique...

(2) Nous ne nous occupons ici que de la modulation d'amplitude, la seule en usage dans les radiodiffusions européennes. *Il n'y a plus* de compromis en modulation de fréquence (§ **52, II**) : en effet, les différences entre les fréquences extrêmes de la porteuse *n'*y dépendent *que* de l'intensité du son, puisque la hauteur de celui-ci est donnée par la cadence de reproduction de la fréquence maximum de la porteuse. Par conséquent, la bande de fréquence ne limitera que l'intensité du son (et non le registre des sons extrêmes), ce qui permettra une reproduction aussi musicale qu'on le voudra, sans, pour cela, nuire à la sélectivité.

En Amérique, le problème se pose tout autrement : les stations d'émission (toutes privées) y sont nombreuses et de puissance minime, et leurs bandes passantes peuvent empiéter mutuellement, les zones de réception ne se recouvrant pratiquement pas. Ce qui n'empêche pas les capitalistes d'y faire une propagande effrénée en faveur de la modulation de fréquence, en vantant ses avantages (très réels sans doute), mais en songeant surtout à obliger les téléauditeurs à renouveler un matériel encore satisfaisant, mais devenant alors inutilisable.

porteuse (§ **36**) de 1 205 kc, des fréquences musicales (1). En réalité, aucune station d'émission ne module à plus de 10 kc, en plus ou en moins (2). Tout ce que Radio-Bordeaux pourrait envoyer (vers ses usagers... charmés et en s'arrangeant pour que, dans cet intervalle, toutes les fréquences soient également représentées), ce serait les fréquences (électromagnétiques) comprises entre 1 195 et 1 215 kc. Nous autres, qui avons la fantaisie d'accrocher Radio-Bordeaux, nous allons mettre à profit les propriétés du transformateur à primaire et secondaire accordés (comme c'est le cas, notamment, pour les bobines de C.O. *a* et de C.O. *b* de la figure 154). Il nous faut, en outre, nous remémorer (quelle sujétion!) ce qui a été dit (§ **11**, 1°) de la rigidité du couplage de deux bobines voisines : couplage lâche, couplage moyen, couplage serré (3). Eh bien! le calcul et l'expérience établissent que, dans les trois cas, les « courbes de réponse » sont différentes : on appelle ainsi les graphiques (*fig.* 175-177) qui expriment la tension produite (dans le récepteur) en fonction de la fréquence. On voit qu'avec la bande passante du couplage lâche, on fera largement les choses : de ce qui arrive, on captera tout (et même davantage...) : ce qui est parfait au point de vue de la musicalité. Mais la sélectivité, dont on a fait bon marché, élève de véhémentes protestations...

Tous les embêtements proviennent des conventions internationales, dont il serait enfantin de médire, puisqu'elles ont été fort sagement édictées, en prenant pour base une *situation de fait*. C'est à ce propos que les journalistes « compétents » en radio parlent de l'« encombrement de l'éther », à la manière dont leurs confrères (spécialisés en « chiens écrasés ») déplorent l'encombrement des wagons de métro. Excusons-les : dans les

---

(1) Ne pas oublier (§ **41**) que, par définition, « fréquence musicale » est synonyme de « basse fréquence *électromagnétique* » (et non de fréquence sonore) : la fréquence (50 c) du réseau alternatif est une fréquence musicale (laquelle *peut* d'ailleurs — et elle ne s'en prive pas — donner naissance à des ronflements de 50 c de fréquence sonore).

(2) Circonstance moins heureuse, quant à la « distorsion », quant à l'irréprochabilité de la musique transmise... (Nous sommes derechef poursuivis par la loi draconienne de l'optimum et, de plus, par les conventions internationales, qui n'accordent même pas ça!)

(3) Rappelons que le couplage le plus serré est manifestement réalisé, quand les deux enroulements isolés (supposés de même longueur) recouvrent le même segment du même axe. On peut alors desserrer le couplage en faisant glisser l'un des enroulements par rapport à l'autre.

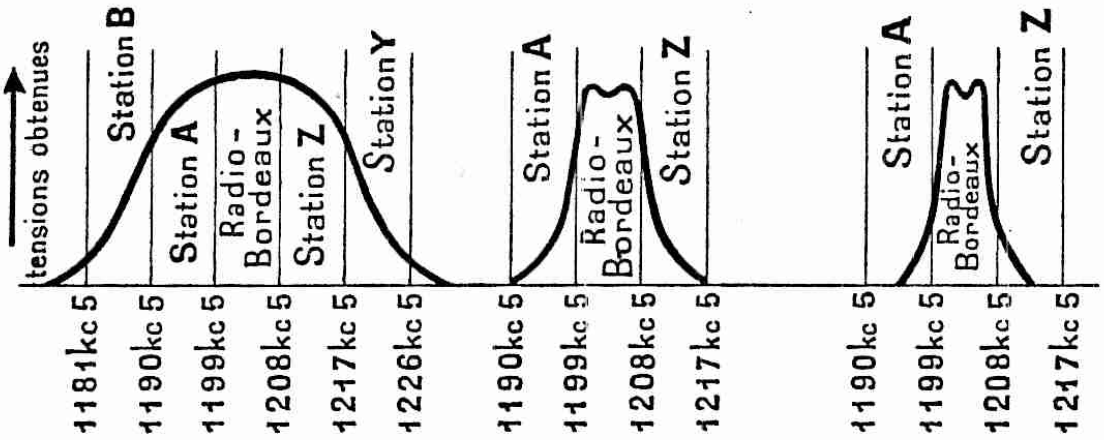


FIG. 175 à 177. — Effets de la rigidité du couplage (couplage lâche, couplage moyen, couplage serré) sur les tensions produites dans le récepteur à l'arrivée d'une même émission. (Pour simplifier, les trois graphiques ont été ramenés *à la même échelle,* ce qui n'a aucune importance, étant donné les possibilités indéfinies qu'offre l'amplification.)

deux cas, il faut loger tout le monde... Pour nous en tenir aux grandes ondes et aux petites ondes (*fig.* 69), les commissions internationales, tenant compte à la fois des besoins individuels et de l'échelle des fréquences disponibles, ont interdit à deux stations quelconques d'émission d'adopter des fréquences porteuses différant de moins de 9 kilocycles.

En reprenant notre exemple de Radio-Bordeaux, il y a donc lieu de distinguer :

1° La bande « idéale » de modulation, qui *s'étendrait* entre

1 195 kc et 1 215 kc;

2° La bande *officielle* de modulation, dite, plus brièvement, « bande de modulation », laquelle représente le

1 200 kc 5 et 1 209 kc 5,

domaine, entre

qui, depuis 1950, est concédé à cet émetteur (ce qui a pour inconvénient majeur de réduire le « registre sonore » à 4 kc 5 et, par suite, de rendre impossible la reproduction convenable des diverses sonorités d'un orchestre).

Les figures 175-177 ont été tracées en ne tenant compte que de la bande officielle de modulation de Radio-Bordeaux et en supposant d'autres stations exactement contiguës comme fréquences. On s'aperçoit alors que le couplage lâche, qui était

excellent comme registre sonore (*fig.* 175), ramasse aussi les stations voisines, ce qui occasionnerait un beau charivari (1). Inversement, le couplage serré (*fig.* 177), qui ne captait pas les sons aigus de Radio-Bordeaux, ne reçoit pas grand-chose des émetteurs A et Z, ce qui lui confère une grande sélectivité.

Les postes récepteurs courants se tiennent dans le juste milieu (entre le Charybde du brouillage et le Scylla de la distorsion), en adoptant le couplage moyen (2), auquel se rapporte la figure 176.

72. *Sélectivité variable et présélection.* — Les très bons postes actuels ne se contentent pas de cette cote mal taillée entre la sélectivité et la musicalité. On y a prévu un « bouton de sélectivité », qui permet d'employer tour à tour les trois couplages des figures 175-177 :

couplage lâche..... bouton sur l'index « musical »
couplage moyen.... bouton sur l'index « normal »
couplage serré..... bouton sur l'index « sélectif ».

Il n'y a pas lieu d'insister sur les complications (3) au prix desquelles ce résultat est atteint. Il est à peine besoin d'ajouter que, pour les émetteurs proches et puissants, on aura une excellente réception si l'on écoute en position « musical ». Au contraire, dans le cas des stations lointaines et faibles, on se placera carrément en position « sélectif » : la musicalité ne sera pas fameuse (4), mais on sera débarrassé des émetteurs voisins, qui peuvent être nettement plus forts.

Pour en finir avec les postes récepteurs de radio, nous reviendrons succinctement sur le choix de la moyenne fréquence des superhétérodynes (*fig.* 139).

---

(1) Dans ces explications sommaires, nous avons à dessein poussé les choses au noir, en admettant que les bandes de modulations se touchent et que la puissance captée est la même pour toutes les stations : Radio-Bordeaux, A, Z, B, Y.

(2) Dit parfois (et abusivement) « normal », car ce n'est pas être normal que d'être médiocre aux deux points de vue.

(3) Mise en circuit (ou en court-circuit) de filtres supplémentaires de bandes, amortissement des filtres habituels en leur ajoutant une résistance en dérivation, bobinages mobiles, condensateurs variables, ... Dans tout cela, on n'a recours à aucun fait nouveau, auquel le lecteur soit étranger. Aussi serait-il préparé à comprendre des détails qui ne peuvent absolument pas trouver place dans le plan de cet exposé.

(4) Ce qui n'est pas très grave pour l'audition d'informations et de conférences.

Tenons-nous-en d'abord à une moyenne fréquence de 100 kc (ordre de grandeur de celles qui furent initialement préconisées) et prenons l'exemple (*fig.* 69) de Paris II (1 079 kc). Nous avons signalé (§ **66**) que la fréquence de l'hétérodyne peut être soit 1 170 kc, soit 970 kc (1). Adoptons la première de celles-ci, et considérons une émission simultanée de Radio-Lille (1 277 kc, *fig.* 69), donc avec des fréquences d'hétérodyne de 1 377 kc ou de 1 177 kc. Etant donné la quasi-identité de 1 170 et de 1 177, la réception de Paris II va être troublée par un sifflement, dû au battement de l'hétérodyne avec l'émission de Radio-Lille (2). On dit que (pour une moyenne fréquence de 100 kc) Radio-Lille est (sensiblement) la « fréquence-image » de Paris II (et réciproquement) ; il y a entre Radio-Lille et Paris II (3) une différence de fréquence, qui est *le double* de la moyenne fréquence choisie.

Pour remédier à cet inconvénient, on a décidé de prendre une moyenne fréquence beaucoup plus grande, de l'ordre de 500 kc par exemple, ce qui ne laissera craindre des perturbations qu'entre les stations dont les fréquences diffèrent de 1 000 kc (comme Lyon et Nice [*fig.* 69]). Mais, alors, il est facile d'éliminer ce parasitisme de la fréquence-image : il suffira d'insérer (*fig.* 139), entre l'antenne et la changeuse de fréquence, un circuit oscillant, dénommé *présélecteur,* dont la bande passante soit suffisamment étroite : aux environs de 600 kc si l'on veut capter Radio-Lyon, et aux environs de 1 550 kc pour Radio-Nice. C'est ainsi qu'en grandes ondes et en petites ondes, on rejette, à coup sûr, la fréquence-image hors de la bande de fréquence à laquelle le poste récepteur est sensible.

Telle est, dans ses lignes générales, la contexture d'un poste récepteur moderne. Nous nous dispensons de donner un montage d'ensemble, qui couvrirait un quart de mètre carré et où se placeraient toutes les améliorations (commande unique, antifading, indicateur visuel d'accord, push-pull, contre-réaction, commande de tonalité, sélectivité variable, présélecteur), dont nous

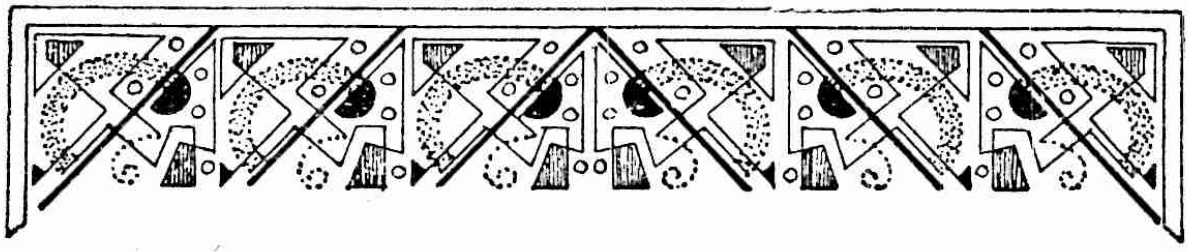
---

(1) C'est-à-dire : soit *supérieure* de 100 kc, soit *inférieure* de 100 kc à la fréquence porteuse de l'émetteur choisi (ce qui se conçoit sans peine, car, dans la figure 153, c'est *la différence* des deux fréquences qui importe seule).

(2) On aurait eu les mêmes ennuis avec Paris I (863 kc), si la fréquence de l'hétérodyne sur Paris II avait été prise égale à 970 kc.

(3) Ou entre Paris II et Paris I.

venons de donner une idée. Ce montage d'ensemble — avec ses organes complexes de liaison (§ **64**) — n'apprendrait rien de plus au téléauditeur, qui désire comprendre et qui comprendra effectivement les recueils de recettes, dans le cas où il désirerait devenir constructeur amateur ou monteur radioélectricien : il a acquis les moyens de s'y reconnaître dans ce fouillis de fils, de résistances, de bobines, de condensateurs et de tubes électroniques.



Chapitre IX

LA MODULATION OPTIQUE

73. *Deux réalisations inverses.* — Lorsqu'on jette un coup d'œil rétrospectif sur la fin du premier quart de notre siècle et que l'on examine spécialement les *nouveaux loisirs* qui allaient être mis à la disposition du *premier venu,* on reconnaît, à ces distractions naissantes, un double caractère :

le cinéma était muet...

la radio était aveugle...

Rien, au premier abord, n'aurait permis de prévoir que ce n'aurait pas dû être l'inverse. Et il y aurait là le point de départ d'intéressantes réflexions, tant sur la physiologie des sensations que sur la physique.

Toujours est-il qu'en 1929, le cinéma devint bavard (par la sonorisation des images) et qu'en 1936, la radio devint visuelle (par la télévision), grâce à la *capitulation,* devant la télévision « électronique », de la télévision « mécanique », à laquelle l'ingénieur anglais John Baird avait consacré opiniâtrement plusieurs *décades* de sa vie et qui s'est finalement révélée impraticable (1),

(1) Ce serait là une nouvelle source de réflexions profitables, mais à la condition que ce ne soit pas un étymologiste-dépouilleur de textes littéraires (tel René Jeanne, 1948) qui s'en charge bénévolement. Il est, par exemple, dénué de toute espèce d'intérêt de se demander s'il n'aurait pas mieux valu dire « radiovision » (au lieu de télévision); de rappeler que quelqu'un (dont le bagage scientifique se ramenait au maniement des racines latino-grecques) a inventé *le mot* « téléphonoscope » ou de sortir de l'oubli les gens qui, comme Jules Verne ou Alfred Robida, lâchaient les brides à la « folle du logis », pour exprimer, sur le mode lyrique, ce qu'ils espéraient voir un jour se réaliser. C'est un passe-temps puéril que de chercher des symboles graphiques pour des choses qui n'existent pas encore : dévergondages souvent agréables, dont, surtout, il ne faut pas être dupe. Méditons plutôt la phrase de Paul Valéry, le véritable successeur d'Anatole France (dans la même spécialité) : « L'esprit de l'homme es t absurde par ce qu'il cherche, il est grand par ce qu'il trouve. »

tant par la complication de ses montages que par la médiocrité de ses résultats.

Ne nous y trompons pas, et gardons-nous de confondre idées générales avec faits de détail, ou science avec bricolage. Le XIX^e^ siècle n'aurait pas découvert les moteurs thermiques en voulant améliorer les transports, ni Ampère et Laplace l'électromagnétisme en voulant transmettre l'énergie à distance, ni Rœntgen les rayons X en voulant explorer l'organisme humain... Si, aujourd'hui, nous bénéficions du cinéma sonore et de la télévision, ce n'est pas, certes, parce que certains industriels ou certains autodidactes pensaient qu'il serait rémunérateur ou glorieux de sonoriser des images (1) et de visualiser des sons, c'est parce qu'il y eut des savants — et, en premier lieu, Heinrich Hertz (1887) — qui ont observé ce qui se passe quand on chauffe un métal : l'émission d'électrons, minutieusement étudiée, est devenue, *par surcroît*, l'un des principes de ces deux réalisations inverses.

La télévision, c'est la transmission, par ondes porteuses (chap. V), soit d'« une tranche de vie » (télévision directe), soit d'un film (télécinéma), laquelle transmission est doublée (synchroniquement ou, si l'on préfère, simultanément) par la transmission des « paroles et musique » concomitantes, en principe par des ondes porteuses de fréquence moindre. Conformément à l'adage « qui peut le plus peut le moins » (§ **53**), nous n'aurons pas à nous attarder ici sur la transmission des images « mortes » appelée, selon les cas : télautographie (ou transmission des images au trait) ou téléphotographie (ou transmission des images en demi-teinte). Ce n'est pas que de telles techniques n'offrent pas encore quelque intérêt pratique, mais elles nous paraissent trop étrangères aux préoccupations du lecteur moyen. Signalons toutefois que, dans ce domaine, les chercheurs les plus marquants furent, en 1895, l'Allemand Arthur Korn et, vers 1921, le Français Edouard Belin, et que les rôles respectifs de tout un ensemble de techniques sont suffisamment concrétisés par les trois parallélismes :

photographie	et	cinématographe,
radiotélégraphie	et	radiophonie,
téléphotographie	et	télévision.

(1) Le cinéma sonore ne rentre pas dans le plan du présent exposé. Nous en avons d'ailleurs parlé dans *Idées nouvelles*, pp. 151-153, 8^e^ édition, Larousse. (On trouvera, à la page 156 du même ouvrage, le principe du disque de Nipkow, dont il est question à la fin du paragraphe.)

Avant d'aborder les émetteurs modernes de télévision, dont un des organes essentiels effectue un « balayage électronique », et en dépit de notre souci constant de taire les dispositifs périmés, mais ne serait-ce que pour mesurer le progrès technique accompli depuis 1936, nous ne pouvons nous dispenser de noter que l'on songea d'abord à balayer *mécaniquement* la scène à téléviser : le précurseur en la matière fut notre compatriote Maurice Leblanc (1), qui, en 1880, imagina un système de deux miroirs portés par deux diapasons, et, pendant plus d'une décade, on utilisa le disque à trous (1880), proposé par l'Allemand Paul Nipkow. Nous n'en dirons pas plus sur ce point d'histoire... ancienne.

74. *Embarras provoqués par les images.* — L'émetteur de télévision a ceci de commun avec l'émetteur de radiophonie (*fig.* 116) que l'un et l'autre comportent une alimentation, un oscillateur (ou générateur d'oscillations électroniques de haute fréquence), des amplificateurs et un émetteur d'ondes.

Ils se distinguent par la *nature* de la modulation. Tandis que la station de radio incorpore (d'une façon assez simple) des sons aux oscillations électroniques entretenues (modulation acoustique, §§ **50-52**), la station de télévision doit leur incorporer des images (modulation optique), d'où des difficultés et des complications considérables, dont on se fera une idée extrêmement sommaire (2) au cours de ce chapitre.

Cette simplicité et cette complexité nous ramènent aux « questions indiscrètes » que nous nous étions posées au début du paragraphe **73** : elles se rattachent aux fonctionnements comparés de nos organes d'audition et de vision. Et, somme toute, cet état de choses est fort naturel : lorsque nous voulons comprendre ce que nous faisons quand nous entendons ou quand nous regardons, il est fatal que la physiologie ait son mot à dire.

Un morceau de musique ou une conférence est une succession de signaux *homogènes :* à chaque instant (disons : à l'intérieur de chaque dixième de seconde), l'oreille humaine éprouve une sensation *unique,* car elle opère une sommation de tout l' « audible »

---

(1) Le physicien, et non le créateur (1864-1941) d'*Arsène Lupin.*

(2) Le rôle, encore modeste, de la télévision nous oblige d'être plus bref qu'en radio.

qui parvient jusqu'à elle (1). Il suffira donc de traduire (2) les vibrations mécaniques en oscillations électroniques de même fréquence et de même amplitude. Une « audition » est ainsi une suite d'instantanéités globales, que l'on n'analyse pas et que l'on transmet en bloc.

Il est très suggestif d'expliquer ce que nous verrions, si nous nous arrangions pour que l'œil fonctionnât de la même manière que le fait spontanément (et constamment) l'oreille. Celle-ci, pour parler autrement, est impressionnée par des champs sonores non différenciés, par des champs sonores uniformes; et nous imaginons aisément ce que serait un champ visuel uniforme : il suffirait d'avoir exclusivement devant les yeux un écran de cinéma, parfaitement uni, qui serait successivement et totalement éclairé par la lumière d'un projecteur, dont l'intensité lumineuse et la couleur varieraient.

Or, ce ne sont pas des plages lumineuses unies (3) que l'on promet à l'amateur de télévision : il s'attend à ce qu'on lui fournisse le « cinéma chez soi » (le cinéma sonore à domicile), que ce soit par transmission directe ou par retransmission de films. L'instantanéité globale, non analysée, qu'est un son doit maintenant faire place, non à une lumière homogène, mais à une image détaillée, à une instantanéité de petites taches diversement éclairées (4), mobiles les unes par rapport aux autres (5).

Eh bien! l'œil, dans la vie quotidienne, nous donne tout cela. L'appareil photographique produit ces taches (primitivement figées), et le cinéma a su les animer. Mais — disons-le tout de suite, car c'est le nœud du problème — *on ne sait pas* introduire une image totale dans une onde porteuse et l'on ne voit même pas, à l'heure actuelle, comment on pourrait s'y prendre, quels

---

(1) Même si cet « audible » consiste en vibrations (mécaniques) de forme extrêmement compliquée, telles que les voyelles (*ou*, *o*, *a*, *i*) de la figure 102.

(2) A chaque instant et à la queue leu leu.

(3) Quelque chose comme des fontaines lumineuses, où il n'y aurait pas jaillissement d'eau.

(4) Ou diversement colorées (dans la télévision en couleurs) [§ **80**], ou même — suprême exigence — donnant la sensation du relief.

(5) En d'autres termes : si l'on représentait une symphonie par une ligne droite, dont chaque point serait un son perçu, une scène (cinématographiée ou télévisée) correspondrait à un parallélépipède, dont chaque section serait une « vue », une image immobile. (Que l'on songe à un film, dont les photos instantanées auraient été découpées et empilées exactement les unes sur les autres.)

phénomènes physiques devraient être mis à profit pour atteindre ce but, pour aussi souhaitable qu'il soit (1). Aujourd'hui donc — et très probablement pendant encore un bon bout de temps — une image ne s'incorpore à une onde porteuse que si elle a été préalablement traduite en une multitude de signaux électroniques très brefs : c'est ce qu'on appelle l'*exploration* de l'image ou son *balayage*. A une simultanéité dans l'espace, on substitue donc une succession dans le temps. Mais cette traduction, cette « analyse » en éléments ponctuels exige qu'on *fasse vite :* il faut qu'un balayage complet (bien entendu, suivi immédiatement par un autre, et ainsi de suite indéfiniment) soit achevé, avant que la scène à téléviser, que l'image ait bougé. Comme, d'autre part, il faut que l'œil ait une vision d'ensemble de toute la scène (et non celle d'un point — plus ou moins brillant — zigzaguant à grande vitesse), ce résultat s'obtient en jouant sur la persistance des impressions lumineuses sur la rétine (entre o s 1 et o s 05) et aussi sur la durée pratique de la cessation de la fluorescence. Et l'on conçoit qu'un des dogmes fondamentaux de la télévision est *la lutte contre le temps*.

D'où l'emploi, déjà annoncé (§ **14,** fin), de *très* hautes fréquences, d'« hyperfréquences », et, par conséquent (§ **22**), d'ondes ultra-courtes.

75. *Les principes du balayage rationnel.* — Pour parodier un mot fameux de Sully (2), balayage et synchronisation sont les deux mamelles de la télévision. On est obligé de balayer (nous venons de dire pourquoi), mais on est aussi obligé de synchroniser (§§ **79** et **81**), pour que les balayages opérés chez les clients soient exactement les mêmes que ceux de cette mère gigogne qu'est une station émettrice de télévision.

Pour prendre un exemple aussi suggestif que possible, nous

(1) Ajoutons une remarque de culture générale. Tout naturellement, il viendra à chacun « une foule d'idées », surtout à celui qui n'a, de l'acoustique et de l'optique, qu'une « expérience personnelle » (à celui qui, « sans chercher midi à quatorze heures », se contente d'entendre et de voir). Pour lui, toute phrase commence par « Il n'y a qu'à ... » (prononcé : *niaka*). On a d'autant plus d'imagination pour « résoudre » une question que celle-ci est plus mal posée et qu'on en ignore davantage...

(2) Cette phrase est généralement énoncée : « Labourage et pâturage sont les deux mamelles de la France », tandis que Maximilien de Béthune, duc de Sully, baron de Rosny (et autres lieux, 1559-1641), s'exprima, en 1638, de la façon suivante : « Labourage et pâturage sont les deux mamelles dont la France est alimentée et les vraies mines et trésors du Pérou

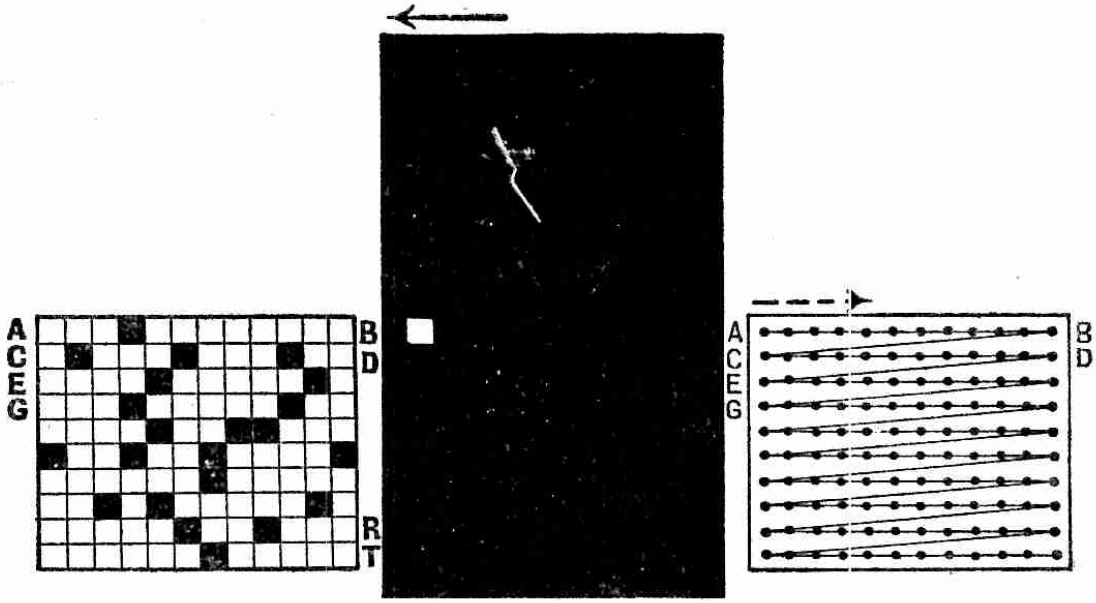


FIG. 178 à 180. — Principe du balayage de l'image par l'émetteur de télévision. Pour simplifier, on a pris le cas d'une « grille » de mots croisés (*fig.* 178), que l'on explore en déplaçant (de droite à gauche) un cache opaque percé d'un trou (*fig.* 179). Comme, par rapport au cache, la « grille » se meut de gauche à droite, la figure 180 indique ce que l'on voit successivement à travers le trou.

supposerons que la photo (1) à explorer soit une « grille » de mots croisés (*fig.* 178), un de ces petits damiers (accompagnés d'explications) que les périodiques de tous les pays proposent à la sagacité des œdipes modernes (2). Pour nous rapprocher de la télévision (car c'est elle — et non les mots croisés — qui nous intéresse), nous avons dessiné, à côté (*fig.* 179), un écran (un cache) percé d'un trou carré de la même dimension qu'une case de la « grille » (3).

Notre figure 180 précise le mouvement (flèche de la figure 179) du cache (dont le trou est, au début, devant la case **A**) et ce que celui-ci laisse successivement voir (flèche de la figure 180) de la « grille ». Cette figure 180 comporte cent vingt points (correspondant respectivement aux cent vingt cases), et nous admettrons, pour simplifier, que *tous* les déplacements du cache

(1) On conçoit, sans plus, que cette « photo » pourrait être une scène animée, à la condition de l'explorer assez vite pour qu'elle n'ait pas le temps de bouger au cours d'un balayage complet.

(2) Qu'on ne se méprenne pas sur nos intentions et qu'on ne voie pas là un éloge de ce délassement assez futile ! L'essentiel n'est pas que l'on s'occupe de mots croisés (ou de timbres-poste, ou d'études gréco-latines) ; c'est que, quand on s'occupe de quelque chose, on le fasse bien...

(3) Le cache est assez étendu pour que, au cours de ses déplacements, il ne laisse jamais voir qu'*une* case (noire ou blanche).

s'effectuent en *une* seconde : il faudra donc onze secondes pour *passer* de **A** en **B** et une seconde pour *sauter*, par un déplacement oblique (1), de **B** en **C.** On continue ensuite, pour la deuxième *ligne* (ou rangée), de la même manière, à partir de **C,** et l'on parvient en **T** au bout de cent dix-neuf secondes, puis l'on saute brusquement de **T** en **A,** pour pouvoir recommencer, car nous aurons maintenant besoin de décrire une *autre* « grille ».

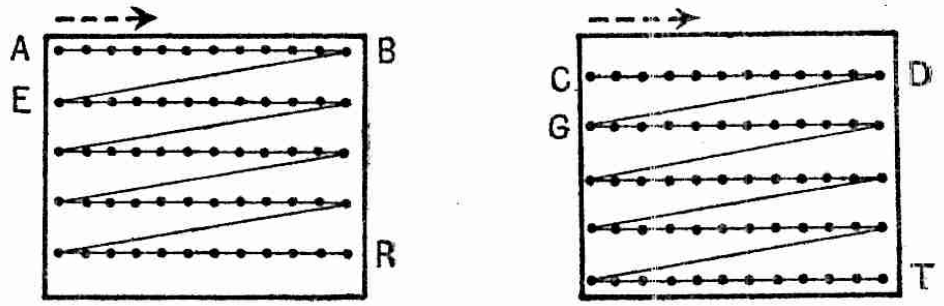


FIG. 181-182. — L'analyse interlignée ou entrelacement (René Barthélemy, 1935).

La figure 180 est maintenant remplacée par deux demi-balayages, concernant, l'un (*fig.* 181), les lignes impaires, l'autre (*fig.* 182) les lignes paires.

Pour achever notre comparaison, nous faisons l'hypothèse qu'un professionnel de mots croisés veuille transmettre à un de ses collègues la structure de deux douzaines de « grilles »; il lui suffira de prononcer dans le microphone, à une seconde d'intervalle et pour chaque « grille », cent trente mots (*fig.* 178), comme les suivants :

blanc, blanc, blanc, noir, blanc, blanc, blanc, blanc, blanc, blanc, blanc, blanc, stop, blanc, noir, blanc, blanc,.....
.....
....., blanc, noir, blanc, blanc, blanc, blanc, blanc, fin,

car ils seront convenus d'avance que « stop » signifie le saut de **B** à **C** (ou un saut analogue) et que « fin » correspond à un saut de **T** à **A.** Cette transmission de deux douzaines de « grilles » n'aura exigé que cinquante-deux minutes de conversation téléphonique...

On aperçoit tout de suite la correspondance entre notre « grille » de mots croisés et une image à téléviser (2). Mais au

(1) Le lecteur n'aura aucune peine à concevoir (§ 78) que, si l'image à transmettre est une photogravure (dont les points sont très petits), l'exploration AB (*fig.* 180) pourra se faire *obliquement,* et le saut BC, *horizontalement.* C'est effectivement ce que l'on a choisi, pour des raisons subsidiaires de commodité.

(2) Nous faisons, pour le moment, abstraction du fait que les divers points de l'image peuvent présenter tous les intermédiaires entre le blanc et le noir.

point de vue quantitatif, il y a deux différences essentielles, qui ne nous étonneront guère : les points sont plus petits et les durées sont plus courtes. A la première question se rattachent la finesse du spot (1) et la *définition* de la télétransmission. La deuxième question est celle des durées (du parcours AB, des sauts BC ou TA, *fig.* 180), d'où l'emploi de *bases de temps* (§ **79,** fin) et la nécessité de recourir à des hyperfréquences électromagnétiques.

1° On peut être fier d'être Français (2), quand l'unanimité des techniciens du monde constate que la France — principalement sous l'impulsion de René Barthélemy — a réalisé, de loin, la plus haute définition en télévision. Sans parler des réalisations (jusqu'à 1 200 lignes) de laboratoire, l'exploitation française fonctionne avec 819 lignes (décret du 20 novembre 1948), alors que les Américains s'en tiennent encore à 525... Voilà ce que cela veut dire : au lieu de dix lignes (horizontales) de la figure 178, il faudra en balayer 819. De plus, si l'on suppose que l'image est un rectangle *semblable* à celui de cette même figure, cette image aura :

$$819 \times \frac{12}{10} = 983 \text{ colonnes,}$$

et, par conséquent :

$$819 \times 983 = 805\,000 \text{ points,}$$

au lieu des 120 de la figure 178 (3);

2° Au cinéma, on donne la sensation du mouvement (4)

---

(1) C'est par ce mot anglais — littéralement : tache (lumineuse) — que l'on désignera ce qui joue le rôle du trou dans le cache de la figure 179.

(2) Non pas « quand on regarde la colonne » (Vendôme), pour rappeler la chanson burlesque (1818) d'Émile Debraux. L'Amérique a dépensé dix fois plus d'argent pour arriver à des résultats quatre fois moindres : ce qui permet à la France — une fois n'est pas coutume — de traiter avec elle d'égale à égale.

(3) Soit 67 000 fois plus !

(4) L'explication psychophysiologique reste encore incertaine, quoi qu'on en dise habituellement. Il ne saurait, en effet, être question (comme ci-dessus, pour la télévision) de la persistance (sur la rétine) des impressions lumineuses (phénomène très mal connu, dont la durée est une petite fraction de seconde) : car, si ce phénomène était, en l'occurrence, prépondérant, la sensation vécue serait celle d'images superposées Bien au contraire, c'est *en partant* de cet « effet cinématographique » que les psychophysiologistes cherchent à élucider la perception du mouvement dans la vie de tous les jours (Max Wertheimer 1912; Paul Guillaume, 1937).

en projetant 24 photographies par seconde (1). En télévision, on s'arrange pour que l'image soit intégralement transcrite (en signaux) en un vingt-cinquième de seconde (2), et l'on recommence immédiatement après. Il s'ensuit que, pour la « haute définition » française, le nombre des points explorés en une seconde est :

$$805\,000 \times 25 = 20\,100\,000 \text{ (points)},$$

ce qui donne une fréquence (3) de

$$10\,000\,000 \text{ de cycles};$$

c'est ce que l'on appelle la *fréquence de modulation* (4), par opposition à la *fréquence de ligne*

$$819 \times 25 = 20\,500 \text{ cycles},$$

qui correspond au nombre des lignes parcourues à chaque seconde.

C'est à nouveau René Barthélemy qui, en 1935, montra les avantages (5) qu'il y a, en télévision, à ne pas balayer comme l'idée en vient au premier venu : c'est ce qu'il a appelé « analyse interlignée » ou « entrelacement ». Nous en donnerons le principe (6) à nouveau sur la « grille » de mots croisés : au lieu du balayage en un temps (*fig.* 180), on procède (*fig.* 181-182) à deux demi-balayages successifs :

avant la mi-temps (*fig.* 181), on procède à l'exploration des lignes impaires (d'abord de A à B, puis saut de B à E, et ainsi de suite jusqu'en R) ;

la mi-temps, c'est le saut de R (*fig.* 181) en C (*fig.* 182) ;

---

(1) Alors que nous avions exploré nos 24 « grilles » de mots croisés en 52 minutes (= 3 120 secondes). Étant donné qu'en télévision on balaie l'image (animée) 25 fois par seconde, il va falloir opérer *trois mille deux cent cinquante fois plus vite* que dans l'exemple de la figure 180.

(2) On a montré qu'il y a avantage que cette fréquence (25 cycles) soit en relation simple avec celle (50 cycles) du réseau électrique de distribution, qui sert aux alimentations (*fig.* 208 et 209).

(3) Dans le cas le plus défavorable, où l'on aurait la succession indéfinie de points

noir, blanc, noir, blanc, noir, blanc, ...

C'est alors le phénomène noir-blanc qui se répéterait dans le temps, et il se produirait bien :

10 061 415 « noir-blanc » par seconde.

(4) On voit donc que la fréquence de l'onde porteuse est *obligatoirement* supérieure à 10 mégacycles.

(5) Tout spécialement : la suppression de la scintillation (chère aux premiers balbutiements du cinéma).

(6) Avec les mêmes réserves (sur l'horizontalité et l'obliquité) que dans une des précédentes notes.

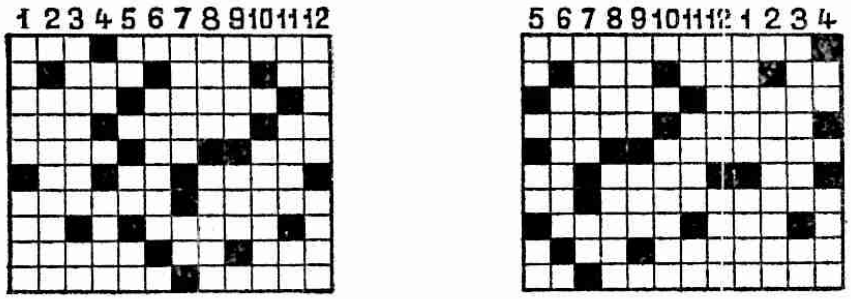


FIG. 183-184. — A gauche, la « grille » à transmettre (*fig.* 178). A droite, exemple d'une des « grilles » que l'on transmettrait, si on négligeait les « stop » (fin de ligne) et les « fin » (fin de « grille »).

après la mi-temps (*fig.* 182), on procède à l'exploration des lignes paires (d'abord de C à D, puis saut de D à G, et ainsi de suite jusqu'en T);
pour finir, on saute de T à A, et l'on recommence.

Bien entendu, les deux demi-balayages (avec 819 lignes, en France) sont achevés en un vingt-cinquième de seconde.

76. *Nécessité de la synchronisation.* — Nous passons à la deuxième condition fondamentale. Celle-ci porte sur toute autre chose que ce qu'en radio nous avons appelé « accord » (1), c'est-à-dire la résonance (l'identité des hyperfréquences électroniques) obtenue par réglage du circuit C. O. 1 des figures 156 ou 157 (2).

Pour situer clairement la question, reprenons le cas simple de la transmission téléphonique de (deux douzaines de) « grilles » de mots croisés, et occupons-nous du correspondant (à l'autre bout de la ligne) qui tient un écouteur dans une main et un crayon dans l'autre, pour enregistrer cette avalanche de mots :

« blanc » « noir » « stop » « fin »;

il doit naturellement disposer d'une réserve de « grilles » vierges, sur lesquelles il notera « au commandement ». Naturellement, les mots « stop » et « fin » ne donnent lieu à aucune inscription, mais à des sauts de sa main : ces mots constituent une *parfaite* vérification, du fait qu' « émetteur » et « récepteur » en sont simultanément *au même point* de leur transmission répartie

(1) L' « accrochage » sera, si l'on veut, la somme :

accord + synchronisme

entre le récepteur et l'émetteur de télévision que l'on désire capter.

(2) Si (comme c'est la technique habituelle) on opère par changement de fréquence (*fig.* 139, pp.232-233).

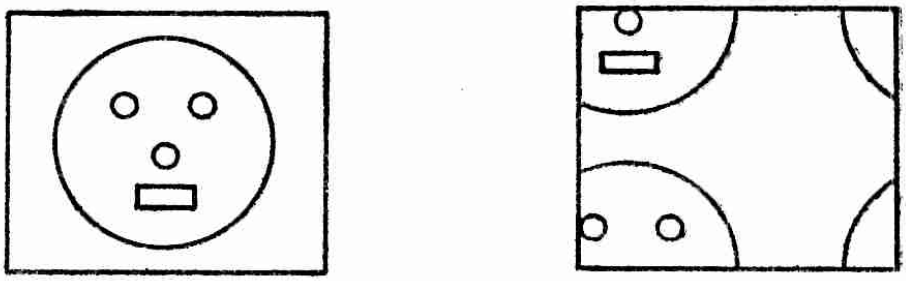


FIG. 185-186. — La silhouette (très schématique) d'une vedette de cinéma et ce qu'elle devient à la réception, si elle est coupée en deux selon la verticale (absence de synchronisation-lignes) et coupée en deux selon l'horizontale (absence de cadrage).

sur 52 minutes. Les « stop » et les « fin », qui produisent cette simultanéité, sont précisément les signaux de synchronisation.

Insistons un peu plus, car la question en vaut la peine. La figure 183 reproduit exactement l'ancienne figure 178, tandis que la figure 184 représente la transmission erronée qui pourrait résulter de l'absence des « stop », destinés à avertir de l'achèvement du balayage d'une ligne. On conçoit donc que nos « stop » assurent la « synchronisation-lignes ». De la même manière, nos « fin » permettront la « synchronisation-image » ou *cadrage* (1). On a représenté (*fig.* 185) la silhouette d'un visage et, à côté (*fig.* 186), l'image reçue en lui attribuant les deux défauts (2) :

l'absence de synchronisation-lignes de la figure 184;
un décadrage de cent pour cent.

Nous aurons à montrer comment, en télévision, les signaux de synchronisation, fournis par l'émetteur, asservissent les « bases de temps » dont le téléspectateur est obligatoirement muni.

77. *Compléments à notre connaissance de l'électron.* — Les deux précédents paragraphes nous ont convaincus de la rationalisation du balayage et de l'inévitabilité de la synchronisation.

Mais ce n'est là qu'*une histoire racontée après coup*, en tenant compte de tout ce que nous savons aujourd'hui et dans l'espoir que le lecteur y comprenne quelque chose avec le minimum de

(1) Ce mot évoque le geste qui consiste à bien placer une « pin up girl » (une vedette) dans son cadre.

(2) Abstraction faite d'allongements ou raccourcissements possibles des lignes.

peine. Ce serait stupide de penser que les techniciens, qui, pendant un quart de siècle, cherchaient « dans le noir », se soient jamais dit : « Nous allons être des balayeurs conscients et organisés, ainsi que des synchroniseurs à un fifrelin près ». Tout cela n'est venu que progressivement : il n'y a *rien de commun* entre des résultats personnels et une mise au point des résultats acquis (1).

Il s'agit maintenant de décrire les moyens mis en œuvre, en prenant cette utile précaution de ne pas les aborder tout de go. Car, avant les moyens, il nous faut prendre contact avec les principes (les lois), et ce que nous savons déjà n'est guère que la moitié de ce qu'il nous faut (2).

Ces compléments se classent (le plus simplement possible) sous trois rubriques :

d'une part, l'approfondissement de l'action d'un champ (électrique ou magnétique) sur un électron en mouvement;

d'autre part, des notions sur le choc d'électrons rapides contre les molécules qui constituent les gaz;

enfin, l'introduction d'un phénomène primordial et inattendu, dont nous n'avons parlé ici (3) que par allusions (§ **24**) et qui se nomme l'effet photoélectrique, découvert par Heinrich Hertz en 1887.

Ces nouvelles propriétés (4) vont se superposer à celles que nous connaissons déjà (5). Propriétés « nouvelles » et propriétés

---

(1) C'est une des raisons pour lesquelles les chercheurs (expérimentateurs, voire théoriciens) rédigent si mal et d'une façon presque toujours incompréhensible. En règle générale, cette sorte d'activité intellectuelle, aux antipodes de leur « marotte » quotidienne, les ennuie mortellement (ils détestent « pondre », comme ils le proclament volontiers avec une pointe de mépris). Il faut pourtant bien qu'il y ait (logiquement parlant) des gens qui digèrent ce qu'ils ont fait et (socialement parlant) des gens qui empêchent leurs trouvailles de rester confidentielles...

(2) Mais nous ne dirons pas tout... Nous tairons forcément maintes autres choses, puisque étrangères à notre plan (par exemple, les propriétés ondulatoires de l'électron). De même, nous ne dirons rien sur la nature corpusculaire (et ondulatoire) de la lumière. Toutes théories dont on trouverait une vue panoramique dans *les Deux Infinis* (7e édition, Larousse).

(3) La photoélectricité a été exposée à un autre point de vue et d'une manière un peu plus complète dans *Idées nouvelles* (pp. 138-149, 8e édition, Larousse). C'est d'ailleurs à la photoélectricité que se rattachent aussi bien la photographie que la fluorescence provoquée par les électrons sur des corps solides privilégiés.

(4) Nouvelles pour nous...

(5) Tension électrique ou perturbation dans la répartition normale des élec-

« anciennes » vont s'insérer bien sagement, à leurs places, dans l'édification de la télévision, où il serait puéril de discerner une « harmonie préétablie » : c'est tout bonnement la réalisation d'un *plan* par le concours d'êtres imaginatifs et renseignés, laquelle est du même ordre que celle d'un jardin à la Le Nôtre ou que l'exécution d'une symphonie de Beethoven.

I. *Déviations des électrons.* Nous avons longuement expliqué (au chapitre IV) que, dans les « intervalles de vide » des tubes électroniques, les électrons sautent *en ligne droite* de la cathode à la plaque (1). Ce mouvement (primitivement rectiligne et uniforme), nous allons le modifier artificiellement en portant notre attention sur un seul d'entre eux (représenté par un petit cercle O [*fig.* 187]) et en exerçant sur lui un champ (soit électrique [*fig.* 188], soit magnétique [*fig.* 189]), mais **transversal** dans les deux cas (c'est-à-dire perpendiculaire à la trajectoire initialement parcourue).

1° L'électron O (*fig.* 187) décrit la ligne droite OA, de l'arrière vers l'avant (2) : c'est dire que la cathode (non représentée) est derrière le dessin, et la plaque (non représentée) devant. Nous supposons maintenant que *le même* électron O (*fig.* 188) se trouve entre les armatures du condensateur (chargé) de la figure 8 : on lui applique, en d'autres termes, un champ électrique (§ **5**) *horizontal,* de direction droite-gauche. Il est certain (d'après tout ce que nous savons) que l'électron ne se déplacera plus suivant la ligne droite (arrière-avant) OA, mais qu'étant repoussé par le plateau de

---

trons (créant un champ électrique, §§ **5** et **6**);

Courant électrique ou procession (dans un métal ou dans le vide) d'électrons (créant un champ magnétique, § **9**);

Courants de haute fréquence ou oscillations rapides d'électrons (créant un rayonnement électromagnétique, § **22**);

Expulsion des électrons par les corps chauds (mise à profit dans la cathode des tubes électroniques, § **33**);

Répulsion mutuelle des électrons (mise à profit dans la commande des tubes électroniques, § **31**);

Docilité à peine concevable des électrons (les rendant aptes à n'importe quelle besogne qu'on leur confie).

(1) Ils sont mûs par le champ électrique (longitudinal) qui règne entre ces deux électrodes, étant à la fois repoussés par la cathode et attirés par la plaque.

(2) Les deux plans fictifs de cette figure 187 ne sont là que pour concrétiser sans ambiguïté la direction du mouvement.

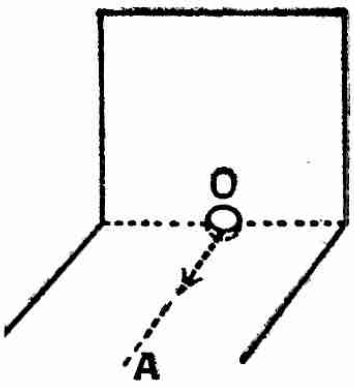


FIG. 187. — Le trajet primitif OA d'un électron (par exemple, entre cathode et plaque d'un tube électronique, fig. 78).

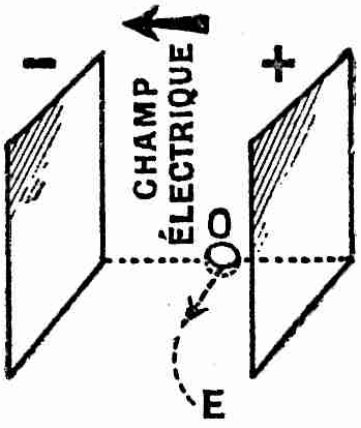


FIG. 188. — Ce que devient (OE) le trajet OA, quand l'électron traverse un condensateur sous tension continue.

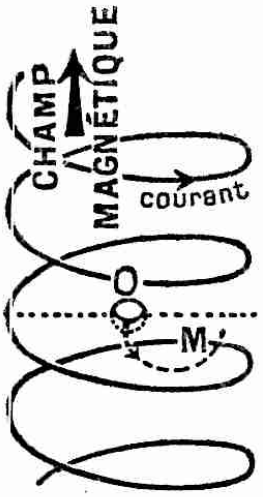


FIG. 189. — Ce que devient (OM) le trajet OA, quand l'électron traverse une bobine parcourue par un courant continu.

gauche et attiré par le plateau de droite (1), son trajet va s'incurver vers sa gauche à lui (ou vers notre droite à nous), suivant la courbe (2) OE. L'électron est donc *dévié* par un champ électrique appliqué perpendiculairement à la direction de son mouvement.

2° Partant à nouveau de l'électron se mouvant suivant OA (*fig.* 187), nous l'entourons (*fig.* 189) d'une bobine d'axe vertical (3) et parcourue par un courant électrique continu (écoulement d'électrons) : on lui applique, en d'autres termes, un champ magnétique (§ **9**) *vertical*, de direction bas-haut (4). Mais, cette fois-ci, le bon

(1) On dit parfois qu'il est soumis à une force de Coulomb (1785).

(2) La courbe est une parabole (comme celle d'un jet liquide, sortant d'un ajutage horizontal). On se doute bien que toutes ces « petites histoires » qualitatives (au niveau desquelles nous nous maintenons obstinément) *donnent lieu* à des précisions *quantitatives* parfaitement connues et (dans le cas présent) assez simples : on prévoit en toute rigueur la *déviation électrique*, en fonction de la valeur (en volts par cm) du champ, de la vitesse initiale de l'électron et du parcours effectué dans l'âme du condensateur.

(3) Comme celle de droite de la figure 21.

(4) Le lecteur est prié de bien comprendre que champ électrique (*fig.* 188) et champ magnétique (*fig.* 189) sont *tous deux* TRANSVERSAUX par rapport au mouvement de O vers A (*fig.* 187), mais qu'*ils le sont différemment :* pour obtenir, dans les deux cas, une déviation suivant *la même* direction, il faut que ces champs (appliqués isolément) soient PERPENDICULAIRES ENTRE EUX.

sens ne suffit plus (1), et nous ne pouvons faire mieux que d'affirmer ce qui se passe, en négligeant de remonter aux raisons (2). A nouveau, le trajet de l'électron va s'incurver vers sa gauche à lui (3), suivant la courbe (4) OM. Moralité (comme en 1°) : l'électron est *dévié* par un champ magnétique appliqué perpendiculairement à la direction de son mouvement.

On voit d'ici le parti à tirer de cette merveilleuse histoire. Car nous ne perdons pas de vue qu'il s'agit de télévision : nous y songeons toujours, même quand nous n'en parlons pas. Au lieu de déplacer à la main le trou du cache (*fig.* 179) devant la « grille » (*fig.* 178) de mots croisés, nous fabriquerons un jet (un « pinceau ») d'électrons et nous obligerons ceux-ci à passer à l'intérieur de condensateurs (*fig.* 188) ou de bobines (*fig.* 189), par lesquels nous ferons produire des champs (électrique et magnétique) de haute fréquence : le « bout » du jet d'électrons balaiera l'image à téléviser avec les rapidités « astronomiques » qui nous étaient *imposées* (§ **75,** 2°), et le tour sera joué (5).

Ajoutons incidemment, sans pouvoir nous étendre, que cette déviation des électrons (par condensateurs ou bobines) présente des analogies avec la déviation des rayons lumineux dans les instruments d'optique : aux alentours de 1935 et depuis, on a vu surgir des dispositifs ingénieux et complexes, parvenant à concentrer en un point (à « focaliser ») un large jet d'électrons (6).

II. *Chocs d'électrons dans les gaz.* Jusqu'ici, nous avons

---

(1) Rien n'est moins évident que cette force de Laplace (1820), dont rendent compte la théorie de Maxwell (1865) et les théories électroniques de Lorentz (au début de notre siècle).

(2) Cela signifie que, pour nous, ce qui va être dit sera considéré comme un point de départ (§ **1**), que nous renonçons à expliquer ici.

(3) Il n'y a aucun « mystère » là-dedans, puisque tout a été fait pour cela.

(4) La courbe est une circonférence. Nous l'avons choisie de très petit rayon, pour que le dessin soit plus suggestif, mais, en télévision, on s'arrange pour avoir un arc (de circonférence) quasi rectiligne.

Comme il est dit dans l'une des dernières notes, on prévoit en toute rigueur la *déviation magnétique* en fonction de la valeur (en gauss) du champ, de la vitesse de l'électron et du parcours (quasi rectiligne) effectué dans l'âme de la bobine.

(5) Il n'y aura plus qu'à savoir ce que cela donne, mais ce nouveau mystère s'évanouira incessamment (en **III**).

(6) C'est, ainsi que l'on sait, le principe du microscope électronique et du télescope électronique.

explicitement admis que les tubes électroniques étaient « pleins de vide », autrement dit que la pression résiduelle (le nombre des molécules restantes) était suffisamment faible pour que l'électron saute en ligne droite d'une électrode à une autre. Nous nous serions bien gardé de « soulever ce lièvre » (1), si, dans cette abondance de richesses encore quelque peu incohérente, les ingénieurs électroniciens n'avaient pas pêché (1938) une application qui bouchait un trou dans l'édifice en construction de la télévision.

En principe, chaque tube électronique pourrait avoir son double, son frère jumeau : à chaque modèle « à vide » correspondrait un modèle « à gaz » (où se trouvent enfermés du néon, de la vapeur de mercure,..., toujours sous basse pression). La diode à atmosphère gazeuse (2) présente ces deux caractères, de laisser passer un courant relativement considérable (3) et de conserver, entre ses deux électrodes, une tension (d'une dizaine de volts) qui reste pratiquement invariable. Enfin la triode à atmosphère gazeuse (thyratron) rend, en télévision, d'excellents services (§ **79**).

III. *Photoélectricité.* Un immense chapitre de la physique s'est ouvert à la suite de la découverte de Heinrich Hertz (1887), qui montra qu'un métal éclairé — tout comme un métal chauffé (§ **31**) — dégage « de l'électricité », c'est-à-dire ce que nous avons reconnu, depuis, être des électrons. En 1905, Albert Einstein établit la théorie de l'effet photoélectrique, ce qui devait amener un bouleversement sans précédent des conceptions les plus naturelles sur le monde extérieur. La même année, deux savants allemands, Julius Elster et Hans-Friedrich Geitel, parvinrent à surmonter des difficultés expérimentales sans nombre, contre lesquelles leurs émules avaient échoué, et mirent au point la *photocellule* (4), dont ils étudièrent les caractéristiques.

Bien entendu, les adaptations de la photocellule à la télévision

---

(1) Un électron rapide, frappant une molécule, lui arrache quelquefois un électron (dit « électron secondaire »), tandis que la molécule « mutilée » reçoit le nom d' « ion ». Les travaux expérimentaux et théoriques sur l'*ionisation par choc* sont consignés dans des centaines de mémoires scientifiques (de tous pays), faute de quoi la télévision n'aurait jamais « trouvé son bien » dans ce phénomène...

(2) Peu importe pour nous qu'on l'ait appelée phanotron (pour rappeler le fait que ce tube devient *lumineux* quand il fonctionne comme redresseur [§ **32**]).

(3) De l'ordre d'un ampère, donc du même ordre que celui qui passe dans le filament d'une grosse ampoule électrique.

(4) Dite encore (avec une débauche de syllabes) : « cellule photoélectrique ».

(§ **80**) retiendront longuement notre attention. Il nous suffit, pour le moment, d'un aperçu extrêmement général : comme la diode, la photocellule est un tube à vide (1), comportant une cathode (reliée au pôle — d'un générateur) et une anode (2), recueillant les photoélectrons (3). Les figures 190 et 191 représentent schématiquement (en coupe et vu de face) un type de photocellule : l'anode est en fil de nickel, et la cathode (dite encore photocathode) est une couche mince de métal alcalin (4).

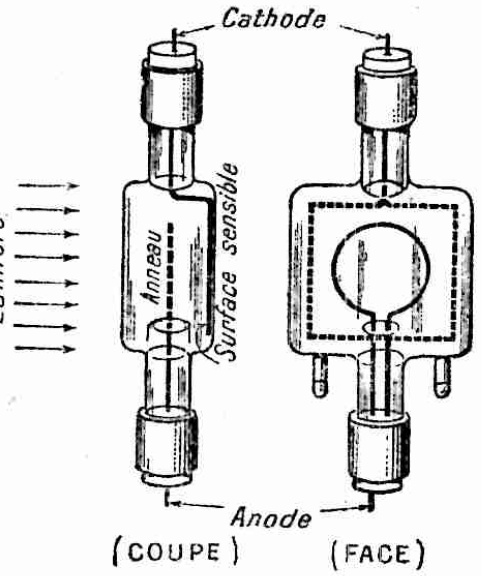


FIG. 190 et 191. — Un modèle de photocellule.
La lumière tombe sur la cathode (pellicule sensible de métal alcalin) et en expulse des électrons, qui sont attirés par l'anneau de nickel (anode).

Au point de vue pratique, la photoélectricité couronne la suite des services que le genre humain avait exigé de la lumière. Pendant cent mille générations, nos ancêtres n'eurent d'autre ressource que de copier (à la main) certains aspects — pas trop fuyants — du monde extérieur. La première étape consista non seulement à connaître avec rigueur le chemin des rayons lumineux (depuis le XVII siècle), mais à approfondir l'étude des effets chimiques de la lumière (au XIX[e]), et c'est alors que put naître la photographie (5) : la communication de documents (d'abord fixes, puis *mécaniquement* animés) d'une localité à une autre n'était alors possible que par transport mécanique.

C'est que la photographie avait pour défaut de laisser, de la lumière, une trace intangible, définitive (sous forme d'une

---

(1) Les photocellules à gaz ne sont pas utilisées en télévision, car, pour elles, le courant photoélectrique n'est pas proportionnel à la lumière reçue.

(2) En forme d'anneau (jouant le rôle de la plaque de la diode et donc connectée au pôle +).

(3) C'est-à-dire les électrons que la lumière incidente expulse de la cathode.

(4) Les métaux alcalins (lithium, sodium, potassium, rubidium, césium) sont les plus oxydables de tous (ils s'enflamment quand on en fait tomber un petit morceau sur de l'eau). On notera le parallélisme entre l'oxydabilité et l'intensité de l'effet photoélectrique.

(5) En amenuisant le rôle social des artistes peintres, tout au moins dans leurs fonctions de portraitistes et de pourvoyeurs d'archives graphiques.

modification des produits chimiques *ad hoc*). Mais tout autre se présenta la photoélectricité, qui transformait directement et instantanément l'énergie lumineuse en énergie électrique, d'où cette possibilité — véritablement révolutionnaire — de transmettre *au fur et à mesure* les variations de forme et d'éclairement par l'intermédiaire d'une canalisation métallique ou d'un rayonnement hertzien (modulé à cet effet) : la découverte photoélectrique de Hertz (1887) était destinée à se combiner avec sa découverte radioélectrique (1888), avec, au départ, un *traducteur lumière-courant*, une photocellule (de plus en plus perfectionnée, § **80**).

Mais que faire à l'arrivée? Tout le monde devine qu'il y faudra un *traducteur courant-lumière*. Aujourd'hui que nous sommes suffisamment renseignés sur ce chapitre de la science, nous savons que cette traduction inverse est possible, qu'elle est même dans la « nature des choses »..., autrement dit que le fonctionnement d'une photocellule peut, dans des conditions légèrement différentes, être renversé. Tandis que la photocellule absorbait des rayons lumineux pour expulser des électrons, notre désir est de lancer des électrons sur une paroi convenable qui émettra de la lumière : c'est une des modalités de la *fluorescence* (1), plus précisément la fluorescence cathodique, remarquée (en 1859) par l'Allemand Julius Plücker et étudiée (en 1879) par l'Anglais William Crookes. Nous retrouverons ce phénomène dans les récepteurs de télévision (chap. X).

Et c'est ainsi que, en principe, on reproduit à distance le monde mouvant qui nous entoure, avec un luxe de détails que l'œil est incapable de percevoir. L'œil est, au surplus, « un mauvais instrument d'optique », suivant l'expression (1856) de Hermann von Helmholtz (1821-1894), dont on ne peut considérer l'opinion comme négligeable, puisque c'était un très grand physicien et l'un des premiers physiologistes de son époque.

78. *Canon à électrons et organes de déviation.* — C'est en 1897 que le physicien allemand Ferdinand Braun s'amusa — fort sérieusement et fort efficacement — à taquiner

(1) Connue depuis... 1671, grâce au chercheur allemand Athenasius Kircher. La fluorescence est une espèce du genre luminescence, en désignant par là toute production de lumière qui n'est pas liée à l'agitation thermique (à la température seule). La fluorescence cathodique des « écrans » de télévision (§ **88**) est une électroluminescence.

les électrons sautant dans le vide, en les soumettant (§ **77, I**) à des champs électrique et magnétique constants (1) : le « tube de Braun » (jet d'électrons dans le vide + organes de déviation [2] + écran), successivement appelé oscillographe (ou oscilloscope) cathodique, puis (tout simplement) *tube cathodique*, fut préconisé (dès 1907) par le technicien russe Boris Rosing pour la réception en télévision, avant de s'imposer (presque *trente* ans plus tard!) dans les stations d'émission. Aujourd'hui, le tube cathodique règne sans partage, tant au départ qu'à l'arrivée, et il ne semble pas près d'être détrôné.

Il s'agit, pour l'instant, d'émission.

Nous aurons donc (*fig.* 192) à « fabriquer » des électrons dans le vide et à nous en servir pour bombarder un écran E (3) :

La meilleure « source » d'électrons met à profit l'émission thermoélectronique (§ **31**) et, tout spécialement, le perfectionnement apporté (1904) par Arthur Wehnelt (4). Mais il ne nous intéresse plus (comme pour la figure 78) d'avoir une source rectiligne d'électrons, mais bien une source *ponctuelle;* c'est pour cela que la cathode, à chauffage indirect (Ch, Ch), des tubes cathodiques fut baptisée *canon à électrons :* ce « canon », que l'on voit à droite de la figure 192, est un petit bloc de matière réfractaire, traversé par une résistance chauffante et à la droite duquel on a ménagé une petite excavation, contenant une petite masse de baryum-strontium (cette masse, qui constitue la cathode proprement dite, est connectée au pôle — d'un générateur de

---

(1) Rappelons que ces sauts d'électrons (primitivement nommés « rayons cathodiques ») avaient été mis en évidence (1868) par un autre savant allemand, Wilhelm Hittorf; que Jean Perrin avait établi l'électrisation *négative* des électrons (1895) et que la déviation (§ **77, I**) des électrons dans un « tube de Braun » servit de point de départ (1897-1900) à l'établissement de la « fiche anthropométrique » de l'électron par l'illustre Anglais Joseph-John Thomson : on obtient ainsi leur vitesse (en km par sec) et leur électrisation pour chaque gramme d'électrons.

(2) C'est parfaitement inutile — et un peu puéril — de traduire le mot « déviation » en anglais. On se laisse trop souvent aller à écrire « organes de déflection » : si c'est de l'anglais, il faut prononcer *diflekk-shœn*; si c'est du français, il faut orthographier « déflexion », et l'on donne l'impression de ne pas savoir un mot de physique (puisque ce terme n'y est jamais employé !).

(3) Qui est, ici (à l'émission), une surface photosensible (*fig.* 190 et 191) et qui (à la réception) sera un enduit fluorescent (§ **77, III**, fin).

(4) Lequel perfectionnement consiste — comme on sait (*fig.* 79, à gauche) — à remplacer le tungstène par le mélange baryum + strontium.

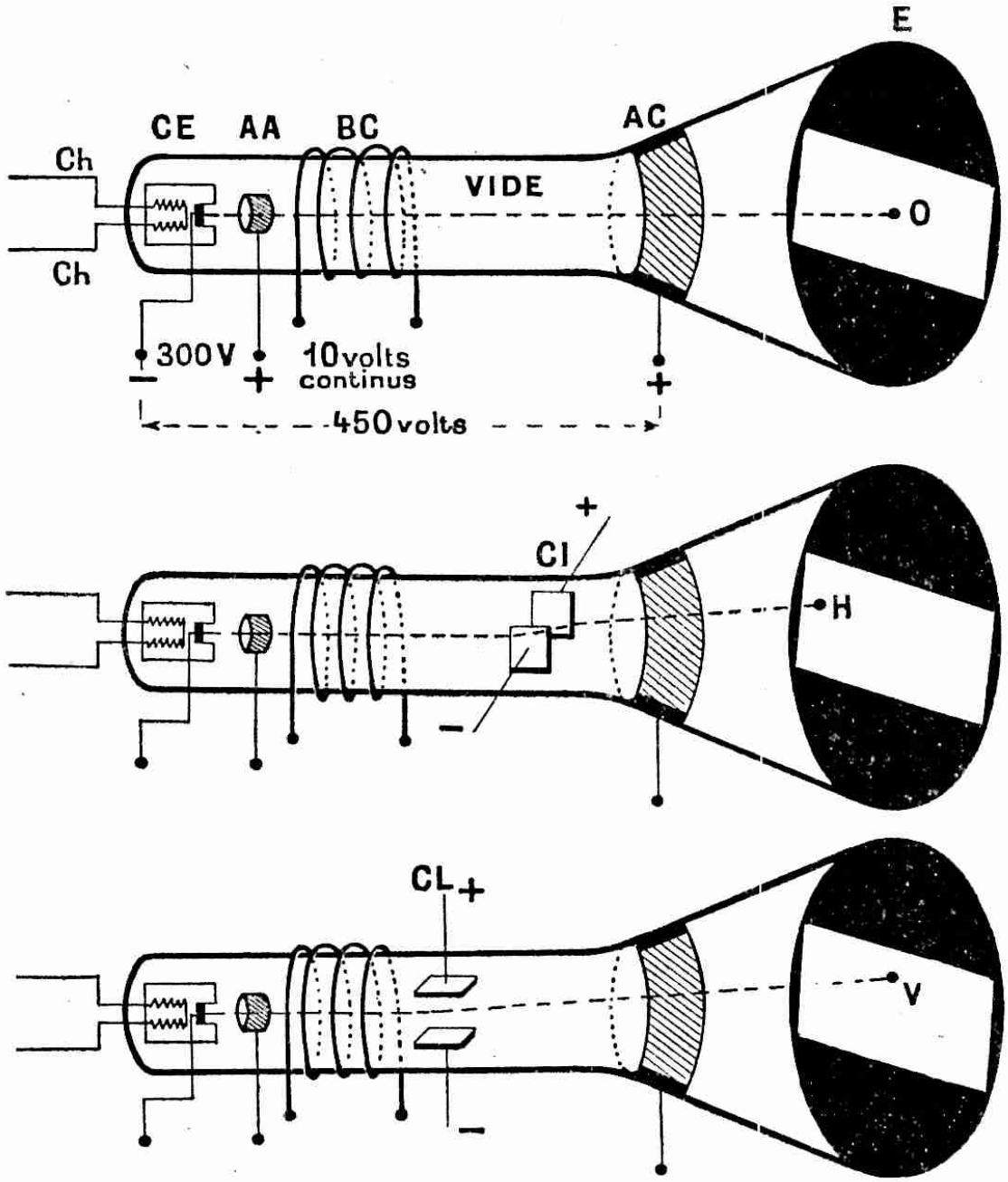


FIG. 192-194. — Représentation schématique du tube cathodique.
Sans organes de déviation, le canon à électrons CE produit, sur l'écran E, un spot central O (*fig.* 192). Avec le condensateur-lignes CL, le spot est en H (*fig.* 193). Avec le condensateur-image CI, le spot est en V (*fig.* 194). Pour le balayage électronique de l'écran, les deux condensateurs CL et CI sont présents et fonctionnent simultanément.

300 volts, par exemple) [1]. Finalement, les électrons ont, pour trajectoire moyenne, la ligne horizontale

(1) Répétons-nous : il importe que le baryum-strontium soit négatif, pour que les électrons en soient expulsés. Le pôle positif est relié à un petit cylindre creux AA, dit anode accélératrice (*fig.* 192).

Ajoutons, pour fixer les idées par un ordre de grandeur, que l'on disposera de

(pointillée) de la figure 192 et viennent converger (1) au point O, centre du rectangle en E.

Mais ce n'est pas tout que d'obtenir, sur E, une trace, un point d'impact : il faudra le déplacer à notre guise, « rationnellement » (§ **75**), de manière à « toucher » tous les éléments du rectangle. On va voir, par les figures 193 et 194, combien la solution est à la fois ingénieuse et simple (2).

1° La figure 193 est une simple reproduction de la figure 192, avec l'adjonction (dans le vide) d'un condensateur CL (condensateur-lignes) à plateaux *verticaux,* auquel nous appliquons d'abord une tension continue. Avec un brin d'imagination, on s'apercevra que CL n'est autre chose que le condensateur de la figure 188 (ayant pivoté d'un quart de tour), de telle manière que le spot ne parviendra plus en O (sur l'écran E), mais quelque part sur l'horizontale passant par O (en H, sur la figure 193).

Si, à la tension continue (aux bornes de CL), était substituée une tension alternative (régulière, du genre de celle qui est représentée graphiquement par la figure 12), le spot décrirait indéfiniment l'horizontale IJ de la figure 195, avec des durées égales pour l'aller IJ et pour le retour JI.

Ce n'est pas encore tout à fait cela que nous désirons, comme nous le suggère cette même figure 195 : nous nous arrangerons (§ **79**) pour que le temps d'aller (41 microsecondes = 41 millionièmes de seconde) soit beaucoup plus long que le temps de retour (8 microsecondes),

---

225 accumulateurs (de 2 volts chacun). La borne négative de la batterie est à la cathode; la borne positive du 150e accu est connectée avec AA, et la borne positive du 225e communique avec l'anode collectrice AC, destinée à éviter que les électrons, « fatigués », « traînent en route » ou « fassent demi-tour », sans atteindre l'écran E.

(1) La bobine de concentration BC fonctionne comme une « lentille électronique » (§ **77, I**, fin), dont le foyer serait en O (nous ne pouvons pas parler du calcul et des détails des trajectoires — hélicoïdales — qui se rassemblent en O).

(2) La comparaison des figures 188 et 189 montre que l'on pourrait remplacer :

a) Le condensateur CL par une bobine (extérieure au tube et en deux moitiés) d'axe vertical;

b) Le condensateur CI par une bobine (extérieure au tube et en deux moitiés) d'axe horizontal arrière-avant.

étant donné que l'aller sert à l'exploration d'une ligne, tandis que le retour est simplement une remise en place.

2° Deuxième couplet : la figure 194 est une reproduction de la figure 192, avec l'adjonction (dans le vide) d'un condensateur CI (condensateur-image) à plateaux *horizontaux,* auquel nous appliquons d'abord une tension continue. Maintenant que nous sommes quelque peu initiés, nous devinerons que le spot ne parviendra plus en O (sur l'écran E), mais quelque part sur la verticale passant par O (en V, sur la figure 194).

Si, à la tension continue (aux bornes de CI), était substituée une tension alternative (régulière, du genre de celle qui est représentée graphiquement par la figure 12), le spot décrirait indéfiniment la verticale UW de la figure 196, avec des durées égales pour l'aller UW et pour le retour WU.

A nouveau, ce n'est pas cela qu'on veut : la figure 196 indique qu'on s'est débrouillé (§ **79**) pour que le temps d'aller (36 millisecondes = 36 millièmes de seconde) soit beaucoup plus long que le temps de retour (4 millisecondes), puisque l'aller sera consacré au balayage total de l'écran (de l'image), alors que le retour nous fait repartir à zéro, après l'achèvement de chaque exploration.

Après tout, les éclaircissements qui précèdent ne sont peut-être pas intelligibles du premier coup (1). Pour une fois, nous conseillons au lecteur (dans tous les cas) de passer outre, quitte à relire les 1° et 2° lorsqu'il aura examiné la figure 197 et lu les explications qui vont l'accompagner.

Le tube cathodique d'émission (2) est la *superposition* des deux figures 193 et 194 (3). La figure 197 schématise (4) les zigzags

---

(1) Encore qu'à notre connaissance, personne n'ait jamais pris la peine de les fournir avec autant de minutie.

(2) Complet, mais réduit à sa plus simple expression.

(3) En principe, il est indifférent que CI soit avant CL, ou CL avant CI. On pourra remarquer également qu'avec un tube cathodique complet, on reproduit la figure 193 en mettant les deux plateaux de CI en court-circuit et que, inversement, on retrouve la figure 194 en mettant les deux plateaux de CL en court-circuit. Mais, en réalité, on a bel et bien besoin, et de CI, et de CL, comme la suite de l'histoire nous en convaincra sans conteste.

(4) Ne pas perdre de vue (§ **75**) que le balayage réel (en télévision française) comporte 819 lignes et que cette figure n'en a dessiné que sept...

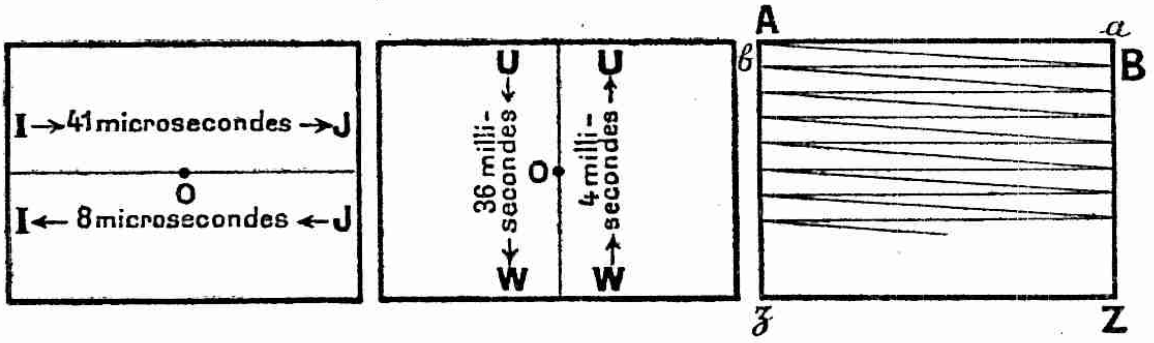


FIG. 195. — Le trajet (horizontal) du spot, lorsque le condensateur-lignes (*fig.* 193) fonctionne seul.

FIG. 196. — Le trajet (vertical) du spot, lorsque le condensateur-image (*fig.* 194) fonctionne seul.

FIG. 197. — Le balayage en zigzags, dû à la collaboration des deux condensateurs CL et CI.

du spot O (*fig.* 192), autrement dit du point de concentration des électrons lancés par le « canon » (ce point ou spot est manifestement un petit cercle, dont le diamètre est égal à l'intervalle de deux lignes consécutives). Supposons (1) qu'au commencement le spot soit en A (*fig.* 197), pour aboutir en Z une fois que l'écran aura été totalement balayé. Etre en A pour le spot, cela signifie qu'on a (simultanément ou successivement) :

dévié le centre O d'une demi-largeur (de l'écran) vers la droite, donc de O en I (*fig.* 195), par le condensateur CL (*fig.* 193);

dévié le centre O d'une demi-hauteur (de l'écran) vers le haut, donc de O en U (*fig.* 196), par le condensateur CI (*fig.* 194).

Ce premier réglage effectué, les deux condensateurs sont, en même temps, soumis à leurs tensions bizarres (§ **79**) respectives, dont il nous suffit, pour l'instant, de savoir qu'elles provoquent les deux allers et retours décrits sur les figures 195 et 196.

I. Si le condensateur CL agissait seul sur le spot A, celui-ci parcourrait l'horizontale A*a* en 41 microsecondes;

II. Si le condensateur CI agissait seul sur le spot A, ce

(1) Ce n'est pas tout à fait exact, mais *cela ne fait rien*, puisque nous cherchons, avant tout, à comprendre les principes, sans nous noyer dans les fioritures techniques. Pour la même raison, nous laisserons de côté la production de l'entrelacement Barthélemy (*fig.* 181 et 182).

dernier décrirait la verticale Az en 36 millisecondes = 36 000 microsecondes, et, par conséquent, au bout de 41 microsecondes, il n'aurait franchi qu'une toute petite fraction A*b* de cette verticale Az. Les nombres précédents ont été choisis pour que

$$Ab \quad \text{soit égal à} \quad \frac{Az}{819}.$$

On conçoit immédiatement ce qui se passe, au bout de 41 microsecondes, quand CL et CI fonctionnent l'un et l'autre : le spot A est transporté en B, après avoir balayé la droite AB (1). C'est là le premier « aller », un « aller » accompagné d'une descente, d'ailleurs très faible.

Arrivé en B, le spot revient sur ses pas en 8 microsecondes : le premier « retour », cinq fois plus rapide que l'aller, s'effectue sans descente appréciable, de telle sorte qu'il atteint le point *b* (2).

En *b*, tout recommence de la même façon : il suffit (pour le second aller et le second retour) de répéter, mot pour mot, ce que nous venons de dire à propos du point A. Tant et si bien qu'en nous y reprenant à 737 fois (3), nous parvenons au point Z (*fig.* 197).

Il est possible maintenant d'abréger, car le lecteur, qui aura fait attention, a sûrement compris. Aller de A en Z, cela dure :

ou bien 737 fois 49 microsecondes
ou bien une fois 36 millisecondes;

le premier « ou bien » veut dire que le spot a effectué 737 allers-lignes et 737 retours-lignes (737 zigzags) ; le deuxième « ou bien » signifie, au contraire, que, pendant ce temps, il y a eu *un* aller-image (ou aller-trame).

Mais il faut pouvoir recommencer (et cela *indéfiniment*), donc retourner de Z à A : c'est ce que — tout le monde s'en rend compte — notre terminologie appellera le retour-image. Il est évident que ce retour, qui (*fig.* 196) dure neuf fois moins long-

---

(1) A peine a-t-on le droit de dire l' « oblique » AB, puisque, par suite de la petitesse de A*b*, cette « oblique » est presque horizontale (§ **75**).

(2) Strictement parlant, le spot accède à un point *b'*, légèrement inférieur à *b*. Mais, comme *bb'* est le cinquième de A*b*, la ligne de retour B*b'* (soit pratiquement B*b*) peut être tenue pour horizontale avec une très grande approximation.

(3) Car on prévoit 82 lignes noires (§ **81**), pour la remontée du spot (737 + 82 = 819).

temps que l'aller-image, sera formé de neuf fois moins de zigzags (soit seulement de 82). Et le tout (aller-image + retour-image) s'étale sur 40 millisecondes, soit sur un vingt-cinquième de seconde (§ **75,** 1°).

Un balayage complet de l'écran E du tube cathodique (*fig.* 192), avec ses 737 zigzags descendants et ses 82 zigzags ascendants, est donc une opération dont la complexité et la rapidité déjouent l'imagination. Peu importent cette complexité et cette rapidité si l'on est assuré que *le même* balayage — le même, dans tous ses détails et en synchronisme parfait (1) — sera réalisé au poste récepteur du téléspectateur. Et cette réalisation littéralement miraculeuse est essentiellement due à ce que les physiciens, pendant plusieurs décades, se sont occupés — sans arrière-pensée utilitaire — à connaître, à isoler et à domestiquer l'électron, lequel obéit, avec une inertie tout à fait négligeable, aux ordres électriques (ou magnétiques) qu'on lui donne par l'intermédiaire de condensateurs (ou de bobines).

79. *Dents de scie et signaux-synchro.* — Faisons le point, pour savoir où nous en sommes.

Nous avons dit (*fig.* 197) *ce que* nous faisions (balayer *relativement* lentement suivant le trajet AB, puis retourner *brusquement* en *b*), mais nous n'avons pas dit *comment* nous le faisions.

Persuadons-nous bien — en dépit des affirmations des techniciens, qui n'ont que trop tendance à affirmer qu'ils ont *tout* trouvé — que la réalisation eût été impossible, si la science théorique n'avait pas apporté une documentation irremplaçable sur des questions voisines, qu'il ne suffisait plus que de *transposer*. On ne nous accusera certes pas d'abuser des « comparaisons mécaniques », qui sont « la plaie » (ou une des plaies) de la vulgarisation scientifique : une analogie mécanique n'est recevable que si l'on s'est, au préalable, assuré d'une identité formelle (d'une identité de *formules* mathématiques) entre le phénomène électrique et le phénomène mécanique que l'on propose comme « modèle » (2). Ici, une analogie mécanique est précieuse, non

(1) Abstraction faite du décalage — d'ailleurs *constant* — dû à la propagation du rayonnement hertzien. Si, par exemple, la distance entre émetteur et récepteur est 30 km (et c'est généralement beaucoup moins), tout a lieu *de façon identique*, ici et là, à cela près que le spectacle est retardé (§ **22**) d'un dix-millième de seconde (de 100 microsecondes).

(2) Ce dont on ne peut avoir cure, si l'on ignore l'existence même des formules...

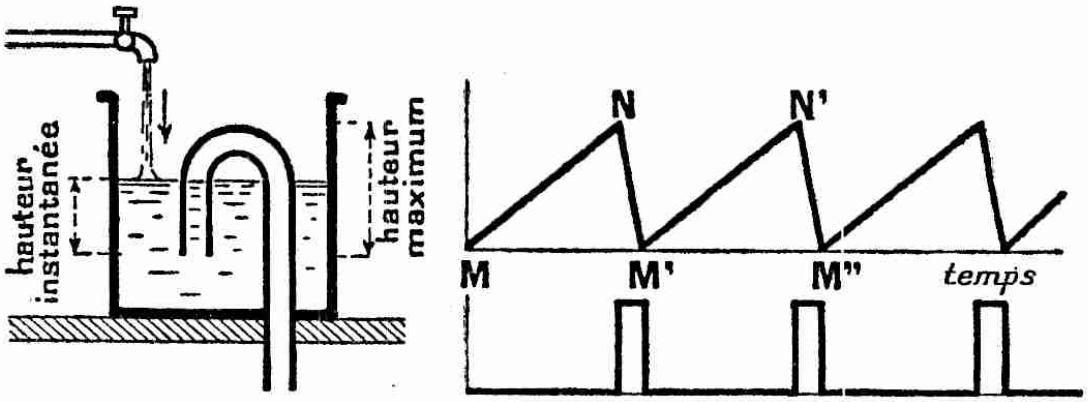


FIG. 198. — Le siphon intermittent (ou vase de Tantale), comme modèle des oscillations de relaxation.

FIG. 199. — Comment varie, en fonction du temps, la hauteur de l'eau dans le récipient.

FIG. 200. — Comment varie, en fonction du temps, l'eau débitée par le siphon.

seulement pour diriger l'esprit du lecteur, mais aussi parce qu'elle a manifestement inspiré les premiers électrotechniciens (1) qui se sont préoccupés de ces problèmes.

Nous ouvrons donc une parenthèse (hydraulique), que nous refermerons presque tout de suite. Il s'agit du siphon (2), plus précisément du siphon intermittent (3), dont la figure 198 nous donne une représentation schématique. Un mince filet d'eau (de diamètre constant) nous est fourni par la canalisation de la ville, et, au début de l'expérience, l'eau affleure au bas de la plus courte branche du siphon (4). Progressivement, le récipient (et la courte branche du siphon) se remplit, ce qui concrétise l'oblique MN du graphique de la figure 199. Mais, quand l'eau est parvenue dans le coude du siphon, celui-ci s'amorce, et tout se vide brusquement (oblique NM′ de la figure 199) jusqu'à ce que l'eau du récipient ait repris son niveau initial (5). Et la suite des faits recommence.

---

(1) En particulier, les Allemands H. Barkhausen (1907) et B. van der Pool (1927).

(2) Non pas du siphon d'eau de Seltz, mais du tube à deux branches (*fig.* 198), qui sert communément à transvaser les liquides (sans avoir besoin de faire basculer le récipient qui les renferme).

(3) Bizarrement dénommé « vase de Tantale ».

(4) La « hauteur instantanée » est alors nulle.

(5) On peut dire, en gros, que le rapport de la durée du remplissage (oblique MN) à la durée du vidage (oblique NM′) est égal au rapport de la section du filet d'eau d'amenée à la section du siphon. (Si l'eau tombe goutte à goutte du robinet, la durée du remplissage sera *énorme* : des milliers de fois supérieure à celle du vidage.)

On peut caractériser le siphon par plusieurs expressions, qui décrivent chacune un aspect de la question : c'est un exemple de « système autoentretenu » ; il transforme un débit d'eau continu en un débit par saccades (*fig.* 200), ou encore c'est une illustration du « tout ou rien ». On parle enfin d'*oscillations de relaxation*, en entendant par là que la période MM′ (*fig.* 199) comporte une charge progressive et une décharge rapide, en « coup de poing » (1).

Nous voilà bien loin, pensera-t-on, de la télévision et de ses balayages. Mais nous allons y être ramenés... par un retour brusque. Il se trouve que le graphique, en *dents de scie*, de la figure 199 est, à point nommé, ce qu'il nous faut pour les zigzags (AB long + B*b* bref, *fig.* 197) de ligne (2). Il suffit d'admettre que le graphique 199 (3) représente *maintenant* (toujours en fonction du temps) la tension électrique aux bornes du (4) condensateur CL (5) de la figure 193. C'est ce que fait encore mieux voir une correspondance entre les figures 197 et 199 :

au début, le champ électrique, créé par CL, est nul (M, *fig.* 199) et le spot est réglé en A (*fig.* 197) ;
le champ électrique augmente suivant MN, la déviation du spot s'accroît (proportionnellement) de A en B ;
quand le champ électrique est maximum (N, *fig.* 199), le spot a sa déviation la plus grande (B, *fig.* 197) ;
puis le champ diminue rapidement (de N en M′, *fig.* 199) et le spot, docile, rétrograde de B en *b* (*fig.* 197).

Mais comment obtenir ces oscillations *électroniques* (et non plus mécaniques) de relaxation, ces tensions en dents de scie qu'on appliquera à nos condensateurs CL et CI. Si nous affirmons qu'un moyen simple repose sur les chocs des électrons contre des molécules gazeuses (§ **77, II**), le lecteur conviendra que « ce n'était pas écrit » de toute éternité... Une fois initié, il n'y a qu'à utiliser une triode à atmosphère gazeuse, dénommée,

---

(1) Il est curieux de remarquer que les horloges (Christian Huygens, 1638), montres et chronomètres sont exclusivement des systèmes à relaxation.

(2) Et aussi pour les zigzags d'image (*fig.* 196).

(3) Où, à dessein, nous n'avons pas écrit ce que nous portions suivant la verticale.

(4) Ou bien — ce qui revient au même — le champ électrique entre les plateaux du...

(5) Ou — bien entendu — du condensateur CI de la figure 194.

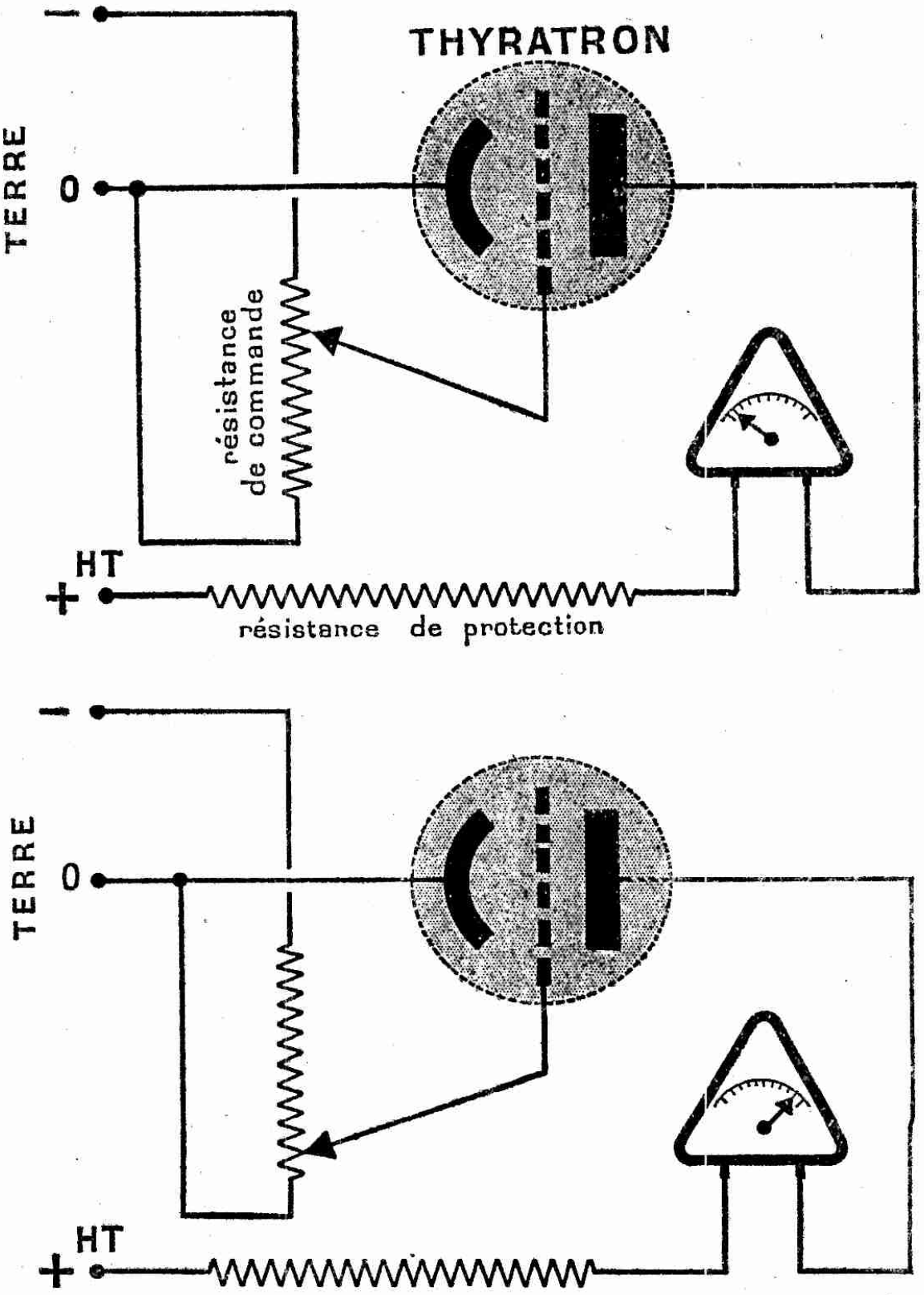


FIG. 201-202. — Le « tout ou rien » électronique.
Selon que la grille du thyratron est fortement négative (*fig.* 201) ou faiblement négative (*fig.* 202) — la tension-plaque étant supposée invariable —, il ne passe pas de courant dans le tube ou il y passe un très fort courant.

pour la circonstance, *thyratron* (1). Disons simplement que ce tube peut fonctionner de deux façons très différentes :

1° Si la grille est très fortement négative (*fig.* 201), cette dernière (comme dans la triode habituelle) « colle » les électrons contre la cathode, et le courant-plaque est nul;

2° Lorsqu'on rend la polarisation de la grille de moins en moins négative (2), il arrive un moment (*fig.* 202) où celle-ci ne joue pour ainsi dire plus aucun rôle, le thyratron devient brusquement (3) le siège d'un très fort courant (courant-plaque) : on dit que le tube « s'amorce » ou « s'allume » (4), à la manière des tubes luminescents utilisés pour l'éclairage.

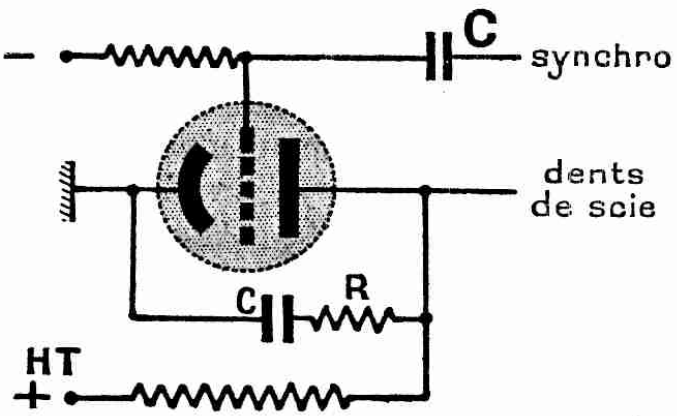


FIG. 203. — Montage très schématique laissant soupçonner comment un thyratron peut produire simultanément les dents de scie (*fig.* 199) et les tops de synchronisation.

Cette description extrêmement sommaire d'un « tout ou rien » électronique laisse pressentir la possibilité de montages idoines au but que nous visons; nous nous en tiendrons au plus simple d'entre eux (*fig.* 203), sur lequel il ne nous sera guère possible d'insister non plus. On reconnaît, sur cette figure, les deux résistances (5) de la figure 202,

(1) En souvenir d'un mot grec, qui, il y a deux mille ans, sur les bords de la mer Égée, voulait dire « perte » : un thyratron est une triode qui « a des pertes », de même qu'un récipient muni d'un siphon intermittent (*fig.* 198) « a des pertes ». Comme quoi les analogies mécaniques — pourvu qu'elles soient correctes — ne sont pas inutiles, ne serait-ce que pour suggérer des images concrètes aux débutants... Ces considérations sont passablement complexes, mais elles suffisent à condamner la prononciation « p'tit raton », que nous avons entendue dans la bouche de certains bricoleurs !

(2) Ou encore si l'on augmente suffisamment la tension-plaque (car tout réside dans le *rapport* des deux tensions considérées).

(3) Par un mécanisme que nous renonçons à décrire.

(4) Mais il ne se désamorcera (ou ne s'éteindra) que par *suppression* de la tension-plaque (*et non* en rendant à nouveau la grille fortement négative).

(5) Celles qui ne sont désignées par aucune lettre.

avec cette différence toutefois que la résistance de polarisation de grille est fixée une fois pour toutes, car on agira par variation de la tension-plaque appliquée au thyratron.

La haute-tension qui existe entre « HT + » et la Terre agit sur le condensateur C pour le charger, mais cette charge ne s'effectuera que relativement lentement (par suite de la présence de la grande résistance R). Cette charge « lente » (1) correspond à l'oblique MN de la dent de scie de la figure 199.

Mais, dès que la tension aux bornes de C et, donc, du thyratron atteindra une certaine valeur, celui-ci s'amorcera (2) : le condensateur C se déchargera brusquement (3) dans le thyratron, ce qui correspond maintenant à l'oblique NM′ de la figure 199. Et, la tension s'étant à nouveau annulée, la succession charge-décharge se poursuivra indéfiniment.

Le thyratron (ainsi que les dispositifs analogues) [4] contribue donc à « découper le temps » en tranches bien constantes; mais ce n'est pas lui qui en prend l'initiative, et c'est par un abus de langage, sur lequel il n'est plus possible de revenir, que les organes (*fig.* 208) correspondants de l'émetteur ont été dénommés « bases de temps ». Effectivement, c'est un autre organe, dit *générateur de signaux de synchronisation,* qui provoque le déclenchement de chacune des deux «bases de temps » et leur impose, par suite, leur fréquence de fonctionnement.

80. ***L'iconoscope et ses émules.*** — Nous savons maintenant comment on explore, comment on balaie une surface plane (en l'espèce l'écran E de la figure 192). Les deux questions qui se posent et auxquelles nous répondrons inversement à l'ordre logique sont :

Comment cet écran est-il constitué?

Que va-t-il recevoir?

---

(1) 41 microsecondes pour le balayage-lignes (*fig.* 195); 36 millisecondes pour le balayage-image (*fig.* 196).

(2) En réalité, on provoque l'amorçage de ce tube en rendant brusquement sa grille positive (c'est là le principe de la synchronisation).

(3) 8 microsecondes pour le balayage-lignes (*fig.* 195); 4 millisecondes pour le balayage-image (*fig.* 196).

(4) On retourne aux tubes à vide (*fig.* 214), notamment lorsque la fréquence de la relaxation est très élevée (bases de temps-lignes).

En télévision moderne (§ **73**), on forme sur cet écran l'image optique de la scène à téléviser, tout comme sur la pellicule d'un appareil photographique. Qu'il s'agisse de télévision directe ou de télécinéma, la *caméra* (de prise de vues) est une grosse boîte métallique, qui comporte un objectif (1). Après mise au point, l'image se formera sur l'écran, ce qui veut dire que cet écran sera recouvert d'une multitude de petites taches, dont l'éclairement sera proportionnel à celui de l'élément correspondant de l'« objet ». A ce point de notre histoire, il ne faudrait pas anticiper étourdiment et dire :

> Je vois la chose. C'est bien simple : si, à l'endroit même où apparaît l'image optique, on place une photocathode (couche mince de métal alcalin) du genre de celle des figures 190 et 191, celle-ci expulsera plus d'électrons par les points brillamment éclairés que par les points sombres, et...

Cette remarque est parfaitement exacte; seul, le « et » est de trop. Ce serait oublier qu'une cathode métallique, en un seul tenant, est conductrice et que tous ses points se mettent instantanément à la même tension (de par le courant qui circule dans la couche). En d'autres termes, une telle cathode serait bien hétérogène au point de vue *optique* (en l'examinant, on verrait les taches dont l'ensemble constitue l'image), mais elle serait homogène au point de vue *électrique* (électriquement parlant, tous ses points auraient les mêmes propriétés).

Il importe donc au premier chef que la cathode soit débarrassée de cette conductivité électrique superficielle, qu'elle soit morcelée en fragments (photosensibles) microscopiques, entre lesquels il n'y ait aucun contact. Dans ces conditions, chaque fragment, chaque « élément » conservera (le temps qu'il faudra) la tension que l'éclairement *local* de l'image optique lui aura attribuée. C'est cette conception qui a été réalisée, en 1934, par l'ingénieur américain (d'origine polonaise) Vladimir-Kosma Zworykin (2) : la photocathode morcelée se nomme *mosaïque,* et l'appareil entier a été baptisé iconoscope (3).

---

(1) De grande ouverture, comme celui d'une caméra de cinéma.

(2) Cette découverte, qui a fait démarrer la télévision électronique, n'eut rien d'une improvisation d'amateur : depuis dix ans, Zworykin était connu par les recherches importantes qu'il publiait.

(3) Encore que, malgré l'étymologie, il ne serve pas, directement, à « *voir* les images ».

En gros, l'iconoscope est « tout simplement » un tube cathodique (*fig.* 193 et 194), dont l'écran E est une mosaïque M (*fig.* 204), où se consommera le mariage de la lumière issue de l'objectif cinématographique et des électrons (lancés par leur canon, accélérés, déviés, collectés et employés au balayage, comme nous l'avons longuement raconté au cours des deux précédents paragraphes).

La mosaïque (sur mica) compte des centaines de milliers de grains d'argent au centimètre carré (1); *chacun* de ces millions de grains constitue, avec l'infime surface (de la plaque collectrice P) qui est en regard, un microcondensateur, et les millions de microcondensateurs sont ainsi montés en dérivation. Lorsque l'image optique est projetée sur la mosaïque, chaque grain expulse un nombre d'électrons proportionnel à l'éclairement *local* (en prenant une charge positive), la partie métallique en regard se chargeant (par influence) négativement (gain d'électrons).

Tel est l'état de choses *quand on ne balaie pas.*

Au cours d'une exploration totale de la mosaïque par le jet d'électrons (*fig.* 204), c'est-à-dire à chaque vingt-cinquième de seconde, *chaque* grain reçoit « un coup de balai », qui est plutôt une « raclée » d'électrons. Au passage, le grain en question récupère juste (2) autant d'électrons que la lumière lui en avait fait perdre (par effet photoélectrique, § **77, III**). Cette décharge brusque (3) produit un courant instantané dans la résistance de la figure 204, d'où un signal électrique (également instantané), que l'on fait agir sur la grille d'une triode amplificatrice (*fig.* 89) qui fait partie de ce qu'on appelle l'« ampli-vidéo » (*fig.* 208).

---

(1) La préparation est d'un empirisme rudimentaire : le mica étant revêtu d'une couche continue d'argent, on craquèle celle-ci par chauffage vers 600°. Mais, en dépit de toutes les précautions, on ne réussit guère que quatre opérations sur cent... Les grains sont ultérieurement photosensibilisés en les recouvrant d'une pellicule de métal alcalin (§ **77, III**). Les quelques mots qu'on vient de lire recouvrent des merveilles d'outillage et d'ingéniosité technique...

(2) La pratique a enseigné que le fonctionnement n'a pas cette belle harmonie, par suite de perturbations accessoires : la charge positive des grains et la « charge d'espace » (dans le vide, § **35**, note) ramènent au bercail certains des photoélectrons expulsés; le balayage électronique donne naissance à des électrons secondaires (§ **77, II**, note); les électrons du jet n'arrivent pas à décharger complètement les microcondensateurs. Tous facteurs qui diminuent le rendement et exigent une forte luminosité de la scène à téléviser. C'est pour remédier à ce dernier inconvénient que l'on a cherché à améliorer l'iconoscope, comme nous y ferons allusion dans un instant.

(3) Et il s'en produit (à chaque vingt-cinquième de seconde) un pour chacun des grains (des plusieurs millions de grains) de la mosaïque.

En définitive, le balayage total de l'image donnera lieu à autant de signaux (de variations de tension) qu'il y a de grains sur la mosaïque, et ces variations de tension, appliquées à l'organe modulateur (*fig.* 208) de la station émettrice, constitueront la *modulation* optique des ondes porteuses (chap. V). C'est ainsi que les plus infimes détails de la scène à téléviser seront inscrits dans le rayonnement électromagnétique que l'émetteur envoie vers le téléspectateur. Nous verrons, au chapitre suivant, comment le poste émetteur se débrouille pour « ramasser » *tous* ces signaux (signaux-vidéo et signaux-synchro), en « comprenant » l'intention que l'émetteur y a mise!

Avec l'iconoscope — en ce qui concerne les émetteurs actuels —, *le plus fort est fait*. Nous sommes récompensés des travaux d'approche, des détours et des circonlocutions qui se sont étalés sur 30 pages... Le reste est perfectionnement, non négligeable certes, mais perfectionnement de détail. Au surplus, nous aurons rempli notre rôle d'informateur, en indiquant dans quelles directions les améliorations se poursuivent et quels sont les résultats déjà atteints.

1° On a d'abord songé (Zworykin, 1939) à balayer la mosaïque par un jet d'électrons, non plus à 36° (*fig.* 204), mais (en moyenne) à 90° : cet iconoscope à balayage *perpendiculaire* a reçu le nom (abrégé) d'*orthicon* (1). Etant donné que la mosaïque doit être obligatoirement perpendiculaire (également) à l'axe de l'objectif, ces deux conditions ne peuvent être remplies que si la lumière arrive d'un côté, et les électrons de l'autre (*fig.* 205). Mais alors, puisque l'image se forme sur la mosaïque, la plaque collectrice sera extrêmement mince (pour absorber *le moins* possible de lumière) et la lame isolante T, transparente (2). L'orthicon et l'isoscope permettent des prises de vues avec des éclairements dix ou vingt fois plus faibles, mais la netteté de l'image s'en ressent.

2° Les récents modèles réussissent à supprimer la dispendieuse mosaïque de l'iconoscope. Le lecteur nous objectera que nous avons laissé entendre (au début de ce paragraphe) que c'était

(1) Une réalisation française ultérieure (sous la direction de Barthélemy) s'est appelée (sans étymologie valable) *isoscope*.

(2) Ajoutons qu'en faisant arriver (de la droite, *fig.* 205) des électrons *lents*, on accroît de beaucoup le rendement électrique de l'appareil (*voir* avant-avant-dernière note).

impossible. D'accord, mais, d'une part, c'était indispensable pour clarifier cet exposé, dont on conçoit maintenant les innombrables complications. Et, d'autre part, c'est effectivement impossible si (comme nous le supposions implicitement) on abandonne bien tranquillement les électrons au lieu où ils apparaissent (par effet photoélectrique).

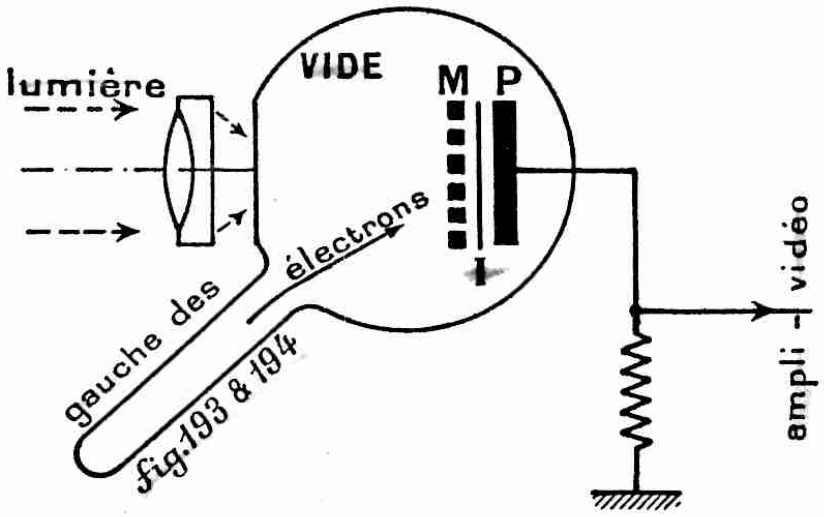


FIG. 204. — Principe de l'iconoscope.
Une lame isolante I de mica est contiguë (en arrière) à une plaque métallique P et (en avant) à la mosaïque M (comptant des centaines de milliers de grains photosensibles par centimètre carré). C'est à la mosaïque que certaines caméras de télévision doivent leur énorme prix de revient (plus d'un million de francs).

Mais ce n'est manifestement plus exact, si l'on prend soin de happer violemment les photoélectrons dès leur naissance : la photocathode et aussi la plaque balayée peuvent être *continues* (1). L'idée avait été lancée (1937) en Amérique, mais elle fut rapidement abandonnée; elle a été reprise (1947) en France, sous le nom d'*ériscope* (2), car son excellente mise au point conduit à un appareil très maniable, qui se contente d'éclairements dix fois plus faibles que ceux que réclame l'iconoscope.

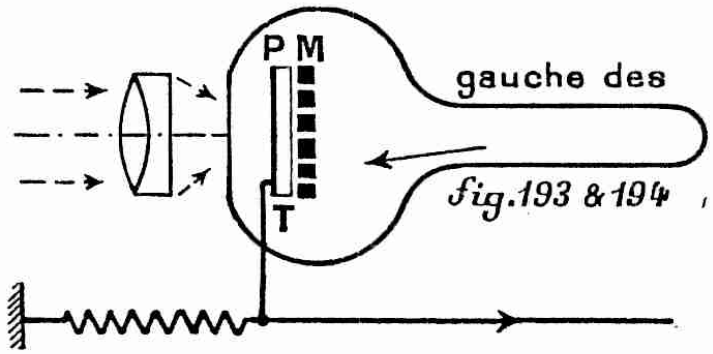


FIG. 205. — Principe de l'orthicon (ou isoscope). La plaque collectrice P est translucide et l'isolant T est transparent.

L'objectif donne (*fig.* 206) une image (optique) sur la photo-

(1) D'où la suppression d'une limitation de la haute définition (à l'inverse de la mosaïque). La définition (§ **75**) n'est plus, en tout et pour tout, limitée que par la finesse du spot (autrement dit, de l'extrémité du jet électronique).

(2) Également sans étymologie valable. C'est le seul appareil employé chez nous.

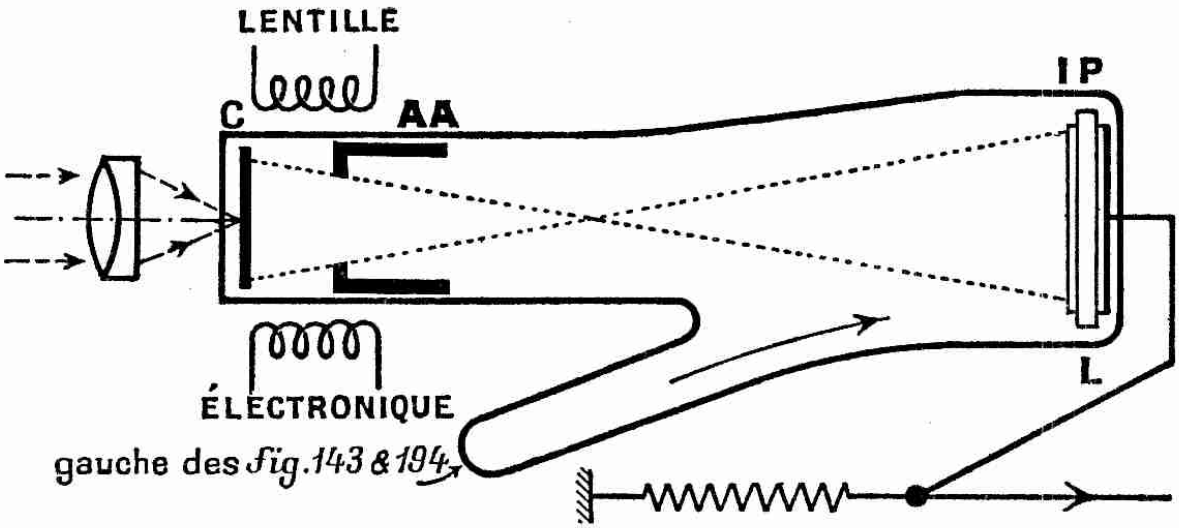


FIG. 206. — L'ériscope est le tube français de balayage.
On ne balaie pas l'image (optique), produite par l'objectif sur la photocathode C, mais l'image (électronique) de cette image sur la couche isolante I.

cathode C, suffisamment mince pour être semi-transparente. A chaque instant, sa surface est entourée de photoélectrons, qui sont, au fur et à mesure, attirés par l'anode accélératrice **AA** (chargée positivement). Mais, en même temps, la lentille électronique (bobine rigoureusement calculée) dirige ces électrons (se déplaçant vers la droite) de telle sorte que *la même* densité locale d'électrons se reproduise à la surface libre d'une substance *isolante* convenable, où les électrons incidents viennent se fixer (L est une mince lame de mica, et P une plaque collectrice). Comme dans l'iconoscope (*fig.* 204), les électrons de balayage parviennent du S.-O. et, finalement, il reviendra au même d'explorer la mosaïque de l'iconoscope ou la surface I, sur laquelle est reproduite l'image (électronique) de la photocathode C.

3° Mentionnons enfin que, parallèlement à l'ériscope français (et même un peu antérieurement), les Américains ont mis à profit les extraordinaires propriétés des lentilles électroniques (§ **77, I**, fin) pour construire leur *image-orthicon*. Comme l'orthicon (*fig.* 205), c'est un tube rectiligne (1), et l'image (électronique) [2] se forme vers le milieu du tube; disons seulement que le système ILP (*fig.* 206) est remplacé par une grille métallique extraordinairement fine (3), placée tout près et à gauche

(1) Ne comportant pas d'embranchement venant du S.-O. (*fig.* 204 et 206).
(2) Celle que l'ériscope produit sur la face antérieure de ILP.
(3) 400 traits par cm et ne portant pas ombre sur la lame de verre.

d'une lame de verre si mince (2 millièmes et demi de mm) qu'elle est suffisamment conductrice dans le sens de l'épaisseur. L'image-orthicon de Zworykin et de ses collaborateurs est un appareil très compliqué, comportant (dans la partie gauche) un anneau de freinage (des électrons), une deuxième lentille électronique, un multiplicateur d'électrons,... Comme il a peu de chances de s'acclimater chez nous (du moins sous sa forme actuelle), nous n'en dirons rien de plus.

Pour réaliser la *télévision en couleurs,* qui reste encore du domaine du laboratoire, on a surtout songé à faire fonctionner simultanément trois caméras (munies de trois écrans colorés différents), puis à transmettre, sur trois ondes porteuses différentes, les trois images animées. Nous verrons (§ **88**) par quel procédé la réception en referait la synthèse.

81. ***Aspect graphique de la modulation optique.*** **—** Les embarras provoqués par la lecture des images (§ **74**) sont enfin surmontés, ce qui n'a pas exigé moins de six paragraphes! Et l'on mesure, du coup, l'invraisemblable complication de la télévision, vis-à-vis de laquelle la « vulgaire » radio peut être considérée comme d'une simplicité... biblique (1).

Cette opposition va se concrétiser encore mieux, maintenant que nous sommes prêts à comparer la modulation optique à la modulation acoustique. Celle-ci tenait tout entière (réception comprise) dans les figures 111-115, pour la transmission d'une vibration de diapason (2); certes, le tracé des oscillations électroniques modulées (*fig.* 113) est notablement plus « tourmenté », quand on prononce des « ou », des « o », des « a » (*fig.* 102), et encore plus (§ **42,** note) pour « loup », « Pô » ou « quart »... Mais, à part cela, il ne surgit pas de difficultés : lorsque le départ émet des sons à la queue leu leu, l'arrivée les perçoit à la queue leu leu et dans le même ordre, automatiquement.

A l'inverse, la télévision n'est possible (§ **75,** début) que par les efforts conjugés du balayage et de la synchronisation, celui-là étant commandé — minutieusement et sans ratés — par celle-ci. C'est ici qu'intervient le thyratron (*fig.* 203) — ou

(1) D'où la raison *péremptoire* de traiter la radio *avant* la télévision.
(2) C'est-à-dire pour une vibration régulière, sinusoïdale (*fig.* 111), sans harmoniques.

les dispositifs analogues — : le thyratron-lignes reçoit (1) un signal-synchro quand une ligne de balayage est achevée (tout comme lorsque le dicteur de « grilles » de mots croisés dit « stop », § **75**), et le thyratron-image reçoit (1) un autre signal-synchro, lorsque se termine l'exploration complète de l'image (au moment où notre dicteur aurait dit « fin ») [2]. A la condition expresse d'avoir lu, avec une attention constante, les explications contenues dans les six précédents paragraphes, on pourra alors — mais alors seulement — conclure avec conviction et optimisme : Ce n'est pas plus malin que ça...

Pour insérer commodément les signaux-synchro parmi les signaux-image, on a tout de suite songé à jouer sur le taux de modulation (§ **48**), ou, si l'on préfère, sur le pourcentage-de-réduction-de-l'amplitude-des-oscillations-électroniques-entretenues (qui vont donner naissance aux ondes porteuses).

> Les portions blanches de l'image laisseront, bien entendu, *tout passer* (taux de modulation : 100 %; réduction de 0 %). Mais, au lieu de placer le noir « à l'autre bout », on le situera à 30 % comme taux de modulation (à 70 % comme réduction d'amplitude). Les gris s'échelonneront entre ces deux limites, et le passage brusque entre 30 et 0 (ou entre 70 et 100) fournira les signaux de synchronisation. C'est ingénieux et pratique : le poste récepteur ne fera aucune confusion entre les détails-vidéo de l'image et les avertissements (automatiques) de mise en place (3).

La figure 207 schématise le graphique de la modulation, telle qu'elle s'effectue actuellement (4). Que l'on voie bien de quoi il

---

(1) Ces tops de synchronisation proviennent d'oscillatrices spéciales, qui produisent de brusques impulsions de tension (§ **52, III**).

(2) Chez le téléspectateur (qui n'est, somme toute, que le correspondant, auquel on dicte les mots croisés), la suite des « incidents » se reproduit, en quelque sorte, à rebrousse-poil : le premier signal-synchro, appliqué à une grille, fera interrompre une ligne de balayage, et le second signal-synchro, appliqué à une *autre* grille, marquera l'instant où l'on passera d'une exploration-image à la suivante.

(3) Ou bien — si nous persévérons dans nos anecdotes mot-croisistes — entre « blanc », « noir », d'une part, et « stop » (interruptions-interlignes), « fin » (interruptions-interimages), de l'autre.

(4) A cela près que — pour ne pas trop compliquer les choses — nous ne revenons pas sur l'entrelacement Barthélemy (§ **75**). Au surplus, le lecteur, qui aura suivi ces explications, n'éprouvera aucune difficulté à imaginer comment on opère (successivement par lignes impaires et par lignes paires); le début de l'image étant pris *au milieu* du bord supérieur, on trouverait là une justification du choix de ce nombre *impair* bizarre (819 lignes).

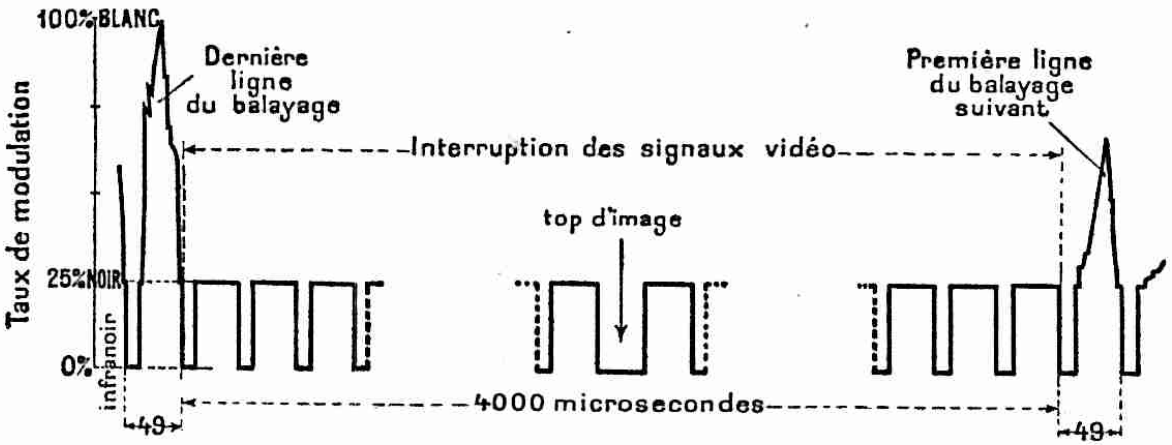


FIG. 207. — Graphique de la vidéo-fréquence.

On discerne, aux deux bouts, le résultat électrique du balayage de la dernière ligne et de la première; ces deux lignes sont séparées, l'une de la précédente, l'autre de la suivante, par le temps suffisant pour que le spot puisse sauter (*fig.* 197) de la droite de l'image à la gauche.

Toute la partie médiane (4 000 microsecondes) est occupée par des signaux-synchro : pendant cette durée relativement longue (où les signaux-vidéo sont supprimés), le spot passe du coin S.-E. au coin N.-O. de l'image. (En réalité, comme on emploie l'entrelacement Barthélemy, il y a deux intervalles de 2 000 microsecondes chacun.)

s'agit : ce graphique représente des tensions qui vont attaquer les oscillations électroniques entretenues (*fig.* 112), produites par l'oscillatrice (*fig.* 91) de la station d'émission. Il est indispensable de se convaincre que la figure 207 (graphique des vidéo-fréquences) jouera, en télévision, *exactement le même rôle* que la fréquence sonore — devenue fréquence musicale (électromagnétique) — de la figure 111 d'un émetteur radiophonique (1) : les vidéo-fréquences *s'inscriront* dans l'onde porteuse (*fig.* 112) *exactement de la même manière* (*fig.* 113) que les fréquences musicales.

Cela dit, notre figure 207 indique, aux deux bouts, comment se traduit le balayage des lignes avec les interruptions-inter-lignes (dernière ligne de l'image, à gauche; première ligne de l'image, à droite), tandis que tout le milieu (732 µs, donc portant

---

(1) Tandis que, en radio, la bande passante était large de 9 kilocycles, en télévision, cette bande s'étend sur plus d'une dizaine de mégacycles. Cette fréquence de modulation optique (soit dit pour les lecteurs quelque peu familiarisés avec les fréquences lumineuses) n'a RIEN DE COMMUN avec ces dernières, de telle sorte qu'en radiotechnique, *il n'y a pas* à se préoccuper de la nature de la lumière.

Cette opposition entre radio et télévision peut se résumer comme suit :

en radio, la fréquence de la tension de modulation est liée à la *nature du son*, puisqu'elle est égale à la fréquence sonore;

en télévision, la fréquence de la tension de modulation *ne dépend que* de la finesse d'analyse de l'image (autrement dit : du nombre de points balayés par seconde).

sur la durée de quinze lignes) représente la succession d'impulsions qui s'insèrent entre un balayage-image et le suivant. Précisons — quitte à nous répéter, mais sous une autre forme — que les noirs de l'image envoient de l'énergie (moins que les blancs, naturellement) et que les interruptions des ondes porteuses n'ont lieu que pendant les très brèves durées où le graphique consiste en segments horizontaux au niveau 0 %. Et voilà comment « les deux mamelles » de Sully se logent côte à côte : les signaux-vidéo (balayage) entre 30 % et 100 %, et les signaux-synchro (tranches de temps), constitués par des sauts brusques de 0 % à 30 % (et de 30 % à 0 %); ces signaux ne chevauchant pas l'un sur l'autre, les récepteurs ne risquent pas de prendre la vidéo pour la synchro, et inversement.

82. *La structure d'un émetteur de télévision.* — Etant donné les développements restreints qu'il convenait d'attribuer à la télévision, nous avons préféré suivre la marche inverse de celle qui avait été adoptée en radio, pour que le lecteur puisse progressivement « découvrir » les conditions qui s'imposent et les techniques permettant de les satisfaire. Bref, au lieu de commencer par nommer les organes (*fig.* 93 et 116), nous les rassemblons en conclusion, sans pouvoir les décrire dans le détail ni insister sur la façon dont on les relie (*fig.* 208) : cette « topographie », avec ses multiples interconnexions, est déjà suffisamment compliquée comme cela...

L'organe ALIMENTATIONS est branché sur le courant alternatif industriel; comme en radio (*fig.* 94), cet organe fournira la haute-tension continue, dont on a partout besoin, ainsi que le courant de chauffage des cathodes.

Il y a — comme on pouvait s'en douter — deux GÉNÉRATEURS : l'un, qui, par le moyen d'oscillatrices (*fig.* 91), produit les oscillations électroniques entretenues qui donneront naissance à l'onde porteuse (chap. V); l'autre, qui engendrera des impulsions (du genre de celles dont il a été question précédemment, § **52, III**), et qui sont destinées à fournir les signaux-synchro de la figure 207.

La topographie de la figure 208 comporte également les deux BASES DE TEMPS (§ **79,** fin), commandées par le GÉNÉRATEUR-SYNCHRO (tops de synchronisation), agissant sur l'ÉRISCOPE (pour le balayage de l'image de la scène à téléviser); les signaux de

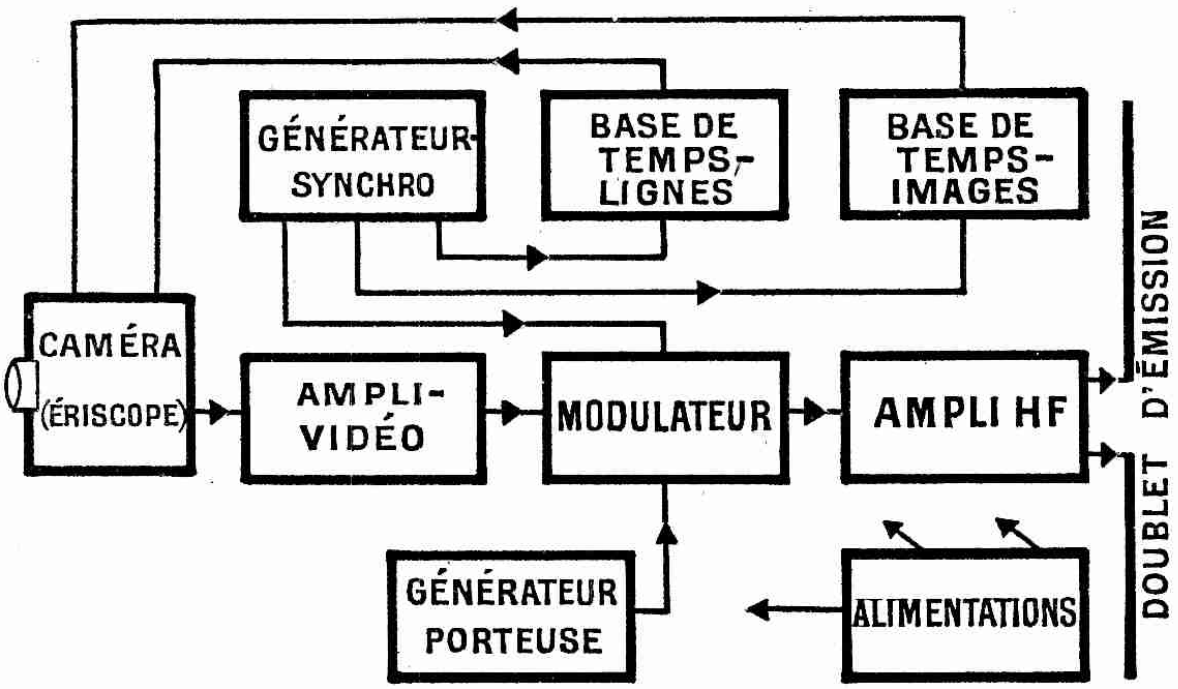


FIG. 208. — Topographie très schématique des multiples organes d'un émetteur de télévision, depuis l'objectif de la caméra jusqu'au « doublet d'émission » (nom donné à cette catégorie d'antenne).

balayage sont d'ailleurs amplifiés par l'AMPLI-VIDÉO, dont le principe est analogue à celui de la figure 89.

L'organe central de la figure 208 est le MODULATEUR, dont on entreverra le fonctionnement, en se rappelant ce qui a été dit (§§ **50-52**), en radio, sur le même sujet : les oscillations électroniques entretenues, sortant du GÉNÉRATEUR-PORTEUSE, sont modifiées tant par ce que donne l'AMPLI-VIDÉO (modulation-image) que par les signaux lancés par le GÉNÉRATEUR-SYNCHRO (modulation-synchro). Les oscillations se revigorent en traversant l' AMPLI HF (*fig.* 89), pour aboutir à l'émetteur d'ondes, de principe analogue à celui de l'antenne-radio et qu'on nomme « doublet d'émission » (1).

Pour la télévision parisienne, l'émetteur proprement dit est installé dans le pilier sud de la tour Eiffel; il reçoit la modulation du Centre du 15 de la rue Cognacq-Jay (7e); le système rayon-

(1) Les fréquences porteuses (image et son) de la télévision française étant de l'ordre de 200 mégacycles (§ **85**), les deux tiges, qui constituent le doublet, ont une longueur de l'ordre de 40 cm : elles vibrent chacune en quart d'onde (*fig.* 51-52), avec, aux deux extrémités, un nœud de courant et un ventre de tension (§ **25**). L'utilisation de deux tiges (au lieu d'une) accroît la puissance émise.

nant est constitué par huit doublets (ou dipôles) verticaux, placés autour du sommet de la tour Eiffel; la *portée* de cet émetteur est exceptionnellement grande (150 km).

Le « souci de la qualité », qui s'appelle ici *haute définition*, exige (nous l'avons alors montré) l'emploi, comme porteuses, d'ondes ultracourtes (§ **85**), et l'on sait que ces ondes (U, *fig.* 71) se propagent rigoureusement en ligne droite : un poste récepteur doit donc se trouver dans la zone de visibilité optique qui entoure la station émettrice (1). Le seul moyen de tourner la difficulté consiste à installer des *relais* intermédiaires, distants d'environ 80 km. Les Américains, à ce propos, ont préconisé la « stratovision », c'est-à-dire la réflexion du rayonnement électromagnétique — non pas encore sur la Lune, jugée trop vagabonde — mais sur des avions spécialement équipés, qui tournoient à 10 kilomètres d'altitude; la portée peut alors atteindre 300 km.

La télévision soulève, en France, des oppositions diverses. Les tenanciers de salles cinématographiques craignent que le « cinéma chez soi », le « cinéma en pantoufles » ne les frustre d'une partie de leurs habitués. D'autre part, certains personnages officiels n'ont pas hésité à soutenir que, la France ayant le sentiment des nuances (*sic*), nous devions nous contenter de répandre des sons, sans nous occuper des lumières. Malgré tout, notre pays tient une place considérable dans cette technique (§ **75,** 1°), et il faut souhaiter que les pouvoirs publics et les industriels déploient l'activité nécessaire pour faire honneur aux récents progrès apportés par nos équipes d'ingénieurs électroniciens.

83. *Normes de la télévision.* — Dans le domaine dont nous parlons, la technique est maintenant suffisamment fixée pour qu'il ait été utile de la « standardiser » ou — pour parler français — de la *normaliser*. Pour nous, il ne s'agit pas tant de recopier des détails, qui n'importent guère qu'aux praticiens, que de passer une dernière fois en revue la complexité des opérations sur lesquelles on s'est arrêté après un quart de siècle de recherches opiniâtres.

Après réalisation, on s'est aperçu que — tout compte fait —

---

(1) Puisqu'on ne peut profiter (*fig.* 71) ni de la courbure du globe ni de l'ionosphère.

les normes des émetteurs de télévision se classent commodément sous six rubriques :

1° Le *nombre des lignes* par image (ou, comme on dit aussi, par trame), ainsi que le *type d'analyse*. Nous avons cru bon de raisonner sur la haute définition française, avec ses 819 lignes par trame; le type d'analyse choisi est l'entrelacement Barthélemy (§ **75**), donc en deux étapes aux lieu et place du balayage ligne par ligne, qui venait tout naturellement à l'esprit.

2° La *direction du balayage :* elle a été supposée horizontale, mais on pourrait tout aussi bien la prendre verticale.

3° et 4° La *forme des tops-synchro* (ligne et trame) : la figure 207 indique de quoi il s'agit.

5° Le *sens de la modulation*. La figure 207 est inspirée du sens adopté en France : le taux de 100 % correspond au blanc, le taux de 30 % au noir, et le domaine 30 %-0 % (infranoir) est réservé aux tops-synchro : la modulation est alors dite *positive*. La modulation *négative* donnerait la même figure retournée sens dessus dessous, le blanc à 0 %, le noir à 70 %, et le domaine entre 70 % et 100 % (ou ultranoir) pour les tops-synchro. Tout cela n'a d'ailleurs aucune importance; mais il faut connaître ce qui a été décidé, sous peine d'obtenir, à la réception, des résultats ahurissants, dont on ne trouverait pas l'origine.

6° La méthode employée pour *transmettre la composante continue*. Voici, en deux mots, de quoi il s'agit : c'est la composante continue qui règle la tension moyenne de modulation. En s'arrangeant, par exemple, pour que — le blanc restant à 100 % — le noir atteigne 60 % (au lieu de 30 %), la scène paraîtra très lumineuse. Au contraire, lorsqu'en maintenant le noir à 30 %, on abaisse le blanc à 70 %, on obtient un effet nocturne. Telles sont les possibilités inhérentes à l'introduction de cette composante continue.

84. *Quelques applications supplémentaires et inattendues.* — Il est bien certain que l'intention première des techniciens de la télévision a été de transmettre des images mouvantes, ce qui, pour le moment, consiste à « offrir » aux usagers des séries renouvelées de grandes cartes postales en noir, mais animées.

Or, il se trouve que, *par surcroît,* une connaissance de plus en plus complète de cette technique a ouvert la voie à une multitude de ce que les Américains désignent sous le nom de « gadgets » et que nous appelons plus simplement de petits « machins » ou des petits « trucs » (il y en a d'ailleurs de grands...). Nous n'en citerons que quelques-uns — parmi les plus caractéristiques —, qui paraîtront peut-être bien vieillots le jour prochain où la télévision se sera incorporée à la vie quotidienne (1).

Le premier venu a rêvé aux avantages (et aux inconvénients) que présenterait un téléphone où les interlocuteurs pourraient se voir : en fait, la « visiotéléphonie » a fonctionné (1936-1939) notamment entre Leipzig et Berlin, mais on ne peut pas dire que ce fut un succès; c'est sans doute là une idée à la Jules Verne qui aura fait faillite...

La télévision-sur-place (ou, pour mieux s'exprimer : à quelques mètres) présentera, au contraire, un grand intérêt, notamment pédagogique : c'est ainsi qu'on a commencé — à l'usage des étudiants en médecine — à téléviser des opérations chirurgicales, voire des opérations sous rayons X, en combinant adroitement les photocellules et les écrans fluorescents.

Une autre application — qui ne manque pas de laisser rêveur, mais qui se rattache plutôt à la téléphotographie (§ **73**) — est l'incroyable rapidité avec laquelle on réussit à transmettre un texte imprimé. Pour prendre un exemple typique, la Bible tout entière peut être reproduite en trois minutes et demie, le temps de faire cuire un œuf à la coque (un œuf bien cuit).

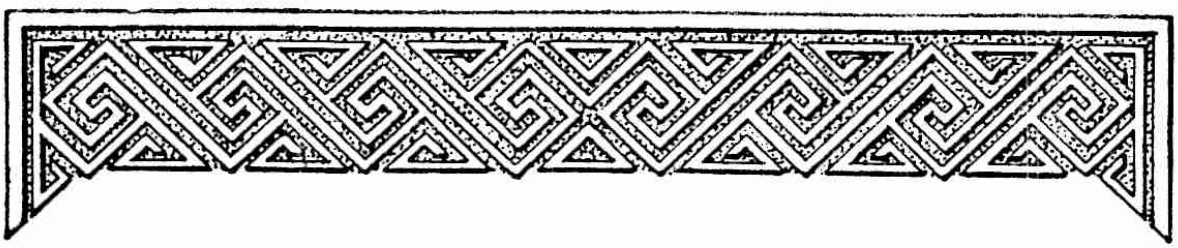
Dans un tout autre ordre d'idées, l'éminent ingénieur Zworykin (§ **80**) s'est proposé (1948) d'affranchir les aveugles des livres imprimés en Braille (caractères spéciaux en relief) : il suffit, pour l'aveugle, de promener un tube-stylo devant les lignes d'un livre (ce qu'il arrive facilement à faire avec un peu d'entraînement, grâce à sa dextérité manuelle). Tout le mystère réside dans une « lecture au son », car la présence et la forme des lettres sont transformées, dans un téléphone, en tonalités que l'on parvient assez aisément à identifier. Pour le moment,

---

(1) Dans les applications *militaires*, c'est surtout le radar (chap. XI) qui est roi. Tout le monde sait qu'on a mis à profit la télévision dans les « destructions atomiques expérimentales » de Bikini (1946) et d'Eniwetok (1948).

la lecture n'est pas très rapide (dix mots à la minute), soit trente fois moins que pour un « voyant » cultivé : il n'est pas impossible qu'on puisse diviser ce temps par six.

Voilà un aperçu de ce que l'on « complote » en marge de la télévision. Les éditions ultérieures de cet ouvrage ne manqueront pas de relater des innovations qu'aucune intelligence n'est capable de prévoir actuellement.



Chapitre X

LE RÉCEPTEUR DE TÉLÉVISION

85. ***La structure d'un poste de télévision.*** — On aurait tort de s'étonner que, en pénétrant chez le téléspectateur, nous adoptions, dans notre exposé, la marche inverse de celle que nous avons choisie (chap. IX) pour la station émettrice de télévision. Dans les douze précédents paragraphes, nous étions dirigés par cette constatation élémentaire que, en fait sinon en droit (1), la télévision est *un prolongement* de la radio. Ceci posé, nous avons utilisé pour le mieux ce que nous savions déjà en radio (2), et nous avons émis des vœux, imposés, en quelque sorte, par « la nature des choses »; puis nous avons montré comment les obstacles peuvent être successivement surmontés. C'est pour cela que la « structure d'un émetteur de télévision » (§ **82**) a été présentée comme un aboutissement, non comme un point de départ.

Mais cet aboutissement va nous servir, tout naturellement, comme point de départ pour l'examen de la réception : c'est d'ailleurs, très sensiblement, ce qui nous était arrivé pour la radio, le chapitre VIII faisant d'inévitables emprunts aux résultats antérieurement acquis. Le lecteur, déjà prévenu par notre

(1) Les complications (§ **74**), qui ont brusquement surgi, ne permettent guère d'imaginer qu'il aurait pu en être autrement.

(2) Un livre *compréhensible*, traitant exclusivement de télévision, aurait dû reprendre tout cela *dès le début*, sous une forme à peine différente (oscillations électroniques entretenues, résonance, champ électromagnétique, alimentation, amplification, modulation, détection). On se rend compte de la somme d'efforts économisés, du fait qu'avant d'entreprendre la télévision, on a déjà assimilé l'essentiel de la radiophonie.

Introduction et supposé médiocrement renseigné, devra se garder de suivre son premier mouvement : se précipiter sur la Table des Matières et se dire : en étudiant le chapitre VIII, je saurai ce qu'il y a dans mon poste de radio; en étudiant le chapitre X, je saurai ce qu'il y aura dans mon poste de télévision. Retirons-lui cruellement ses dernières illusions : il est inepte de chercher à savoir *comment* on reçoit, quand on n'a aucune idée de *ce que* l'on reçoit. Ajoutons que, pour connaître ce que l'on reçoit (donc ce que l'on envoie), le mieux est encore de posséder quelques notions générales sur « comment on envoie ». D'autant plus que l'on fait, pour ainsi dire, coup double, puisque « comment on envoie » se retrouve, dans une large mesure, dans « comment on reçoit » : le récepteur — tant en télévision qu'en radio — est, dans une large mesure, un émetteur qui fonctionne à rebrousse-poil.

Tout poste de télévision — chacun sait cela — est « sonorisé » : c'eût été, en effet, un comble qu'après avoir guéri le cinéma de son mutisme, on se soit résigné à ce qu'« il manque la parole » au « cinéma chez soi »! Mais, dans l'état actuel de la technique (1), ce dernier a sa « paroles et musique » *à lui :* si le téléspectateur veut cumuler ses divertissements (en étant *aussi* un téléauditeur... « toutes ondes »), il lui faut posséder deux postes indépendants. Quoi qu'il en soit (*fig.* 209), le récepteur de télévision (sonore!) comporte deux parties : la partie-son, qui mène au *haut-parleur;* la partie-image (ou partie-vidéo), dont l'organe terminal est le tube cathodique, avec son *écran* (qui émerge seul de l'ébénisterie).

Sur la *partie-son,* nous n'avons rien à dire que nous ne connaissions déjà. Pour s'en convaincre, il suffit de confronter l'ancienne figure 139 avec la figure 209 (pp. 328-329) : on retrouve l'alimentation-réception (*fig.* 94), le collecteur d'ondes (2) et son accord, l'hétérodyne (*fig.* 91), la changeuse de fréquence (*fig.* 157), l'ampli MF son (*fig.* 89), la détectrice-son (*fig.* 127), l'ampli BF son (*fig.* 89) et le haut-parleur (*fig.* 109). Bien entendu, plus on

(1) La partie-son des récepteurs de télévision n'a pas les bobinages nécessaires à la captation des grandes ondes, des ondes moyennes et même des ondes courtes de la radio.

(2) A cela près que, comme on sait (§ **82**), on préfère une antenne double (ou doublet, ou dipôle) à l'antenne simple de radio pure.

ajoutera de « fioritures » (§§ **69-72**) — à condition qu'on ne regarde pas à la dépense — et mieux marchera l'accompagnement sonore.

La *partie-vidéo* et la partie-son font, ensemble, un bon bout de chemin, ce qui présente l'avantage d'une notable simplification (1). Les ondes modulées acoustiquement et les ondes modulées optiquement — quoique parties de deux émetteurs d'ondes *distincts* — sont captées par *le même* doublet de réception. Il est manifeste que, dans celui-ci, les oscillations électroniques seront d'une effarante complexité : effarante, mais non inextricable, car les électrons parviennent à se... débrouiller avec dextérité et minutie. Nous savons (§ **83**) que, suivant les normes de la télévision française, les ondes porteuses ont des fréquences légèrement différentes :

	ONDES PORTEUSES SON	ONDES PORTEUSES VIDEO
fr.	202 Mc 1	213 Mc 25
l. d'o.	1 m 483	1 m 406

et nous avons depuis longtemps appris comment, par résonance (*fig.* 29 et 30) ou par filtrage (§ **15**), on réussit à extraire une fréquence à côté d'une autre à laquelle elle était « inextricablement » mélangée. En définitive, placés devant l'embranchement **S-V** de la figure 209, les électrons responsables des sons suivront bien sagement la voie **S,** tandis que les électrons auxquels la vidéo est confiée s'engageront tout aussi consciencieusement dans la voie **V.**

Cette voie-vidéo **V** comprend d'abord trois organes, que nous connaissons bien et pour lesquels il suffit de remarquer qu'ils reposent sur les mêmes principes que ceux de la radio : l'ampli MF vidéo (*fig.* 89), la détectrice-vidéo (*fig.* 127), l'ampli BF *vidéo* (*fig.* 89).

Parvenu à ce point précis (*fig.* 209), on se trouve en présence d'une deuxième (et avant-dernière bifurcation) : la bifurcation **W-T.** C'est ici que réapparaissent les deux fameuses « mamelles » (§ **75,** début) de la télévision : balayage et synchronisation. Spécifions tout de suite que la voie **T** (« tops » de synchronisation) exigera d'assez longs développements (§ **87**). Quant à la voie **W** (2), c'est elle qui fournira (sur l'écran) les noirs, les

(1) On évite de dédoubler les organes communs.

(2) Ainsi désignée, parce qu'elle aboutit à une électrode dont il n'a pas encore été question (la grille de Wehnelt).

gris et les blancs de la scène télévisée. Nous voilà maintenant rassurés : nous étant *arrangés pour* que balayage et synchronisation soient commandés par *le même* organe (l'ampli BF vidéo) et qu'ils aboutissent au *même* tube cathodique, nous sommes sûrs que leur collaboration s'effectuera sans heurts et que l'on réobtiendra bien le graphique de la vidéo-fréquence (*fig.* 207).

La grille W, adjointe au tube cathodique (*fig.* 209), va remplir exactement le même rôle que la grille G (*fig.* 87), adjointe à un tube électronique (1). Dans un cas comme dans l'autre (2), on conçoit — sans qu'il soit nécessaire d'insister davantage — que la tension-grille (négative) va régler le nombre des électrons qui parviennent à franchir l'obstacle : si la grille est fortement négative, il passera beaucoup d'électrons, et le point de l'écran sera très brillant (3).

Inutile d'ajouter que l'on peut monter *plusieurs* tubes cathodiques (*fig.* 209) en dérivation. Et voilà comment, pour emprunter le jargon des littérateurs (Pierre Berger, 1949), « les images franchissent l'éther »!

86. *Les alimentations.* — Les postes récepteurs actuels de télévision ont besoin de *deux* tensions continues différentes : la classique « haute-tension » **HT** (disons : 250 volts) de la radio (§ **38**) ; une tension bien plus élevée **ST** (« super-tension », de 1 000 à 1 500 volts), dont le rôle essentiel consiste à exciter l'anode collectrice AC (*fig.* 192 et 209) ; c'est aussi de cette deuxième alimentation (dite « alimentation du tube cathodique ») que part le courant de chauffage du canon CE à électrons. A la première alimentation (ou « alimentation-réception ») sont confiés

---

(1) Il n'est que justice d'insister sur le fait que, dès 1904, le physicien allemand Arthur Wehnelt fit cette féconde découverte. Ne nous étonnons pas que trois années se soient encore écoulées avant que l'ingénieur américain Lee de Forest ait songé à proposer sa grille de commande pour les tubes électroniques (§ **33**). Il est hautement probable que ce dernier, préoccupé par autre chose, n'avait alors jamais entendu parler ni de Wehnelt ni de sa grille : l'esprit humain est ainsi constitué qu'il faille souvent des « décalages » incroyablement longs, pour que des rapprochements *élémentaires* soient enfin aperçus et compris. Redisons-le: la prétendue découverte de Branly (§ **33**, note) ne pèse pas un fétu de paille à côté des deux trouvailles de cette étoile de deuxième grandeur qu'est Wehnelt : amélioration considérable de l'émission thermoélectronique (§ **31**, 2°) et commande du courant dans les tubes cathodiques.

(2) Il suffit de se reporter à la figure 90.

(3) Tous les intermédiaires entre le noir et le blanc sont ainsi réalisés.

toutes les autres productions de tension et tous les autres courants de chauffage.

Seule, cette dernière (**ST**) nécessite quelques compléments.

Mentionnons d'abord, incidemment, une technique fort simple et recommandable toutes les fois que l'on se contentera de courants très faibles : c'est l'utilisation d'un « doubleur de tension par capacité » (*fig.* 210). La tension alternative du réseau de distribution est appliquée au primaire P d'un transformateur survolteur (§ **11,** fin), dont les bornes du secondaire S communiquent, d'une part au point médian *d* de deux diodes identiques D et **D,** d'autre part au point médian *c* de deux condensateurs identiques C et **C.** Ces deux derniers se chargent pendant l'alternance où le courant passe dans leur diode et se déchargent pendant l'autre alternance. D'après ce que nous savons (§ **32**) du redressement par diode, l'alternance positive du courant survolté passe par D et l'alternance négative, par **D.** On recueille la « super-tension » en **ST.**

L'autre méthode est calquée sur le dispositif (*fig.* 94) employé en radio. Supposons (*fig.* 211) que la « super-tension » choisie soit 1 050 volts, et que les primaires **P** et **P′** de nos deux transfos soient branchés sur le secteur alternatif, chacun des transfos donnant « 700 volts » aux bornes de son secondaire, si, comme **S′,** celui-ci redresse une seule alternance et laisse perdre l'autre. Le bas de la figure 211 montre que la *plaque* de la DIODE (recevant un afflux d'électrons — négatifs —) aura une tension négative de « 700 volts » (par rapport à la masse) ; mais une tension positive de la *cathode* de la VALVE BIPLAQUE serait excessive, si elle atteignait 700 volts, tandis que + 350 volts feraient parfaitement notre affaire. Il suffit, pour cela (1), de relier à la masse le milieu du secondaire **S,** tant et si bien que, dans le haut de notre figure 211, nous ramasserons les deux alternances et que (la tension entre les deux plaques de la VALVE étant à nouveau « 700 volts ») la cathode supérieure sera portée à la moitié de cette valeur, soit « 350 volts ». La « super-tension » (pulsée) **ST** est la résultante, soit « 1 050 volts », et on « nivellera les bosses » (du graphique) par un système de filtres, avant de lui soumettre l'anode collectrice AC du tube cathodique.

(1) Comme il a été indiqué en radio, précisément à propos de la figure 94.

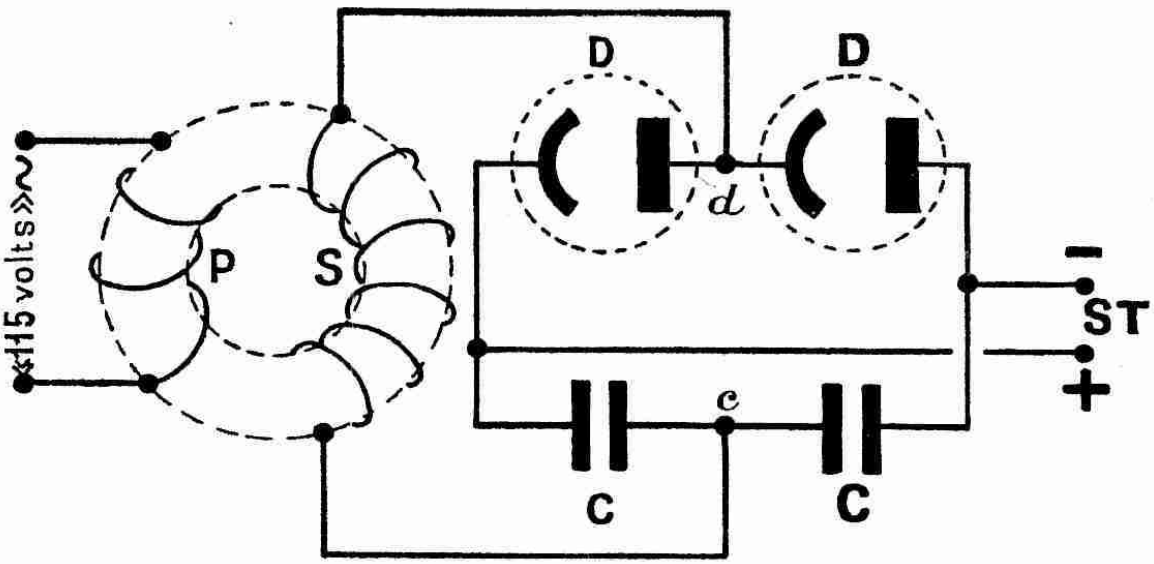


FIG. 210. — Production — à partir du réseau alternatif, au moyen de deux diodes et de deux condensateurs — d'une super-tension **ST** (de 1 000 à 1 500 volts).

Les autres secondaires (S, *s*, S′, *s*′) servent au chauffage (indirect) des cathodes, ainsi que nous l'avons dit et redit.

87. *La synchronisation en réception.* — Poursuivons le dépouillement et l'élucidation de la figure 209.

Le centre de nos soucis se porte maintenant sur le SÉPARATEUR-SYNCHRO d'abord, puis sur les deux BASES DE TEMPS qui font suite.

Notre intention était — rappelons-le — de laisser échapper les signaux-vidéo par l'embranchement **W,** pour recueillir les tops de synchronisation au moyen de la voie **T.** Mais, bien entendu, le fil **T** lui-même est traversé simultanément par la vidéo **et** par la synchro : il s'agit de « bloquer » la première, en ne conservant que la deuxième, d'où le nom d'« étage *séparateur* » de l'organe en question.

Pour bien voir de quoi il s'agit, disons immédiatement *que* nous nous trouvons au point de rencontre de *deux* des quatre-vingts et quelques paragraphes précédents (évidemment non choisis au hasard!) : la détection-triode-plaque (§ **57**) et la structure d'un émetteur de télévision (§ **82**). Autrement dit, la station émettrice nous fait cadeau d'une suite complexe d'oscillations électroniques, à la fois vidéo et synchro (*fig.* 207), et il nous faut « travailler dessus » en mettant à profit les propriétés tout

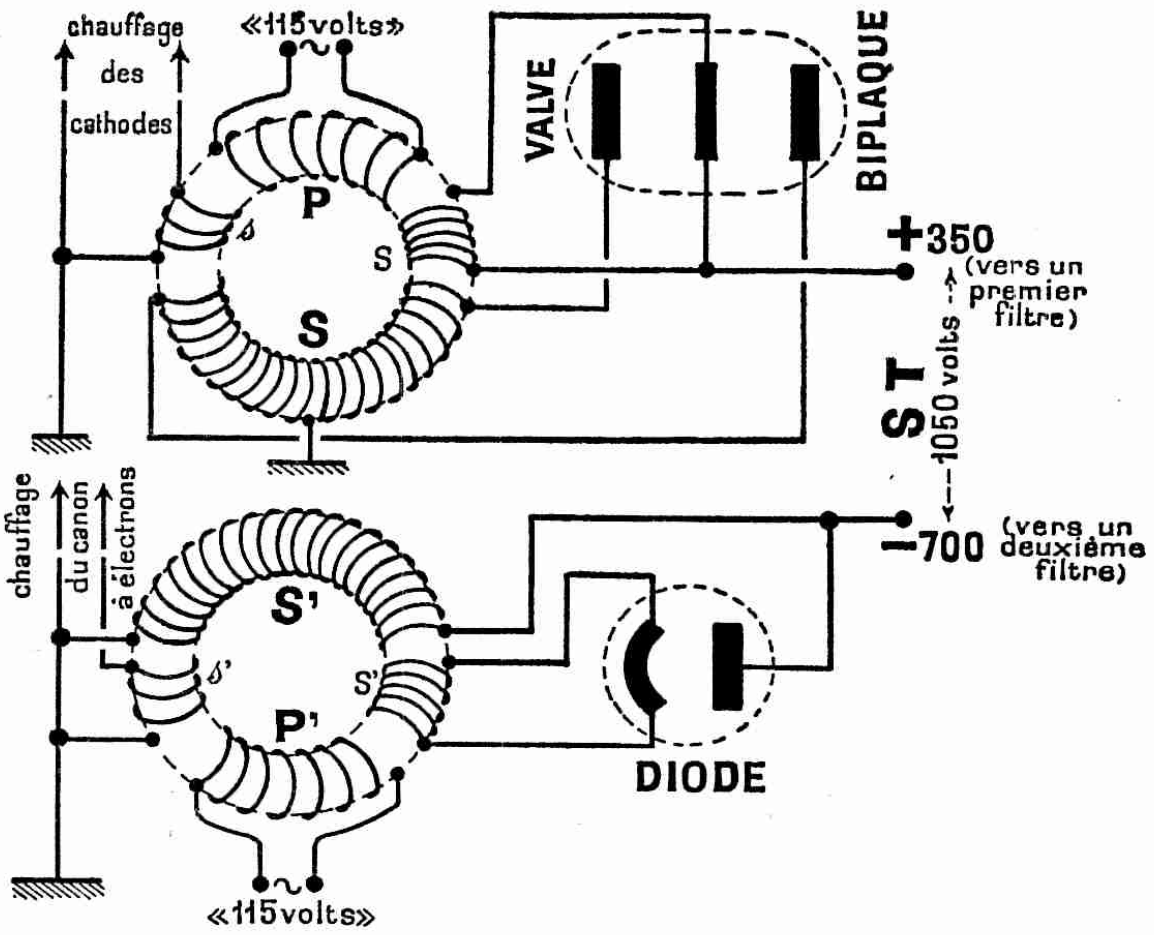


FIG. 211. — Autre mode de production de la super-tension **ST**.

à fait adéquates de la caractéristique de plaque d'une triode (*fig.* 130).

L'idée essentielle, qui apparaît clairement dans le secteur N.-O. de cette dernière figure, c'est que, au fur et à mesure que la polarisation (négative) de la grille devient plus grande, le courant-plaque diminue de plus en plus, jusqu'à devenir nul et à *le rester* (pour des tensions-grille encore plus fortes). Ce point-zéro ou point d'arrêt **A** (*fig.* 212) — qui est une annulation (1), quand, sur le graphique, on vient de la droite, ou un démarrage lorsqu'on part de la gauche — va être pris comme polarisation préalable : il suffira alors de refaire une construction familière (*fig.* 90, 126, 130, 135) pour apercevoir ce qui va

(1) Quand on tient à extérioriser son snobisme pour les langues étrangères (souvent sans les connaître), on appelle le point A : cut off (= interruption), comme les Anglais (qui, eux, parlent leur langue). Mais, en tout cas, il faut prononcer « keuttorf »...

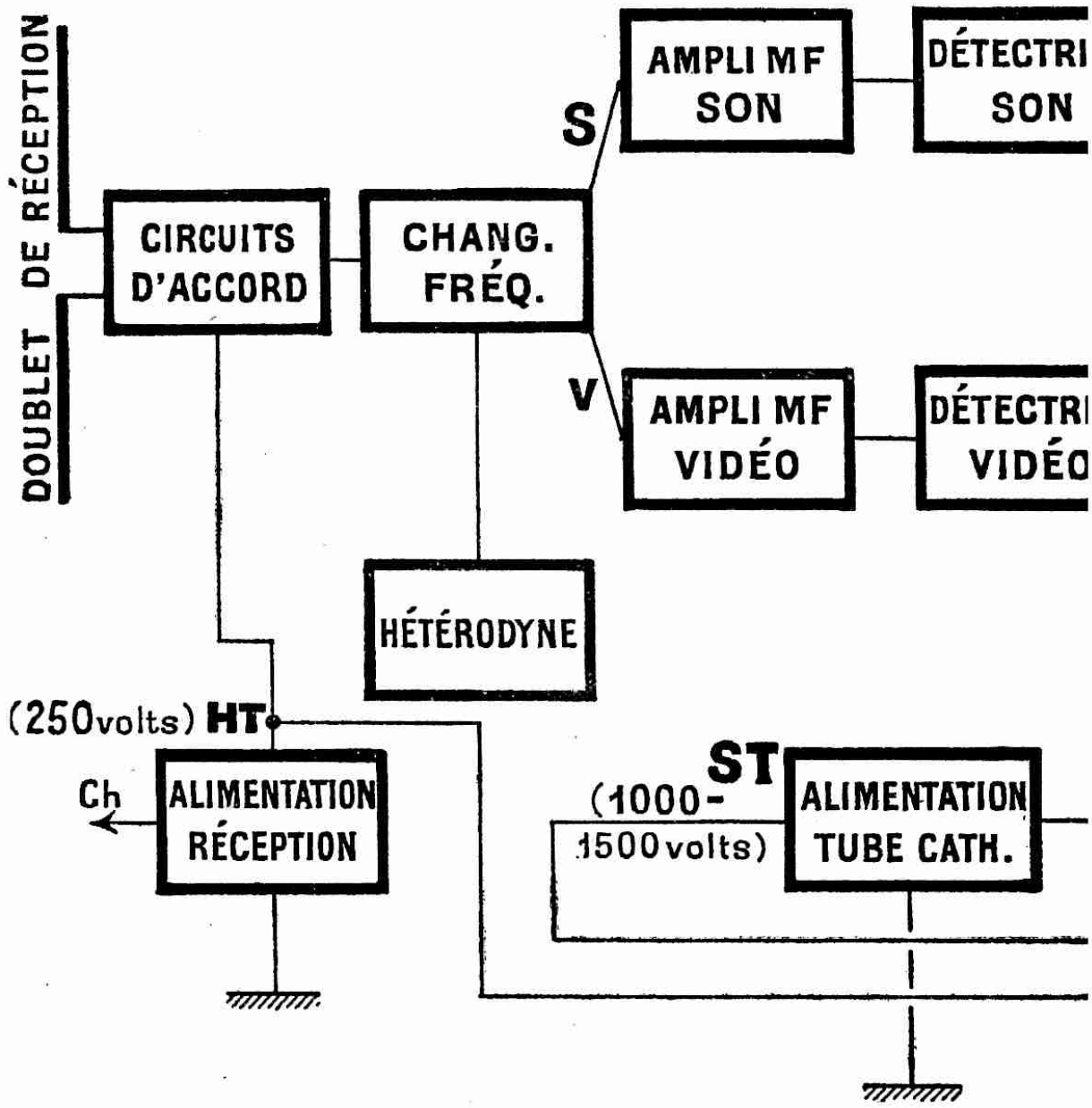
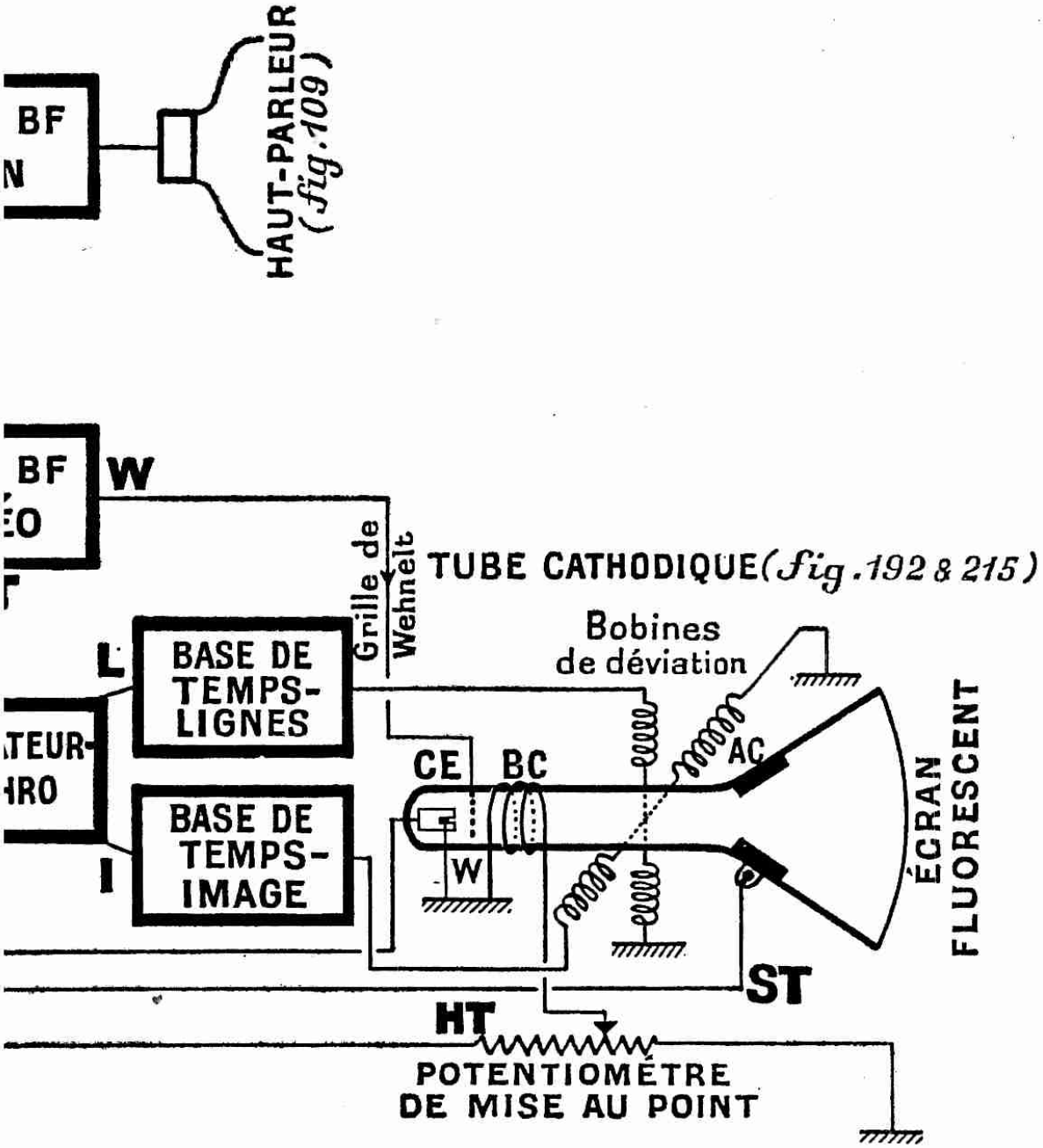


FIG. 209. — La struc

résulter de la vidéo-fréquence émise (*fig.* 207). On voit *tout* de suite (*fig.* 212) que tous les signaux de balayage sont interceptés, puisqu'ils correspondent à une tension-grille tellement négative que la grille empêche totalement les électrons de parvenir à la plaque : en définitive, le courant-plaque ne transmettra que « l'infranoir » et sera débarrassé de tout ce qui n'est pas tops de synchronisation, ce que, précisément, nous nous étions proposé.



:pteur de télévision.

Nous passerons rapidement sur les difficultés subsidiaires. Naturellement, il faut éviter de se tromper sur le sens d'application du signal-synchronisation, ce qui obligerait l'étage séparateur à faire l'inverse de ce qu'on désire : il arrêterait la synchro et transmettrait la vidéo! Il s'ensuit qu'on ne peut pas brancher le séparateur-synchro n'importe où dans la chaîne d'amplis BF vidéo. En France, où le graphique a l'allure de la figure 207, on peut placer le séparateur tout de suite après la détectrice-

vidéo (1), comme nous le supposerons dans le montage très simplifié (2) de la figure 213.

Rien ne s'obtient sans peine : il vaut mieux renoncer tout de suite à comprendre cette figure, si l'on n'a pas — ou si l'on ne se rend pas — présent à l'esprit la polarisation automatique (§ **63**) : la mention « voir *fig.* 142 » prévient le lecteur de s'y reporter. Le rôle des résistances et des condensateurs non désignés par des lettres a été développé dans le chapitre VIII. Reste la partie droite de cette figure 213. Eh bien! maintenant, c'est aux filtres (§§ **15** et **16**) que nous avons affaire. Le montage indique que l'une des dérivations est destinée à la base de temps-lignes, l'autre à la base de temps-trames. Or, en faisant un retour sur soi-même (et, au besoin, en demandant aux figures 195 et 196 une main secourable), on devinera que la fréquence-lignes est plus grande (3) que la fréquence-images. Par suite, les oscillations électroniques de haute fréquence seront favorisées par le condensateur C, tandis que celles de fréquence moins élevée le seront par la résistance **R.**

C'est ainsi qu'on peut rendre compte très sommairement, très grossièrement, des deux filtres rudimentaires qui ornent la gauche de la figure 213. Mais le lecteur qui aura franchi les obstacles ne se fera, comme nous, aucune illusion : il faudra attendre un siècle ou deux pour que l'homme de la rue ait une idée approximative de la télévision de 1950. Ce qui revient à dire qu'alors il n'aura guère qu'un ou deux siècles de retard...

A la réception, les deux *bases de temps* peuvent être, en principe, constituées par des thyratrons (*fig.* 203), ressemblant à ceux que nous avons décrits à propos de l'émission (§ **79**) et synchronisés avec ces derniers par l'onde porteuse.

Le thyratron n'est d'ailleurs pas actuellement « le fin du fin », comme nous l'avons alors laissé pressentir : on n'abandonne pas impunément l'électron pur (ou pratiquement pur) des intervalles

---

(1) Ou encore faire partir l'embranchement synchro d'un point situé entre le deuxième et le troisième ampli BF (ou entre le quatrième et le cinquième; etc.).

(2) Il est préférable de recourir à un *séparateur de fréquence*, dont la pièce maîtresse est une *double triode* (deux cathodes, deux grilles et deux plaques dans la même ampoule), avec tout un luxe de résistances et de condensateurs savamment disposés : l'une des plaques s'occupera des lignes, et l'autre, des images (ou trames).

(3) Puisque la période (§ **7**) est plus petite.

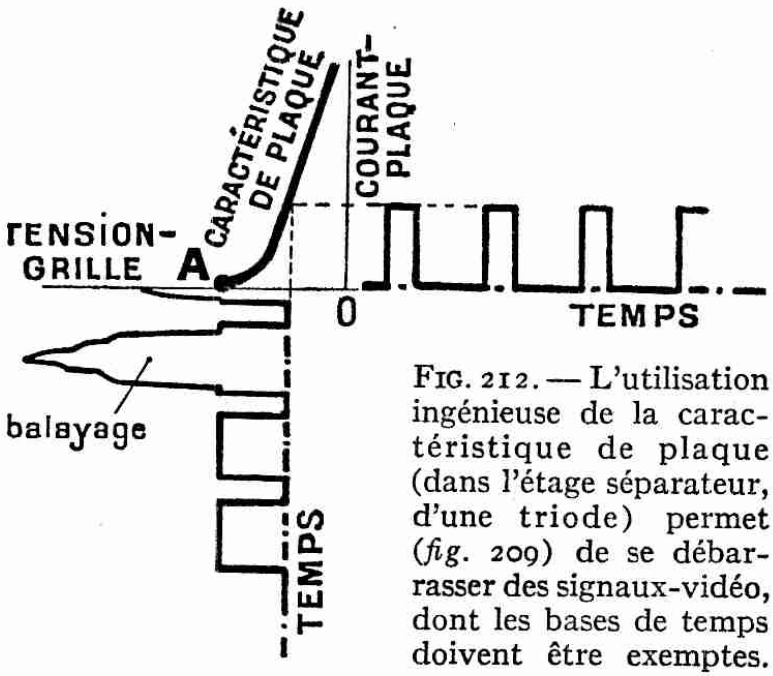


FIG. 212. — L'utilisation ingénieuse de la caractéristique de plaque (dans l'étage séparateur, d'une triode) permet (*fig.* 209) de se débarrasser des signaux-vidéo, dont les bases de temps doivent être exemptes.

de vide, en l'entourant d'une atmosphère gazeuse, car, en même temps, on fait bon marché de sa merveilleuse absence d'inertie. Il est ainsi apparu que, si le thyratron fonctionne convenablement pour les très hautes fréquences des bases de temps-trames, il n'en est plus de même pour les très très hautes fréquences des bases de temps-lignes. La tendance actuelle est donc de revenir, dans ce dernier cas tout au moins, aux tubes électroniques habituels (chap. IV), aux tubes électroniques *à vide*.

Des développements étendus sortiraient du plan que nous nous

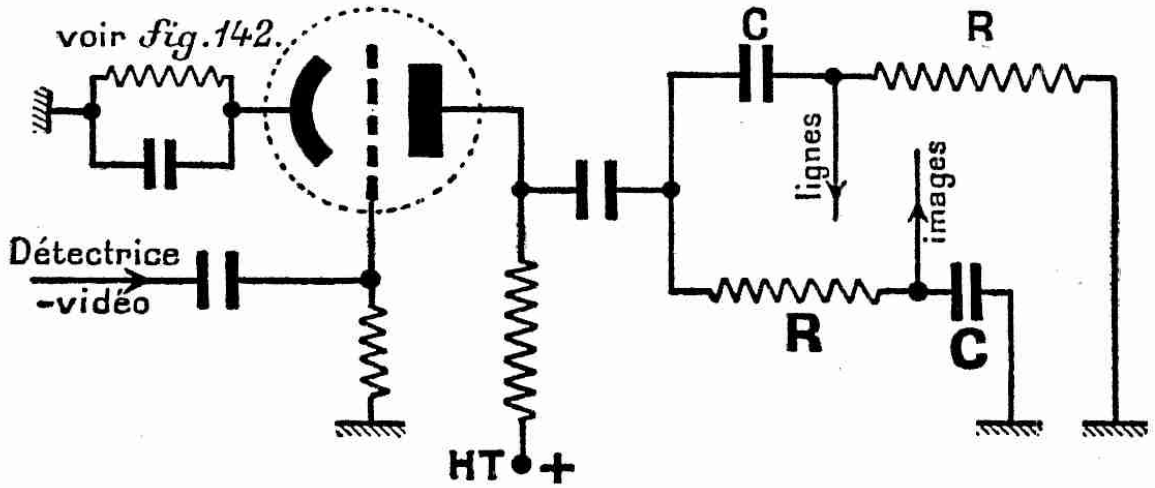


FIG. 213. — Réalisation schématisée du séparateur-synchro, d'après le principe de la figure 212.

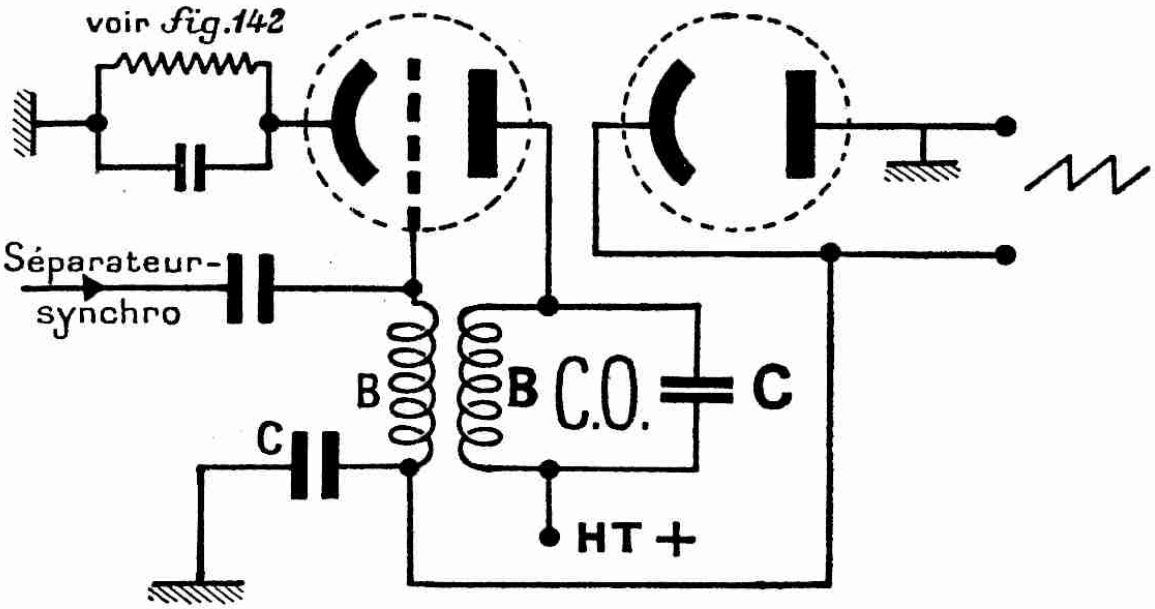


FIG. 214. — Principe de l'obtention de courants en dents de scie sans emploi de thyratron.

sommes tracé (1). Aussi nous bornerons-nous à présenter (*fig.* 214) un dispositif (à triode et diode) qui, à partir du séparateur-synchro, donne naissance aux « dents de scie » (§ **79**), qu'on enverra dans les organes déviateurs (§ **77, I**), lesquels seront (2) : soit des plaques de condensateurs (*fig.* 193-194 et 215), soit des bobines (droite de la figure 209). Le fonctionnement de la triode de la figure 214, comme *oscillatrice bloquée* (suivant l'expression consacrée), est fort complexe : il repose essentiellement sur le fait qu'ici la tension-grille (produite par le couplage des deux bobines B et **B**) est proportionnelle, non pas au courant-plaque, mais à *sa variation* (3).

---

(1) De même, il n'est pas question de décrire ici les montages à « tube de symétrie » (par exemple, le « système déphaseur cathodyne »). Ces explications ne seraient d'ailleurs pas plus difficiles à comprendre que celles que nous avons cru nécessaire de donner, et le lecteur possède toutes les notions fondamentales qui lui permettraient d'en entreprendre l'étude.

(2) Pour des raisons tout à fait accessoires (à notre point de vue).

(3) Voici une première idée de ce fonctionnement.

Avant d' « allumer » le poste, la tension-grille est nulle, ainsi que le courant-plaque. Dès que la cathode commence à émettre des électrons, ce dernier *augmente*, et cette variation provoque un accroissement de la tension-grille, d'où attraction supplémentaire d'électrons, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'on atteigne le courant de saturation (§ **31**, note).

A ce moment-là, le courant-plaque est invariable, ce qui a pour effet d'annuler la tension-grille. Mais alors les électrons ne sont plus accélérés par la grille (qui vient de passer d'une polarisation positive à une polarisation nulle), ce qui revient à dire que le courant-plaque se met à décroître. Par suite, la tension-

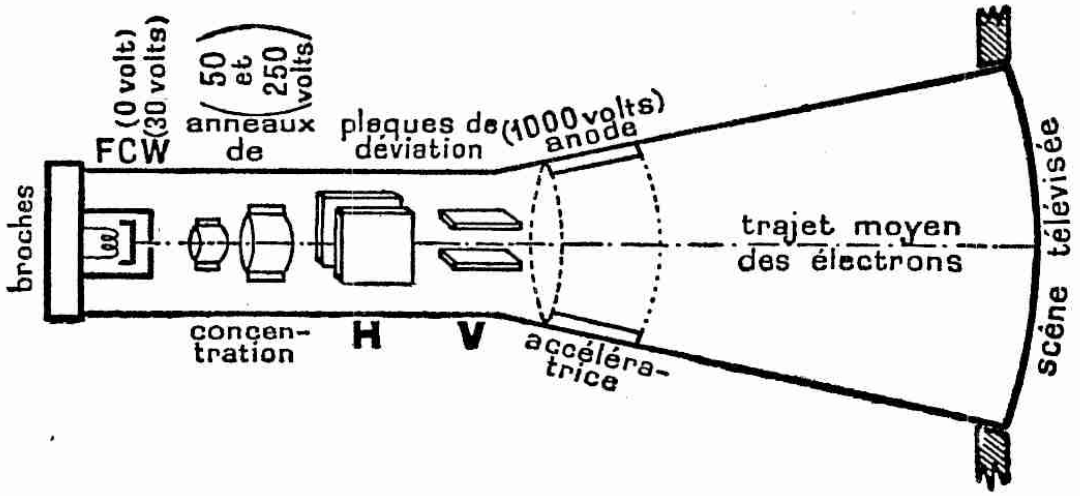


FIG. 215. — Le tube cathodique, au bout duquel on regarde la scène télévisée. (Les concentration et déviations sont, ici, électriques.)

88. *L'image reçue; perfectionnements en cours.* — Notre figure 215 reproduit (avec quelques variantes également employées) l'oscilloscope cathodique ou — tout simplement — *tube cathodique,* dont il a déjà été précédemment question (§ **78,** à l'émission, et § **85,** à la réception). Nous retrouvons : le filament F de chauffage, la cathode C (qui est à la masse), la grille de Wehnelt W (qui sert d'« exutoire » à l'ampli BF vidéo, § **85,** fin). Les variantes consistent uniquement à représenter des organes *électriques,* tant pour la concentration (1) que pour les deux déviations (§ **77, I**) servant au balayage-lignes (condensateur H) et au balayage-trames (condensateur V). A droite, dans la partie évasée de l'ampoule à vide, on reconnaît l'anode accélératrice (portée à la « super-tension » **ST**) et enfin

---

grille diminue encore (donc devient négative), de plus en plus rapidement, de telle sorte que le courant-plaque s'annule à son tour, tandis que la tension-grille baisse bien au-delà du point d'arrêt (*fig.* 212), chargeant ainsi négativement le plateau supérieur du condensateur C (*fig.* 214) : l'oscillatrice est bloquée et le restera jusqu'à ce que C se soit suffisamment déchargé à travers la diode de cette dernière figure.

En réalité, on n'abandonne pas aussi longtemps la grille à elle-même : le dispositif est réglé pour que le générateur-synchro provoque *plus tôt* la reproduction du phénomène qui vient d'être sommairement décrit.

(1) La figure 209 comportait, en BC, une bobine de concentration (focalisation *magnétique* des électrons). Mais nous avons dit (§ **77, I,** fin) qu'on peut recourir également à une focalisation électrique : il s'agit de deux cylindres métalliques creux, que l'on porte à deux tensions (positives) différentes. (La concentration des électrons se fonde sur leurs propriétés ondulatoires, que nous nous bornons à signaler; la question est esquissée dans *les Deux Infinis,* p. 96, 7e édition, Larousse.)

l'écran fluorescent, seule partie visible au spectateur (1), puisque, seul, il émerge de l'ébénisterie.

L'« écran » de télévision est, en fait, un traducteur courant-lumière, mettant à profit la fluorescence (§ **77, III**), connue depuis près de trois siècles (2), ou, plutôt cette variété de fluorescence qu'est l'électroluminescence (Crookes, 1879). Ce serait sous-estimer le « dynamisme » des techniciens que de supposer qu'ils n'aient pas « essayé », dans ce dessein (3), tous les enduits, toutes les substances possibles et imaginables...

En règle générale, ces substances *ne sont pas* des produits purs, mais des mélanges, où les proportions choisies jouent un rôle prépondérant. Aussi ne donnerons-nous que quelques exemples typiques, en n'indiquant que le produit principal :

tungstate de calcium..... bleu;
oxyde de zinc..... vert;
platinocyanure de baryum..... jaune-vert;
sulfate de magnésium..... rouge;
sulfate de zinc..... blanc.

Cette gamme de substances électroluminescentes, qui permet de réaliser à peu près n'importe quelle teinte, devait suggérer des tentatives vers la réalisation de la *télévision en couleurs*. On sait (§ **80,** fin) que l'émetteur correspondant doit produire trois ondes porteuses simultanées, destinées respectivement au vert, au bleu et au rouge : il s'ensuit qu'à l'arrivée, le tube cathodique (*fig.* 216) devra comporter non plus un, mais *trois* canons à électrons CEV, CEB, CER. L'écran pourra être un cercle plan (diamètre : 25 cm), de matière transparente, dont la surface de droite (dirigée vers le spectateur) est enduite de substance à fluorescence rouge (telle que le sulfate de magnésium). Pour pouvoir transmettre les rayons verts et bleus, la face postérieure est ondulée ou, plus exactement, en gradins très petits, dont nous voyons la représentation en coupe : ceux dont la direction est S.-O. — N.-E. et qui recevront les électrons de CEV seront couverts d'un composé (l'oxyde de zinc, par exemple) à fluorescence verte, et les autres (N.-O. — S.-E., pour CEB) d'un autre composé (disons : le tungstate de calcium) à fluorescence bleue.

---

(1) Une illustration de la couverture représente une réception de télévision.
(2) Alors que le traducteur lumière-courant (§ **77, III**) repose sur la découverte de Heinrich Hertz (1887).
(3) Et à l'instar d'Édison (§ **30**, note).

L'œil du téléspectateur réalisera automatiquement le mélange des trois teintes, et la scène télévisée apparaîtra « en couleurs ». Les premiers appareils de télévision *trichrome* sont dus à John Baird (1938), qui recourait à *trois* ondes porteuses (d'où trois émetteurs et trois récepteurs). En 1949, les Américains ont simplifié ce procédé, en se contentant d'*une seule* onde et en appliquant un principe analogue à celui du multiplex en téléphonie.

La télévision bichrome eût été, naturellement, plus simple, mais les colorations auraient été médiocrement rendues. Signalons que ce dernier principe (1) fournit sans difficulté une vision stéréoscopique (en « noir ») : le tube cathodique (modifié comme il vient d'être dit en note) sera regardé par la méthode dite des « anaglyphes », chaque spectateur étant muni de lunettes, dont l'un des verres est coloré en bleu-vert, et l'autre en rouge orangé (2).

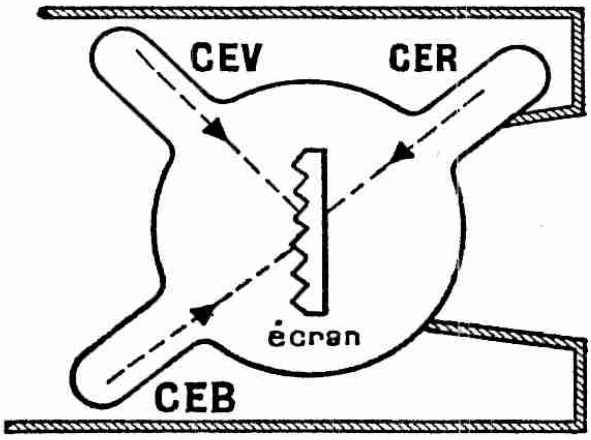


FIG. 216. — Tube récepteur pour la télévision *en couleurs*. (Une modification de ce tube permet la télévision *en relief;* mais, pour l'instant, on est obligé de choisir soit l'une, soit l'autre.)

En télévision (comme au cinéma, d'ailleurs), il n'existe aucune technique fournissant en même temps les couleurs et le relief.

Le prix de revient d'un récepteur de télévision dépend, avant tout, du diamètre choisi pour l'écran, car, en gros, la complication de l'appareillage (notamment le nombre des tubes électroniques) et les tensions (**HT** et **ST**) varient comme ce diamètre.

Les récepteurs bon marché se contentent d'un diamètre compris

---

(1) En modifiant le tube de la figure 216 comme suit :
a) Supprimer CER et l'enduit rouge;
b) Teinter « en bleu-vert » les gradins correspondant à CEV;
c) Teinter « en rouge orangé » les gradins correspondant à CEB.

(2) Entendons-nous bien : dans la télévision en relief, l'émetteur enregistre avec *deux* caméras, qui prennent *deux* vues de la scène et qui font, l'une par rapport à l'autre, un angle convenable. L'une des deux ondes porteuses agit sur le canon à électrons marqué CEV sur la figure 216, et l'autre sur CEB. Il ne faut pas intervertir les verres de couleur des binocles, sous peine d'*inverser* le relief.

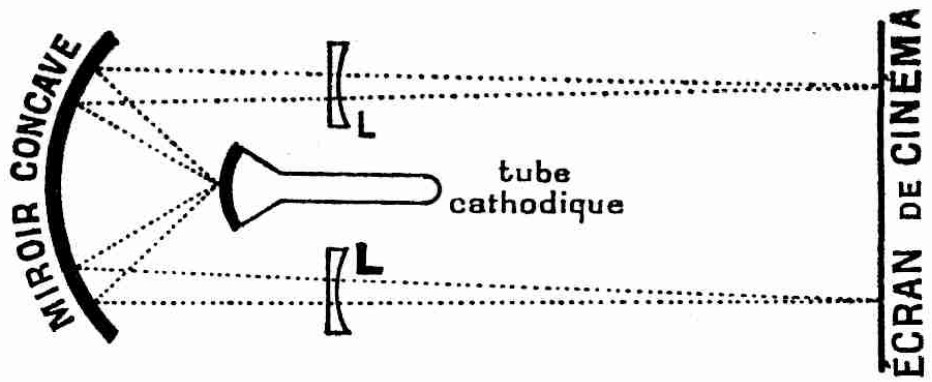
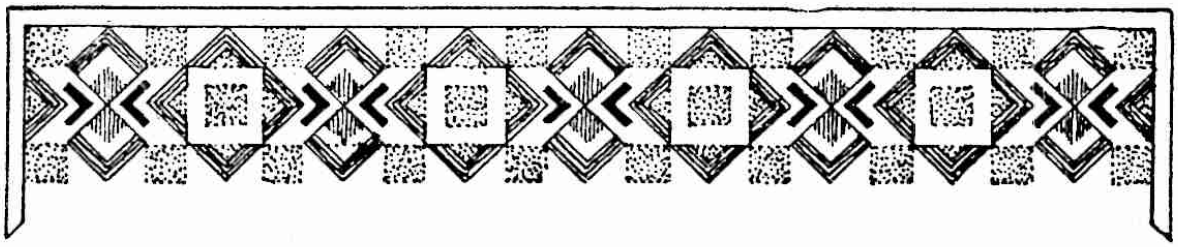


FIG. 217. — La télévision sur grand écran.

entre 7 et 16 cm; ceux dits « pour salon » atteignent 22 ou 31 cm, voire 36. Mais il paraît difficile d'aller plus loin sans recourir à la vision directe de l'écran : celle-ci, au contraire, permet la « télévision sur grand écran », sur un écran analogue à celui auquel le cinéma nous a accoutumés.

La fin de la réception, alors, n'est plus électrique, mais *optique :* on agrandira, au moyen d'un miroir concave, complété par deux lentilles de correction L, **L** (*fig.* 217), l'image animée qui se dessine sur le fond du tube cathodique. Celle-ci doit être *extrêmement lumineuse,* ce qui ne va pas sans de grandes complications. Mais il est superflu qu'elle soit de grande taille, puisque le système optique se chargera de l'agrandir comme on le désirera. On se limite à des tubes cathodiques dont le fond est de 17 cm 1/2, mais la brillance conduit à employer des tensions de l'ordre de 70 000 ou 80 000 volts, qui, comme on s'en doute, ne peuvent pas être « mises entre toutes les mains »...



Chapitre XI

RADAR ET RADIOGUIDAGE

89. ***What is it, a radar?*** — Il nous reste à traiter deux questions actuelles, l'une et l'autre de la plus haute importance, qui sont, pour ainsi dire, des appendices de la radioélectricité. Mais, alors que le présent chapitre mettra l'accent sur ce qui se passe « dans le sans-fil », sans, bien entendu, en négliger « les deux bouts », le chapitre final ne s'occupera que de l'un de ces « bouts ».

En d'autres termes, il s'agit, pour l'instant, de « toute la radio » (émission, propagation, réception), tandis qu'à partir du paragraphe **97,** nous nous bornerons aux circuits électriques *utilisés* en radio, pour relater des découvertes tellement fantastiques que, sans aucun doute, tout l'avenir de l'humanité en dépend.

Radar et radioguidage sont, avant tout, des « agences de renseignements » : dans un cas, renseignements que l'on se procure à soi-même; dans l'autre, renseignements dont on fait bénéficier autrui : être ou objet. Le radioguidage s'est, en effet, enrichi d'un prolongement dont tout le monde a entendu parler et auquel conviennent les désignations de « télémécanique » ou de *télécommande :* c'est le seul exemple (1), effectivement établi, d'une

(1) Jusqu'à plus ample informé, les « phénomènes » de télépathie spontanée ne sont que des interprétations tendancieuses de coïncidences (généralement bien moins improbables qu'on se plaît à le croire). Et les « phénomènes » de télépathie provoquée (tels que la suggestion hypnotique), examinés attentivement, décèlent immanquablement (Ernest Dupré, 1905) l'alliance indissoluble de la supercherie et de la crédulité : tares dont l' « accusé » ne conviendra que quand on l'aura privé de toutes ses « positions de repli ». Jamais un homme, dont la bonne foi est reconnue certaine par ailleurs, n'a prétendu avoir été *lui-même* hypnotisé.

« projection » à distance de la « volonté » humaine, et chacun songe aux avions-robots.

Le mot « radar » fait partie de cette catégorie de vocables assez rares (1), qui se lisent de la même manière de gauche à droite et de droite à gauche. Les racines grecques et latines seraient incapables d'en rendre compte, car c'est l'abréviation (2) de quatre mots anglais « radio detection and ranging », littéralement « détection et télémétrie par radio » ou, plus brièvement, *télédétection radioélectrique*.

Les quelques historiens du radar — techniciens eux-mêmes — n'ont pu faire autrement que d'insister sur le côté technique de la question (bricolages et perfectionnements de détail), sans en démêler les origines théoriques. Etant donné que radar et radioguidage sont, bel et bien, un troisième domaine de la radioélectricité, c'est, une fois de plus, à James-Clerk Maxwell (1865) et à son disciple Heinrich Hertz qu'il faut obligatoirement remonter :

I. En 1888, tout de suite après avoir mis expérimentalement en évidence le rayonnement électromagnétique, Hertz en mesura la vitesse de propagation (§ **22**), qui fut trouvée (comme Maxwell l'avait prévue) égale à la vitesse de la lumière, soit, à très peu de chose près, 300 000 km par sec (3) dans le vide (et pratiquement dans l'air).

II. L'année d'après, toujours guidé par les conceptions théoriques de Maxwell, Hertz s'appliqua à poursuivre le parallélisme entre le rayonnement électromagnétique et la lumière. Parmi ses nombreuses expériences, il en est une qui importe spécialement à notre sujet : c'est celle qui concerne la *réflexion* de ce rayonnement (de

---

(1) Il s'agit de mots anacycliques, comme « a », « ô », « y », « non », « été », « tôt », « elle », « Anna », « Otto », « Laval », « ressasser ». On s'amusait, au moyen âge, à composer des vers anacycliques (ou des palindromes), comme :

L'âme des uns iamais n'use de mal.

Fabriquer le *mot* « radar » a certes coûté moins de peine...

(2) Qui se répandit dans le public au cours de la guerre 1939-1945.

(3) Que l'on obtienne ici un nombre *rond* (ou très voisin d'un nombre rond, § **22**) doit nous réjouir (pour les calculs « de tête »), mais nullement nous surprendre : le résultat, *purement fortuit*, dépend des unités adoptées (1 km = [en principe] la 40.000e partie du méridien terrestre; 1 sec = la 86.400e partie du jour solaire moyen). Quant à s'arrêter à l'idée que les dimensions et le pivotement de notre globe soient pour quelque chose dans la valeur de la vitesse avec laquelle se meut la lumière *dans l'Univers tout entier*, ce serait faire preuve d'un anthropocentrisme attristant... et inquiétant.

ces « ondes ») sur un miroir métallique (1). Aujourd'hui que, grâce essentiellement à Lorentz (1905), nous n'avons plus aucun doute sur la nature de l'électricité, nous généralisons les résultats de Hertz en affirmant que les ondes électromagnétiques se réfléchissent sur tous les milieux qui renferment des électrons libres : que ce soit des conducteurs solides (ainsi que Hertz l'avait établi) ou des gaz raréfiés (comme l'ionosphère, § **27**).

Il suffit alors de faire intervenir ingénieusement ces deux faits de base, d'une manière tout à fait analogue à celle dont nous avons parlé (§**47**) pour l'asdic, qui repose, lui, sur l'utilisation des ondes *élastiques* (vibrations de la matière) : on émet un top électromagnétique et l'on reçoit son écho; la direction du rayonnement émis est celle de l'objet à détecter (puisqu'il y a eu réflexion, selon **II**), et le retard (en microsecondes) entre le signal et l'écho donne directement *le double* de la distance cherchée (étant donné que, d'après **I**, on connaît la vitesse de propagation).

N'allons tout de même pas croire qu'en radar et en radioguidage le plus fort était fait. Nous voulons dire seulement que l'essentiel (le point de départ) était connu. Mais, une fois encore, on remarque l'immense retard des applications pratiques sur la science théorique. Pour prendre un exemple typique (2), ce n'est qu'en 1922 (plus de trente ans après Hertz) que Giuglielmo Marconi s'avisa de l'emploi de la réflexion (en **II**) des ondes électromagnétiques pour garantir la navigation maritime des collisions avec des icebergs en dérive ou d'autres navires (plus spécialement par temps bouché).

Incomparablement plus importante fut la contribution du savant anglais Edward Appelton, de ses collaborateurs et de ses émules; en 1931, il reprit les expériences qu'il avait effectuées, neuf ans plus tôt (§ **27**), sur la haute atmosphère, et mit au point

(1) Hertz employait deux miroirs cylindriques (plus précisément : cylindro-paraboliques) en zinc, et disposait, à leurs foyers respectifs, son oscillateur (*fig.* 50) et son résonateur (*fig.* 55) : le moindre dérèglement du dispositif supprimait les étincelles dans la coupure de ce dernier.

(2) Qui, sans cela, ne présenterait guère d'intérêt. En effet, « l'idée » qui était venue (tardivement) à Marconi était d'ores et déjà insignifiante, par suite du perfectionnement des sondages ultrasonores. D'autant plus que la portée des signaux électromagnétiques s'est révélée fort restreinte, une proportion considérable de l'énergie émise se dissipant en pure perte par réflexion sur la surface (conductrice) de la mer.

une technique qui reste de toute actualité : la production d'impulsions HF. On ne tarda pas à s'apercevoir que ce procédé, initialement destiné à inventorier la diversité des couches de vide autour de la Terre, s'adapte admirablement à l'identification des avions... ennemis. Et, entre 1935 et 1939, l'Angleterre travailla d'arrache-pied dans cette direction; le premier résultat fut que l'aviation nazie d'envahissement fut écrasée en septembre 1940, en dépit de l'infériorité numérique du personnel « navigant » britannique.

Au cours de la guerre, la collaboration scientifique et technique des deux alliés de langue anglaise (1) fut des plus étroites, surclassant les réalisations allemandes, faciles à brouiller, parce que d'hyperfréquences trop faibles (600 Mc) [2]. Les Parisiens se rappellent avoir recueilli des bandes métalliques (3) jetées par les avions anglais, tombant lentement et créant des volumes conducteurs énormes, qui égaraient la détection et, par suite, le tir ennemis. Dès 1944, plus des trois quarts des V1 allemands étaient abattus pendant leur trajet grâce au radar, et les bombardements en Europe centrale joignaient la sécurité à l'efficacité, du fait qu'ils étaient praticables de nuit, par temps de brume ou de pluie.

De même que la guerre 1914- 1918 a développé intensément la navigation aérienne, de même la dernière guerre fit faire au radar des progrès inouïs (trois cents types d'appareils ont été construits par les Alliés!). On doit bien reconnaître que tout cela n'aurait pas été possible sans les conflits armés qui ont ensanglanté notre siècle; mais ce serait un sophisme que de croire ou de laisser croire que la guerre est un facteur essentiel de l'amélioration technique. L'un des problèmes primordiaux de l'heure présente

---

(1) Il convient de situer en quelques mots l'apport de notre pays dans la détection radioélectrique. Entre 1935 et 1940, nos chercheurs s'étaient intéressés à la radioaltimétrie (altitude des avions) et à la radiotélémétrie (conduite du tir, avec calculateurs automatiques). Mais, parmi les divers modes utilisables, nous nous étions surtout tournés vers la modulation de phase (§ **52, I**) et vers la modulation de fréquence (§ **52, II**). C'est seulement sous l'occupation (et avec les difficultés que l'on devine) que nos techniciens s'adonnèrent à la modulation d'impulsions (§ **52, III**), bien supérieure en l'occurrence. Sans être (comme en télévision) dans le peloton de tête des nations, la France, dans le domaine du radar, se met à l'alignement, en dépit de l'exiguïté des crédits alloués.

(2) L'humanité a été sauvée du fait que des politiciens, pourvus d'idées trop arges en « espace vital », ont été servis par des ingénieurs d'esprit mesquin en hyperfréquences.

(3) Dues à l'ingénieur anglais Window (1943).

consiste à rechercher pourquoi la guerre est la seule entreprise humaine qu'on réussisse à mener à fond, sans arrière-pensée. Ce point une fois élucidé, les psychologues et les sociologues nous suggéreront sans doute les moyens propres à éviter ces périodiques retours à la barbarie. Il est curieux de constater que les âmes « les mieux nées », celles qui répugnent le plus à admettre le déterminisme psychosocial, sont aussi celles qui consentent — sinon avec enthousiasme, du moins avec résignation — au fatalisme des cataclysmes mondiaux...

90. *Conditions préalables.* — En réfléchissant sur les circonstances les plus banales de la vie quotidienne, en particulier sur la propagation du son, on s'aperçoit que la réflexion régulière des ondes sonores est un phénomène exceptionnel : pour qu'il y ait *écho,* il faut notamment que l'obstacle ait des dimensions suffisamment grandes (1).

Cette corrélation se retrouve dans la détection radioélectrique; mais, ici, les dimensions de la « cible » (disons : un avion) sont imposées (par exemple, entre 10 et 100 m) : il n'y aura réflexion d'une puissance suffisante que si les ondes électromagnétiques sont ultracourtes (*fig.* 71) :

ondes métriques	fréquence : 300 Mc,
ondes décimétriques	fréquence : 3 Gc,
ondes centimétriques	fréquence : 30 Gc;

ceci explique que le radar n'a pu prendre naissance que quand la technique des ondes ultracourtes a été suffisamment avancée.

Une deuxième condition a trait aux puissances des émetteur et récepteur contigus : émetteur puissant et récepteur sensible. Nous avons expliqué naguère (§ **26**) en détail combien la puissance

(1) Pour préciser : ces dimensions doivent être de beaucoup supérieures à la longueur des ondes sonores. Supposons que le son produit ait une fréquence d'un kilocycle (*fig.* 111); sa longueur d'onde (§ **22**) est alors, dans l'air :

$$\frac{300 \text{ m par sec}}{1.000 \text{ cycles}} = 30 \text{ cm};$$

l'écho n'aura pas lieu contre un arbre, que le son contournerait (c'est le phénomène de diffraction, qui permet à deux personnes de converser, sans se voir, de deux chambres voisines, si la porte de communication est ouverte); mais on entendra l'écho contre un mur, une falaise ou la lisière d'un bois.

Rappelons une fois de plus que les ondes sonores sont des ondes élastiques, dont la nature n'a rien de commun avec celle des ondes électromagnétiques. Il n'en existe pas moins, entre ces deux catégories d'ondes, des analogies formelles (des analogies de *formules* mathématiques).

atteignant les récepteurs radioélectriques est faible : les récents progrès du radar ont conduit à déceler une petite fraction de picowatt (millionième de millionième de watt).

Et, tout à côté, l'émetteur lance, dans la direction d'exploration, des puissances, qui, lors des premiers essais, étaient déjà de quelques kilowatts, pour se rapprocher maintenant du millier de kW (1). Une telle puissance est considérable, très supérieure à celle des stations radiophoniques (*fig.* 69) : pour l'émettre d'une façon continue, il faudrait qu'une installation de radar disposât d'un matériel analogue (et encore, en supposant que nous sachions le construire pour des ondes ultracourtes...). La difficulté est tournée en émettant des « tops » très brefs, des « impulsions » ne durant, par exemple, qu'une microseconde (2), ce qui est fort possible, puisque, pendant une microseconde, il y aura (comme il se doit) *beaucoup* d'oscillations électroniques :

300	en ondes métriques,
3 000	en ondes décimétriques (*fig.* 219),
30 000	en ondes centimétriques.

Entre les tops, l'émetteur « se repose » (durant un intervalle de temps que nous allons préciser), et l'on conçoit sans plus que la puissance *moyenne* du radar sera une fraction très petite (3) de la « puissance de crête », c'est-à-dire de la puissance réellement envoyée pendant chacune des microsecondes où l'appareil est en action (4).

91. *Principe du radar à impulsions.* — Pour fixer les idées par un ordre de grandeur vraisemblable, nous admettrons que l'installation produit (5) des oscillations électroniques entretenues de 3 gigacycles (trois mille mégacycles, trois millions de

(1) Le rapport entre mille kilowatts et un centième de picowatt est :

$$\frac{1.000.000}{0{,}000000000000001} = 100.000.000.000.000.000.000,$$

soit *cent milliards* de milliards. (A titre de comparaison, il ne s'est écoulé que *soixante* milliards de secondes depuis le début de notre ère.)

(2) Nous avons fait connaissance avec les « tops » dans les chapitres IX et X (sur la télévision) et même bien avant, à propos de la modulation d'impulsions (§ **52, III** et *fig.* 123).

(3) Entre le soixantième et le trois-millième.

(4) C'est grâce à cette technique qu'on a pu émettre (janvier 1946) des tops assez puissants pour rendre perceptible leur écho sur la Lune, comme le rappelle la couverture de cet ouvrage.

(5) Par un dispositif comparable à l'oscillateur (*fig.* 91) de la radio ou de la télévision.

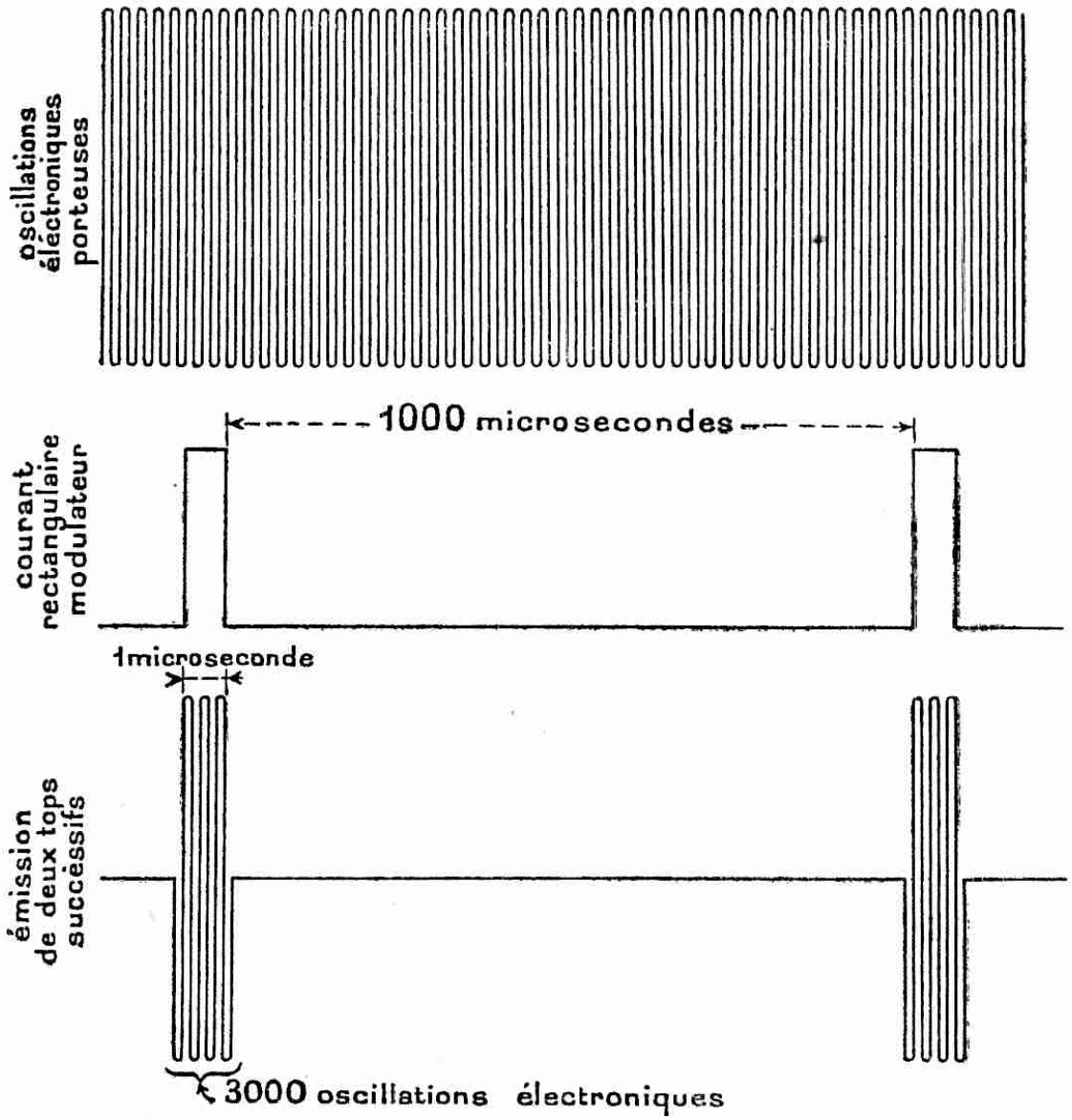


FIG. 218-220. — Principe du radar à impulsions.
Ce que devient une onde porteuse (*fig.* 218), lorsqu'elle a été modulée (*fig.* 220) par un courant rectangulaire (*fig.* 219).

kilocycles, trois milliards de cycles). Ces oscillations subiront alors une modulation d'impulsions, grâce à un organe spécial, dénommé générateur d'impulsions. En nous souvenant de ce qu'est la modulation (chap. VII), nous concevrons sans peine que l'application d'un courant modulateur rectangulaire (*fig.* 219) à des oscillations entretenues (*fig.* 218) va découper dans celles-ci des tops (*fig.* 220), d'une durée d'une microseconde et séparés les uns des autres par une milliseconde. Une telle succession de tops est définie par trois fréquences :

1° La fréquence porteuse (3 Gc);

2° La fréquence de l'impulsion (1 Mc), puisque la durée de l'impulsion est 1 μs;

3° La fréquence de répétition ou fréquence de récurrence (1 kc), puisque les impulsions se succèdent à 1 ms d'intervalle.

Ce qui est essentiel à retenir, c'est que ces trois fréquences sont telles que la première est beaucoup plus grande que la deuxième, et celle-ci beaucoup plus grande que la dernière.

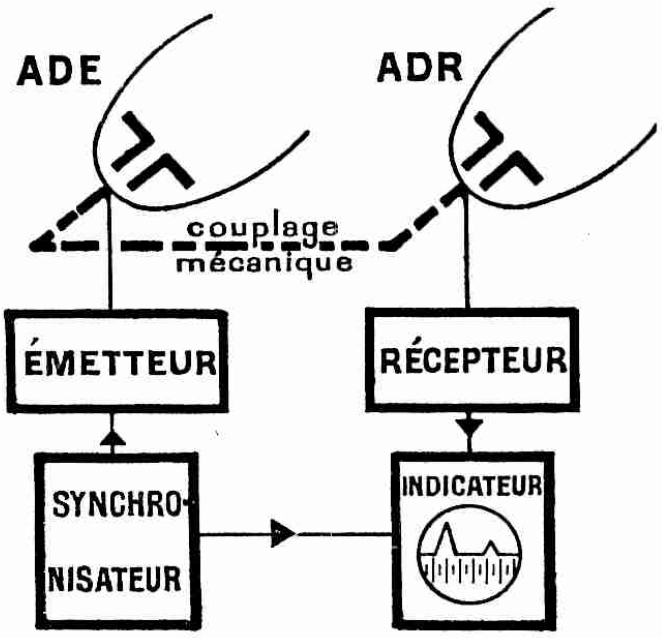


FIG. 221. — Organes du radar à impulsions. Le signal est émis par l'aérien ADE, et l'écho est reçu par l'aérien ADR. L'avion à détecter est dans la direction commune aux deux aériens, et la distance se lit directement sur l'indicateur, en observant l'écartement entre le top de départ et le top de retour.

Cette dernière, on la choisit selon la distance présumable de l'objet à détecter. Voici comment : étant donné que le champ électromagnétique se propage à raison de 300 000 km par sec, une microseconde lui suffira pour abattre 300 km; et ceci représente l'aller et retour *maximum* du rayonnement, si l'on veut que le top d'écho soit perçu avant l'impulsion suivante (condition que l'on s'imposera toujours pour des raisons élémentaires d'identification). Il s'ensuit qu'une installation de radar, qui correspondrait à nos trois graphiques (*fig.* 218-220), serait applicable à des « cibles » à moins de 150 km d'elle.

Ce que nous venons de dire permet de comprendre en quoi consiste un radar à impulsions (*fig.* 221), juxtaposition d'un émetteur et d'un récepteur.

Les organes ouverts sur le monde sont les *aériens,* car c'est ainsi que l'usage a prévalu de désigner le producteur et le collecteur d'ondes. Aériens *directifs*, car ils se composent, l'un et l'autre, d'un doublet (*fig.* 208) analogue à celui de la télévision (accordé sur la fréquence de la porteuse), et situé au foyer d'un

paraboloïde de révolution (miroir parabolique en métal). Ces deux aériens ADE et ADR sont couplés mécaniquement, pour avoir la même direction (1).

Sur notre figure 221 se trouvent schématisés l'ÉMETTEUR (dont nous venons de dire quelques mots) et le RÉCEPTEUR, lequel est un récepteur ordinaire de radio (réglé, bien entendu, sur la fréquence de la porteuse). Le récepteur agit sur l'INDICATEUR, qui est aussi en relation avec l'émetteur par l'intermédiaire du SYNCHRONISATEUR.

L'indicateur comporte, comme partie essentielle, un oscilloscope cathodique (§ **78**), que nous avons décrit, sous une forme *beaucoup plus compliquée,* à propos de la télévision (*fig.* 215). Dans le radar, l'oscilloscope est ainsi rendu à sa première destination (1897), à savoir : enregistrer graphiquement les variations d'un courant électrique.

Comme le tube électronique de la télévision, l'oscilloscope utilise un jet d'électrons (issu d'un canon), lesquels viennent frapper un écran fluorescent. Le courant qui nous intéresse traverse à nouveau des organes de déviation (électriques ou magnétiques, § **77, I**), et ce courant, c'est tantôt le top d'émission (*fig.* 220) et tantôt le top d'écho (ce qui permet de soupçonner la fonction du synchronisateur de la figure 221).

Sur une échelle graduée (disons : de 10 cm) vont apparaître les deux tops (2), et, de leur écartement mutuel, on déduira la distance de la cible au radar. Des réglages subsidiaires feront correspondre, à ces 10 cm, des distances arbitraires (200 km, 100 km,...). Bien que les écartements soient, en principe,

---

(1) Certaines installations réalisent l'asservissement automatique du mouvement des aériens à l'amplitude de l'écho, de telle sorte que le radar reste constamment orienté vers l'objectif (organes directeurs des batteries de D. C. A.). La figure 221 devrait alors être complétée par un circuit d'asservissement, commandé par le récepteur et agissant sur les servomoteurs d'orientation des aériens.

(2) Sur l'indicateur de la figure 221, on remarque une horizontale lumineuse, qui est la trace d'un jet d'électrons émis par le canon du tube cathodique (*fig.* 215); le spot balaie l'horizontale, par exemple en une milliseconde (condensateur à plateaux verticaux). Ceci, bien entendu, en l'absence de tout signal. Nous savons que le tube cathodique comporte aussi un condensateur à plateaux horizontaux, et c'est précisément à ce dernier qu'on applique :

tantôt la tension instantanée de modulation (qui donne, par conséquent, un top correspondant à l'émission d'impulsion);

tantôt la tension créée dans le récepteur à l'arrivée de l'écho (qui produit un deuxième top, à droite du premier et plus petit).

Le balayage s'effectuant à vitesse constante, l'écartement entre les tops est proportionnel à la distance de la cible au radar.

proportionnels aux distances, il est recommandable d'étalonner l'appareil (sans se contenter d'une simple interpolation) ; les résultats pratiques ont amplement montré que ce radar à impulsions est susceptible d'une extraordinaire précision (1).

Tout ce qui précède ne concerne que la télémétrie, qu'il s'agisse d'installations au sol ou de radars d'avion. Chacun sait que, dans ce dernier cas, les Anglo-Saxons ont été beaucoup plus loin, grâce à l'*indicateur panoramique* P P I (abréviation de « plan position indicator »). Cet appareil repose sur un balayage (par rotation continue des aériens) du pays survolé, qui apparaît ainsi sur l'écran de l'indicateur ; il est naturellement utilisé de nuit ou par temps bouché.

92. *Idée du radar à modulation de fréquence.* — Le radar à modulation de fréquence (plus brièvement : « radar-fréquence ») est beaucoup plus complexe que le « radar-impulsions » (§ **91**), ce qui fait que nous en dirons encore moins...

Le peu qui en sera divulgué exige néanmoins un examen de conscience, autrement dit un retour en arrière sur les brèves notions qui ont été fournies en radio (§ **52, II**) sur le même sujet. Nous avons vu alors que la modulation de fréquence laisse constante l'amplitude des oscillations électroniques, mais qu'elle agit sur leur période ou, ce qui revient au même, sur leur fréquence (période et fréquence changeant en sens inverse). Il y a toutefois, entre le cas de la radio et celui du radar, une différence fondamentale sur la *forme* de la modulation : la figure 121 nous montrait qu'en radio la fréquence varie entre un maximum et un minimum (ce qui permet précisément d'incorporer les sons). Ici, au contraire, la fréquence de l'onde porteuse varie continuellement dans le *même* sens (tout au moins pendant la durée de la mesure), par exemple dans le sens d'une diminution régulière de la période (donc d'un accroissement régulier de la fréquence). En d'autres termes, au lieu de passer de la figure 120 à la figure 121, nous partons de la représentation graphique (*fig.* 222) des oscillations porteuses (à période rigoureusement fixe) et nous les modulons de telle sorte que la période décroisse de façon continue (*fig.* 223).

(1) Signalons, en passant, le dispositif IFF (« information friend or foe » = information ami-ennemi) : lorsque cet appareil reçoit un signal ami (identifié par la fréquence porteuse et la fréquence de répétition), il émet, au bout d'un laps de temps convenu, un signal-code, qui apparaît sur l'indicateur. L'absence dudit signal-code indique la présence d'un ennemi.

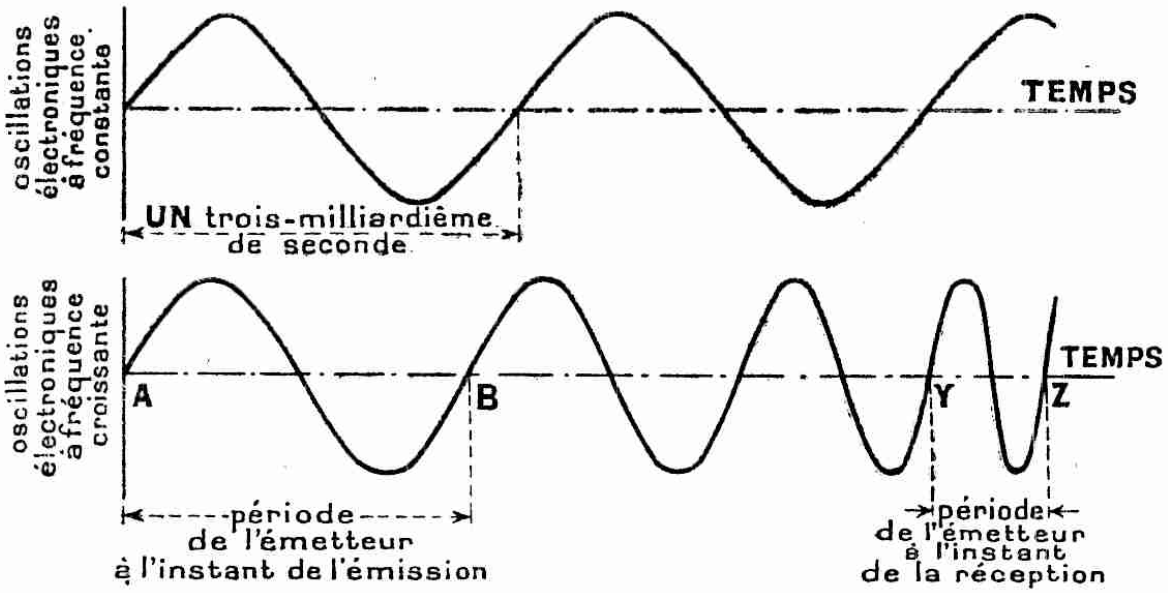


FIG. 222-223. — L'onde porteuse en radar (*fig.* 222) et sa modification régulière (*fig.* 223) par modulation de fréquence.

Ceci étant bien compris, l'application en découle en toute simplicité, comme le suggère cette dernière figure : à un instant donné, l'ÉMETTEUR lance des ondes de période AB; ce sont ces ondes qui vont frapper la cible et revenir au radar au bout d'un temps BY (1). Mais, à ce moment-là, la période de l'émetteur n'est plus AB, mais YZ; on s'arrangera pour « mélanger » (*fig.* 224) ces oscillations (YZ) dues à l'émetteur et celles (AB) dues à l'écho, ce qui donnera lieu au phénomène de battements, dont nous connaissons l'essentiel (*fig.* 152). L'ENREGISTREUR de la figure 224 se chargera de traduire la fréquence résultante (ou fréquence de battements) en kilomètres, ce qui se conçoit sans peine, puisque cette dernière fréquence est d'autant plus grande que AB et YZ diffèrent davantage, c'est-à-dire que le voyage (*aller et retour*) du signal met plus longtemps à s'effectuer.

En coupant (*fig.* 224) la connexion entre le modulateur et l'émetteur, le radar-fréquence fournit un deuxième renseignement, de la plus haute importance (et qui est même utile pour préciser le résultat ci-dessus); ce résultat paraîtra inattendu à

(1) Il va sans dire (mais cela va mieux en le disant) que la figure 223 a été schématisée à l'extrême pour la clarté de l'exposé :

1° Entre B et Y, il y a, non pas *deux* oscillations électroniques complètes, mais des milliers;

2° YZ n'est pas le tiers de AB (ces deux segments sont presque égaux YZ étant, bien entendu, le plus petit).

quiconque n'est pas familiarisé avec la physique : il concerne la *vitesse* de la cible par rapport à l'émetteur-radar (1).

Le modulateur étant supprimé, l'émetteur, en ADE, produit des ondes de fréquence constante, comme celles de la figure 222. Mais, dans les conditions susdites, le récepteur ADR (*fig.* 224) capte des ondes de fréquence différente (2) : il apparaît, comme précédemment, une fréquence de battements à la sortie du détecteur-mélangeur, et c'est la mesure de celle-ci qui fournit la vitesse cherchée (3).

En tant que télémètres (4), les deux types actuels (radar-impulsions et radar-fréquence) présentent des avantages et des inconvénients complémentaires. Il faut préférer le premier au second, toutes les fois qu'on risquera d'être gêné par les échos parasites : le radar-fréquence s'applique mal aux installations fixes, et prend sa revanche quand il est monté sur avion. D'autre part, le radar-impulsions ne donne des résultats intéressants que pour des distances largement supérieures au kilomètre, tandis que le radar-fréquence peut descendre *jusqu'au mètre* (avec une approximation de 10 %) ; c'est celui-ci qui s'impose pour des distances relativement courtes (quelques km), notamment pour la conduite des tirs d'avion ou les altimètres d'atterrissage.

93. *Fusée de proximité.* — En dépit de notre intention d'être extrêmement succinct sur la technique radar et ses annexes, l'occasion est trop belle (5) et le lecteur nous saura gré de l'en-

---

(1) Plus exactement : la composante de la vitesse suivant la ligne droite qu joint émetteur et cible. Les mesures ne permettant pas de décider si cette dernière s'approche ou s'éloigne, ce qui importe peu, puisque l'on connaît, par ailleurs, le sens du déplacement.

(2) C'est l'effet Doppler-Fizeau, dont il est parlé moins succinctement dans *les Deux Infinis*, pp. 78-80 et 214, 7e édition, Larousse. Le physicien autrichien Christian Doppler (1803-1853) découvrit ce phénomène *sur le son* en 1843, et notre compatriote Hippolyte Fizeau (1819-1896) l'étendit *à la lumière* en 1848. La théorie électromagnétique de la lumière (Maxwell, 1865) rend parfaitement compte de l'effet Doppler-Fizeau.

(3) La théorie démontre et l'expérience confirme que la vitesse (en cm par sec) suivant la ligne de visée vaut la moitié du produit de la longueur d'onde (en cm) de la porteuse par la fréquence de battements (en cycles).

(4) Pour nous, la comparaison ne se pose pas quant à la mesure des vitesses, étant donné que nous ne nous sommes pas posé la question de savoir si le radar-impulsions en fournit une solution.

(5) Elle avait d'ailleurs été saisie par le dramaturge anglais Charles Morgan, dès avant la guerre, et sa pièce *le Fleuve étincelant* fut représentée à Paris en 1946.

tretenir pendant quelques instants de l'obus-qui-sait-quand-il-doit-exploser (1).

La fusée de proximité comprend, dans un encombrement incroyablement faible, une bonne demi-douzaine d'organes, dont voici l'énumération : un aérien ADE-ADR d'axe parallèle à la trajectoire; un émetteur d'hyperfréquence; un détecteur-mélangeur; un amplificateur; un relais ultrasensible de tension; un amorçage électrique (2); une alimentation (3); un dispositif d'autodestruction (4) au sommet de la trajectoire. Ajoutons, pour souligner le caractère merveilleux de cette réalisation technique, que tous les organes résistent à des forces provenant de ce que l'accélération peut dépasser deux mille fois celle de la pesanteur et qu'ils sont, en outre, insensibles aux vibrations mécaniques (de fréquences élevées) que subit le projectile quand il atteint les vitesses supersoniques.

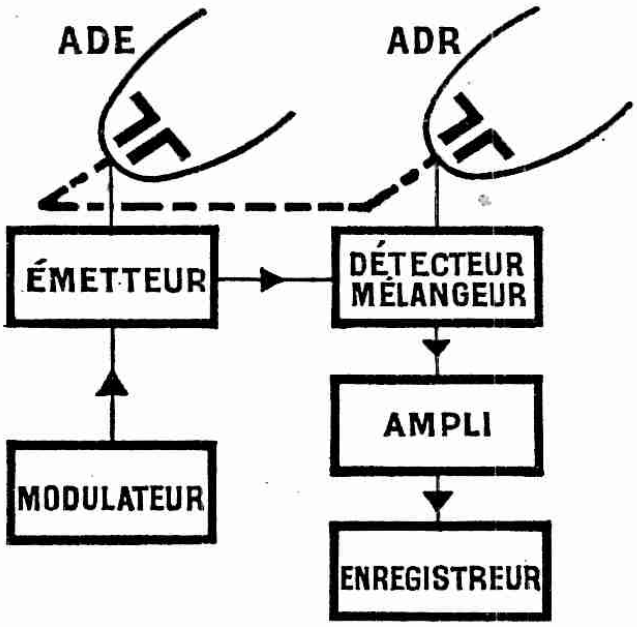


FIG. 224. — Organes du radar-fréquence.
L'instant psychologique est celui où l'écho est reçu par l'aérien ADR. Par la grâce du modulateur, les oscillations électroniques de l'émetteur ont une fréquence plus grande que celle qui est engendrée par l'écho. Les unes et les autres se mélangent et donnent une fréquence de battement, dont la valeur fournit, par lecture directe de l'enregistreur, la distance de la cible en km ou hm.

94. *Oscillateurs à hyperfréquence.* — C'est maintenant le moment de signaler des complications, que le lecteur, non

(1) Le problème n'a rien de commun avec celui du shrapnel (obus à balles), que l'on règle *au départ* pour éclater au bout d'un temps donné. La fusée de proximité comporte toute une installation en miniature (cylindre de 7 cm de diamètre et de 15 cm de hauteur), qui déclenchera l'explosion au moment où sa distance à l'objectif choisi (sol, avion, ...) descendra en deçà d'une valeur fixée (ce qui agit, c'est la « perception » de la vitesse de rapprochement, § **92**).

(2) Présentant toutes les garanties de *sécurité* pendant la manutention et le lancement.

(3) Piles; moteur entraîné par hélice.

(4) Ce suicide, cet hara-kiri est nécessaire, soit pour que l'obus n'éclate pas au sol (en terrain ami), soit pour que « le secret » de la fusée ne tombe pas entre les mains de l'ennemi.

prévenu, pourrait juger paradoxales et qui ont longtemps fait marquer le pas à l'étude des hyperfréquences (1) en général, et à la technique radar en particulier.

Qu'on ne se laisse surtout pas aller à croire qu'en parlant de la triode (§ **33**), nous avons tout dit! Nous nous sommes borné à raconter ce qu'elle présentait d'important pour la radio (disons : jusqu'à 20 Mc), et il s'est trouvé qu'en grimpant vers les hautes fréquences (aux alentours de 200 Mc) de la télévision, il ne surgit pas de perturbations graves. Mais, avec le radar, nous n'en sommes plus là : c'est (§ **90**) avec le Gc (et les dizaines de Gc) qu'il faut, de toute nécessité, nous débrouiller...

Premier embarras : le gigacycle correspond à la nanoseconde (au milliardième de seconde). Et, pour bien faire sentir où le bât nous blesse, nous porterons notre attention sur une diode, formée d'une cathode et d'une plaque, dont la distance mutuelle est un centimètre et que l'on soumet à une tension (continue) de 100 volts. Connaissant la « fiche anthropométrique » de l'électron (§ **77, I**), c'est un jeu de calculer :

α) La vitesse des électrons quand ils heurtent la plaque (6 000 km par s) ;

β) La durée de leur saut entre cathode et plaque (30 ns, soit 30 milliardièmes de seconde).

Or, ce n'est nullement une tension continue que le radar applique à ses tubes électroniques, mais une tension alternative de superfréquence, par exemple d'un gigacycle, donc variant (pour fixer les idées) entre 0 volt et 100 volts. Tout est alors... chahuté : il n'est plus question, pour un électron, de franchir l'intervalle de vide en une durée-record de 30 milliardièmes de seconde, puisque chaque électron serait, pendant ce laps de temps, sollicité trente fois vers l'avant et trente fois vers l'arrière! Tout le mal provient de ce que, avec les fréquences-radar, le saut dans le vide d'un électron s'effectue en un temps comparable (ou supérieur) à la période de l'onde porteuse. La conséquence tangible, c'est que les électrons rapides ont alors la possibilité de

---

(1) Il ne semble pas que le mot « hyperfréquence » soit définitivement adopté. A notre sens, « superfréquence » serait préférable, non pour des raisons pédantesques d'étymologie, mais tout bonnement parce qu'il permettrait l'abréviation SF (puisque HF est déjà réservé à haute fréquence).

rattraper les électrons lents, tant et si bien qu'il se forme, dans le vide, des zones de rassemblement (1).

Deuxième embarras. Celui-ci crève les yeux quand on jette un coup d'œil sur le coin N.-O. du tableau de la figure 32, dont nous n'avions plus parlé depuis bien longtemps. A vrai dire, ce tableau n'avait été dressé que pour la radio (et la télévision), mais il est facile de prolonger (vers le N.-O.), comme nous l'avons déjà indiqué, et de constater que pour 1 Gc (= 1 000 Mc), on pourrait prendre :

$$0\ \text{pF}\ 5 \quad \text{et} \quad 0\ \mu\text{H}\ 05,$$

par exemple, ce qui représente une toute petite capacité (2) et une toute petite self-inductance (3). Pour nous souvenir de la signification des nombres de la figure 32, redisons que c'est en choisissant un tel condensateur et une telle bobine que l'on réalise un circuit oscillant (*fig.* 27) ayant une fréquence propre d'un gigacycle. Mais, jusqu'ici (à partir de la figure 91 notamment), nous avons toujours supposé que, seuls, les condensateurs et bobines *extérieurs aux tubes électroniques* agissaient, dans les circuits électriques, par leur capacité et par leur inductance. Or, à force de grimper vers les hyperfréquences (autrement dit vers le N.-O. de la figure 32), nous finissons par arriver au moment où les capacités et inductances, présentées par les tubes électroniques (4), deviennent comparables (5) à celles des appareils

---

(1) Il s'ensuit que les caractéristiques (§ **33**) des triodes, penthodes, ... dépendent ici de la valeur adoptée pour l'hyperfréquence (ce à quoi on pourrait à la rigueur remédier), mais surtout que l' « amplification » (§ **34**) devient, à l'occasion, un amoindrissement, ce qui interdit toute fonction oscillatrice (§ **35**). Tout ceci est dit principalement pour que le lecteur se persuade que c'est en radar (et non pas déjà en télévision) que la radiotechnique doit être modifiée du tout au tout.

(2) Ce serait, si l'on veut, le condensateur de la figure 4, avec les données :

plateaux : 4 cm × 4 cm écartement : 3 cm,

ou bien avec les données :

plateaux : 2 cm × 2 cm écartement : 1 cm.

C'est justement l'ordre de grandeur des dimensions métalliques dans les tubes électroniques habituels.

(3) Il suffit, pour fixer les idées, de songer à la bobine de la figure 16, mais en ne lui donnant que 2 ou 3 spires (au lieu de 24).

Même remarque qu'à la fin de la note précédente.

(4) Tout particulièrement :

la capacité cathode-grille,

la capacité cathode-plaque,

la self-inductance des fils de connexion entre électrodes et broches (§ **30**).

(5) Ou même supérieures.

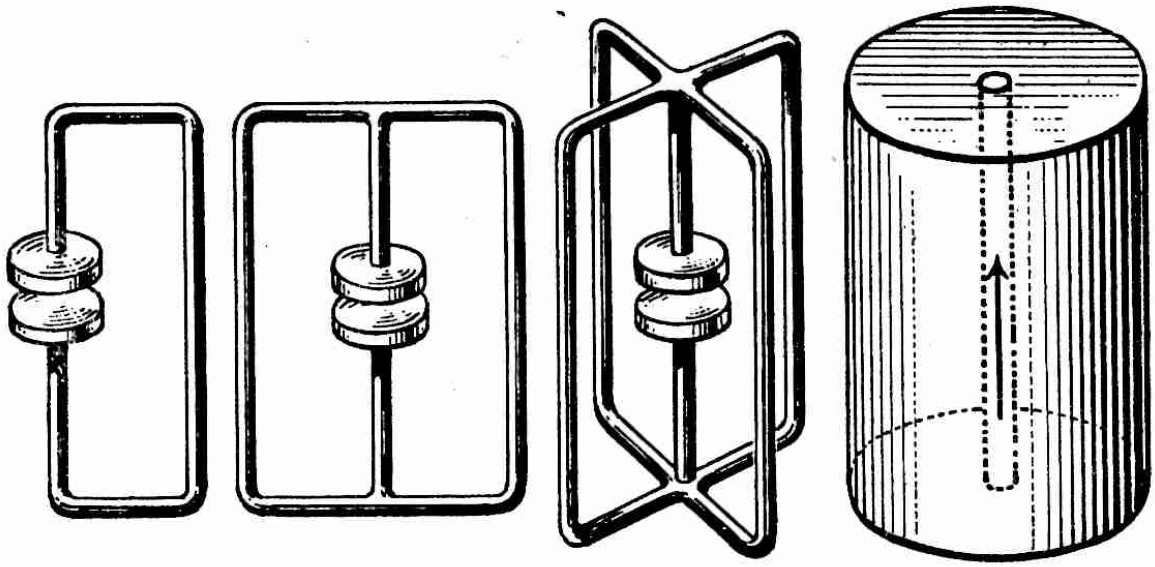


FIG. 225-228. — Les métamorphoses progressives du circuit oscillant (condensateur et cadre, *fig.* 225) vers la cavité électromagnétique à résonance d'espace (coupure du tube axial, laquelle joue le rôle d'une capacité, et cylindre métallique creux, fonctionnant comme inductance). Un jet d'électrons, parcourant le tube suivant la flèche (*fig.* 228), fait osciller le système à très haute fréquence (hyperfréquence).

employés : il est alors interdit d'en négliger les effets (1), et tout se trouve à nouveau... chahuté, pour une deuxième raison.

L'idée est alors venue (2) d'*incorporer* au tube électronique lui-même les condensateur et bobine formant circuit oscillant et jusqu'alors constituant des appareils séparés : le circuit oscillant classique (3) de la figure 225 s'est alors mué en « cavité électromagnétique à résonance d'espace » (*fig.* 228). La cavité, représentée en vraie grandeur par cette dernière figure, a, comme fréquence propre, une hyperfréquence (6 Gc) telle que la longueur d'onde correspondante (5 cm) soit du même ordre de grandeur que les dimensions linéaires de la cavité.

Voilà, dira-t-on, bien des circonlocutions, bien des entrechats, pour donner un aperçu — qui va être extrêmement sommaire — des oscillateurs à hyperfréquence. Plus que des réalisations (pour ainsi dire impossibles à décrire sans les avoir sous les yeux), il fallait que le lecteur fût prévenu de la façon dont la question se pose et des deux « embarras » qui surgissaient. On se doute que

(1) Puisque ceux-ci peuvent devenir prédominants.

(2) A peu près simultanément dans tous les laboratoires de recherches des grandes nations scientifiques.

(3) Dont le premier type fut le résonateur de Hertz (*fig.* 55).

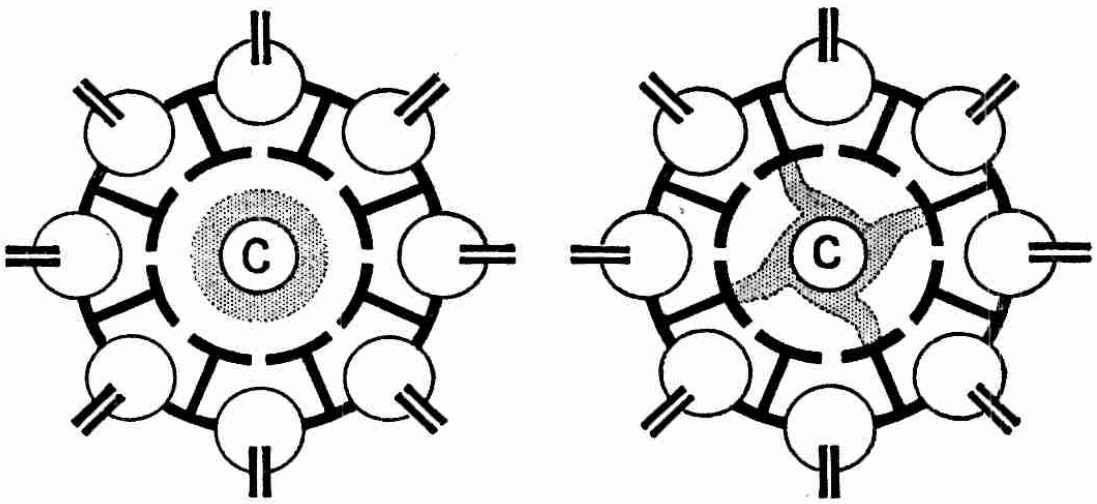


FIG. 229-230. — Deux représentations schématiques du magnétron.
Les huit circuits oscillants, qui entourent chaque cathode émissive C, sont, en réalité, des cavités résonnantes (*fig.* 228). Les parties grises représentent les condensations des électrons dans le vide (les charges d'espace), lorsque le magnétron n'oscille pas (*fig.* 229) et lorsqu'il oscille (*fig.* 230).

le second est surmonté grâce aux cavités résonnantes; quant au premier, qui se concrétisait en de gênantes zones de rassemblement, il va, au contraire, être *mis à profit* dans certains oscillateurs actuels, qui prennent pour idée directrice la modulation de vitesse des électrons.

En une décade environ, au prix d'ahurissantes complications, la recherche technique est parvenue à l'oscillateur-hyperfréquence le plus perfectionné de l'heure présente et qui a reçu (1) le nom de *magnétron*. Nous renonçons à relater ces étapes (2), car nous présumons que la plupart des lecteurs ont atteint leur « capacité » d'assimilation, un état de « saturation ».

Dans le peu que nous dirons du magnétron, nous représenterons

---

(1) Nous expliquerons pourquoi dans une prochaine note.

(2) Pour être complet, il faudrait mentionner la première tentative (tube à grille positive de Barkhausen-Kurz), qui repose sur un principe fort différent des autres. Il y aurait aussi à décrire le *klystron* (E. et H. Varian, 1938) et son successeur et rival, le *klystron-reflex*, tous appareils encore utilisés. Nous nous retrancherons derrière la maxime de Boileau (1674) :

Qui ne sut se borner ne sut jamais écrire;

en vérité, il était à cent lieues de prévoir une future impuissance de l'imprimé et une faillite du langage, en général! Ajoutons que les citations, même empruntées à des auteurs intelligents (les professionnels du « bien-dire »), doivent être minutieusement choisies, en se référant à des critères, qu'ils étaient d'ailleurs incapables de soupçonner. Il arrive souvent à des esprits distingués, mais mal renseignés, de transcrire tour à tour des idées ingénieuses et des énormités. Quoi d'étonnant à cela, puisque, par la grâce de la subodoration (qu'ils appellent complaisamment « intuition »), ils travaillent, en réalité, au « pifomètre » (pour reprendre la facétie argotique des laborantins).

schématiquement, sur nos deux figures 229 et 230, les cavités résonnantes par des résonateurs de Hertz, étant bien entendu que celles-là (*fig.* 228) sont, dans le vide, à l'intérieur de l'ampoule de l'oscillateur-hyperfréquence. Autour des cathodes chaudes C est disposé un cylindre métallique, fendu en un nombre pair (ici : huit) de tronçons égaux; ces tronçons sont réunis par des cavités résonnantes, toutes identiques. Le système de nos figures 229 et 230 présente quatre fréquences de résonance. On applique alors, au moyen d'un aimant, un champ magnétique (1) perpendiculaire au plan du dessin; les trajectoires électroniques sont alors incurvées (2), conformément à ce qui a été déjà dit (§ **77, I,** 2°), et l'on constate (3) que, pour un réglage approprié de ce champ, le système oscille spontanément (système auto-oscillant) avec l'hyperfréquence propre des cavités résonnantes.

Décrit pour la première fois par le physicien américain Albert W. Hull (1922), le magnétron a été étudié, chez nous, principalement par Maurice Ponte et Henri Gutton : il se place au premier rang des oscillateurs-radar (pour ondes décimétriques, centimétriques, voire millimétriques), car il engendre des impulsions de grande puissance avec un rendement élevé.

95. *Exemples de circuits électriques en technique radar.* — L'hyperfréquence, produite notamment par le magnétron (§ **94**), va constituer la *fréquence de base* du radar, car c'est sur elle — ou sur un de ses *sous-multiples* (4) — que tout va se régler : rythme des impulsions, durée et synchronisation des balayages, position et espacement des graduations de l'indicateur, etc.

Une installation radar comprend ainsi une abondance littéralement déroutante de circuits électriques, notamment :

---

(1) C'est de là que provient la désignation de l'appareil.

(2) Comme le suggère la figure 230.

(3) Ceci est une conséquence d'une théorie classique de l'électrotechnique, celle des moteurs asynchrones (ici : à huit pôles). On ne nous en voudra pas de ne pas consacrer quatre ou cinq pages à l'exposer.

(4) On obtient ces sous-multiples par des montages appelés abaisseurs de fréquence ou *démultiplicateurs* (la figure 232 nous en fournira un exemple schématique). Des élévateurs de fréquence (ou multiplicateurs) ont été réalisés dans les débuts; mais il est vraisemblable qu'ils soient complètement désuets d'ici peu.

des circuits-pilote (ou de synchronisation), fournissant les impulsions brèves aux autres circuits (1);
le modulateur de l'émetteur (2);
les circuits de balayage;
des circuits de graduation, opérant le mélange des impulsions des circuits-pilote et des impulsions-échos;
des circuits de sélection, destinés à supprimer les retours de spot et à séparer les échos utiles des échos parasites.

Un examen détaillé de ces divers circuits dépasse de loin le cadre d'une première initiation : il ne se justifierait que si nous ne nous étions pas décidés à faire des coupes sombres même en radio, dont les développements techniques captivent cependant bien davantage le lecteur moyen. Il ne faut pas oublier, en effet, que radio et télévision sont — ou tendent à devenir — des compagnons du foyer, tandis que rien d'analogue n'est à prévoir, dans les années qui vont suivre, pour le radar, le radioguidage, les cerveaux électroniques, non plus que pour la radiotélégraphie (§ **53**) ni pour la téléphotographie (§ **73**). Il y a néanmoins une différence essentielle : c'est que les deux dernières sont, en quelque sorte, *en deçà* de la radio et de la télévision, tandis que les trois premiers se situent *au-delà* et sont éventuellement aptes à influencer (et à perfectionner) les « compagnons du foyer ».

Il s'ensuit que, parmi les centaines de montages auxquels ces techniques vivantes ont déjà donné lieu, un choix s'impose. Choix rigoureux, puisque nous ne retiendrons que le principe — simplifié au possible — des deux opérations importantes : l'écrêtage des oscillations électroniques et la démultiplication d'une superfréquence.

C'est à dessein que nous avions laissé planer quelque mystère sur le « courant rectangulaire » (*fig.* 219), destiné à moduler l'onde porteuse dans le radar à impulsions. Il est temps de donner la clé de l'énigme : un courant rectangulaire (3) est un courant alternatif habituel, dont on a supprimé les parties supérieure et inférieure (les crêtes), que l'on a *écrêté*.

---

(1) Ces impulsions seront en même temps *mises en forme* (rectangulaires, triangulaires, exponentielles, ...) et dosées quant à leur durée et à leur amplitude.

(2) Si le modulateur poursuit ici le même but qu'en radio ou en télévision (chap. VII et IX), les réalisations sont, en fait, beaucoup plus complexes et n'ont guère de rapports avec celles que nous connaissons.

(3) Strictement parlant, on n'obtient pas ainsi des rectangles, mais des trapèzes isocèles (courant pseudo-rectangulaire).

Pour cela, il n'y a qu'à reprendre ce que nous savons (*fig.* 90 et 89) de l'amplification. Mais, au lieu d'utiliser (*fig.* 90) un tout petit bout de la caractéristique de plaque, nous allons la prendre tout entière, non seulement (à gauche) jusqu'au point d'arrêt A (1), mais encore (à droite) jusqu'au palier S de saturation (2). A cela près, la figure 231 reproduit la figure 90 (le raisonnement que nous avons développé reste valable). Le segment OP représente la polarisation (négative) de la grille (3), en l'absence de toute tension (alternative) d'attaque. La tension d'attaque (ou les oscillations électroniques à l'entrée) n'aura pas le même sort dans les figures 90 et 231 : dans ce dernier cas, les oscillations ont une trop grande amplitude pour passer toutes entières (4), et c'est justement ce que nous voulons... Les petits chiffres 1, 2, 3, 4, 5, 6 se retrouvent dans les chiffres longs du courant crénelé (5). Bien entendu (mais nous nous bornons à signaler le fait), il faut que la polarisation OP ait une valeur convenable par rapport à la tension (alternative) d'attaque, donc par rapport à l'amplitude des oscillations électroniques à l'entrée (6).

Compte tenu de cette dernière remarque (et aussi en utilisant ce que nous avons appris entre temps), la figure 232 ne diffère en rien d'essentiel de la figure 89 : sur l'entrée **E,** on applique la tension sinusoïdale (le condensateur n'étant là que pour arrêter une éventuelle composante continue) et la sortie **S** recueille une tension écrêtée. Tel est le principe — extrêmement simple — de la *triode* (amplificatrice) *écrêteuse* (7).

Disons maintenant quelques mots d'un procédé de démultipli-

---

(1) Que nous avons déjà rencontré sur la figure 212 (élimination de la vidéo en réception de télévision).

(2) Dont nous avons signalé l'existence dès le paragraphe **31** (note).

(3) La polarisation de la grille — redisons-le, car on l'a peut-être oublié — est la tension (généralement négative) de la grille par rapport à la cathode. On a longuement insisté (§ **63**) sur le fait qu'*il revient au même* de porter la cathode à une tension (alors positive) par rapport à la grille.

(4) Les parties en pointillé (ou crêtes) disparaissent, parce que, à gauche du point d'arrêt A, le courant est nul, et parce que, à droite du début S de l'horizontale de saturation, le courant ne peut augmenter davantage.

(5) Qu'il suffit de redresser par une (seule) diode (§ **32**) pour obtenir le courant rectangulaire (135 en chiffres longs).

(6) Qu'on emploie de préférence une penthode (§ **67**), c'est là une question secondaire qui importe peu, au niveau où nous nous plaçons.

(7) Pour la même raison qu'à la note précédente, nous laissons de côté les dispositifs qui recourent à une lampe au néon ou à un thyratron (§ **79**).

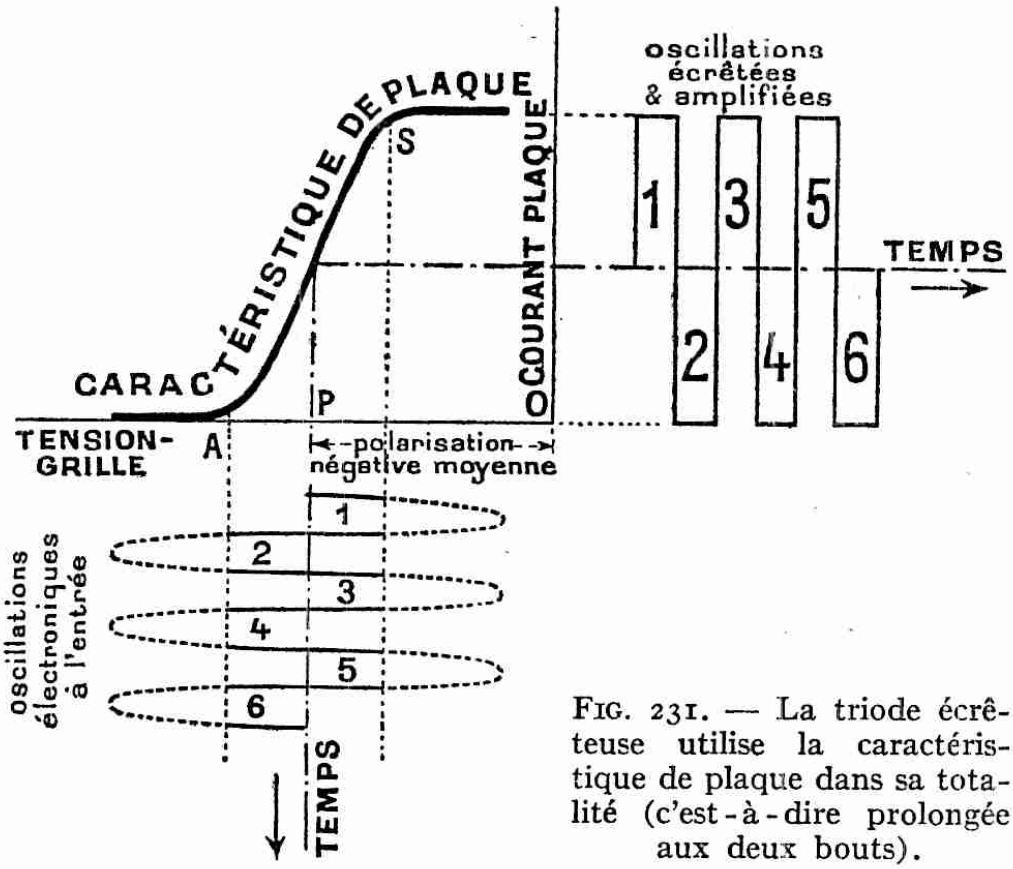


FIG. 231. — La triode écrêteuse utilise la caractéristique de plaque dans sa totalité (c'est-à-dire prolongée aux deux bouts).

cation de fréquence, qui est dû notamment à Bernard Decaux : ce procédé utilise un oscillateur à relaxation (§ **79**), tel que celui dont le principe a été imaginé, dès 1918, par les deux physiciens français Henri Abraham et Eugène Bloch (tous deux victimes des nazis), sous le nom de « multivibrateur » (1). Il se compose (*fig.* 233) de deux triodes I et II *montées symétriquement*, la grille I étant reliée (par l'intermédiaire du condensateur C) à la plaque II, et la grille II étant reliée (par l'intermédiaire du condensa-

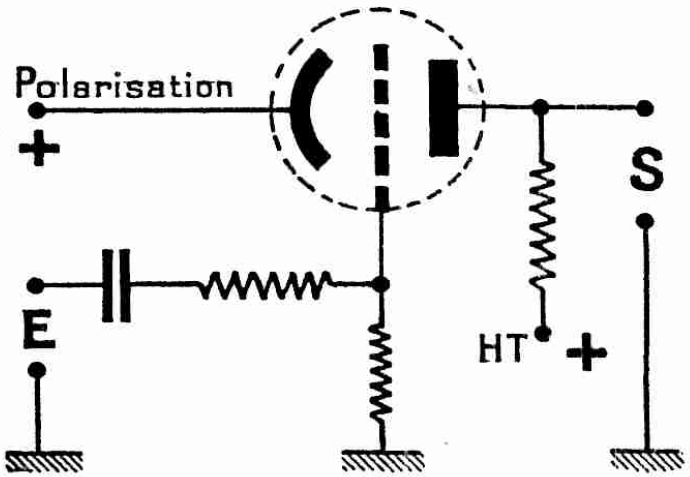


FIG. 232. — Montage de la triode écrêteuse.

1) Qui est, somme toute, un oscillateur à réaction (§ **70**).

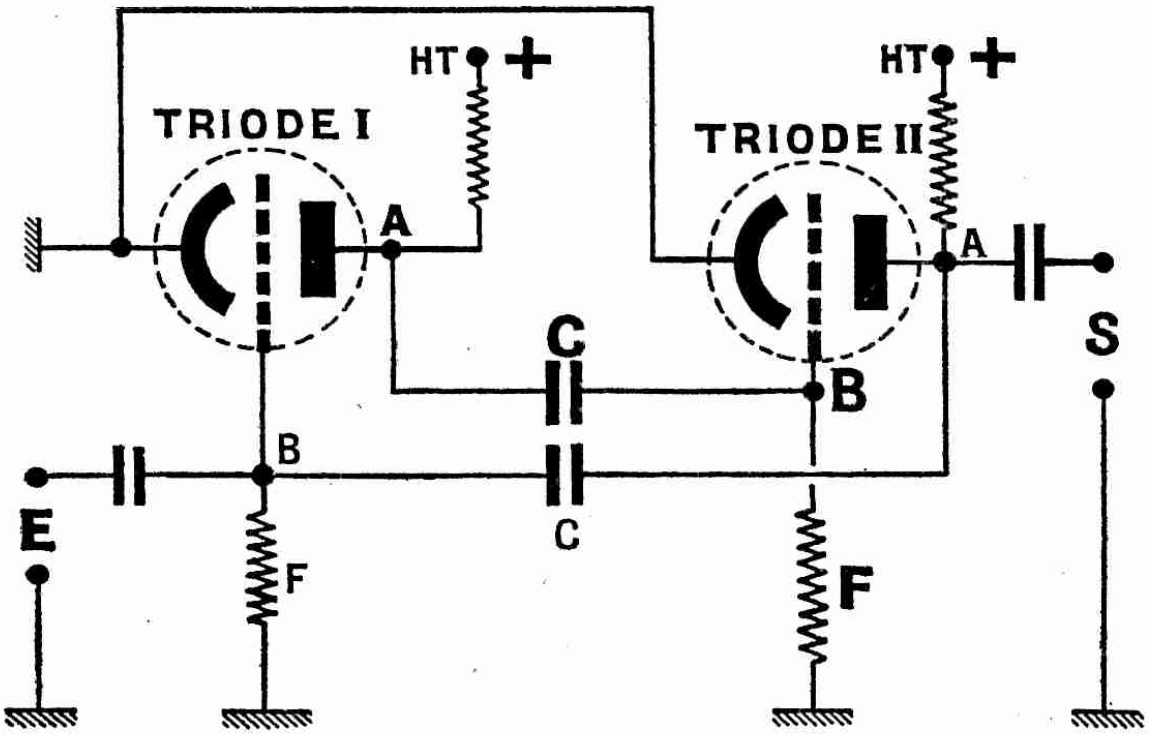


FIG. 233. — Le multivibrateur d'Abraham et Bloch.

teur **C**) à la plaque I (1). Les deux grilles sont mises à la masse en intercalant respectivement deux « résistances de fuite », F et **F** (2).

Plaçons-nous, par exemple, au moment du fonctionnement où la tension-grille I augmente. Alors le courant-plaque I augmente lui aussi, ce qui fait *diminuer* la tension du point **A** et, par suite (de l'autre côté de **C**), la tension du point **B**, donc la tension-grille II et, en même temps, le courant-plaque II. Corrélativement (et par le même raisonnement), la tension du point A croît et (de l'autre côté de C) celle du point B croît pareillement. Comme il n'y a aucune raison que tout cela ne continue pas indéfiniment, la tension-grille II (à force de baisser) finira par atteindre le point d'arrêt de la triode II (annulation du courant-plaque II).

Nous sommes ainsi parvenus à une nouvelle étape (pour ainsi dire à la mi-temps d'un processus de réaction) : le courant-plaque II étant nul, la tension du point A devient égale à la haute-

(1) Les condensateurs non marqués (à l'entrée **E** et à la sortie **S**) sont des organes de liaison (§ **64**), destinés à supprimer les composantes continues.

(2) Les résistances non marquées sont des résistances chutrices (§ **61**, **I**), branchées sur la haute-tension HT.

tension HT. Du coup, le condensateur C va se décharger à travers R : la tension du point B (c'est-à-dire la tension-grille I) diminuera. Il s'ensuit que le courant-plaque I est contraint de diminuer, faisant ainsi accroître la tension du point **A,** c'est-à-dire (de l'autre côté de **C**) celle du point **B** (donc la tension-grille II). La triode II (dont le courant-plaque II était nul, à la fin de l'alinéa précédent) va redevenir conductrice : le courant-plaque II, en augmentant, fait baisser la tension du point A et, par conséquent, celle du point B. Le montage se trouve, de la sorte, dans un état symétrique de celui du départ (les états des deux triodes étant intervertis). Et ce « jeu de bascule » se répète inlassablement.

On a donc bien affaire à un système auto-oscillant, dont on peut régler la période de telle manière qu'elle soit un *multiple entier* (parfaitement déterminé) de celle du courant rectangulaire arrivant en **E.** Tant et si bien qu'on recueillera, en **S,** un courant en dents de scie (*fig.* 199) de la période désirée. C'est effectivement une multiplication de la période (ou, ce qui revient au même, une démultiplication de la fréquence).

Le multivibrateur d'Abraham et Bloch intervient constamment dans les montages de radar; il est pareillement utilisable en télévision, pour remplacer le thyratron (*fig.* 201-202), au même titre que l'oscillatrice bloquée (*fig.* 214). Cette dernière, inversement, est souvent mise à profit en technique radar. Enfin nous trouverons (§ **97**) une complication de ce multivibrateur, laquelle peut être considérée comme le « système nerveux » des « cerveaux électroniques ».

Comme quoi les surprenantes propriétés des électrons ont fini, à la longue, par meubler tout un « magasin d'accessoires », où l'on ne se fait pas faute de puiser dans les buts les plus divers. Une fois de plus, nous constatons qu'en opposition avec la mentalité commune, les buts ne sont pas grand chose (puisqu'ils sont atteints par surcroît) : quand on connaît les principes et les lois fondamentales, le plus fort est fait.

96. *Radioguidage et radiocommande.* — Les sept premiers paragraphes de ce chapitre nous ont donné un aperçu des fondements théoriques d'une technique qui accroît au centuple les possibilités matérielles de l'homme et qui le promeuvent au rang de souverain incontesté de sa planète. Les raisons

scientifiques de cette maîtrise font désormais partie intégrante du bagage de l'homme cultivé. Mais il n'en va plus de même pour la multitude des détails de la « super-quincaillerie » qui en est immanquablement résultée.

Qu'il s'agisse d'un lecteur se contentant de ces idées générales (1) ou d'un autre désirant devenir ultérieurement technicien-radar, il n'y a, pour nous, rien à changer quant à ce que nous devons ajouter : dans le premier cas, un large tour d'horizon, un bilan d'ensemble lui suffiront; et, dans le second cas, il serait abusif et contraire à l'ordonnancement de cet exposé que de consacrer une vingtaine de pages à des procédés en pleine évolution et qui n'ont leur place normale que dans des ouvrages techniques spécialisés.

Les problèmes, d'ores et déjà résolus, portent sur l'indication de la route à suivre, tant par les navires que par les avions (avec, en plus, pour ces derniers, des systèmes d'atterrissage sans visibilité) : tout ceci est groupé sous le nom de *radioguidage*. Lorsqu'on se propose d'imposer — du sol — un trajet aux « robots » (avions sans pilote, projectiles), on parle plutôt de *radiocommande*.

Les premiers procédés de radioguidage à grande distance sont encore utilisés : ils se sont subdivisés en radiogoniomètres et en

---

(1) La compréhension préalable des principes permet, au prix de quelque attention, l'assimilation des applications concrètes, tandis que, inversement, il arrive que l'on manipule toute sa vie des appareils (tourner des boutons, lire des graduations ...), sans jamais soupçonner les lois qui les régissent, les caractères qui les rapprochent ou les distinguent. Seule, une connaissance approfondie des idées générales permet d'extirper « l'illusion qui obsède », de se débrouiller dans la quasi-unanimité des cas particuliers; seule, elle suggère, pour ainsi dire automatiquement et dans la plupart des circonstances embarrassantes, « le geste qu'il faut », la solution qui convient, alors que le simple praticien est bien obligé de refaire les mouvements stéréotypés qu'on lui a enseignés et qu'il a indéfiniment répétés. Cette opposition se constate journellement dans les rapports d'un physicien avec n'importe quel corps de métier... (A un étage supérieur, on retrouve les mêmes rapports entre un logicien et ses contemporains, savants ou non.)

La « théorie » est le meilleur des placements, un dressage peut-être ingrat, mais à longue échéance et qui échappe aux esprits à courte vue. C'est donc une habitude enfantine que de faire bon marché de « la théorie » au profit de « la pratique ». Ainsi que l'écrivait Edmond Goblot, « le meilleur théoricien est exposé à se tromper, s'il n'a pas assez pratiqué, comme aussi le meilleur praticien, s'il n'a pas assez étudié ». Il n'en subsiste pas moins que, logiquemen parlant, la théorie *précède* la pratique.

C'est ici qu'il convient de rappeler la phrase heureuse de Célestin Bouglé (prononcée précisément au jubilé scientifique d'Henri Abraham) : « Servir la technique sans s'y asservir.»

radiophares. Un radiogoniomètre (1) peut se trouver à bord ou au sol; il utilise les propriétés *directives* (§ **65**) des cadres récepteurs; en plus des erreurs qu'il est susceptible d'entraîner, il ne faut exiger de lui ni automaticité ni instantanéité. Le radiophare, lui aussi, ne représente qu'une solution assez primitive du problème de radioguidage; il permet néanmoins, par réception de signaux Morse, de « baliser » la route rectiligne d'un avion civil entre deux aéroports.

Le radioguidage actuel repose sur les propriétés d'une courbe géométrique appelée *hyperbole,* courbe à deux branches (*fig.* 234), telle que, si A représente un avion et si P et **E** sont deux stations terrestres d'émission radioélectrique, *la différence* des distances entre l'avion et les stations soit *toujours la même* (pour n'importe quel point des deux branches de la courbe). Telle est la base des « systèmes de navigation hyperboliques » (2); bien entendu, comme dans toute technique radar (§ **89**), on déduit les distances.

Le point P est *la* station pilote, et le point **E** est *une* station esclave (qui, ayant reçu le top de P, en réémet un autre avec un retard invariable). L'avion A reçoit successivement le top de P et le top de **E;** la durée qui sépare les deux arrivées lui apprend qu'il est quelque part sur l'hyperbole en trait plein de la figure 234.

Mais ce renseignement ne lui suffit manifestement pas (3). Si, à *la même* station P, est rattachée une deuxième station esclave E (*fig.* 235), une opération identique dira à notre avion A qu'il est quelque part sur l'hyperbole en pointillé de cette même figure.

Devant être en même temps sur les deux hyperboles, l'avion sera à leur point d'intersection, et sa position sera alors univoquement déterminée (4). La figure 236

(1) Appelé familièrement « gonio ».

(2) Système anglais et système américain ne diffèrent que par la fréquence des émetteurs (300 Mc pour le premier et 2 Mc pour le second).

C'est un système hyperbolique (n'utilisant d'ailleurs pas la technique radar) qui a permis aux navires, lors du débarquement de Normandie (juin 1944), d'atteindre leurs points d'accostage à moins de 50 m près. Et ceci, bien que le personnel n'ait pas été instruit à l'avance du maniement de l'appareillage, qui était resté secret jusqu'à cette époque.

(3) C'est pour cela que nous avons dit : *la* station pilote et *une* station esclave.

(4) Un opérateur moyennement entraîné met moins de deux minutes pour trouver la position sur la carte.

reprend, en traits pleins, la *famille* d'hyperboles correspondant à P et à E.

Les stations du système hyperbolique ont une portée de 3 000 km, et quarante-deux paires de stations sont suffisantes pour qu'en un point quelconque de la Terre, on puisse trouver deux paires (PE et PE) telles que les trois distances PA, EA et EA soient inférieures à 500 km, ce qui fait connaître la position à moins de 2 km près.

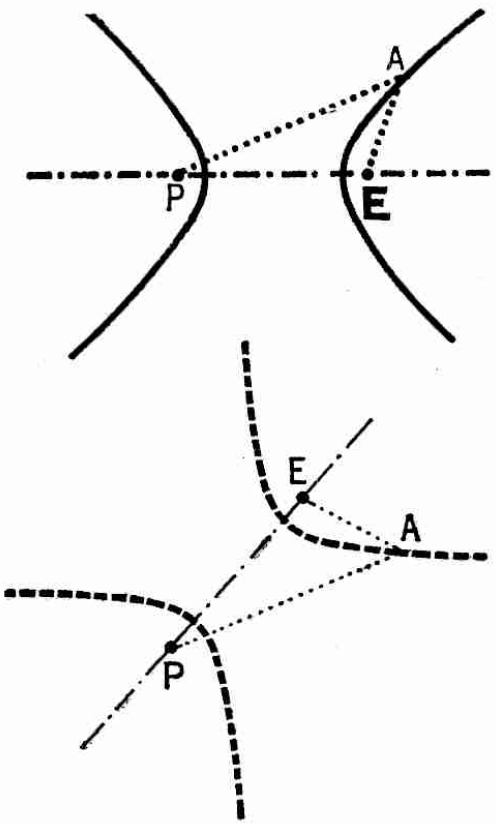


FIG. 234-235. — Principe du radioguidage à longue distance par système hyperbolique.

Signalons ici, pour le caractère merveilleux de sa réussite, un système de contrôle de la *circulation aérienne* — appelé « système téléran » (1) —, qui combine le radar et la télévision.

L'aéroport utilise un radar panoramique pour rassembler les diverses informations sur les présences d'avions à son voisinage. Pour chacune des « bandes » d'altitude (1 000-1 300 m; 1 300-1 600 m;...), on réalise, en surimpression (au-dessus d'une carte de la région), au moyen de tubes cathodiques de réception radar, une localisation instantanée des appareils survolants. Un pilote donné règle son récepteur de télévision sur l'émission correspondant à son altitude et capte l'image qui l'intéresse et où il voit simultanément (se détachant sur la carte géographique, munie éventuellement de renseignements subsidiaires) son propre avion et les voisins, avec lesquels il risquerait d'entrer en collision (surtout par temps de brume ou la nuit).

L'atterrissage, sans visibilité, d'un avion (2) est un autre problème que le radioguidage a permis de résoudre d'une façon

---

(1) Par accolement de « télé », pris à *télévision*, et de « ran », abréviation de *ranging* (télémétrie, § **89**).

(2) Et, en général, le P. S. V. (pilotage sans visibilité).

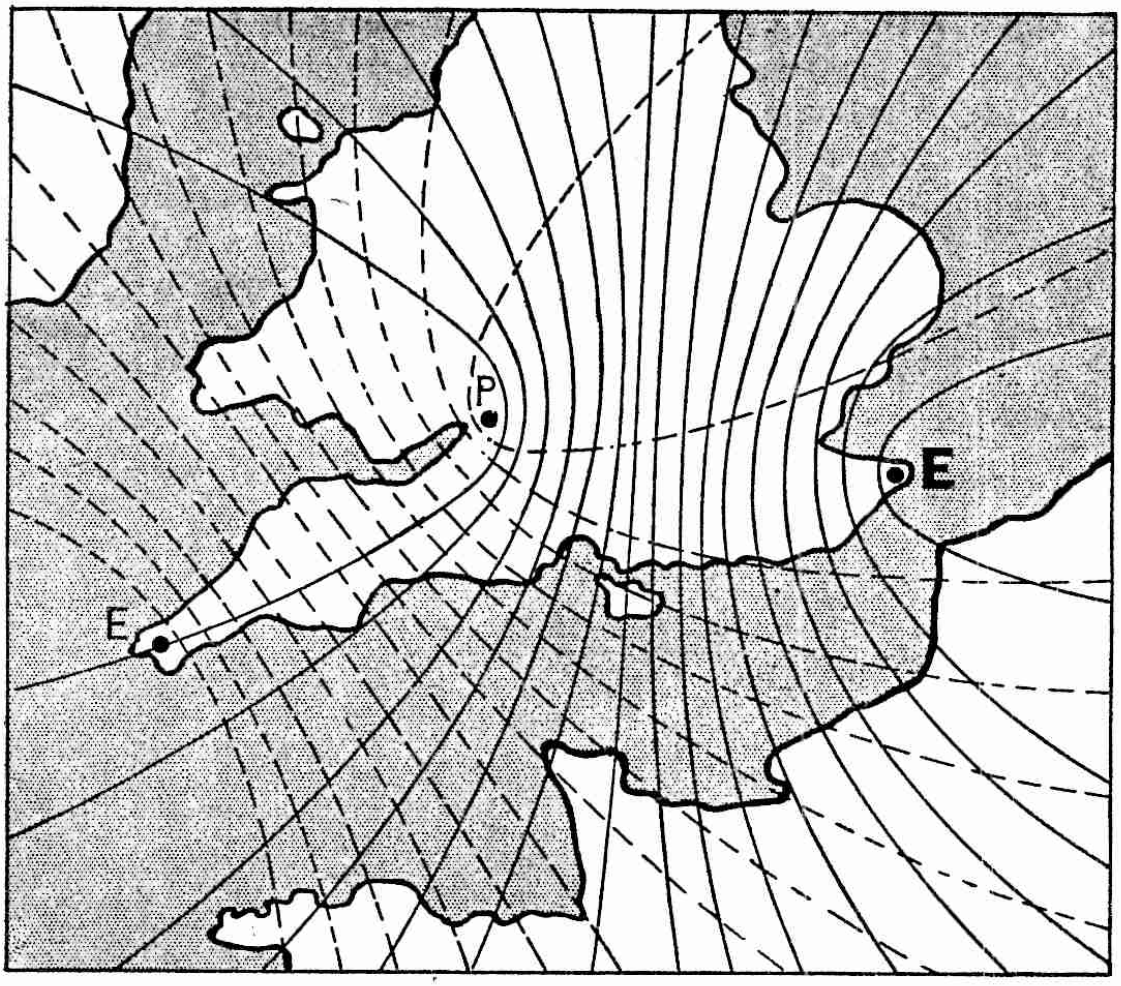


FIG. 236. — Les deux familles d'hyperboles permettant le radioguidage à grande distance.

pratiquement rigoureuse. L'émetteur radar est au voisinage de la piste d'atterrissage, et l'avion à guider est muni d'un récepteur accordé : celui-ci doit être renseigné à la fois sur l'orientation et sur l'altitude. Divers dispositifs ont été proposés : c'est l'un d'eux qui a largement contribué à l'incontestable succès du « pont aérien » de Berlin (1948-1949), succès qui a fait réfléchir le Kremlin, après avoir forcé son admiration. (Il est plausible que le radar aura ainsi collaboré efficacement à la pacification de la planète.)

La radiocommande d'un engin sans pilote exige qu'on suive, du sol, cet engin, par exemple (1) sur un écran panoramique

(1) Lors des expériences de Bikini (1946), les avions-robots étaient observés à l'œil nu à partir d'avions-mères, à bord desquels se trouvaient les systèmes de radiocommande.

de radar (§ **91**), en même temps qu'on surveille son tableau de bord par un système de télévision. On conçoit qu'il suffit, pour guider le « robot » (muni de récepteurs accordés), de quatre émissions d'ondes ultracourtes, de quatre fréquences distinctes. L'antenne du robot est liée à un poste récepteur, muni de quatre filtres, d'où quatre relais actionnant quatre servomoteurs; c'est ainsi que se trouvent respectivement assurées les quatre manœuvres : accélération-ralentissement et les rotations autour de trois axes (gouverne de profondeur, gouverne de direction, ailerons).

Chapitre XII

LA RELÈVE ÉLECTRONIQUE DES ESPRITS ET DES ÂMES

97. *Du multivibrateur au flip-flop.* — C'est à dessein que nous avons signalé plus haut (§ **95** et *fig.* 233) le multivibrateur d'Abraham et Bloch (1918), car, outre son intérêt très actuel pour la technique radar, il fut à l'origine d'un appareil notablement plus complexe, dû à Eccles et Jordan : ce nouveau type de multivibrateur joue un rôle essentiel dans certaines *machines calculatrices* (tout en offrant de larges possibilités en radar).

La figure 237, tout en étant l'une des plus « embrouillées » que nous nous soyons permises dans cet ouvrage, ne doit pas nous effrayer, car nous avons dépassé le stade d'apprentissage, *où, dans nos* premiers contacts (*fig.* 78) avec les intervalles de vide, il était indispensable de tout raconter en détail. Notre entraînement progressif va nous payer de nos peines : en comparant, avec la figure 233, les deux tiers (de droite) de la figure 237, nous percevons, au premier coup d'œil, une quasi-identité : dans l'un et l'autre cas, il s'agit de montages *symétriques,* comportant deux triodes (I et II), la grille I étant en communication avec la plaque II, et la grille II étant en communication avec la plaque I. Cette « communication » est toutefois légèrement différente : alors que, précédemment, entre la grille d'une des triodes et la plaque de l'autre (entre les points A, B et **A, B**), on

n'introduisait qu'un condensateur (C ou **C**), cette fois-ci, on dispose un « condensateur shunté » (1).

Pour prendre les phénomènes par un bout, supposons que le courant-plaque I soit maximum (2). Il est certain que cet effet sera atteint d'autant plus facilement que la tension-plaque I sera plus élevée (3). Mais la plaque I est en communication avec la grille II : sans entrer dans des détails (concernant les valeurs des diverses résistances de la figure 237), on conçoit que la tension-grille II pourra fort bien être, elle aussi, importante (4), de telle sorte que la triode II sera bloquée (que le courant-plaque II sera nul).

Notre « état initial » est donc : courant maximum dans la triode I, courant nul dans la triode II.

C'est maintenant qu'entre en scène le reste de la figure 237. On applique à l'entrée **E** une brève impulsion (5); cette impulsion est redressée par la diode (6), et, comme la cathode de celle-ci est reliée au point d'attaque **O,** qui communique avec les grilles I et II, il se passera ceci :

La tension-grille I augmente, ce qui est sans conséquence sur le courant-plaque I (puisque, étant maximum, il ne peut augmenter);

La tension-grille II augmente elle aussi, et l'on peut s'arranger (ce n'est qu'une question de calcul) pour qu'elle soit suffisante pour que la triode II conduise à

---

(1) Comme celui avec lequel nous avons fait connaissance (§ **63**, 1°), à propos de la polarisation automatique. On peut parler indifféremment de « condensateur shunté » ou de « résistance shuntée », puisque résistance et condensateur sont mutuellement *en dérivation.*

C'est précisément sur ces résistances R et **R** que l'on va *jouer*, en donnant en outre des valeurs convenables aux résistances **r** et *r* (qui relient les plaques I et II à la haute-tension), ainsi qu'aux résistances de fuite F et **F** (qui sont introduites entre la masse et les grilles I et II). Les résultats que nous allons énoncer ne peuvent se justifier que par une théorie *mathématique*, dont il n'est pas question de donner ici une idée; il nous suffit d'être assurés qu'ils sont conformes à l'expérience.

(2) Autrement dit que la triode I « conduise à saturation » (§ **31**, note).

(3) La tension-plaque I (nécessairement positive, pour que les électrons, émis par la cathode I, puissent franchir l'intervalle de vide) est, bien entendu, comptée par rapport à la cathode I. (Remarquer que les cathodes I et II sont métalliquement réunies, et que leur tension commune est imposée par la position du curseur du potentiomètre P.)

(4) Importante *en valeur absolue* (négative par rapport à la cathode II).

(5) Du genre d'une de celles de la figure 220.

(6) Comme il est dit à propos de la figure 81. (On reconnaît, en haut et à gauche — ainsi que tout à droite — des condensateurs de liaison, § **64**.)

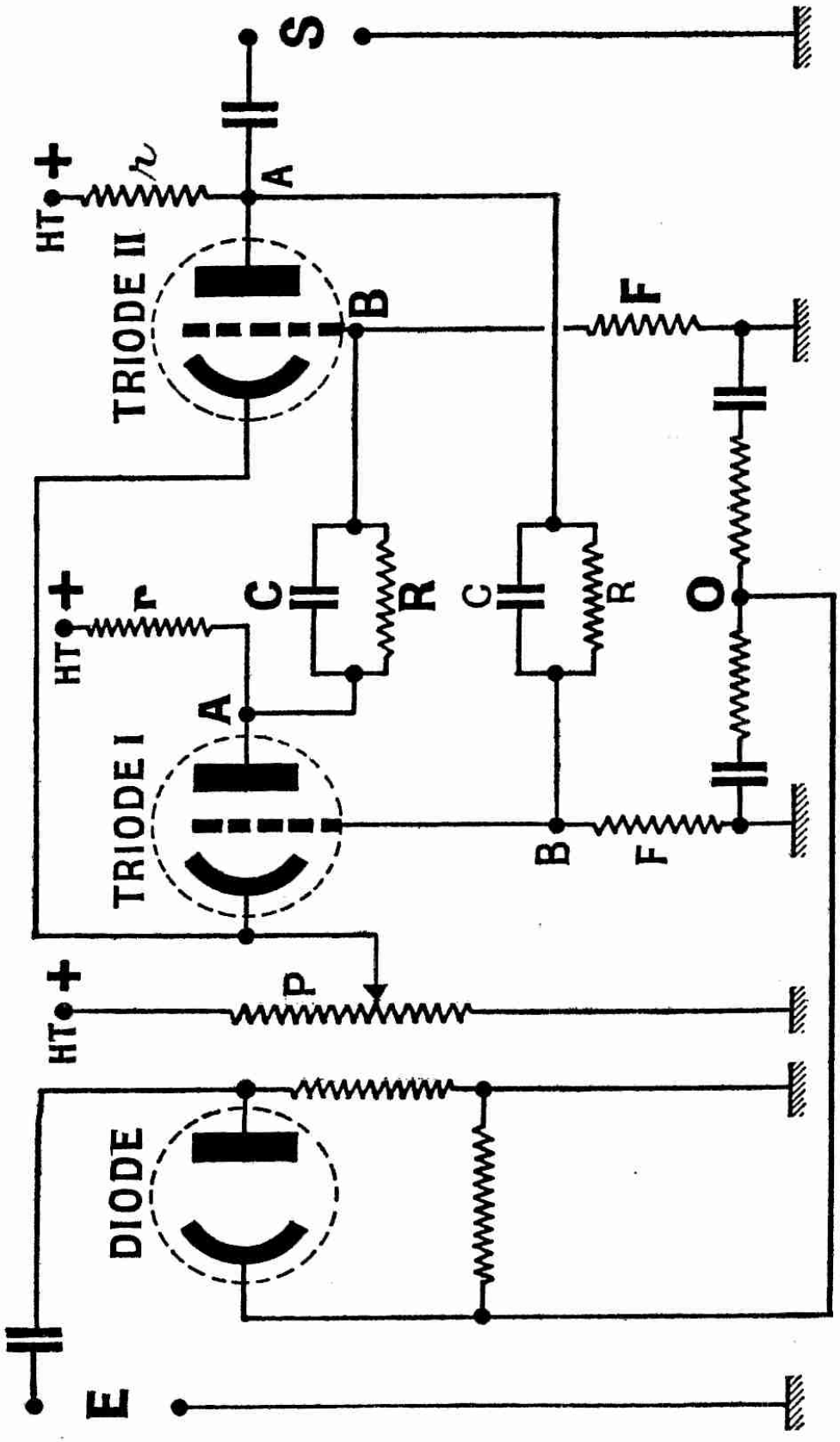


FIG. 237. — Le montage flip-flop, capable de produire en **S** le « tout ou rien ».

saturation. Du coup, on est ramené aux conditions initiales, mais *inversées*.

Notre « état final » est donc : courant nul dans la triode I, courant maximum dans la triode II.

Il se produit, en quelque sorte, un jeu de bascule (bascule d'un état dans un autre), tant et si bien qu'à la sortie **S,** où c'est le courant-plaque II qui agit, on aura tantôt un courant maximum (relais excité), et tantôt un courant nul (relais non excité). C'est ainsi que le multivibrateur d'Eccles et Jordan réalise simplement le « principe du tout ou rien » et que les Anglais le désignent par l'onomatopée « flip-flop » (assez analogue à notre « pif-paf », mais signifiant littéralement *bouge-tombe*).

98. *Flip-flop et numération binaire.* — Comme le suggère le titre de ce chapitre, c'est des machines calculatrices (1) que nous nous occuperons tout d'abord. La pensée abstraite est ce qui distingue l'homme de la bête, et nous allons voir que ces machines, dont le but initial était une relève du travail de l'esprit humain, n'ont pas tardé à surclasser ce dernier en rigueur et surtout en vitesse.

La plus ancienne machine à calculer est la *main* : le calcul digital fut longtemps en honneur, et l'on employa concurremment le *boulier* ou « abaque » (2). Blaise Pascal, âgé de dix-huit ans, imagina une machine, extrêmement remarquable dans sa concep-

(1) En opposition avec une mauvaise habitude déjà répandue, nous n'emploierons pas la locution « machines mathématiques ». Certes, dans l'esprit des savants, ces deux mots signifient plutôt *machines à l'usage des mathématiciens*. Mais le grand public n'a que trop tendance à confondre les mathématiques (science des relations fonctionnelles) avec le calcul numérique. Ce sont là choses disparates, faisant appel à des aptitudes distinctes. Maurice d'Ocagne proposait (1931) une analogie qui fixe les idées : « Voir, dans une aisance pour les calculs, le signe de dispositions particulières pour les mathématiques, c'est à peu près comme si, d'une exceptionnelle agilité des doigts sur le piano, on en concluait un don pour la composition musicale. » Alors que de grands mathématiciens (Euler, Gauss ou Cauchy, par exemple) calculaient fort bien, tel autre (comme Henri Poincaré) concédait volontiers que, sur ce point, il était inférieur à la première venue des marchandes des quatre-saisons.

(2) Le boulier-compteur (dont il est question dans *le Mystère des nombres et des formes*, p. 7, 5e édition, Larousse) n'est toutefois pas totalement tombé en désuétude. Le mathématicien Joseph Pérès (né en 1890) note qu'il reste en honneur chez des peuples arriérés. (« Des comptables de Moscou le manient encore avec une grande dextérité. »)

On trouvera des renseignements intéressants, fournis par Louis Couffignal, le physicien Léon Brillouin (né en 1889) et Joseph Pérès, dans deux fascicules de la revue *Atomes* (décembre 1947 et février 1948).

tion (1642), quoique d'une réalisation technique nécessairement bien imparfaite. Presque deux siècles plus tard (1834), l'Anglais Charles Babbage montra qu'il est matériellement possible de réaliser une machine remplaçant entièrement le calculateur et effectuant, selon un programme préétabli, des opérations en chaîne.

Ces points de repère historiques étant rappelés, nous n'avons aucunement l'intention d'insister (1) sur la partie mécanique (cartons et bandes perforées) des actuelles machines calculatrices. Mais il entre, au contraire, dans notre plan de faire ressortir que, dans ce problème fondamental — même et surtout au point de vue pratique —, l'évolution fut analogue à celle de la télévision (§ **73**) : on enregistre une *capitulation* similaire, celle du calculateur mécanique devant le calculateur électronique, qui réalise bien plus facilement les couplages entre parties constitutives et qui, seul, a permis les rapidités vertigineuses dont nous donnerons un aperçu tout à l'heure.

Théoriquement parlant, les cerveaux électroniques se trouvent au point de rencontre de deux ordres de considérations, dont on aurait pu croire que les « destins » resteraient « éternellement » étrangers :

1° Le flip-flop, dont le principe originel fut trouvé (nous le savons) par deux Français;

2° Le principe de la numération de position (Phéniciens), l'invention du zéro (Hindous), l'arithmétique opératoire (Arabes) et les systèmes de numération, dont la définition complète est due à Blaise Pascal (2).

La numération commune, le système décimal — qui triompha *presque* partout du système sexagésimal et qu'il serait inepte de vouloir remplacer (3) — est dû à un pur *accident physiologique :*

---

(1) Cet aspect de la question vient d'être mis succinctement au point par René Taton, *le Calcul mécanique*, collection « Que sais-je ? », Presses universitaires, 1949.

(2) Cette gratitude à la France se manifeste dans l'accueil que réservent les Américains à nos savants (comme Brillouin et Couffignal) et dans l'intérêt passionné qu'ils portent à des conceptions auxquelles ils n'avaient pas eux-mêmes songé; bien plus, ils sont disposés à reconnaître qu'au départ ils aient pu ne pas s'engager sur la meilleure des pistes.

(3) Les avantages qu'apporterait le changement sont si minces et l'habitude de compter par dix est si invétérée que toute discussion sur ce point est ridicule (Tobias Dantzig, 1931).

la présence de dix doigts articulés dans nos deux mains (1). Au lieu du système de base *dix*, Buffon et Lagrange se sont amusés à étudier respectivement les systèmes de base *douze* et de base *onze*. Quant à Leibniz, il s'enticha (2) pour le système de base *deux* ou système binaire, qui n'a besoin, en tout et pour tout, que de deux chiffres : 0 et 1 (3).

C'est ici qu'apparaît le rapprochement avec le flip-flop. Alors qu'il serait d'une complication effarante de réaliser un circuit électrique donnant dix réponses différentes (une pour chaque chiffre usuel), nous venons de constater qu'à la sortie **S** du multivibrateur d'Eccles et Jordan, il y a deux possibilités, et deux seulement ; ou le courant-plaque II est nul (ce qui signifiera *zéro*), ou le courant-plaque II est maximum (ce qui voudra dire *un*). Une expérience de plusieurs années nous a inébranlablement convaincus du fait que cerveaux électroniques et cerveaux humains, mis en compétition, *parviennent aux mêmes résultats*, mais ils n'utilisent pas les mêmes voies : pour les uns et pour les autres, le mot « simplicité » n'a pas le même sens! Nous allons voir, dans un instant, que la valeur usuelle de l'intensité de la pesanteur (981, en décimal) s'écrit (4) :

« 1111010101 » (en binaire),

ce qui amène, pour les cerveaux humains, une intolérable complication de l'écriture, une durée doublée, ou triplée. Mais les cerveaux électroniques prennent pour rythme la microseconde

---

(1) Les esprits simplets, qui croient à la perfection du système décimal (en réalité, beaucoup moins « parfait » que beaucoup d'autres) et qui ont voulu y reconnaître le doigt de Dieu, sont forcés d'admettre qu'Il serait un piètre mathématicien (Tobias Dantzig).

(2) En invoquant des raisons extra-scientifiques ou, plus précisément, anti-scientifiques, que Laplace a sévèrement jugées : « Dans son arithmétique binaire, Leibniz *voulait* voir l'image de la Création. Il imaginait que l'unité représentait Dieu, et zéro le néant; que l'Etre Suprême avait tiré tous les êtres du néant, *de même que* l'unité et le zéro expriment tous les nombres dans son système de numération. Cette idée enchantait tellement Leibniz qu'il la communiqua au jésuite Grimaldi, président du Comité chinois pour les mathématiques, dans l'espoir que cet emblème de la Création convertirait l'empereur de Chine, très féru de mathématiques. Je mentionne ce fait simplement pour montrer comment des préjugés enfantins peuvent obscurcir la vision des hommes même les plus éminents. » Malgré tout, la mentalité prélogique est en régression : on ne voit pas un physicien contemporain (comme l'Américain Robert-Andrews Millikan, pour fidéiste et occultiste qu'il soit) tirer de l'existence du flip-flop une preuve de celle de Dieu.

(3) Alors que le système décimal en exige dix.

(4) Pour éviter une confusion fort excusable chez les profanes, tous les nombres écrits en numération binaire seront mis entre guillemets.

THÈME →

← VERSION

SYSTÈME DÉCIMAL	SYSTÈME BINAIRE
0	« 0 »
1	« 1 »
2	« 10 »
4	« 100 »
8	« 1000 »
16	« 10000 »
32	« 100000 »
64	« 1000000 »
128	« 10000000 »
256	« 100000000 »
512	« 1000000000 »
1024	« 10000000000 »
...	...
512	« 1000000000 »
256	« 100000000 »
128	« 10000000 »
64	« 1000000 »
16	« 10000 »
4	« 100 »
1	« 1 »
981	« 1111010101 »
0,5	« 0,1 »
0,25	« 0,01 »
0,125	« 0,001 »
0,0625	« 0,0001 »
0,03125	« 0,00001 »
0,015625	« 0,000001 »
0,0078125	« 0,0000001 »
...	...
2	« 10 »
1	« 1 »
0,125	« 0,001 »
0,015625	« 0,000001 »
3,140625	« 11,001001 »
3,1415927 ...	« 11,001001000011111101101010... »

FIG. 238. — Tableau universel (avec deux exemples) de la correspondance entre le système décimal et le système binaire.

(La dernière ligne donne le nombre π, rapport de la longueur d'une circonférence à celle de son diamètre.)

ou la nanoseconde (1), alors que les gestes humains sont à l'échelle de la seconde, et le gain de temps demeure fantastique...

Le tableau de la figure 238 donne le principe général, pour tous les nombres (entiers ou fractionnaires), de la correspondance entre le système décimal et le système binaire (2), le passage du premier au second pouvant s'appeler tout naturellement un THÈME, et le passage inverse, une VERSION. L'idée directrice se comprend facilement, en se rappelant que, dans le système décimal, les chiffres d'un nombre représentent, *dans l'ordre,* des

.... milliers centaines dizaines unités.

De manière analogue, dans le système binaire, ce seront des

.... huitaines quatraines deuzaines unités.

On comprend sans plus que le nombre 981 (système décimal) sera « prononcé » par le flip-flop (3) :

flip flip flip flip flop flip flop flip flop flip

et cette énonciation durera dix nanosecondes (dix milliardièmes de seconde), si la fréquence d'impulsion est un gigacycle.

Ajoutons qu'il est vraiment regrettable, pour nous humains, que la numération binaire exige tant de papier et de temps : les cerveaux électroniques ont plus de chance que nous, puisque leur « table d'addition » tient en une ligne :

« 1 » + « 1 » = « 10 »,

et leur « table de multiplication » en une autre :

« 1 » × « 1 » = « 1 ».

C'est Louis Couffignal (1936) qui, le premier, a montré les avantages de faire travailler les machines mathématiques en

---

(1) Ce qui ne peut étonner, quand on a présent à l'esprit l'ordre de grandeur des données du paragraphe **75**, par exemple.

(2) Rappelons que le nombre π est actuellement connu avec 808 *décimales* (trouvées à la fois, en 1946, par l'Anglais D. F. Ferguson et l'Américain J. W. Wrench Jr, utilisant deux méthodes distinctes en vue d'un contrôle mutuel). Au point de vue de la structure de l'Univers, il serait important de savoir si ces décimales se succèdent ou non au hasard; la solution la plus simple consisterait à convertir cette suite de 809 chiffres (de base *dix*) en numération binaire (environ 2 500 chiffres); ce ne serait sans doute qu'à la portée des seules machines calculatrices.

(3) En désignant courant maximum par « flip » et courant nul par « flop ».
Le nombre prononcé se termine par flip (comme tout nombre impair), alors que tous les nombres pairs finissent par flop.

numération binaire, laquelle est incontestablement le système d'avenir (1).

99. ***La structure d'une usine à calcul.*** — Véritable successeur de Charles Babbage, c'est en 1930 (donc bien avant la dernière guerre) que Couffignal s'est posé le problème de la machine universelle avec enchaînement des calculs. C'est ainsi à un de nos compatriotes que remonte l'effort prodigieux accompli par les Américains entre 1941 et 1944 et qui, par la multiplicité et la rapidité de ses résultats *concrets*, a efficacement contribué à notre victoire à tous. La locution « cerveau électronique » (au singulier) pêche d'ailleurs par excès de modestie : une usine à calcul remplace des centaines de cerveaux, en produisant en quelques instants le travail qu'une centaine de calculateurs entraînés devraient effectuer, pendant des centaines d'années, sur des opérations si vastes qu'on avait jusqu'ici renoncé à les aborder (comptabilité, statistiques, documentation, balistique,...)

Couffignal a bien vu que l'agencement d'une telle « usine » n'est pas tant un problème scientifique et technique (au sens habituel de ces mots) qu'un problème d'organisation rationnelle du travail : analyse des opérations, enchevêtrement des calculs,... Cette analyse aboutit à une sorte de devis, que nous schématisons par notre figure 239 : on reconnaît, aux deux bouts, les deux traducteurs auxquels il vient d'être fait allusion (§ **98**); le TRADUCTEUR-THÈME est dû à ce que l'homme doit «parler » à la machine un langage qu'elle puisse « comprendre » et utiliser; le TRADUCTEUR-VERSION a pour but de revenir au langage naturel, c'est-à-dire de communiquer à l'homme des résultats « en clair » (2) des nombres en numération décimale, que la lenteur

---

(1) *Deux* affirme ainsi sa supériorité humaine, en opposition avec le bobard virgilien, suivant lequel « le nombre impair plaît à Dieu ». Au surplus, comme dit Léon Brillouin, il n'y aurait aucun sens à utiliser le système binaire dans une machine à additionner ou dans une caisse enregistreuse de magasin, parce que, là, le calcul est trop vite fait pour qu'on ait intérêt à l'alourdir par une double traduction (à l'entrée et à la sortie). Au contraire, dans les machines où le calcul suppose un très grand nombre d'opérations intermédiaires (entre les données initiales et les résultats définitifs), cette double traduction procure une énorme simplification à toutes les étapes intercurrentes.

(2) Finalement, cet organe de sortie est complété, soit par des batteries de machines à écrire (manœuvrées automatiquement et tapant les nombres obtenus), soit par des perforeus s, qui éjectent des cartes ou des bandes (dont les trous, diversement disposés, fournissent les renseignements demandés).

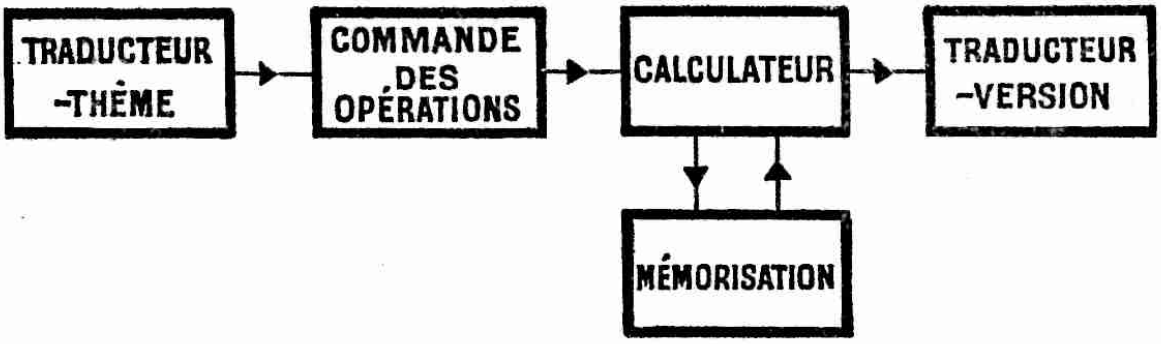


FIG. 239. — La structure d'une machine calculatrice moderne.

de son esprit le condamne à employer exclusivement dans la pratique.

Au centre se trouve le CALCULATEUR (où trônent des multivibrateurs ou des circuits électriques similaires). Celui-ci est sous la dépendance de la COMMANDE DES OPÉRATIONS, véritable « organe de programme », où l'on inscrit (1) le problème à résoudre. Enfin le dernier organe — « organe de mémoire » ou MÉMORISATION — est entièrement nouveau par rapport aux machines à calculer que nous connaissions antérieurement (2) : calculateur et mémorisation sont en relations constantes et réciproques (comme l'indiquent les deux flèches, en sens inverse, de la figure 239).

Il est, en effet, inéluctable que la machine soit prévue pour calculer un résultat, l'enregistrer, le mettre en réserve et le faire intervenir au moment psychologique. C'est, au surplus, une opération banale dans le « calcul à la main » : inscrire un nombre ou une formule, les mettre de côté, continuer le travail, puis reprendre la solution partielle. Dans les cerveaux électroniques, les « souvenirs » sont gardés par des circuits électriques fermés sur eux-mêmes, où un signal reste entretenu à tourner en rond (qu'on songe à l'écolier qui, aux prises avec une multiplication, répète, pour bien s'en pénétrer : « Et je retiens sept... Et je retiens sept... »). L'organe de mémoire met naturellement à profit les cartes perforées, mais, dans certains modèles, on recourt au magnétophone (§ **43,** 4°), au film photographique, voire au

(1) La machine « ingurgite » les opérations à faire, préalablement matérialisées sous forme de bandes ou cartes perforées. En reprenant les termes de Léon Brillouin (1948), la machine lit la bande de papier perforé, exécute la commande correspondante, passe à l'ordre suivant, exécute cet ordre et continue ainsi pas à pas toutes les opérations nécessaires pour le calcul numérique demandé.

(2) La MÉMORISATION peut, d'ores et déjà, emmagasiner une centaine de milliers de chiffres.

quartz piézoélectrique (§ **39**) et, plus récemment, au maintien (par émission secondaire) de spots sur un écran luminescent (§ **77, III,** fin). Cette simple énumération souligne la *solidarité* des techniques contemporaines, ainsi que la multitude des phénomènes fondamentaux qu'il faut avoir compris pour s'y mouvoir avec aisance.

100. ***Les performances des grandes machines calculatrices.*** — Si la France a eu la gloire de proposer des « devis », il fallait d'autres ressources (en moyens financiers et en matériel humain) pour leur faire voir le jour : cette tâche a été réservée à l'Amérique et fut une des rares conséquences heureuses de la dernière guerre mondiale (1) : le gaspillage effréné d'argent, qu'une mentalité enfantine autorise à l'occasion des conflits, *et des conflits seuls*, aura, par ricochet, fait faire un bond décisif à la pensée humaine.

Il faut reconnaître que le terrain y était admirablement préparé. En particulier, au début de 1939, les savants du monde entier applaudissaient à la création du Centre de calcul mécanique, à l'Institut de technologie de Cambridge (Massachusetts), dont le but était d'aider et d'encourager le progrès par des moyens rapides (2) d'exécution d'opérations mathématiques compliquées, par la construction de machines nouvelles (3), par le développement des théories où elles trouvent emploi. A la séance d'inauguration de ce Centre, le grand physicien (4) Arthur Compton (né en 1892) prononça des paroles qui — pour n'être pas au goût de tout le monde — n'en étaient pas moins prophétiques : « Les machines ont débarrassé l'humanité de la plus grosse part du fardeau du travail manuel, et lui ont fourni le moyen d'accomplir des exploits qui eussent été impossibles sans aide mécanique. Mais certains préjugés s'opposent, en général, à admettre que les machines puissent offrir, dans le domaine intellectuel, un secours analogue et accroître, de ce fait, les

(1) Alors que la première accéléra surtout la mise au point de l'aviation.

(2) A cette époque, une machine effectuait en trois ou quatre heures le travail numérique d'un homme pendant mille heures.

(3) L'équipement devait comprendre : des analyseurs différentiels, un intégraphe cinématographique, un analyseur de réseaux, un groupe de machines statistiques, ...

(4) Lauréat Nobel à trente-cinq ans. Les lauréats Nobel, même américains, n'ont pas tous la même mentalité prélogique que Millikan (§ **98**, note).

virtualités de l'homme. Pour s'en tenir à l'avancement des sciences et des techniques (1), le progrès humain s'est trouvé limité, en de nombreuses directions, par l'incapacité d'analyser mathématiquement le résultat du raisonnement ou le fonctionnement des appareils. Mainte hypothèse scientifique, maint développement technique ont été abandonnés, en raison des années de calcul numérique qu'ils entraînent. »

C'est qu'à cette époque-là, les grandes machines calculatrices étaient encore dans les limbes... Elles en sont sorties grâce à un travail d'équipes, dont l'animateur fut Vannemar Bush, chef du Bureau des recherches scientifiques des Etats-Unis. La première machine qu'il avait alors réalisée, il la qualifie maintenant avec humour d'« antiquaille imprécise et lente » (2). Deux ans plus tard (1941), date cruciale, le même savant avait réussi à remplacer effectivement le couplage mécanique par un couplage électrique avec amplification (3).

En quelques années, les usines à calcul (4) ont proliféré en divers points du continent américain et se rattachent à plusieurs types. Nous en donnerons une idée en parlant de la fameuse machine ENIAC (« electronic numerical integrator and computer » = intégrateur numérique et calculateur électroniques), construite à Philadelphie : elle comporte une batterie de *dix-huit mille* tubes électroniques (5), qui consomment 200 kW (*fig.* 69) quand elle est en marche; le « travail intellectuel » échauffe tellement ce « cerveau » qu'il a fallu prévoir des groupes de ventilation et de refroidissement...

---

(1) Ces termes étant pris intentionnellement dans leur acceptation vulgaire sciences et techniques du seul monde *matériel*).

(2) Elles parviennent toutefois à résoudre une équation intégro-différentielle comportant douze différentielles ou intégrales!

(3) Les solutions étaient fournies par graphiques et tableaux de nombres avec « seulement » trois chiffres exacts. Cette « faible » précision correspond cependant à la connaissance de la distance Paris-Marseille au km près, ou de la taille d'un enfant au mm près...

(4) A côté de ces machines monumentales, qui coûtent entre un demi-million et un million de dollars, les Américains fabriquent toute une collection de petits trucs (en anglais : « gadget »), destinés à résoudre un seul et unique problème. Par exemple, lorsqu'un canon est muni de son gadget, on vise le but à atteindre, puis, au bout de 60 secondes montre en main, on tire sans s'occuper de rien : le « truc » a fait le calcul et pris toutes les dispositions utiles...

Les machines monumentales ont également travaillé pour la balistique guerrière : dans cet ordre de choses, elles déterminent la trajectoire d'un projectile en moins de temps qu'il n'en met pour la parcourir...

(5) A titre de comparaison, le cerveau humain comporte environ dix milliards de neurones.

L'ENIAC permet à un savant de calculer quatre cent mille fois plus vite que s'il faisait ses opérations à la main. Pour rester dans le domaine de l'école primaire :

> en cinq minutes, l'appareil effectue dix millions d'additions et de soustractions de dix chiffres;
> une multiplication de neuf chiffres est terminée en un quatre-centième de seconde;
> une division de neuf chiffres ou une extraction de racine carrée de neuf chiffres ne demandent qu'un quarantième de seconde.

Sans fatigue et sans erreur, cet appareil effectue les calculs les plus ardus et les plus précis (1) : avant-projet de centrales électriques ou de profils aérodynamiques (2), propagation des explosions, prévision des marées, localisation des planètes. Relié aux machines statistiques, il remplace avantageusement des milliers d'hommes d'Etat! Il est l'auxiliaire indispensable de la mise au point de l'énergie subatomique. En un mot, il résoud la plupart des types de calculs (3) qui correspondent aux besoins les plus courants de la technique et de la recherche scientifiques. Aussi Léon Brillouin pense-t-il à juste titre qu'une des dépenses les plus urgentes (mais qui le comprendra?) serait de nous procurer, aux Etats-Unis, une machine calculatrice de ce genre : elle serait mise à la disposition de la recherche scientifique et nous aiderait à rattraper notre retard industriel.

Reportons-nous trente ans en arrière. Jacques Inaudi naquit en 1867 et débuta comme pâtre piémontais : il faut croire que, pour les bergers, le calcul fut primitivement un passe-temps, qui les distrayait pendant leur interminable séjour dans la campagne. Eh bien! Inaudi, qui ne fut jamais qu'un quasi-illettré, n'avait besoin que de dix secondes (sans papier) pour énoncer

---

(1) Il est advenu que des problèmes numériques, insolubles pour les calculateurs, se soient révélés assez faciles à résoudre par la machine, qui fournissait par là-même certaines données au mathématicien, en lui suggérant la forme de la solution (qu'il lui restait à établir rigoureusement par d'autres méthodes).

(2) Les problèmes d'aviation peuvent être résolus *théoriquement*, sans qu'il y ait lieu de recourir constamment à des essais dans le tunnel aérodynamique.

(3) Les questions compliquées nécessitent parfois, pour être posées, le travail de plusieurs ingénieurs pendant deux ou trois jours. La solution, par la machine, prend beaucoup moins de temps (généralement quelques minutes).

Il existe même un « cerveau », qui opère à New York et qu'on peut interroger de San Francisco, par exemple; et c'est à des milliers de kilomètres que s'enregistre automatiquement la réponse trouvée par ce cerveau.

les dix chiffres du produit de 61 203 par 27 386, alors que le premier calculateur venu (ou le premier comptable venu) y consacrerait six ou sept fois plus de temps (crayon en main et preuve par neuf comprise). Rappelons qu'au cours de la Première Guerre mondiale, le ministre français de la Défense nationale fit appel aux talents de ce brave Inaudi pour quelques petits calculs du genre du précédent.

Pour l'instant et abstraction faite de la naissance de machines éducables (§ **101**), il ne s'agit que d'automatiser et de faire effectuer à une vitesse fantastique un certain nombre de mouvements élémentaires. De par ces propriétés, la machine peut être affectée par l'homme à certaines tâches, qu'il ne parviendrait pas à remplir avec un aussi bon rendement : trier des renseignements, prévoir, gérer des services, jouer (notamment aux échecs, en déjouant tous les plans du « bipède » qui prétendrait se mesurer avec elle). C'est ainsi que, dans un cadre forcément limité et rigide (en raison de sa construction et des problèmes qui lui sont posés), elle constitue un *superoutil,* multipliant dans un rapport prodigieux la pensée qui la dirige.

On évalue l'immensité du chemin parcouru en trois décades, depuis que l'humanité dispose de « superinaudis » en métal et en vide, que notre science de la radioélectricité a permis de concevoir et d'édifier de toutes pièces, et qui réunit le maximum d'efficacité, de rapidité et d'automaticité. Nous n'en avons pas moins entendu, à la nouvelle de ces prodiges, des gens férus d'humanités classiques, remarquer, en branlant du chef : « Il n'y a rien de nouveau sous le Soleil (1) : Minerve était sortie tout armée du cerveau de Jupiter. » Souhaitons pour eux qu'ils ne voyaient là qu'une boutade... Ceci pour souligner le fait — désormais acquis et rappelé ci-dessus par Compton (2) — que notre génération dispose de moyens matériels et de méthodes intellectuelles sans commune mesure avec ceux et celles des âges *révolus.*

101. ***Le système nerveux et la cybernétique.*** — Ce tournant de nos techniques — pour tout récent qu'il soit — est considéré par les savants compétents comme « d'un intérêt scien-

(1) C'était même dit en latin.
(2) Ainsi que par Reichenbach (§ **2**).

tifique extraordinaire »; l'expression est de Léon Brillouin, à qui nous empruntons les phrases suivantes (1947) :

> Les techniciens et mathématiciens qui ont conçu et bâti l'ENIAC (1) se sont un beau jour rencontrés avec leurs compatriotes spécialisés dans la physiologie du système nerveux. Les premiers ont été fort surpris d'apprendre qu'on avait trouvé, dans le système nerveux, un groupement d'organes ressemblant étrangement à ceux d'une machine calculatrice électronique et que, comme l'ENIAC, le système nerveux fonctionne par impulsions successives. Chez l'homme et dans un grand nombre de cas, la mémoire est réalisée par propagations lentes sur des circuits fermés (2), où le signal est « remis en forme », chaque fois qu'il passe par une cellule, pour rester disponible jusqu'au moment où on a besoin de l'utiliser. En une série de conférences passionnantes, biologistes et électroniciens discutèrent ces problèmes et aboutirent à une bien meilleure compréhension de la physiologie (3). C'est là un rapprochement d'importance hors pair, que nous laisse entrevoir le montage des machines équivalentes au système nerveux des êtres vivants.

Ce jour-là, les machines, qui prolongent singulièrement la pensée humaine, nous auront permis de percer son « secret » : l'automate (à « cerveau » électrique), que le génie inventif de l'homme a créé (non à son image), lui aura rendu la politesse, en lui révélant comment son propre outillage nerveux se débrouille (machinalement, sans savoir comment).

Il faut bien comprendre en quoi le fonctionnement de ces

---

(1) Et qui ont combiné des machines de numération binaire avec des circuits à ondes ultrasonores, à propagation lente, en circuit fermé, pour réaliser la mémorisation.

(2) Parmi les savants qui ont le plus contribué à établir la nature électrique de l'influx nerveux, il faut citer Louis Lapicque (né en 1866), dont les premiers travaux remontent à 1909 (il a lui-même résumé la question dans son ouvrage de vulgarisation, *la Machine nerveuse*, Flammarion, 1943). Rappelons, dans le même ordre d'idées, que le Canadien Ralph Stayner Lillie (né en 1875) a réalisé un « modèle de nerf », un *nerf artificiel* (Chicago, 1918).

(3) C'est ainsi que les biologistes posaient aux physiciens des questions du genre de la suivante : « Voici un circuit que j'ai identifié dans le système nerveux. Essayez donc de m'expliquer ce qu'il fait et comment il fonctionne. »

machines diffère de ceux que nous connaissons déjà, ce que nous allons concrétiser par quelques exemples typiques :

I. Sur le rouleau perforé d'un *piano mécanique,* deux trous situés à la même distance d'un des bords actionneront toujours la même touche (cette « réponse » est l'analogue de ce que sont, chez l'homme, les réflexes directs ou provoqués, comme le réflexe rotulien ou le réflexe pupillaire) ;

II. Dans le *téléphone automatique,* les phénomènes sont déjà plus complexes : en faisant subir au cadran d'appel une rotation d'environ 130° (pour former le chiffre **3** ou les lettres **D, E, F**), l'effet n'est pas du tout le même (1), suivant qu'il s'agit de la première des sept manœuvres ou d'une autre (les réactions correspondantes peuvent même se produire à une dizaine de km l'une de l'autre) ;

III. Admettons enfin qu'une auto soit douée d'un véritable *cerveau artificiel* (mécanique ou électronique). Pendant quelque temps, le conducteur claxonnera à chaque tournant et à chaque coup de frein. Par un mécanisme — compliqué sans doute, mais facilement imaginable —, la voiture apprendra petit à petit à claxonner d'elle-même dans ces cas-là, et dans ces cas seulement (2).

Ce phénomène, dit de *conditionnement,* entraîne des conséquences primordiales : chaque stimulation, même si elle ne « passe » pas, modifie « le terrain » et facilite les passages ultérieurs, pour peu qu'on ait produit simultanément, par un autre moyen, une réaction quelconque : la stimulation finit par provoquer elle-même la réaction qui lui a été associée, soit par hasard,

---

(1) On se rapproche du fait physiologique que le réflexe direct dépend, en principe, de l'état actuel de l'organisme.

(2) Il y a un parallélisme manifeste avec les recherches (depuis 1892) du savant russe Ivan Pavlov (1849-1936) sur le *réflexe conditionné.* On soumet un chien à une forte décharge électrique, qui le fait hurler et se débattre; il ne fait même plus attention au repas qu'on lui offre. Mais, si l'on renouvelle un grand nombre de fois l'expérience globale — décharge et viande —, la douleur électrique *seule* finit, à la longue, par provoquer la salivation. (On a *appris* au chien à surmonter la douleur présente en lui faisant escompter un plaisir ultérieur.) Le physiologiste français André Mayer (né en 1875) a remarquablement mis le sujet au point (1932). Depuis la même date, F. Achille-Delmas (1879-1947) a établi le rôle quasi exclusif du réflexe conditionné dans le dressage et dans l'éducation.

soit systématiquement (au gré d'un « éducateur »). Nous venons de rencontrer (non « par hasard ») le mot *éducation* : cette éducabilité d'une machine, nettement conçue (1945) par notre compatriote Jean-Pierre Schwab (1), retient également l'attention des savants anglais et américains, en ouvrant un nouveau champ à la machine électronique. Il n'y a pas lieu de se dissimuler les obstacles qui surgiraient contre sa mise en œuvre, notamment l'ahurissant enchevêtrement du montage, qui, pour un modèle encore simplet, devrait prévoir cinquante mille circuits électriques (2). En tout cas, il faut reconnaître que c'est franchir là une étape importante de la construction d'une machine analogue à l'homme (3), puisque, pour certains psychologues (comme les behavioristes), le comportement humain tient tout entier dans le couple « stimulus-réaction » et dans la possibilié de le conditionner.

Quels que soient les bouleversements qui se « mijotent » sous nos yeux et qui, historiquement, se sont insérés dans la radioélectricité, il nous faut rapidement conclure. Le lecteur s'étonnera peut-être d'apprendre qu'en une matière où le « spiritualisme » (§ **4,** note) tend à se manifester inopportunément, le R. P.

---

(1) Il avait alors consulté Pierre David pour la partie électronique et Alfred Fessard pour la partie psychophysiologique. Schwab avait été précédé — quoique moins nettement et sans qu'il le sache alors — par l'Américain Nicolas Rashevsky (1936). De telles conceptions étaient, depuis longtemps, « monnaie courante », comme en témoigne l'enquête impartiale menée en Amérique (1921) par James H. Leuba : sur cent psychologues *de premier plan* de ce pays, il y en avait moins de neuf qui espéraient en la survie et environ treize qui croyaient en un dieu quelconque. Il ne correspondrait à rien (comme nous l'avons vu, § **4**) d'essayer de s'en tirer à bon compte en les taxant de « matérialistes ».

(2) Soit quelques centaines de milliers de tubes électroniques. (Il est présumable que la dépense serait du même ordre de grandeur que celle de l'ensemble du réseau téléphonique de la région parisienne.)

Il est malaisé de se prononcer dès maintenant sur la portée d'une technique en pleine gestation et dont les profanes rencontrent des bribes dans les périodiques. Chacun sait que l'idée directrice fait son chemin en Amérique et en Angleterre, mais les opinions des spécialistes restent encore assez divergentes : « Un assemblage de cellules nerveuses artificielles aurait un volume comparable à celui de l'Opéra de Paris et consommerait une puissance électrique équivalente à celle fournie par les chutes du Niagara... Une machine pourrait fort bien composer des sonnets; malheureusement, ces sonnets ne pourraient être appréciés que par une autre machine... »

(3) On pourrait suggérer aux successeurs de Jules Verne et de Wells le thème d'un nouveau roman d'anticipation : les machines, ayant réussi à se reproduire toutes seules et cherchant, par suite de cette surpopulation, à étendre leur espace vital, décident de conquérir la planète et d'exterminer l'humanité, qui, pour pallier ce péril mortel, ne trouve rien de mieux que de ressusciter l'union sacrée.

H. D. Dubarle reconnaît, à ces machines, un caractère commun (1949) : celui de « rassembler et élaborer de l'information, en vue de résultats qui peuvent être aussi bien des résultats de décision que des résultats de connaissance » (1). Sous la plume de Dubarle, nous enregistrons avec quelque retard (2) la promotion, au rang de sciences véritables, d'activités qui sont généralement considérées comme « littéraires », puisqu'il fait état d'une collaboration entre « logiciens, algébristes, statisticiens, géomètres, électriciens, radiotechniciens, neurologues, psychopathologistes,... ».

Ces commentaires ont suivi la publication (à Paris et en anglais) d'un livre (3) de Norbert Wiener, l'un des réalisateurs des « cerveaux » électroniques, mathématicien à Cambridge (Massachusetts) et cardiologue à Mexico.

La cybernétique a pour objet principal d'établir les analogies et différences entre la matière vivante (apparue sur Terre il y a un million de siècles) et les montages électroniques créés il y a quelques années. Pour ces deux catégories d'objets, l'analogie n'est pas seulement organique (4), mais fonctionnelle (5). Encore une fois, nous ne pouvons insister ici; disons seulement que, par ces « surhommes » (en zinc!), le « destin » du genre humain pourrait être fixé une fois pour toutes! Et ce « destin » a de quoi nous stupéfier, puisque (6), en face d'une oligarchie qui

---

(1) A des nuances (insignifiantes) de vocabulaire près, on voit que (pour notre auteur également) ces machines sont en compétition avec l'individu tout entier (corps, âme, esprit).

(2) Si l'on se reporte à la phrase (1895) de l'abbé Paul de Broglie (1834-1895), oncle des physiciens Maurice et Louis. Nous citons cette phrase textuellement (en étant obligé de l'isoler de son contexte) : « S'il devait arriver un temps où, par suite des progrès de la science, l'univers mieux connu et plus complètement soumis à la puissance de l'homme deviendrait pour lui une demeure de félicité, où tous ses instincts intellectuels et moraux, tous les besoins de son esprit et de son corps seraient satisfaits, il est à croire que cette époque de béatitude terrestre sonnerait le glas de tous les cultes, que les temples se fermeraient et que la religion disparaîtrait de la surface de la Terre. » Vers la même époque (en 1898), le philosophe lyonnais Alexis Bertrand tirait « la morale » de l'histoire : « La science, c'est l'homme même, dépassant infiniment l'animalité et dominant de plus en plus l'individualité égoïste et basse. Le véritable laboratoire où s'élabore la science, c'est l'esprit humain. »

(3) Dont voici la traduction du titre : *Cybernétique, ou commandes et connexions chez l'animal et dans la machine* (Hermann, 1948). On notera le nouveau sens conféré au vocable *cybernétique*, proposé jadis (1834) par André Ampère comme synonyme de « technique du gouvernement ».

(4) Enregistrement, transmission d'impulsions, combinateurs, contrôle local, mémoire, organisation du comportement.

(5) Et « quasi » mentale, comme Dubarle le concède explicitement.

(6) A nouveau, c'est Wiener (et son truchement Dubarle) qui s'exprime ainsi.

disposerait des « esprits et âmes électroniques », n'importe quel individu serait acculé à ce dilemme : ou bien coopérer suivant le plan imposé, ou bien être immédiatement ruiné...

102. *Les récriminations contre le déterminisme.* — Radio, radar, télévision, esprits et âmes électroniques,... nous venons de passer en revue bien des signes avant-coureurs d'un nouvel âge de l'humanité. On l'a déjà baptisé « âge atomique ». Avec un peu de précipitation et d'aveuglement, en prenant, une fois de plus, la partie pour le tout. Disons plutôt — en remettant à sa place la fâcheuse mentalité technicienne (où quelque bluff s'est d'ailleurs mêlé) — *âge de la pensée objective*, car l'âge atomique (ou l'âge électronique, § **103**) n'en peut être et n'en sera qu'un des aspects. C'est que — comme nous n'avons cessé de le dire et de le redire — toutes les applications sont nées d'un usage, délibéré et sans défaillance, de la méthode scientifique, dont celle de Descartes (1) n'est que l'embryon et dont l'idée directrice est et *ne peut être* que le déterminisme.

Nous verrons dans un instant que cette question — très claire — du déterminisme a été embrouillée comme à plaisir, en confondant illégitimement cette notion tantôt avec le fatalisme, tantôt avec la prévisibilité. En se plaçant dans une perspective suffisamment générale, c'est-à-dire à un point de vue logique (2), le déterminisme consiste en une attitude, une règle de conduite, une « norme », que l'on adopte ou que l'on n'adopte pas (3), une *exigence d'ordre :*

---

(1) Tenue pour une panacée par des gens qui ne la connaissent que par ouï-dire.

(2) Ou, plus exactement, « métalogique » (réflexions sur la logique). Cette perspective est « suffisamment générale » pour qu'elle n'ait pas à être modifiée par les récentes (et assez confuses) discussions sur le déterminisme laplacien et le déterminisme statistique.

(3) Ou — qui pis est — qu'on l'adopte « à moitié », en faisant appel — selon l'humeur du moment — au sens intime, au pari aveugle, à l'autorité, à la tradition, dans des circonstances où l'esprit humain conclurait normalement et *modestement* au « je ne sais pas » de Socrate (§ **1**). Les natures heureuses inclinent naturellement à l'insouciance, et, dans le cas contraire, c'est faire preuve d'une « âme forte » que de se contraindre à la résignation. D'ailleurs, très souvent, cette indécidabilité trahit un problème mal posé, un problème apparent au sens d'Ernst Mach (1838-1916).

Il n'y a ni « matérialisme » ni « spiritualisme » dans tout cela (§ **4**, note). Francis Perrin (1949) ne se fait pas faute de dénoncer le matérialisme dialectique, qui « se prétend issu de la pensée scientifique et veut régir la science, sans tenir compte de son développement propre » (§ **25**, note).

construire la réalité d'une manière ordonnée, selon de longues chaînes de raisons et de conséquences (1).

C'est sous cet angle que l'on peut trouver un sens à la « confidence » paradoxale du regretté aviateur Antoine de Saint-Exupéry (1900-1944) : « La vérité, ce n'est pas ce qui se démontre, c'est ce qui simplifie. » Soyons sérieux : la vérité, c'est tout d'abord ce qui *se constate* par l'expérimentation; c'est aussi ce qui *simplifie* par l'emploi de la logique inductive et de la logique démonstrative. (Il y a une nuance...)

Cette méthode, qui, depuis trois siècles, a surabondamment justifié sa fécondité et qui — nous le savons — ne se limite pas aux sciences du monde matériel, comporte deux exigences *inséparables,* qui fixent l'activité du savant : il convient de bannir, dans la structure de la réalité (ou, si l'on préfère, dans celle de l'Univers proposé par la science) :

I. Toute autocontradiction, c'est-à-dire l'existence d'une conséquence qui en contredirait une autre (2) ; telle est la norme de cohérence interne ou *cohérence logique;*

II. Toute hétérocontradiction, c'est-à-dire l'existence d'une conséquence qui contredirait l'expérience (3); telle est la norme de cohérence externe ou *cohérence expérimentale.*

C'est pour satisfaire à cette double exigence de rigueur que la recherche — en science et aussi en technique — a pris cet aspect

---

(1) Ce qui revient à considérer tout fait, soit : comme la conséquence de faits de base (ou raisons), soit — à défaut — comme lui-même une raison (ou axiome). La science a notamment pour objet de tenir à jour *la liste* des raisons, en la rectifiant et en la simplifiant sans cesse.

(2) En d'autres termes : éliminer toute assertion telle qu'on pourrait correctement en déduire l'existence d'un non-sens, c'est-à-dire d'une chose qui vérifierait simultanément l'affirmation et la négation d'un même fait. On ne saurait trop insister sur le démenti permanent que le développement de la science et de la technique oppose à la « pensée » de Pascal : « Ni la contradiction n'est marque de fausseté, ni l'incontradiction n'est marque de vérité. »

A côté de cette cohérence rigoureuse, qui se précise en *formules* de logique, il existe, bien entendu, une cohérence au rabais (bon sens), que le premier venu (ignorant ou savant) juge de bon aloi, tant et si bien que presque toujours de la discussion jaillit la... confusion. C'est déjà un dur labeur de se débarrasser de cette illusion, que la psychologie moderne réussit à dépister et même à mesurer (voir, par exemple, Harry Bone, *le Préjugé, étude objective,* Hermann, 1935). Nous avons nous-même résumé la question dans *la Logique et sa caricature* (Presses universitaires, 1935).

(3) Il s'ensuit qu'il faut s'évertuer à constater et à décrire les faits avec la plus grande précision possible.

caractéristique de balancement, de rajustement perpétuel entre la théorie et l'expérience (1).

Pour aussi invraisemblable que cela puisse paraître, les premiers sondages en microphysique (1927) ont été accompagnés d'une révolte contre le déterminisme (2) : une minorité de savants (3) — parfois éminents, mais nostalgiques du mysticisme — ont accueilli avec faveur, mieux, avec ferveur, des aphorismes gratuits comme : « La science moderne vient de nous délivrer du déterminisme : nous avons secoué son joug et reconquis la liberté. » Ce faisant, ces « scientifiques » et la masse de leurs approbateurs enthousiastes méconnaissaient la portée décisive de la phrase (précisément de 1927) de Léon Brunschvicg : « Autant il est flatteur de s'entendre dire qu'on est libre, autant il est pénible de se libérer complètement » (4). Car (sans empiéter sur le domaine des faits sociaux) le mot *liberté* possède deux acceptions tellement étrangères qu'il autorise les pires des calembours (5) :

---

(1) En compagnie de bien d'autres physiciens, Louis de Broglie a fortement insisté sur cette adaptation progressive, jamais achevée (voir *les Deux Infinis*, p. 38, 7e édition, Larousse).

(2) L'origine peut s'en situer précisément en 1927, date où le physicien allemand Werner Heisenberg (lauréat Nobel, 1932) émit un sophisme qui produisit un chaos de contradictions flagrantes.

(3) Tels que : Arthur Eddington, James Jeans et Paul Dirac (en Angleterre); Robert-Andrews Millikan (en Amérique); Pierre Lecomte du Noüy, Rémy Collin, Pierre Humbert, Louis Leprince-Ringuet et, dans une certaine mesure, Louis de Broglie (en France). Parmi ceux qui ont le plus vivement réagi contre ces tendances, nous trouvons, en plus d'Albert Einstein et de Max Planck : Paul Langevin, Jean Perrin, Henri Mineur, Paul Couderc, Jean Pelseneer, Tobias Dantzig, Edmond Bauer, Paul Labérenne, Alexandre Dauvillier, Jacques Duclaux (pour ne citer que des savants qui se sont récemment attachés à dessiller les yeux du public français).

Au Congrès de philosophie des sciences (Paris, octobre 1949), le logicien belge Marcel Barzin a insisté avec force sur le calembour involontaire que des physiciens de premier plan avaient commis, confondant (comme nous le disions nous-même en 1939) libre arbitre et autonomie d'une part, et, d'autre part, les deux précédentes notions avec l'incertitude que nos contemporains attribuent aux phénomènes subatomiques. Peu auparavant, Jean Ullmo montrait que c'est à la légère que certains savants ont joyeusement proclamé l'impossibilité d'un « déterminisme sous-jacent » (c'est-à-dire pouvant rendre compte de l'incertitude couramment admise).

(4) Et il précisait excellemment que ce qui, depuis deux mille ans, s'est opposé à l'autonomie, ce n'est pas le déterminisme, mais le libre arbitre.

(5) Du genre de la phrase « profonde » de Pascal (sur laquelle s'escriment des générations de lycéens) : « Le cœur a ses raisons que la raison ne connaît pas. » Le premier « raison » est, pour nous, le succédané correct de *cause* (§ 1); le second est pratiquement synonyme d'*intelligence*. A part cela, c'est (sous une forme très vague) la loi psychologique (1896) de Théodule Ribot (1839-1916) concernant la

La première acception (libre arbitre) se concrétise par des remarques (insignifiantes) du genre de celle-ci : « Je tire ma pipe et je l'allume, donc je suis libre. — Du tout, rétorquera-t-on légitimement, vous n'êtes pas libre; vous l'étiez à ce moment-là. Le verbe *être libre* (comme le verbe *avoir de la chance*) ne peut se conjuguer qu'au passé. » En effet, dès que l'on s'interroge sur son propre libre arbitre, le seul fait de s'interroger introduit une perturbation dans l'acte qu'on allait accomplir. On *a été* libre, si l'on n'a eu aucune conscience d'aucune raison de se comporter comme on l'a fait, et l'on éprouve un sentiment d'autant plus vif de son libre arbitre qu'on a été *moins bien* renseigné.

Au contraire, l'acte libre (l'acte *autonome*), c'est l'acte délibéré, pris « en connaissance de cause ». L'autonomie est plus qu'une longue patience : c'est un effort réfléchi pour réduire la distance qui sépare ce que nous sommes de ce que nous pourrions être; c'est une conquête permanente, nécessitant le *maximum* d'entraînement, d'intelligence et de documentation.

C'est ce qu'avait bien vu Jules Payot (1859-1940) dès 1893 : la liberté n'est possible que dans et par le déterminisme. Et ceci, en prolongement de la direction tracée par Auguste Comte (1798-1857) : savoir pour prévoir, afin de pourvoir. Gardons-nous surtout de voir là des lieux communs, puisque cette ligne de conduite est formellement battue en brèche par les adversaires du déterminisme... Pour nous, l'intelligence humaine est *une*, et la méthode scientifique s'applique à tous les domaines, qu'il s'agisse d'étudier la propagation d'un champ électromagnétique ou de s'assurer de la valeur des on-dit (psychologie du témoignage).

Cette prise de possession de l'Univers par l'homme, qui est

---

prédominance de l'affectivité sur l'intelligence (de l'âme sur l'esprit) dans le comportement spontané des hommes. La gloire de Pascal, mathématicien et physicien, est quelque peu ternie du fait que la déplorable instabilité de son système nerveux l'a hissé au rang de précurseur — vénérable et vénéré — de tous ceux pour qui (comme dit Goblot) « l'hostilité contre l'esprit scientifique devient un moyen pour proclamer la *logique du cœur* » (accolement de mots vide de sens). On sait que Blaise Pascal a écrit (pas le même jour) ces deux « pensées » : « Tais-toi, raison imbécile » et « La raison nous commande bien plus impérieusement qu'un maître; car en désobéissant à l'un on est malheureux, et en désobéissant à l'autre on est un sot. »

à la base de la civilisation d'aujourd'hui et de demain, n'est, en somme, que le développement du programme (1903) du physicien autrichien Ernst Mach, pour qui l'essentiel est de relier nos abstractions et nos perceptions, ainsi que d'accorder nos abstractions entre elles (1). Mach fut l'un des premiers à montrer l'unité de la science et à prescrire de tout sacrifier à la *primauté de l'esprit,* à la cohérence intellectuelle (2). Ce que traduisait très pertinemment Anatole France (1894) : « Ce qui est admirable, ce n'est pas que le champ des étoiles soit si vaste, c'est que l'homme l'ait mesuré » (3). Sans doute ajouterait-il maintenant : ce qui est admirable, ce n'est pas que les électrons de l'Univers soient si nombreux et si rapides (ils sont ce qu'ils sont), c'est que l'homme les ait comptés et caractérisés...

Comme l'écrit (1949) l'éminent philosophe André Lalande, « la division du travail intellectuel vient d'une regrettable nécessité : il faut bien d'abord explorer, d'une manière aussi pénétrante que possible, les données si diverses que nous fournissent nos sens, aidés par les instruments qui les prolongent vers l'ultramicroscopique et vers l'immensité astronomique, vers la durée qui se mesure en microsecondes et vers celle qui se mesure en années-lumière ». D'où la gradation : techniciens, savants, philosophes. On a pu dire qu'un technicien de valeur est un homme qui sait presque tout sur presque rien (et combien de savants ne sont malheureusement que des techniciens...). Le philosophe — au sens actuel du mot — est un savant *spécialisé dans les idées générales* (élaborées par l'ensemble des sciences, de la logique à la sociologie), car, ajoute Lalande, « la véritable science commence quand on parvient à former des jugements qui unifient cette vertigineuse diversité et qui donnent, en même temps,

---

(1) Ce programme a été heureusement formulé par Élie Faure (*Trinité sainte : art, science, travail,* Mercure de France, 1934) : « Cherchons sans lassitude un accord non seulement entre le monde et nous-mêmes, mais entre les moyens qui s'offrent pour explorer et le monde et nous-mêmes. »

(2) Nous avons indiqué (§ **1**, fin) comment la question se pose à l'heure actuelle (citation de Robert Blanché).

(3) Au contraire, il est à la portée d'un chacun de s'extasier devant la majestueuse « harmonie » de la voûte céleste (qui est ce qu'elle est), en restant indifférent (ou hostile) à la seule harmonie en notre pouvoir : l'harmonie de l'esprit. C'est ainsi que tout le monde s'attache automatiquement à l'accessoire et néglige l'essentiel. (La même remarque concerne la distinction précitée entre libre arbitre et autonomie.) Ajoutons que les partisans moroses de l' « infirmité » de l'esprit humain se gardent bien de faire état de cette « disgrâce » dans l'acharnement qu'ils mettent à défendre leurs préjugés.

un contenu commun aux intelligences individuelles. Quand il s'agit de pensée, toute discordance est signe qu'un des deux adversaires se trompe, et souvent tous les deux; la vérité se reconnaît à ce qu'elle met les gens d'accord, sans appel à leurs passions ou à leurs intérêts, sans suggestion, sans contrainte imposée par une autorité intellectuelle» (fût-ce celle d'un Louis Pasteur ou d'un Henri Poincaré), « à plus forte raison sans contrainte matérielle et totalitaire ».

103. *L'absorption de la radioélectricité par l'électronique.* — A la fin de ce chapitre, qui nous a laissé entrevoir le monde naissant de machines prodigieuses et les répercussions profondes qu'elles auront sur la société humaine, les lecteurs réfléchis nous objecteront peut-être qu'ils ne voient guère de rapports entre ces machines — qui, elles-mêmes n'envoient rien à distance — et les radiocommunications, que, de par son titre, le présent ouvrage avait promis de traiter : téléauditions, téléguidages, téléspectacles.

Il serait insuffisant de répondre que le sujet de ce chapitre présente un intérêt primordial, car tel serait également le cas pour les avions à réaction, les sulfamides et la pénicilline, l'énergie subatomique et les isotopes radioactifs. Ce ne sont là d'ailleurs que des exemples typiques parmi les questions d'actualité, et il ne nous serait jamais venu à l'idée de les aborder, en rallonge, dans un livre consacré à la radio...

La raison en est plus sérieuse; nous y avons d'ailleurs fait allusion au début du paragraphe **89,** et nous allons retrouver cette opposition fondamentale entre le concret et le réel, par laquelle nous sommes entrés en matière (chap. I).

Le concret, c'est ici : transmettre n'importe quoi et très loin à quelqu'un (être humain ou robot). Et il est apparu — sans que jamais personne avant Maxwell (1865) l'ait soupçonné — que cette transmission s'effectue de la manière la plus pratique par champs électromagnétiques (§ **22**), par rayonnements hertziens (1). Mais savants et techniciens se sont vite rendu compte que « le sans-fil » n'était pas tout dans l'affaire, puisque ce n'était même pas l'essentiel : peu à peu, « le sans-fil » s'est laissé détrôner par ses « deux bouts », lesquels ont montré

(1) De fréquences comprises (pour le moment) entre 100 kc et 300 Gc.

surabondamment — une fois que l'on sut réellement les « prendre » — qu'ils se prêtaient à bien d'autres choses qu'à communiquer au loin.

Tout ceci n'est encore que du concret, ou tout au moins du réel à l'échelle humaine (1). Mais ce fut, en l'occurrence, un inestimable progrès que d'avoir démêlé une *réalité sous-jacente,* au sens que nous avons donné à ce mot (§ **1,** *b*). Sans elle, les « deux bouts » et « le sans-fil » proprement dit seraient demeurés étrangers l'un à l'autre. Grâce à elle, ils se fondent en une synthèse explicative, qui est l'*électronique.* Tant et si bien que les ingénieurs délaissent leur titre de « radiotechniciens » pour arborer la désignation, plus actuelle, d'« électroniciens ».

L'électronique, dont l'éclosion fut dominée par les grands noms de J. J. Thomson (1897) et H. A. Lorentz (1905), est la branche de la physique qui s'occupe particulièrement des propriétés des électrons (2). Encore que tout ait été fait pour « dorer la pilule » (3) en ne choisissant pas « Electronique » pour titre du présent ouvrage, c'est en réalité, d'électrons qu'il a toujours été question, depuis le paragraphe **6** (et même avant). Les us et coutumes de ce corpuscule infime (4) ont été évoqués tout au long de l'exposé :

---

(1) En ce qui concerne les champs électromagnétiques (qui, comme on sait, ne provoquent pas, chez l'homme, de sensations).

(2) Plus exactement : des électrons *libres,* car, à vrai dire, **toute** l'électricité est tributaire de l'électron, suivant les idées (rendues cohérentes par Arnold Sommerfeld, 1927) que nous répandons, depuis 1920, parmi les physiciens, les étudiants et les profanes. Le lecteur pourra se documenter par nos derniers exposés (classés par ordre de difficulté croissante) :

Electricité-magnétisme, Collection « Que sais-je? », Presses Universitaires, 2e édition, 1948;

L'Electron et les applications de l'électricité, Collection Émile Borel, Albin Michel, 2e édition, 1948;

Exposé électronique des lois de l'électricité (courants continu et alternatifs; électromagnétisme et inductions; réseaux de distribution; émission et réception radioélectriques), Hermann, 1932;

L'Idée générale de la mécanique ondulatoire (atome d'hydrogène, phénomènes chimiques, conduction électrique), Hermann, 1932;

Introduction à la théorie des quanta (les équations de la mécanique et de l'électronique), en collaboration avec le regretté Charles Salomon, Collection Langevin-Perrin-Urbain, Doin, 1928.

(3) Ce qui est, en l'espèce, le meilleur moyen de la faire avaler.

(4) Dont on connaît (avec trois ou quatre chiffres exacts) l'inertie et l'électrisation. En ce qui concerne son diamètre, la mécanique ondulatoire rend vraisemblable que les notions communes d'*espace* n'ont plus cours à cette petitesse-là.

1° Dès les figures 7 et 8, on a vu qu'un corps est négatif quand il a trop d'électrons, mais qu'il est positif quand il n'en a pas assez (1);

2° Le champ électrique (§ **5**) est ce qui entoure un corps présentant une anomalie (excès ou défaut) d'électrons;

3° Le courant continu (§ **6**) est une lente procession d'électrons, tandis que le courant alternatif (§ **7**) consiste en oscillations électroniques locales. L'un et l'autre de ces courants dégagent de la chaleur (§ **31**), parce que les électrons heurtent plus fortement les atomes lorsqu'il y a courant que quand il n'y en a pas;

4° Les métaux chauds (§ **31**) ou éclairés (§ **77, III**) peuvent abandonner une partie de leurs électrons;

5° Les électrons qui tournent en rond sont environnés par un champ magnétique (§ **9**).

Nous en passons (et des meilleures, comme on dit vulgairement).

Mais tout cela est de l'électricité « pure » (sans ombre de radio) : c'est *cela* qui intervient dans les installations domestiques, dans le téléphone, dans les machines-outils, dans les transports électrifiés et dans la plupart des autres « bons offices » que « la fée Electricité » s'ingénie à rendre à nos contemporains... blasés.

Si, dans toutes ces propriétés de l'électron — toutes plus avantageuses les unes que les autres, pour qui sait les mettre à profit —, la radio n'est pas présente, c'est que, dans la liste ci-dessus (2), nous avons fait exprès d'en « oublier » une (§ **22**) :

6° Les oscillations locales d'électrons sont accompagnées d'une onde électromagnétique, c'est-à-dire de la pro-

---

(1) Il se produit une attraction quand il y a en présence un excès *et un* défaut; il se produit une répulsion quand il y a en présence deux excès ou deux défauts.

(2) Et non, évidemment, dans cet ouvrage. En termes plus précis, nous venons de tenir compte (surtout) de la *vitesse* des électrons, mais — intentionnellement — nous n'avions pas tout dit sur leur *accélération*. Et c'est cette dernière qui « ouvre la porte » à la radio, sans parler des transfos ni des rayons X. (On remarquera, au passage, l'intervention de la mécanique, qui, adjointe à la géométrie, aux mathématiques « pures » et à la logique, est la base de la culture générale de « l'honnête homme » et de tous les spécialistes des sciences, tant des phénomènes « matériels » que des faits humains.)

pagation (1), à travers l'espace ambiant, d'un champ électromagnétique, qui est la liaison intime de deux champs (l'un électrique, l'autre magnétique), perpendiculaires entre eux (*fig.* 51 et 59), variant simultanément et ayant même fréquence que les oscillations qui les produisent.

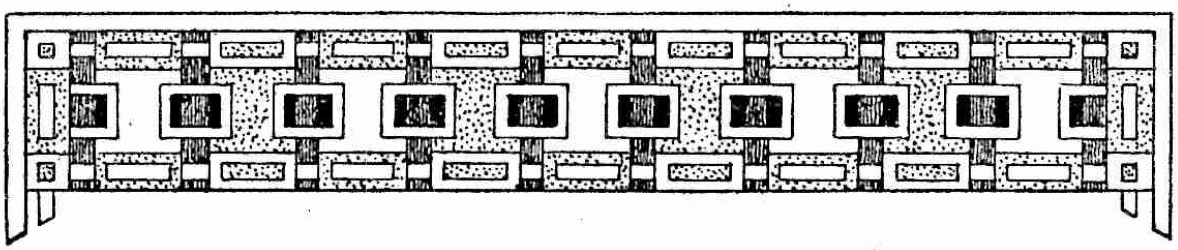
Et, du même coup, *toute la radio est là.* Nous ne dirons pas, suivant l'expression consacrée : « Le reste n'est que littérature », mais *le reste n'est que détails techniques,* ayant exigé normalement, dans le passé, un retard de l'ordre d'un demi-siècle pour venir au monde (2).

Ce qu'il faudrait retenir de ce vaste tour d'horizon, c'est, d'une part, l'efficacité de la réalité sous-jacente, par rapport au concret, dont la mentalité prélogique et même le bon sens se satisfaisaient béatement. C'est aussi le fait que nous avons effectivement pris connaissance d'une science nouvelle, qui a commencé par se révéler au grand public par ses réalisations techniques dans le domaine des télécommunications, lesquelles n'occupent plus qu'une place — intéressante certes, mais non exclusive — dans l'immense chapitre de l'électronique. Sans revenir sur les raisons profondes (§ **102**) de l'apparition d'un nouvel âge de l'humanité, nous répéterons la phrase posthume (1830) de notre compatriote Lamarck (1744-1829) : « Toute connaissance qui n'est pas le produit réel de l'observation ou de conséquences tirées de l'observation est tout à fait sans fondement et véritablement illusoire. »

---

(1) Avec la vitesse de la lumière (300 000 km par sec).

(2) Notez bien que nous ne présageons en rien de l'avenir. Cependant, tout semble indiquer qu'avec « les moyens matériels et les méthodes intellectuelles sans commune mesure avec ceux et celles des âges révolus » (§ **100**, fin), le retard pourra fort bien n'être plus que d'une demi-année (au lieu du demi-siècle actuellement traditionnel).



CHAPITRE XIII

L'EFFORT DU PASSÉ

104. ***La naissance de la radioélectricité.*** — Cet ouvrage étant avant tout une initiation, il n'a pas été possible de réserver à l'histoire de la science la place qu'elle mérite. Les deux paragraphes de conclusion sont là pour y remédier.

Mais, avant de donner (§ **105**) la liste chronologique des découvertes essentielles, nous ne pouvons mieux faire que de reproduire quelques phrases (1945) de Louis de Broglie; elles fournissent, à notre sens, le prétexte à une utile révision des idées générales, sur lesquelles nous nous sommes appliqué à insister chemin faisant, depuis le début.

> Une des découvertes fondamentales de la science moderne, c'est l'importance du rôle que joue l'électricité dans la structure de la matière. On a même pu croire, pendant quelque temps, que toute la matière se serait réduite à l'électricité, en ce sens que les corpuscules ultimes de la matière seraient, tous, des corpuscules électrisés, dont la masse serait entièrement d'origine électrique. Des découvertes encore assez récentes, comme celle des neutrons (1932), ont montré qu'il existe aussi, dans la structure intime des unités matérielles, des corpuscules neutres (ou neutrons), dont la masse *n'est pas* d'origine électrique (1). Sous cette réserve, on peut cependant affirmer que l'électricité intervient d'une

(1) Signalons toutefois que le neutron possède (1934) des propriétés magnétiques (M. B.).

façon prépondérante dans la constitution et la stabilité de la matière.

L'étude scientifique et quantitative de l'électricité statique s'est développée à la fin du XVIII[e] siècle, à l'époque où notre compatriote Coulomb a énoncé la loi précise des interactions entre charges électriques. Puis est venue la découverte, grâce aux travaux de Galvani, de Volta et de Davy, du courant électrique et de ses propriétés. Le magnétisme, dont l'étude avait déjà été amorcée (XIII[e] s.) par Pierre de Maricourt, puis reprise, au début du XVII[e] siècle, par le médecin anglais William Gilbert, avait aussi été étudié par Coulomb, qui énonça les lois d'action entre pôles d'aimants. Mais ce fut le physicien danois Œrsted, qui, en 1819, découvrit l'action des courants électriques sur les aiguilles aimantées et établit ainsi un pont entre l'électricité et le magnétisme. On sait comment ce pont fut élargi, dès l'année d'après, par les admirables travaux d'Ampère, qui parvint, en quelques semaines, à établir toute l'électrodynamique, toute la science de l'action mutuelle des aimants et des courants. D'autres Français — Laplace, Arago, Biot et Savart — collaborèrent avec lui pour fonder les assises de la science nouvelle. Puis vint la découverte, en 1831, des phénomènes d'induction par Faraday. Et ainsi se trouva complété, par une suite de remarquables progrès accomplis en moins d'un demi-siècle, l'ensemble des connaissances qui restent à la base de la science des phénomènes électromagnétiques observables à l'échelle humaine.

Il y manquait pourtant un élément important, sans lequel les rayonnements électromagnétiques et, par suite, la T. S. F. ne pourraient exister. Ce fut Maxwell, qui, dans une œuvre mémorable (1865), l'introduisit : il parvint à résumer, dans un système complet d'équations différentielles, l'ensemble des lois éparses que l'expérience nous avait révélées. L'attention du physicien anglais fut attirée par ce fait que le calcul introduisait subrepticement, dans ces équations, une constante qui avait précisément pour valeur celle de la

vitesse de la lumière. Maxwell eut alors une idée merveilleuse : il se dit que rien n'empêchait, dès lors, de supposer que la lumière est formée par des perturbations de nature électromagnétique, qu'elle n'est qu'une catégorie particulière — correspondant à une certaine bande de fréquence (celle du spectre visible) — d'oscillations électromagnétiques.

Les idées de Maxwell ont été magnifiquement confirmées par la découverte (Hertz, 1888) de rayonnements électromagnétiques, dont la fréquence est très inférieure à celle de la lumière visible : ces radiations hertziennes ont été depuis utilisées, avec le succès et la prodigieuse extension que l'on sait, par la radiotélégraphie, la radiophonie, la télévision et le radar. Aujourd'hui, nous connaissons une immense gamme de rayonnements, comprenant les radiations hertziennes, infrarouges, lumineuses et ultraviolettes, ainsi que les rayons X et les rayons gamma des corps radioactifs (*fig.* 240). Tout ce vaste domaine de fréquences a été exploré, sans qu'il y subsiste la moindre lacune. Grâce à la géniale synthèse de Maxwell, tous ces rayonnements, de propriétés si disparates, nous apparaissent comme n'étant que des variétés de phénomènes électromagnétiques.

105. *Découverte des lois scientifiques et origine des techniques actuelles* (1).

1641 : Blaise PASCAL, **F** (1623-1662), première machine à calculer.
1650 : Otto DE GUERICKE, **D** (1602-1686), première machine à faire le vide.
1654 : Blaise PASCAL, **F** (1623-1662), les bases de numération.
1671 : Athenasius KIRCHER, **D** (1601-1680), découverte de la fluorescence.
1715 : Brook TAYLOR, **GB** (1685-1731), lois de la production du son.
1785 : Charles DE COULOMB, **F** (1736-1806), attractions et répulsions électriques.
1800 : Alessandro VOLTA, **I** (1745-1827), découverte du courant continu.
1819 : Hans-Christian ŒRSTED, **D** (1777-1851), champ magnétique des courants.

---

(1) La grande majorité des chercheurs mentionnés se répartissent à peu près également entre les quatre premières nations scientifiques : Français (**F**), 16; Allemands (**A**), 16; Anglais (**GB**), 13; Américains (**USA**), 12. On trouve, en outre : Italiens (**I**), 3; Russes (**R**), 3; plus deux Danois, un Néerlandais et un Suisse.
Pour les détails, se reporter à l'index alphabétique (pp. 398-424).

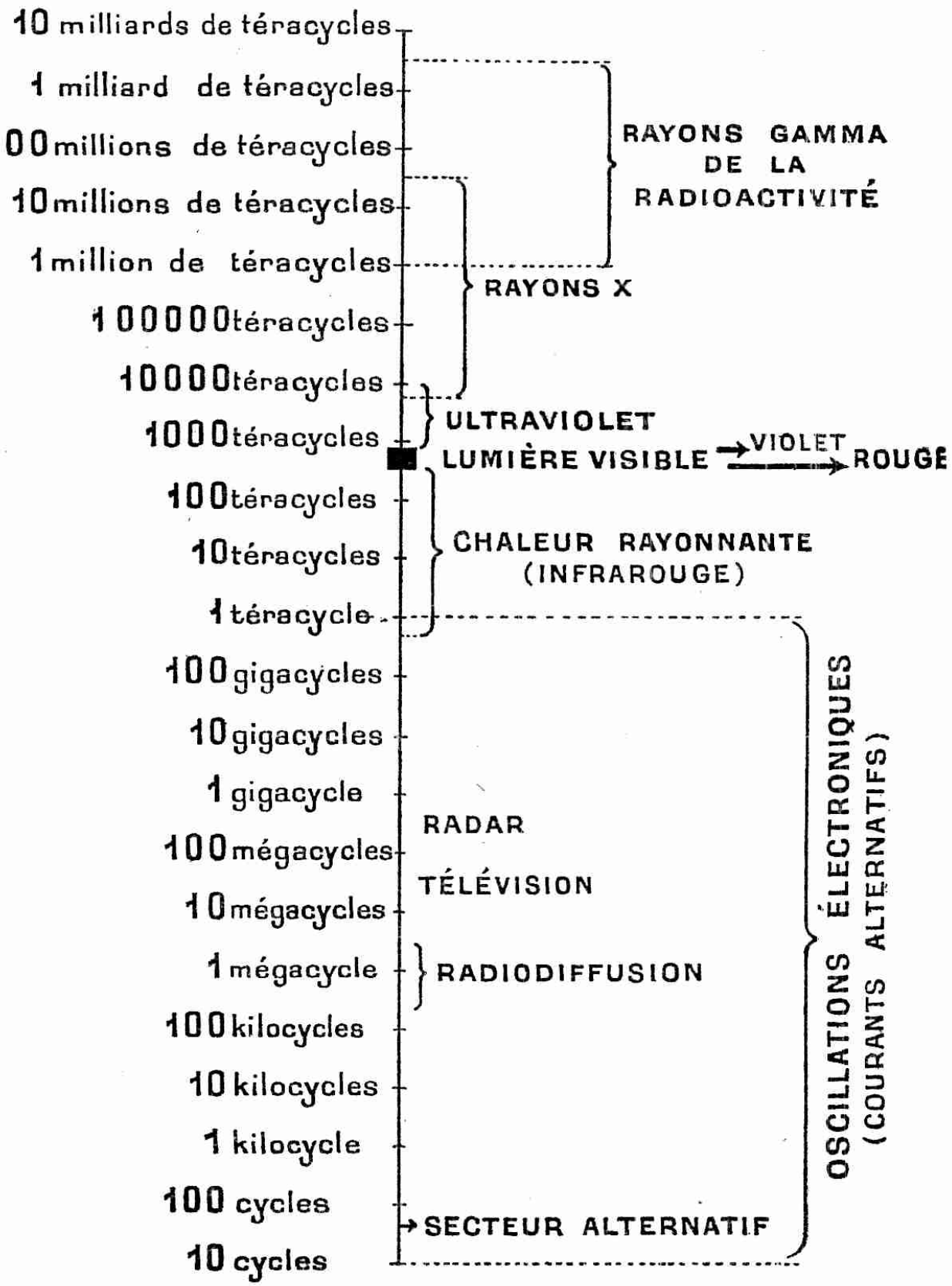


FIG. 240. — Echelle des fréquences électromagnétiques.

1820 : Pierre Simon DE LAPLACE, **F** (1749-1827), force électromagnétique.
1821 : André AMPÈRE, **F** (1775-1836), identité d'une bobine et d'un aimant.
1822 : Joseph FOURIER, **F** (1768-1830), étude théorique des phénomènes périodiques.
1826 : Georg-Simon OHM, **D** (1787-1854), relation entre le courant et la tension.
1831 : Michael FARADAY, **GB** (1791-1867), découverte de l'induction électromagnétique.
1834 : Frederic LENZ, **R** (1804-1865), lois de l'induction.
1834 : Charles BABBAGE, **GB** (1792-1871), idée de la machine à calculer moderne.
1839 : Joseph HENRY, **USA** (1797-1878), découverte de la self-induction.
1841 : James-Prescott JOULE, **GB** (1818-1889), dégagement de chaleur par le courant électrique.
1842 : Antoine-Philibert MASSON, **F** (1806-1858), construction du premier transformateur.
1846 : Michael FARADAY, **GB** (1791-1867), localisation de l'énergie dans le vide.
1853 : William KELVIN, **GB** (1824-1907), fréquence propre d'un circuit oscillant.
1853 : Edmond BECQUEREL, **F** (1820-1891), première observation de courant électrique dans les gaz.
1857 : Werner VON SIEMENS, **D** (1816-1892), théorie des condensateurs.
1858 : Berend-Wilhelm FEDDERSEN, **D** (1832-1918), haute fréquence.
1859 : Julius PLÜCKER, **D** (1801-1868), fluorescence cathodique.
1865 : James-Clerk MAXWELL, **GB** (1831-1879), prévision des ondes radioélectriques.
1868 : Wilhelm HITTORF, **D** (1824-1914), saut des électrons à travers le vide.
1876 : Graham BELL, **USA** (1847-1922), découverte du téléphone.
1878 : David HUGHES, **USA** (1831-1900), principe du microphone.
1879 : William CROOKES, **GB** (1832-1919), étude de la fluorescence cathodique.
1880 : { Jacques CURIE, **F** (1855-1941) / Pierre CURIE, **F** (1859-1906) } découverte de la piézoélectricité.
1880 : Maurice LEBLANC, **F** (1857-1913), exploration par miroir d'une image à transmettre.
1884 : Paul NIPKOW, **D** (1860-1940), exploration par trous d'une image à transmettre.
1884 : Themistocle CALZECCHI-ONESTI, **I** (1853-1922), invention du cohéreur, dit (en France) « de Branly ».
1887 : Heinrich HERTZ, **D** (1857-1894), découverte de la photoélectricité.
1888 : Heinrich HERTZ, **D** (1857-1894), première observation d'ondes radioélectriques.
1889 : Heinrich HERTZ, **D** (1857-1894), réflexion des ondes radioélectriques.
1894 : François DUSSAUD, **S** (1870), pick-up.
1895 : Jean PERRIN, **F** (1870-1941), électrisation négative des électrons.
1895 : Alexandre POPOFF, **R** (1859-1905), antenne émettrice.

1895 : Arthur KORN, **D** (1870), premiers essais de téléphotographie.
1897 : Ferdinand BRAUN, **D** (1850-1918), tube cathodique.
1897 : Joseph-John THOMSON, **GB** (1856-1940), caractéristiques des électrons.
1897 : Valdemar POULSEN, **D** (1869), origine du magnétophone.
1898 : Giuglielmo MARCONI, **I** (1874-1937), première communication radiotélégraphique.
1901 : Owen-Williams RICHARDSON, **GB** (1879), émission thermoélectronique.
1902 : Arthur-Edwin KENNELLY, **USA** (1861-1939), ionosphère.
1902 : Oliver HEAVISIDE, **GB** (1850-1925), ionosphère.
1903 : Arthur WEHNELT, **D** (1871), accroissement de l'émission thermoélectronique.
1903 : John-Ambrose FLEMING, **GB** (1849-1945), diode redresseuse.
1904 : Arthur WEHNELT, **D** (1871), adjonction d'une grille au tube cathodique.
1905 : Hendrick-Antoon LORENTZ, **N** (1853-1928), théories électroniques.
1905 : Albert EINSTEIN, **USA** (1879), interprétation de la photoélectricité.
1905 : { Julius ELSTER, **D** (1854-1920) ; Hans-Friedrich GEITEL, **D** (1855-1926) } photocellule.
1907 : Lee DE FOREST, **USA** (1873), adjonction d'une grille aux tubes électroniques.
1907 : Boris ROSING, **R**, application du tube cathodique à la télévision.
1909 : Robert-Andrews MILLIKAN, **USA** (1868), caractéristiques des électrons.
1913 : Irving LANGMUIR, **USA** (1881), émission thermoélectronique.
1918 : { Henri ABRAHAM, **F** (1868-1943) ; Eugène BLOCH, **F** (1878-1944) } découverte du multivibrateur.
1921 : Edouard BELIN, **F** (1876), téléphotographie.
1922 : Walter G. CAVY, **USA** (1874), maître oscillateur.
1922 : H. BUSCH, **D**, première lentille électronique.
1922 : Edward APPELTON, **GB** (1892), propagation des ondes radioélectriques.
1922 : Albert W. HULL, **USA** (1880), découverte du magnétron.
1925 : Albert W. HULL, **USA** (1880), grille écran.
1925 : Walter SCHOTTKY, **D** (1886), grille écran.
1931 : Edward APPELTON, **GB** (1892), origine de la technique du radar.
1934 : Vladimir Kosma ZWORYKIN, **USA** (1889), découverte de l'iconoscope.
1935 : René BARTHÉLEMY, **F** (1889), analyse entrelacée de l'image.
1936 : Louis COUFFIGNAL, **F** (1902), principes théoriques de la machine à calculer moderne.
1938 : John Logie BAIRD, **GB** (1888-1946), essais de télévision en couleurs.
1941 : Vannemar BUSH, **USA** (1892), premiers cerveaux électroniques.

INDEX ALPHABÉTIQUE

Pour faciliter la compréhension du texte, les notions très générales (grandeurs, unités, appareils de base) n'ont été mentionnées qu'aux places où elles sont expliquées (et non à celles — fort nombreuses — où elles sont utilisées).

Pages

A

A 34
abaisseur de fréquence..... 354
abaque..... 102, 103
abaque (voir boulier).
ABRAHAM (Henri), 357-359, 360, 397
absorption lumineuse..... 9
abstractions..... 368, 387
absurdités, 37, 49, 55, 62, 84, 120, 130, 149, 174-175, 189, 262, 277, 288, 295, 317, 324, 337, 369, 373, 386
abus de pouvoir.....116, 388
Académie des sciences (France), 107, 186
Académie des sciences (U. R. S. S.)..... 116
accaparement de vide..... 86
accélération, 93, 99, 349, 364, 390
accélérées (transmissions)..... 185
accessoire (l'), 135, 199, 227, 246, 278, 282, 299, 309, 332, 387, 391
accessoires..... 191, 227, 275, 359
accident physiologique..... 369
accord..... 104, 187, 240, 243, 262
accord (circuit d')..... 258, 259
accord (indicateur d')..... 262
accord (indicateur visuel d'), 263, 264
accrocs..... 184
accrochage, 130, 226, 247, 269, 286
accu..... 234
accumulateurs, 26, 27, 30, 32, 85, 231, 234, 235
ACHILLE-DELMAS (François)... 380
acoustique, 21, 67, 106, 115, 163, 177-180, 194, 208, 248, 281
activité intellectuelle, 288, 376, 378, 384, 391
acuité de résonance..... 66-67, 243
adages..... 199, 208, 210, 240
addition (combinaison par)..... 198
addition (table d')..... 372
aériens..... 344-345
aéroports..... 361-363
affectivité, 131, 254, 360, 370, 382, 385, 386, 388
AFNOR..... 37
âge atomique..... 384
âge héroïque..... 226, 231
âge objectif..... 384, 391
âge d'or..... 226, 231
âges révolus..... 378, 391
agitation thermique..... 294
agnosticisme..... 12, 381
ahurissement mystique..... 42
aiguille..... 186-187
ailerons..... 364
aimantation..... 185, 393
AISBERG (Eugène)..... 5
alimentation, 166-171, 230-231, 313, 316
aller et retour..... 297, 344, 347
alliages (traitement des)..... 193
Allouis..... 120, 121, 248
allumage..... 305
alphabet Morse..... 208, 361
altération, 173, 183, 189, 202, 211, 218, 253, 265, 271, 272, 274
alternance..... 39, 143, 220
alternateur haute-fréquence.... 106
alternatif (secteur).... 25, 228, 230
altimètre d'atterrissage.... 348, 363
altimètre de pilotage..... 362
altitude (bandes d')..... 362

	Pages
alvéole	137
âme, 8, 9, 13, 16, 21, 22, 135, 338, 341,	382
âmes (amélioration des)	193, 242
âme (de bobine), 50-51, 88, 89, 90, 132,	193
amélioration de la basse fréquence	265-270
amélioration des noyaux magnétiques	193
amélioration de la réception,	262-265
ammoniac	173
amorçage	305, 306
amortissement	73-74, 179
ampère	34
AMPÈRE (André), 34, 135, 278, 382, 393,	396
ampèremètre	48, 60
ampli	153, 224
ampli HF et ampli BF	227
ampli de puissance	227
amplification locale	270
amplification de tension,	153-157, 227
amplification (étage d')	153, 213
amplificatrice	153-157
amplitude (modulation d'),	198-203
anacycliques (mots)	338
anaglyphes	335
analogie, 10, 12, 164, 174, 183, 235, 264,	301
analogies fonctionnelles	382
analogie formelle, 93, 106, 115, 125, 301,	341
analogies mécaniques	305
analyse interlignée	285
analyse des opérations	373
analyseurs différentiels	375
anarchie	116
Anciens	16, 17
âne de Buridan	213
anecdotes profitables, 6, 107, 116, 120, 135, 164, 277, 317,	348-349
anode	139, 293
anode accélératrice, 296, 297, 310, 311,	333
anode collectrice	297
anomalies de propagation	123-128
antenne (excitation d'une)	112-113
antenne (fréquence propre d'une),	114-115, 117
antenne (puissance d')	119
antenne (réglage d'une)	117
antenne accordée	245
antennes d'auto	235
antenne directive, 118, 245, 344-	345
antenne émettrice, 108, 110, 114, 279, 344-345,	396
antenne extérieure	245
antenne horizontale	118
antenne réceptrice, 226, 245, 344-	345
anthropocentrisme	338
anthropomorphisme	17
anti-amplification	268, 351
anticipations	381
antifading	261-263
antiphrase	222
antirésonnant (circuit)	68
apériodicité	189
à plat	234
apparences sensorielles, 8-9, 13, 16,	19
appel (cadran d')	380
APPLETON (Edward), 125, 339,	397
applications guerrières, 319, 340-341, 349, 361,	378
Arabes	369
ARAGO (François)	393
arc chantant	106
arc électrique	90
ARCHIMÈDE	17, 98
à rebrousse-poil, 216, 219, 266,	313
argile	154
ARISTOTE	10, 14
arithmétique	254
arithmétique binaire	370
arithmétique opératoire	369
arithmomanie	249
armatures	41
arpentage	18
arrêt (point d'), 327, 330, 333, 356,	357
arriérés (peuples)	368
arrivée	7, 195
Arsène Lupin	279
arts	112
artisans de la radio, 106, 168, 394, 396-	397
arwo	144
ascenseur	123
asdic	192, 339
à son image	186, 379
asservissement	116, 360
asservissement automatique	345
assourdissement	262
astrologie	24
astronomie	291, 377, 387
astuces	234
asynchrones (moteurs)	354
atmosphère gazeuse	144, 292, 331
atmosphère gazeuse (redresseur à)	144

Pages

atomes, 8, 9, 11, 31, 32, 138, 141, 172, 192
Atomes (Revue) 130, 368
atomique (énergie), 8, 15, 18, 116, 385, 388
atomique (horloge) 173
atomique (science) 5, 8, 18
attaque (tension d') 153
atterrissage (altimètre d') 348
atterrissage sans visibilité, 360, 362- 363
attraction électrique, 332, 390, 394
audible 280
audition 180, 220
audition au casque 214
audition de disques ... 244, 265, 270
autodestruction 349
automatisme, 260, 340, 345, 360, 378
automobiles, 123, 228, 235, 236, 380
autonomie 385, 387
auto-oscillant (système) 354
autorité 384, 388
avance (en quadrature en) .. 39- 40
aveugles 319
avions, 116, 317, 340, 341, 346, 348, 349, 360-363, 375, 377, 388
avion-mère 363
avions-robots ... 338, 360, 363- 364
avoir 14
avoir de la chance 386

B

BABBADGE (Charles), 369, 373, 396
baguettisants 24
BAIRD (John Logie) ... 277, 335, 397
BAIRE (René) 135
bakélite 154, 189
balayage électronique 279, 306
balayage-image 306, 333
balayage-ligne 306, 333
balayage perpendiculaire 309
balayage-radar 345
balayage-trame 306, 333
balisage 361
balistique, 340, 345, 348, 373, 376
balivernes, 24, 107, 116, 120, 189, 373, 386
bancs de poissons 193
bande (filtre de) 76
bandes d'altitude 362
bande de fréquences, 75, 183, 189, 240, 259, 271
bandes métalliques de brouillage. 340
bande de modulation 271, 273

Pages

bande passante, 175, 259, 275, 314
bandes perforées 369, 373
banquises 193, 339
barbarie 341
BARKHAUSEN (H.) 302, 353
BARTHÉLEMY (René), 283, 284, 299, 309, 313, 314, 318, 397
baryum (platinocyanure de) 334
baryum-strontium 140- 141
BARZIN (Marcel) 385
bascule (jeu de) 359
base deux 370- 373
base dix 369- 370
base douze 370
base onze 370
base de temps 306
basse fréquence 162
basse fréquence (amélioration de la) 265- 270
battage 106, 107, 220, 324
battements, 129, 248, 275, 347, 348
batterie d'auto ... 26, 27-28, 30, 85
BAUER (Edmond) 17, 385
béatitude 382
BECQUEREL (Edmond) 135, 396
BEETHOVEN (Ludwig Van) 287
behaviorisme 381
BELIN (Edouard) 278, 397
BELL (Graham) 7, 186, 396
Bell Telephone Laboratories 223
BERGER (Pierre) 324
Berlin (pont aérien de) 363
BERNARD (Claude) 23, 135
BERNARDIN DE SAINT-PIERRE (Jacques-Henri) 125
BERTHELOT (Daniel) 107
BERTHELOT (Marcelin) 135
BERTHOLLET (Claude-Louis) ... 135
BERTRAND (Alexis) 382
besoin exagéré de certitude 252
béton armé 245
BF 162
Bible 312, 319
BICHAT (Xavier) 135
bichrome (télévision) 335
bien dire 353
bien loin (cela ne mène pas) 12
bigrille 255
Bikini 319, 363
biologie, 8, 9, 12, 22, 23, 165, 179, 278, 279, 284, 294, 369- 370, 379- 384
BIOT (Jean-Baptiste) 393
BLANCHÉ (Robert) 13, 387
blindage par grille 252
blindage métallique 236

	Pages
blindée (descente)	245
blindées (liaisons)	240
blocage, 83, 326, 332, 359,	366
Bloch (Eugène), 357-359,	397
Blondel (André)	145
bluff	116
bobards, 24, 107, 116, 120, 189, 373,	386
bobine, 44-	45
bobines d'accouplement	62
bobine d'antenne	117
bobine d'induction, 94,	95
bobine vibrante	188
Boileau	353
bombardements	340
bon sens, 13, 55, 86, 104, 131, 198, 238, 271, 290, 291, 359, 384,	391
bon vivant	242
Bone (Harry)	384
bonnet blanc ou blanc bonnet	240
Borel (Emile)	389
Bossuet	12
bouché (temps), 193, 339, 340, 346,	362
bouchon (circuit)	68
bouge-tombe	368
Bouglé (Célestin)	360
Bouillaud (Jacques)	186
boulier	368
boussole	45
bouton-pression	12
bouton de sélectivité	274
bouton à tourner	234
Braille (Louis)	319
Branly (Edouard), 13, 104, 106-107, 220, 324,	396
Braun (Ferdinand), 294-295,	397
Bravais (Auguste)	135
bretelles (récepteur à)	234
bricolage, 98, 106-107, 135, 138, 143, 171, 186, 191, 278,	338
bricoleur génial	135
brillance, 307, 308,	341
Brillouin (Léon), 368, 369, 373,	379
Brillouin (Marcel)	107
briques et ciment	228
Broca (André)	107
broche	137
brouillage, 259, 271, 274,	340
Broussais	135
bruits, 179, 183,	189
bruit de fond, 130,	206
brume, 193, 339, 340, 346,	362
Brunschvicg (Léon), 5, 12, 13, 135,	385
Buffon, 135,	370
Buridan (âne de)	213
Buridan (Jean)	213
burin graveur, 184-185,	186
Busch (H.)	397
Bush (Vannemar), 376,	397
byzantines (discussions)	250

C

Cabanis (Georges)	135
cacahuète (tube)	137
cadet des soucis (le)	135
cadran d'appel	380
cadre, 110-111, 226, 245,	361
Cady (Walter G.), 174, 175,	397
calcium (tungstate de)	334
calcul digital	368
calcul électronique	369
calcul infinitésimal, 5,	95
calcul à la main, 374,	376
calcul mécanique	369
calcul des probabilités, 23,	337
calculs de tête	338
calculatrices (machines), 365, 373-	378
calembours, 14, 132,	385
calque	183
Calzecchi-Onesti (Thémistocle), 107,	396
caméra, 307,	312
canevas, 164, 196,	197
canon à électrons, 294-	297
Cantor (Georg)	116
capacité, 41, 71,	72
capacité et fréquence, 72,	83
capce	262
capitalisme, 116,	271
capitulations, 279,	369
CAPS	262
caractères d'imprimerie	164
caractéristique (coude de)	218
caractéristique (courbure de), 214,	218
caractéristique dynamique, 153,	216
caractéristique de grille	214
caractéristique statique, 151-153, 155, 217, 221,	357
carbone	223
carborundum	220
Carnot (Sadi), 23,	135
cartes perforées	373
cartes postales animées	318

	Pages
casque (audition au)	214
cataclysmes	5, 341
catalogues de lampes	249
cathodes	141, 293
cathode à oxydes	141
cathode de Wehnelt	140-141
cathodique d'accord (indicateur),	263-264
cathodiques (rayons)	295
cathodique (trèfle)	265
cathodique (tube), 21, 295, 333,	335, 336, 397
cathodyne (déphaseur)	332
CAUCHY (Augustin)	135, 368
cause (en connaissance de)	386
cause (*Voir* raison).	
CAV	261-263
cavité à résonance	352-354
cavité résonnante	352-354
céavé	262
cela ne mène pas bien loin	12
cela va sans dire	347
cellules de filtre	77, 170
cellules en Π	80-81
cellule photoélectrique (*Voir* photocellule).	
cellules en T	80-81
censure	184
centrale électrique	163
certitude (besoin exagéré de)	252
cerveaux électroniques, 365,	373-378, 397
cerveau de Jupiter	378
césium	293
c'est un fait	131
c'était écrit	303
chaîne d'amplification	240
chaîne d'émissions	184
chaleur, 10, 17, 19, 26, 73, 74,	85, 87, 119, 124, 133, 135, 137, 141, 159, 231, 262, 376, 390, 396
chambre de graphite	182
champs à l'arrivée	122-123
champ électrique alternatif	37
champ électrique constant, 26,	27, 29, 289, 390
champ électrique oscillant	37
champ électromagnétique, 8, 99,	101, 386, 391
champ magnétique alternatif	48
champ magnétique constant, 46-	48, 289, 354, 390, 394
champ magnétique oscillant	48
champ magnétique terrestre, 46-	47, 127
champs sonores	280
chance	386
changement d'onde	243-244
changeuse de fréquence	255-262
charge d'espace	142, 158, 308
chargeur	234
charivari	274
Charybde et Scylla	274
chasse d'eau	149
chauffage, 90, 139, 166, 258,	315, 333
chauffage direct	141, 229, 234
chauffage indirect, 141, 229, 231,	235
chauffante (résistance)	231
chauvinisme	107, 116
chef d'orchestre	174, 190
chercheur	220
chercheurs de points sensibles	221
cheveux	27, 223
chiens écrasés	272
CHILOWSKY (Constantin)	192
chinoiseries	246
chocs d'électrons	291-292
chou vert ou vert chou	240
chutrice (résistance)	231
CI	297-298
cibles	341, 344, 348
ciment et briques	228
cinéma chez soi	280, 317
cinéma en pantoufles	317
cinéma muet	277
cinéma sonore, 116, 180, 183,	185, 205, 278, 284-285, 317, 335, 336
circonférence	291
circonlocutions	309, 352
circuit (en court-)	30, 46, 58
circuit d'accord	258, 259
circuit antirésonnant	68
circuit de balayage	355
circuit bouchon	68
circuit (oscillant) fermé	108-109
circuit de graduation	355
circuit d'hétérodyne	258, 259
circuit inducteur	58
circuit induit	*58*
circuit oscillant, 70-71, 72, 90-	94, 396
circuit oscillant (commande par),	158, 175
circuit (oscillant) ouvert, 94, 95,	108-109
circuit-pilote	355
circuit résonnant	67
circuit de sélection	355
circulation	165, 182

	Pages
citations littéraires	353
CL	297
CLAIRAUT (Alexis)	135
clapet	143
claquage d'isolant	66
claviers	190
clés	190
C. O.	71
coefficient d'amplification	152, 155
cœur (*Voir* affectivité).	
cœur (logique du)	386
cœur (palpitations du)	182
COGNACQ-JAY (Marie-Louise)	316
cohérence expérimentale	384
cohérence logique	384
cohéreur	106-107, 220, 222, 396
coïncidences	337
collecteur d'ondes	226, 245
COLLIN (Rémy)	385
collisions aériennes	346
collisions maritimes	193, 339
colonne Vendôme	284
commande (électrode de)	146-147
commande automatique	261-263
commande par circuit oscillant,	158, 175
commande de grille	201-203
commande de plaque	198-200
commande de puissance	269
commande par quartz	174
commande de tonalité	268-270
commande unique, 244, 257, 259-260,	261
commercial (sens)	271
commutateur	69
commutateur tournant, 35, 48, 58,	144
commutatrice	144, 235
compagnons du foyer	355
comparaison, 10, 40, 75, 143, 164, 174, 183, 235, 267, 303,	313
compensation	268
complications, 310, 312, 329, 336, 349,	352
comportement	9, 381, 386
composante alternative	78, 81
composante continue	78, 81
compréhension	159, 321
compromis	270-274
comptabilité	373
compte profits et pertes	210
compteur d'électricité	68
COMPTON (Arthur)	375, 378
COMTE (Auguste)	386
concession au passé	216
concret, 5, 9, 13, 14, 15, 22, 26, 32, 35, 62, 85, 86, 97, 107, 124, 130, 131, 133,	388
condensateur	41, 259, 396
condensateur (représentation schématique)	42
condensateur d'antenne	117
condensateur électrolytique	42, 237
condensateur-image	297, 298
condensateur-ligne	297, 298
condensateur shunté	237, 366
condensateur variable	42-43, 117
conditions	315
conditions initiales	10, 373
conditions d'optimum	262
conditionnement	380
CONDORCET	23
conducteurs à sens unique, 143-144, 209,	220
conductivité unilatérale, 143-144, 209,	220
cône (de haut-parleur)	189
conférences	274
confusions	315, 384, 385
connaissance de cause (en)	386
conséquence	10, 11, 384
conservation de l'énergie	74, 85
conservation de la matière	116
conserves	187
conserve (images de)	278
conserve (musique de)	187
consommation d'énergie, 85, 87, 88,	89
consonnes	179, 183
constructeurs	249, 260, 317
contacts (mauvais)	181
contact (ustensiles à)	222
contact métal-cristal	220
contacter la Lune	342
contacteur	243-245, 270
continu (secteur), 25, 228, 230,	395
contradiction	270, 384, 387
« contradiction » (*Voir* matérialisme dialectique).	
contrainte matérielle	388
contrastes sonores	206
contre-réaction	266-268
contresens	14, 149, 265
control	149, 265
contrôle métallurgique	193
conversation	7, 178-179
conversations téléphoniques	185
convertisseur (à vapeur de mercure)	144, 166
cordes vibrantes	49, 106
cordes vocales	179, 183

	Pages
corps ferromagnétiques	51
cosmopolitisme	116
COTTON (Aimé)	107
corps solides	8, 17
cote mal taillée	204, 274
couche d'Heaviside, 124-129, 132,	397
coude de caractéristique	218
COUDERC (Paul)	385
COUFFIGNAL (Louis), 368, 369, 372, 373,	397
couleurs (télévision en), 312, 334-335,	397
COULOMB (Charles), 135, 290, 393,	394
coup de poing	303
couplage	55
couplage grille-plaque, 157-160,	255
couplage lâche	55, 272-274
couplage normal	274
couplage serré	55, 159, 272-274
coupures	30, 234
courants (mise en forme des), 355-	357
courant (sens du)	139, 146
courant alternatif, 9, 20, 62, 390,	395
courant de chauffage, 139, 229, 231, 234,	235
courant continu, 9, 20, 34, 38, 75, 390, 394,	396
courant crénelé	356
courant dewatté	68, 90
courant d'eau	105
courant électrique	33, 130, 394
courant exponentiel	355
courant-grille	214
courant microphonique	183, 196
courant ondulé	198
courant de parole	183
courant-plaque	139-140, 148
courant rectangulaire	355-357
courant de saturation, 142, 214, 332, 355, 366,	368
courant-son (traducteur)	182
courant triangulaire	355
courant variable	34
courbes (réseaux de)	142, 150-151
courbes de réponse	272
courbure de caractéristique, 214,	218
courbure des surfaces	220
courbure de l'Univers, 8, 9, 17, 18,	19
courrier commercial	185
court-circuit (en)	30, 46, 48, 58
craquelage	308
créationnisme	370
crédulité	96, 107, 337
crêtes	356
crête (puissance de)	342
cristal (détecteur à)	219-222
cristal de roche	171
CROOKES (William)	294, 334, 396
CROS (Charles)	186
Croix d'Hins	118
croyances	13, 382
cuisson	319
cuistrerie	179
cuivre	192
culot	137
culture générale, 6, 22, 159, 171, 179-180, 181, 183, 198, 247, 278, 281, 360, 387,	392
cupidité capitaliste	271
cuproxyde	144, 220, 222, 234
cupule	263, 264
CURIE (Jacques), 171-172, 192,	396
CURIE (Marie)	107
CURIE (Pierre), 135, 171-172, 192,	396
curseur	138-139
cut off	327
CUVIER (Georges)	135
cybernétique	382-383
cycle	20, 36-37
cyclothymie	386

D

	Pages
D'ALEMBERT	135
DALTON (John)	11
DANTZIG (Tobias)	369, 370, 385
DARBOUX (Gaston)	135
DAVID (Pierre)	123, 381
DAVY (Humphry)	393
DAUVILLIER (Alexandre)	22, 385
D. C. A.	345
déblaiement du terrain	206
débarquement de Normandie	361
DEBRAUX (Emile)	284
DE BROGLIE (Louis), 15, 106, 382, 385, 392-	394
DE BROGLIE (Maurice)	15-16, 382
DE BROGLIE (Paul)	382
débutants	216
décadrage	287
décalage	204
décalcomanie	182
DECAUX (Bernard)	357
décharge disruptive	95
décharge oscillante	91
décision	309, 338, 382
découpage des bandes	271

	Pages
défaitisme	254
définition (haute)	285
définition de la télétransmission.	284
DE FOREST	147, 324, 397
défrichement	226
dégénérescence (stigmate de)	249
DELAGE (Yves)	135
délestage	30, 234
démodulation	194, 195, 196
démonstratif (raisonnement),	10, 384
démultiplicateur de fréquence	354
densité de l'énergie	87, 88
densité d'enroulement	47-48
dents de scie, 303, 305, 306, 332,	359
départ	7, 195
déphaseur cathodyne	332
dérivation (en), 48, 68, 259, 308,	366
désamorçage	305
DESARGUES (Gérard)	135
DESCARTES (René)	135, 388
descente blindée	245
descente à la Terre	118
dessins industriels (décalquage des)	182
« destin »	382
destructions atomiques	319
détecteur à cristal	219-222
détecteur électrolytique	106
détecteur-radar	349
détection, 194, 195, 196, 197, 208-	224
détection-diode	209-214
détection linéaire	211, 221
détection parabolique	221
détection sous-marine	192
détection-triode-grille	214-215
détection-triode-plaque	215-219
détectrice	209-214
déterminisme	8, 22, 341, 384-388
détours	309
deuzaines	372
déviation (électrodes de)	264
déviation électrique	290
déviation des électrons, 289, 291,	295
déviation magnétique	291
dévolteur	62
déwatté (courant)	68, 90
dextérité	319
diamant	192
diapason	49, 177, 179
dictateurs	116
Dieu, 186, 197, 270, 370, 373,	381
différée (émission)	184
diffraction	23, 125, 193, 341
diffuseur (de haut-parleur)	189
diflekk-shœn	295
dilemme	271, 295
diode, 136, 138, 139, 144, 249,	397
diode (détection-)	209-214
diode biplaque	167-169, 235, 249
diode redresseuse	144-147
diode-triode	214, 249
dipôle d'émission	317
DIRAC (Paul)	385
direct (effet piézoélectrique)	172
directe (télévision)	278
direction du balayage	318
direction (gouverne de)	364
directivité	245, 344-345, 361
discussions byzantines	250
dispositif filtreur	269
disque (enregistrement sur), 184, 186-	187
disque de Nipkow	278-279, 396
disques (audition de), 244, 265,	270
dissymétrie (*Voir* dyssymétrie).	
distorsion (*Voir* altération).	
D'OCAGNE (Maurice)	368
documentation	373, 386
doigts	370
doigt de Dieu	370
dominicains	107, 382
données initiales	10, 373
DOPPLER (Christian)	348
double périodicité	101-102, 110
double-phaéton	209
double triode	330
doublet d'émission	316, 317
doubleur de tension	325
dressage	360, 380
DUBARLE (H. D.)	382
DUCLAUX (Jacques)	5, 15, 16
DUMAS (Jean-Baptiste)	135
DUPRÉ (Ernest)	337
DUSHMAN (S.)	140
DUSSAUD (François)	186, 396
dynamisme des techniciens	334
dynamo	181
dynamo (microphone-)	181-182
dyssymétrie	250

E

E	77
eau de Seltz	302
ébénisterie	234, 334
éblouissement	262
ECCLES (W. H.), 221, 365, 368,	370
échanges d'énergie	90-94
échecs (jeu d')	378
échelle des fréquences	395

Pages

échelle humaine 389
écho 190, 339, 341, 342
éclairement 307, 308, 341
éclateur 95, 96
économie, 188, 199, 234, 258, 263, 335
écoulement des électrons ... 34, 48
écouteur, 162, 187, 214, 215, 219, 220, 222
écran de télévision ... 295, 301, 334
écrêtage des oscillations électroniques 335-357
écriture Braille 319
EDDINGTON (Arthur) ... 13, 14, 385
EDISON (Thomas-Alva), 13, 135-136, 186, 334
éducables (machines) 378, 381
éducation 360, 378, 380, 381
effaçage du son 185
effet (*Voir* conséquence).
effet Doppler-Fizeau 348
effet nocturne 318
effet photoélectrique, 171-174, 375, 396
effet piézoélectrique 172
Egée (mer) 303
Eglise (latin d') 120
EIFFEL (Gustave) 316, 317
EINSTEIN (Albert), 17, 18, 24, 120, 124, 292, 385, 397
électrification du phonographe, 186-187
électro 188
électroacoustique 177, 183
électroaimant ... 184, 185, 186, 188
électrode 137
électrode de commande 146-147
électrodes de déviation 264
électroluminescence 294, 334
électrolyse 42, 73, 135, 144, 220
électromagnétique (cavité) 352
électromagnétisme 24, 186
électromécanique (enregistrement), ... 184-185
électron, 8, 9, 11, 14, 19-21, 22, 27, 31, 34, 38, 70, 73, 91-92, 125, 130, 144, 278, 287-294, 301, 333, 359, 387, 390-391, 396, 397
électrons (déviation des), 289, 291, 295
électrons (multiplicateur d') 312
électrons (propriétés ondulatoires des) 333
électrons libres 133-134, 389
électrons secondaires 252, 308

Pages

électronique, 5, 73, 292, 379, 388-392
électroniques (cerveaux), 365, 373-378
électronique (musique) 189-191
électrophone 187
électrotechnique, 20, 140, 163, 242, 302, 354
élévateur de fréquence 354
ELSTER (Julius) 292, 397
emberlificotage 209
embêtements 272
embouchure (de microphone) ... 188
émetteurs, 165, 167, 176, 200-201, 208, 228, 243-245
émetteurs (ondes moyennes et petites ondes) 120
émetteurs (portée des) 121, 122
émetteurs (puissance des) 120
émetteur d'ondes (*Voir* antenne et aérien).
émetteur-radar 344, 345, 349
émetteurs-radio (structure des), 197, 200-201
émetteurs de télévision, 279, 281, 315-317
émetteur ultrasonore 192
émission différée 184
émission lumineuse 9
émission thermoélectronique, 137-140, 289, 295, 390, 397
emmagasinage 374
empiffrerie 262
empirisme (*Voir* bricolage).
en avance (en quadrature), 39-40, 204
en connaissance de cause 386
en court-circuit 30, 46, 58
en dérivation, 48, 68, 259, 308, 366
en direct 227
enduits fluorescents 334
enfoncer une fiche 234
en opposition 39, 265, 267
en parallèle ... 48, 68, 259, 308, 366
en phase 39, 204
en quadrature en avance, 39-40, 204
en quadrature en retard .. 52-53, 204
en retard (en quadrature), 52-53, 204
en série 48, 62, 259
en tension 48, 62, 259
encombrement de l' « éther », 120, 174, 272
encombrement du métro ... 272-273
énergie, 8, 18, 22, 47, 61, 73, 74, 84-94, 99, 149, 163, 278, 294
énergie (conservation de l') .. 74, 85

	Pages
énergie (densité de l')	87
énergie (formes de l')	85
énergie (échanges d')	90-94
énergie (localisation de l'),	84-88, 396
énergie atomique,	8, 15, 18, 116, 385, 388
énergie cinétique	93
énergie électrique	86, 92
énergie emmagasinée,	84-85, 86, 88
énergie intranucléaire,	8, 15, 18, 116, 385, 388
énergie magnétique	88, 92
énergie potentielle	93
énergie et puissance	163
énergie subatomique,	8, 15, 18, 116, 385, 388
ENIAC	377, 379
Eniwetok	319
énormités	353
enregistrement électromécanique,	184-185, 374
enregistrement du son	184-185
enregistreur-radar	347, 349
entrechats	352
entrée	77
entrée des ports	193
entrelacement,	285, 313, 314, 318, 397
entretien électrique (des diapasons)	179
entretien des oscillations,	74, 157-160, 175
ère actuelle	342
ergot	137
ériscope	315
erreur de pôles	234
esclavage	116
esclave (station)	361
ÈSOPE	132
espace (l')	389
espace (charge d')	142, 158
espace (résonance d')	352
espace vital	340, 381
esprit (hostilité contre l')	386-388
esprit (infirmité de l')	387
esprit (puissance de l')	387
esprit humain,	277, 324, 359, 368, 382, 387
esprit partisan	116
esprit scientifique,	16, 37, 98, 112, 116, 131, 135, 142, 171, 198, 199, 360, 384-388
essentiel (l'),	135, 149, 197, 199, 209, 210, 212, 217, 225, 239, 249, 278, 282, 382, 387, 391
étage d'amplification	153, 213
étage séparateur	326
étain	223
étalon de fréquence	175
état neutre	27
Etats-Unis,	135, 173, 367, 375-378, 382, 394
éternité	192, 303, 369
éteuf	235
« éther »,	120, 174, 189, 272, 324
étincelles,	70, 90, 95, 96, 105, 107, 129
être	14
être libre	386
EUCLIDE	17, 18
EULER (Leonhart)	368
évanouissement	129, 262
évaporation	12, 138
évidence	12, 86, 164, 198, 291
exagéré de certitude (besoin)	252
excitation (d'un microphone)	197
excitation (d'une antenne)	112-113
exercice d'assouplissement	216
exigence d'ordre	384
expérience personnelle	281
explication,	7, 10-12, 16, 22-24, 223, 389
exploration de l'image	281
explosions (propagation des)	377
extase	387
extinction	305
extracourant de fermeture	89
extracourant de rupture	90

F

	Pages
F	42
facteur-amplitude	203, 205, 207
facteur-fréquence	203, 205, 207
fading	129, 262
faillite	319
faillite du langage	353
fait (c'est un)	131
fait (situation de)	272
faits humains	5, 7, 8, 21, 22, 390
falsification de l'histoire,	107, 116, 135, 220
famille de courbes	150-151
farad	42
FARADAY (Michael),	42, 51, 86, 95, 106, 110, 134, 137, 393, 396
FARIGOULE (Louis, dit Jules ROMAINS)	209
fatalisme	341, 384
fatuité	107, 120, 175, 327, 391
FAURE (Elie)	387

	Pages
FEDDERSEN (Berend-Wilhelm), 70, 104,	396
FERGUSON (D. F.)	372
FERMAT (Pierre DE)	135
ferromagnétiques (corps)	51
FESSARD (Alfred)	381
fiche anthropométrique de l'électron 288-289,	350
fiche à enfoncer	234
fidéisme	370
fidélité 189, 218,	247
fifrelin	288
fignolages, 227, 258, 265, 270,	299
figure de rhétorique	246
filament	139
fil enregistreur	185
film (enregistrement sur) 184,	374
filtrage aigu	75
filtrage sélectif	75
filtre	75
filtre de bande	76
filtre passe-bande	76
filtre passe-bas	78
filtre passe-haut	79
filtreur (dispositif)	263
« fin »	283
finalisme 125,	254
finesse d'analyse	314
finesse du spot 284,	310
fioritures, 24, 107, 116, 120, 189, 277, 282,	299
FIZEAU (Hippolyte) 100,	348
FLEMING (John-Ambroise), 136, 137, 145,	397
flip	372
flip-flop 367, 368,	369
flop	372
fluorescence, 263, 281, 288, 294, 319, 334,	394
fluorescence cathodique 294,	395
focalisation électrique	333
focalisation magnétique	333
folle du logis	277
fond (bruit de) 130,	206
fonds sous-marins	193
fond (toiles de) 8, 16-24,	164
fontaines lumineuses	280
force de Coulomb	290
force de Laplace	291
force musculaire	17
FOREST (Lee DE) 147, 324,	397
formes de l'énergie	85
FORTRAT (René)	5
fous (histoire de)	164
FOUCAULT (Léon)	135
fouillis	276

	Pages
FOURIER (Joseph), 135, 168, 202, 203, 209,	396
fourmillement 8, 19,	20
foyer (compagnons du)	355
fraîche (musique)	187
Français moyen, 5, 234, 243, 277, 278, 330, 355, 368,	391
FRANCE (Anatole) 31, 277,	387
FRANCO (Francisco)	116
freinage des électrons	312
fréquence 20, 37,	395
fréquence (abaisseur de)	354
fréquences (bande de)	75
fréquence (basse)	162
fréquence (changeuse de) 255-	262
fréquence (démultiplicateur de)	354
fréquences (échelle des)	395
fréquence (élévateur de) 173,	354
fréquence (étalon de)	175
fréquence (haute) 70,	98
fréquence (modulation de), 204-205,	271
fréquence (multiplicateur de), 173,	354
fréquence (séparateur de)	330
fréquence et capacité 72,	83
fréquence critique	124
fréquence élastique, 162, 177-178,	192
fréquence électromagnétique	162
fréquences des émetteurs	120
fréquence-image	275
fréquence d'impulsion 344,	372
fréquence et inductance 72,	82
fréquence de ligne	285
fréquence et longueur d'onde, 103,	120
fréquence mécanique, 162, 177-178,	192
fréquence de modulation	285
fréquence moyenne	240
fréquence musicale et fréquence sonore 162, 177-178,	272
fréquence nulle	75
fréquence porteuse 240,	343
fréquence propre, 70, 72, 114, 173,	396
fréquence propre des atomes	192
fréquence de récurrence	344
fréquence de relaxation	306
fréquence de répétition	344
fréquence et self-induction 72,	82
fréquence sonore et fréquence musicale 166, 177-178,	272
fréquence ultrasonore	192
FRESNEL (Augustin)	135
froid	262

	Pages
fuites, 59, 60, 81, 82, 143, 358,	366
fusée de proximité..... 348-	349
fusillage	137
futilités, 24, 107, 116, 120, 189, 277, 282, 299,	350

G

G	37
gadgets..... 318,	376
galène	220
galène (poste à).....	222
GALILÉE	17
GALOIS (Evariste)	135
GALTON (Francis)	192
GALVANI (Luiggi)	393
GAMOV (G.).....	116
gauss	47
GAUSS (Karl-Friedrich) 47,	368
gaz, 8, 18-20, 135, 144, 291-292, 303, 331, 339,	396
gaz ammoniac.....	173
GC..... 251-253,	254
GE..... 251-	253
GEITEL (Hans-Friedrich).. 292,	397
générateur d'impulsions.....	343
générateur-synchro	315
GERHARDT (Charles).....	135
germanium	223
GEIGER (P. H.).....	144
génération spontanée	84
génial bricoleur	135
Génissiat	163
géométrie..... 16, 17, 24,	390
gérance	378
geste qu'il faut (le).....	360
giga.....	37
GILBERT (William)	393
GIVELET (A.).....	189
go (tout de).....	288
GOBLOT (Edmond)..... 360,	386
GŒBBELS (Joseph).....	116
GOLDBERG.....	190
gomme laque.....	154
« gonio ».....	361
gouverne de direction.....	364
gouverne de profondeur.....	364
GP 250, 251,	253
grand écran (télévision sur), 335-	336
grand public, 5, 234, 243, 277, 278, 330, 355, 368,	391
Grande-Bretagne 340,	394
grandes ondes (*Voir* ondes longues).	
graphite 154,	182

	Pages
grattement des électrons.....	130
grattouillage.....	220
gravitation..... 9, 17-18,	24
gravure..... 196,	197
gravure de disque.....	184
grec, 158, 246, 250, 282, 305, 338,	378
grille..... 146, 148, 150, 253,	397
« grille »..... 282-283, 291,	313
grille (caractéristique de).....	214
grille (commande de)..... 201-	203
grille accélératrice.....	252
grille d'arrêt.....	252
grille-cathode	252
grille-écran..... 252,	397
grille-frein.....	252
grille-plaque (couplage)... 157-	160
grille principale.....	252
grille de Wehnelt, 323-324, 333,	397
GRIMALDI	370
GRONDAHL (L. O.).....	144
GT	254
GUERICKE (Otto DE).....	394
guerres..... 340-341,	375
guerrières (applications), 319, 340-341, 349, 361,	378
GUILLAUME (Paul)..... 13,	21
guimbarde	209
GUTTON (Henri)	354

H

H	50
HAMMOND	189
hara-kiri	349
harmonie préétablie, 125, 289, 308,	387
harmoniques..... 268,	312
haut-parleur..... 21, 187-189,	194
haut-parleur-moteur	181
haute définition..... 285, 317,	318
haute fréquence.... 70, 98, 165,	396
haute-tension 32,	140
hauteur d'onde.....	24
hauteur des sons (*Voir* fréquence sonore).	
HEAVISIDE (Oliver), 124-129, 132,	397
HEGEL (Friedrich)..... 14,	116
HEISENBERG (Werner)..... 23,	385
hélice..... 45, 297,	349
HELMHOLTZ (Hermann von)...	204
henry	50
HENRY (Joseph)..... 50, 51,	396
HERMITE (Charles)	135

	Pages
héros	220
hertz (*Voir* cycle).	
HERTZ (Heinrich), 94, 95, 98, 99, 102, 104-108, 110, 115, 116, 134, 278, 288, 292-294, 334, 338-339, 352, 354, 388, 394,	396
hétérodyne	246
hétérodyne (circuit d')	258, 259
hexode	254
HF	165
Hindous	369
histoire	307, 338, 369, 392-397
histoire (cours de l')	216, 219
histoire (falsification de l'), 107, 116, 135,	220
histoire ancienne	222, 251, 279
histoire contemporaine	222
histoire de fous	164
HITLER (Adolf)	116
HITTORF (Wilhelm)	295, 396
homme de la rue, 5, 234, 243, 277, 278, 330, 355, 368,	391
honnête homme	390
horloger	303
horloge à ammoniac	173
horloge atomique	173
horreur du vide	131
hostilité contre la science	384-388
HOUDAR DE LA MOTTE (Antoine).	21
HT	140
HUGHES (David)	182, 396
huitaines	372
HULL (Albert W.), 251, 254, 354,	397
humanité	15, 135, 363, 381, 382
HUMBERT (Pierre)	385
HUND (A.)	173, 175
HUXLEY (Julian)	116
HUYGENS (Christian)	98, 303
hydraulique	302
hyperbole	361-363
hyperfréquence, 173, 281, 340, 349-	354
hypnotisme	337

I

icebergs	193, 339
iconoscope	21, 306-310, 397
idéologies	116
IFF	346
ignorance, 116, 120, 132, 135, 174-175, 190, 301, 327, 377, 384,	386
il n'y a qu'à	281
il va sans dire	347
illusions, 16, 19, 21, 22, 360, 384,	391
image	310, 311
image (à son)	186, 379
images (incorporation des),	279, 280
images (sonorisation des)	278
images de conserve	278
image détaillée	164, 280
image-orthicon	311
images de télévision	333-336
images vivantes	318
imagination	277, 297, 301
impédance	83
impressions lumineuses (persistance des),	281, 284
imprimerie (caractères d')	164
impulsion	205, 340, 366
impulsions (modulation d'),	205-207
inanition	262
INAUDI (Jacques)	377-378
incidents techniques	184
incorporation des images	279, 280
incorporation des sons, 177, 194, 200-201, 205, 207,	246
incuriosité	16, 132
indicateur d'accord	262
indicateur cathodique d'accord,	263-264
indicateur panoramique	346
indicateur-radar	344-345
indicateur visuel d'accord,	263-264
indignation	186
individualisme anarchique	116
inductance	49, 71, 72
inductance et fréquence	72, 82
inducteur (circuit)	58
inductif (raisonnement)	11
induction électromagnétique	58
73, 160, 185, 186, 199, 236, 393,	396
induction (logique)	384
induction statique	58, 59
induit (circuit)	58
inepties, 37, 49, 55, 62, 84, 120, 130, 149, 174-175, 189, 262, 277, 288, 295, 317, 324, 337, 369, 373,	386
inertie, 8, 17, 38, 102, 108, 149, 287, 331,	389
infatuation, 107, 120, 175, 327,	387
infini	42, 75, 99, 132
infinie (période)	75
infirmité de l'esprit	387
influx nerveux	379
informations	274, 337, 386

	Pages
infranoir 318,	328
infrarouge	395
infrasons	180
ingénieurs du son.....	180
ingéniosité 313,	353
initiation	227
insertion des images..... 279,	280
insertion des sons, 177, 194, 200-201, 205, 207,	246
insouciance	384
instabilité du système nerveux..	386
installations domestiques, 25, 85, 119,	390
instruments d'optique	291
intégraphe cinématographique ..	375
intelligence (*Voir* perspicacité).	
intelligence des machines	373
intelligibilité de la parole, 183,	268
intensité (de courant)	34
intensité des sons (*Voir* puissance sonore)	
intention..... 309, 338,	382
internationales (réglementations), 119,	174
interprétations tendancieuses ...	337
interrupteur 30,	45
interruption	327
intuition..... 353,	384
inventeur de la radio.... 106-	107
inventions	135
inverse (effet piézoélectrique)...	172
invisibilité de l'électricité	32
ionisation 125,	127
ionosphère..... 125, 317, 339,	397
isolant..... 43, 81, 86,	132
isolant (claquage d')	66
isoscope	309
isotopes	388
Israël (péchés d')	230

J

JAFFE (Bernard)	135
JARRICOT (Jean)	24
JEANNE (René)	276
JEANS (James) 23,	385
jésuites	370
jet d'électrons..... 291-	295
jeu de bascule	359
jeu d'échecs	378
jeu de puzzle..... 228,	255
JORDAN 365, 368,	370
JOUAUST (Raymond).....	145
JOULE (James-Prescott)	396
Jourdain (Monsieur)..... 179,	234
journalistes, 181, 182, 199, 272-273,	301
Jupiter	378
JUSSIEU (Antoine-Laurent DE)..	135

K

k	37
KAPITZA (Pietr)	116
KELVIN (William)..... 71,	396
KENNELLY (Arthur-Edwin), 124, 127, 132,	397
keunnetrôle	265
keuttorf	327
kilo	37
KIRCHER (Athenasius).... 294,	394
klystron	353
Kominform	116
KORN (Arthur)..... 278,	397
Kremlin..... 116, 363, 368,	388
KURZ	353

L

LABÉRENNE (Paul)	385
labourage	281
lâche (couplage) 55, 272-	274
LAËNNEC (René)	135
LAFFAY (Jean)	120
LA FONTAINE (Jean de).....	239
LAGRANGE (Louis) 135,	370
lait (stérilisation du)	193
LALANDE (André)..... 387-	388
LAMARCK 135,	391
lame de quartz 172-	174
lampe amplificatrice..... 153-	157
lampe détectrice..... 209-	219
lampe modulatrice	199
lampe oscillatrice..... 157-	160
lampes de T. S. F. (*Voir* tubes électroniques).	
langage, 6, 17, 99, 131, 137, 199, 246, 307,	353
LANGEVIN (Paul), 15, 135, 192, 385,	389
LANGMUIR (Irving) 142, 145,	397
langue d'Esope (la)..... 132-	133
LA PALISSE (Jacques de)	270
LAPICQUE (Louis)	379
LAPLACE, 135, 278, 291, 393,	396
largeur d'onde	24
larynx	179
latin, 158, 199, 246, 271, 282, 338,	378

Pages

latin d'Eglise..... 120
LAVAL (Pierre) 338
LAVOISIER (Antoine-Laurent)... 135
LEBESGUE (Henri) 135
LEBLANC (Maurice) 279, 396
LE CHATELIER (Henry)..... 135
LECOMTE DU NOÜY (Pierre).... 385
lecteur électrique 186
lecteur de son 185
lecture au son..... 208, 319
LEE DE FOREST..... 147, 324, 397
légende de Branly, 106-107, 220, 324
LEGENDRE (Adrien-Marie) 135
LEIBNIZ (Gottfried-Wilhelm), 270, 370
LE NÔTRE (André) ....,..... 289
lentille de correction..... 336
lentille électronique, 297, 311, 312, 397
LENZ (Frédéric) 116, 396
LEPRINCE-RINGUET (Louis) 385
lettres, 112, 132-133, 180, 277, 307, 324, 338, 350, 353, 381, 382, 391
LEUBA (James H.)..... 381
liaison (organes de) 239- 243
liaison radioélectrique 195
liberté 385- 386
liberté d'expression 116, 388
libre arbitre 22, 386, 387
lignes impaires 285, 313
lignes paires 286, 313
LILLIE (Ralph-Stayner) 379
limite de recevabilité 123
linéaire (détection) 209, 221
lithium 293
littérature (*Voir* lettres).
LOBATCHEVSKY (Nicolas)..... 116
LIPPMANN (Gabriel) 172
localisation de l'énergie.. 84-88, 396
locomotives électriques.... 119, 136
locutions défectueuses, 36-37, 49, 55, 120, 174- 175
logique, 10, 11, 116, 209, 271, 288, 360, 382, 384, 387, 390
logique du cœur..... 386
lois, 10, 15, 71, 73, 135, 137, 140, 143, 156, 171, 173, 175, 259, 288, 290, 291, 359
loi de Kelvin 71
loi d'Ohm 73
loin (cela ne mène pas bien).. 12
loisirs 277
longueur d'onde 100, 178, 341
longueurs d'onde des émetteurs.. 120
longueur d'onde et fréquence, 103, 120

Pages

LORENTZ (Hendrick-Antoon), 291, 339, 389, 397
loupiote 137
lumière, 9, 12, 20, 21, 22, 23, 288, 291, 294, 317, 338, 348, 394, 395
LUMIÈRE (Auguste) 186
luminescence 294, 305
Lune 317, 342
lutte contre le temps..... 281

M

m 42
M 37
μ 42
MACH (Ernst) 384, 387
MACHIAVEL (Nicolas) 116
machins 318, 376
machines (intelligence des) 373
machines calculatrices, 365, 373- 378, 396, 397
machines éducables 378, 381
machines-outils 390
machinisme 375- 376
magnésium (sulfate de) 334
magnétisme, 46-48, 185, 289, 354, 390, 393
magnétophone 185, 374, 397
magnétron 353, 397
main 368
maître oscillateur, 173-175, 191, 397
malédiction 230
mamelles 281, 315
MARCONI (Giuglielmo), 106, 118, 339, 397
marées (prévision des) 377
mariage 308
MARICOURT (Pierre de)..... 393
marottes..... 288, 360, 387, 391
MARTENOT 189
MARTINVILLE (Léon SCOTT DE). 186
marxisme 116
« masses » 28
masse (mise à la), 77, 116, 140, 147, 188
masse (prise de)..... 77, 228
MASSON (Antoine-Philibert) ... 396
matérialisme..... 22, 116, 381, 384
matérialisme dialectique... 116, 384
matérialisme historique 116
mathématiques, 5, 6, 23, 93, 95, 99, 106, 171, 199, 259, 272, 301, 313, 341, 361, 366, 376, 389, 390, 393

	Pages
matière, 8, 18, 22, 339, 376, 390,	393
matière (conservation de la)...	116
matière vivante 22,	382
mauvais contacts	181
MAXWELL (James-Clark), 24, 95, 98, 99, 106, 107, 110, 134, 338, 339, 348, 388, 393, 394,	396
MAYER (André)	380
mécanique 17, 18, 67, 85,	390
mécanique ondulatoire	333
médiocrité des accus	236
médiocrité des auditions	274
méga	37
mégalomanie	116
meilleur des mondes.....	270
mélangeur-radar	349
mélodie lointaine.....	191
mémorisation 374, 379,	382
MENDÉLEÏEFF (Dimitri) .. 116,	223
mentalité enfantine, 11, 23-24, 131, 270, 277, 295, 337, 338, 370, 375,	391
mentalité politicienne, 116, 184, 234, 317,	340
mentalité technicienne, 13, 36-37, 49, 110, 120, 135, 186, 226, 295, 334,	360
mercure	292
mercure (convertisseur à vapeur de), 144,	166
mer Egée	305
mère gigogne	281
métaphores, 75, 143, 174, 183, 267, 303,	359
métapsychie	24
métaux..... 8, 20-21,	133
métaux alcalins 293,	305
méthode scientifique, 13, 16, 22-24, 112, 131, 135, 142, 254, 338, 378, 382, 384, 386,	391
méthode de travail..... 135,	199
métro (encombrement du).. 272-	273
métro (motrices du).....	32
MF	251
mica 43, 308,	311
micro 34, 42, 50,	85
« micro »..... 21,	181
microphone, 21, 162, 180-184, 194,	396
microphone-dynamo 181-	182
microphone-rhéostat	181
microphysique, 5, 8, 18, 23, 385, 387,	388
microscope électronique	291
microseconde 297,	370
MILLER (T.-G.)	145
milli..... 34, 42, 50,	85
« milli » 48,	60
milliampèremètre, 138-139, 148, 150,	263
MILLIKAN (Robert-Andrews), 13, 370, 375, 385,	397
Minerve	378
MINEUR (Henri)	385
miracle	242
miroir concave	336
miroir cylindrique	339
miroir parabolique	344
miroir tournant	70
mise en forme des courants, 355-	357
mise à la masse, 77, 116, 140, 147,	188
mise au point	307
mise à la Terre, 77, 118, 140, 144, 147, 168, 170, 188,	190
mnémophone	185
modernisation..... 120, 180,	234
modernisme	120
modulateur-radar	349
modulation, 9, 21, 194, 198-206,	208
modulation (bande de).... 271,	273
modulation (taux de)..... 196,	313
modulation d'amplitude... 198-	203
modulation de fréquence, 204-205,	271
modulation d'impulsions.. 205-	207
modulation optique..... 279,	309
modulation de phase.....	204
modulation de vitesse.....	353
modulatrice	199
molécules, 8, 9, 19, 139, 173, 292,	303
MOLIÈRE	179
mondes (meilleur des).....	270
MONGE (Gaspard)	135
montages, 42, 53, 80, 138, 144-145, 147-148, 199, 228, 249, 250,	264
montage d'ensemble	276
montage flip-flop..... 367, 368,	369
montage à résonance	157
montage symétrique..... 357,	365
montres	303
MORGAN (Charles)	348
Morse (alphabet)..... 208,	361
Morse (télégraphe)	62
MORSE (Samuel)..... 62, 208,	361
mortes (images)	278
mortes (langues), 120, 158, 199, 246, 250, 271, 282, 305, 338,	378
morte (résistance)..... 73,	156
mosaïque 307-	310

	Pages
Moscou..... 116, 363, 368,	388
mots anacycliques	338
mots croisés, 71, 179, 282-283, 291,	313
moteurs asynchrones.....	354
moteurs thermiques.....	278
motifs conscients	9
mouvement pendulaire... 27-28,	93
moyen (Français), 5, 234, 243, 277, 278, 330, 355, 368,	391
moyen âge	131
moyen terme	204
moyenne fréquence..... 240,	255
multigrilles (tubes)..... 248-	254
multiplaques (tubes) 248-	254
multiplex..... 206, 208,	335
multiplicateur d'électrons	312
multiplicateur de fréquence, 173,	354
multiplication (combinaison par).	198
multiplication (table de).....	372
multivibrateur, 357-359, 365, 368, 370,	397
musicalité, 211, 216, 242, 270-	274
musique de conserve	187
musique électronique..... 189-	191
musique fraîche.....	187
MUSSET (Alfred DE)	171
MUSSOLINI (Benito)	116
« mutuelle ».....	55
mutuelle inductance	55
mystères..... 42, 84, 107,	291
mysticisme	254
mythe Branly.... 106-107, 220,	324

N

n	42
naïveté	370
nano 42,	85
nanoseconde	372
nature (la)	131
nature de l'électricité.....	339
nature de la lumière.....	314
nature du son.....	314
navigation aérienne (*Voir* avions).	
navigation hyperbolique	361
navigation maritime.. 193, 339,	360
nazis 245, 340,	357
néant	370
néon 292,	356
nerfs artificiels.....	379
netteté de l'image.....	309
neurones	376
neutre (état)	27
neutron 11,	392
NEWTON (Isaac) 17,	98
niaiseries, 37, 49, 55, 62, 84, 120, 130, 149, 174-175, 189, 262, 277, 288, 295, 317, 324, 337, 369, 373,	386
niaka	281
NIPKOW (Paul) 278-279,	396
Nobel (prix)..... 107, 375,	385
NOBEL (Alfred)..... 107, 375,	385
nocturne (effet)	318
nœuds et ventres..... 115,	316
noir..... 313, 315,	318
nonchalance	243
non-sens, 14, 99, 120, 174-175,	386
normal (couplage).....	274
normalisation	317
Normandie (débarquement de)..	361
normes	384
normes de télévision..... 317-	318
noyau (de bobine), 50-51, 88, 89, 90, 132,	193
noyaux atomiques..... 18, 31,	133
nuances (sentiment des).....	317
nuit 346,	362
nulle (fréquence).....	75
numération (systèmes de), 369- 372,	394
numération de position.....	369

O

Ω 65,	73
obscurité	262
obsessions	252
obus à balles	349
occultisme 13, 24,	370
octhode 249, 253-254,	258
œil 269, 279-281,	294
œil magique	269
œrsted	47
ŒRSTED (Hans-Christian)	47
œuf à la coque.....	319
ohm..... 65,	73
OHM (Georg Simon)..... 65,	396
ohmique (résistance).....	156
oligarchie..... 116,	382
ondes	7
onde (changement d')..... 243-	244
ondes (collecteur d')..... 226,	245
ondes (petites)..... 120, 243,	244
ondes (portage des)..... 161-	164
ondes (réflexion des), 105, 124, 125, 338-340,	341
ondes (superposition d').....	202

	Pages
ondes courtes, 126, 127-128, 163, 243,	244
ondes électromagnétiques, 100, 101, 111,	396
ondes d'espace	128
ondes de gravité	102
ondes hertziennes	100, 396
onde inverse	196
ondes kilométriques	127
ondes latérales	202
ondes longues, 120, 126-127, 243, 244-	245
ondes métriques	126
ondes moyennes	126- 127
onde parasite	202
ondes porteuses, 8, 9, 21, 164,	194
ondes réfléchies	105
ondes de sol	128
ondes sphériques	123
ondes stationnaires	106
ondes terrestres	128
ondes ultracourtes, 126, 163, 243, 317, 341,	364
ondes ultrasonores	192, 379
on-dit	386
ondulatoires des électrons (propriétés)	333
ONESTI (Thémistocle CALZECCHI	107
onglets	190
opérations (analyse des)	373
opérations chirurgicales	319
opposition (en)	39, 265, 267
oppresseurs	116
optimisme	313
optimum	262, 271, 272
optique, 21-23, 24, 98, 100, 124, 125, 281, 291, 307,	336
orchestre	181, 200, 254
orchestre (chef d')	174
oreille, 180, 183, 218, 263, 271, 279-	280
organes de déviation	297-301, 332
organes de liaison	239- 243
organisation	16
organisme humain	278
orgue	8, 164, 189
orthicon	309- 310
orthographe	250
oscillateur (maître)	173- 175
oscillateur à éclateur	94- 97
oscillateur (d'émetteur)	165
oscillateur de Hertz	94
oscillateur-hyperfréquence,	349- 354
oscillateur local	255
oscillateur à quartz	174
oscillations amorties	73-74, 159
oscillations « électriques »	97
oscillations électroniques, 21, 36, 62, 91-92, 157-160, 162, 175, 178, 181, 209, 212, 247, 289, 355-357, 390-391,	395
oscillations électroniques (écrêtage des)	355- 357
oscillations entretenues, 74, 157-160,	175
oscillations forcées	70
oscillations libres	70
oscillations de relaxation	303, 357
oscillation et vibration	178
oscillatrice	157-160, 199- 200
oscillatrice bloquée	332
oscillographe (*Voir* tube cathodique).	
oscilloscope (*Voir* tube cathodique).	
oscilloscope cathodique (*Voir* tube cathodique).	
oubli	199, 277, 390
outillage	234
oxydes (cathode à)	141
oxyde de zinc	334
oxydabilité	293
oxymétal	144, 220, 222, 234

P

p	42
π	371, 372
Π (cellules en)	80- 81
PACELLI (Eugenio)	120
padding	260
paix	363
palette	184
palindromes	338
palpitations du cœur	182
panacée	384
panne de secteur	30
pantoufles (cinéma en)	317
papauté	120
papier	164
parabole	290
parabolique (détection)	221
parachute	116
paradis terrestre	382
parallèle (en), 48, 68, 259, 308,	366
paranoïa soviétique	116
parasite (son)	189
parasites atmosphériques, 129, 187, 205, 228, 236,	245

	Pages
parasites industriels, 123, 129, 187, 205, 228, 236,	245
paratonnerre	116
PARÉ (Ambroise)	135
paresse	17
pari aveugle	384
parole (courant de)	183
parole (intelligibilité de la), 183,	268
paroles et musique, 200, 201, 206, 270,	278
PASCAL (Blaise), 135, 368, 369, 384, 385, 386,	394
passé (concession au)	216
passé (l'effort du)	392-397
passé (manipulation du)	116
passe-bas	78
passe-haut	79
PASTEUR (Louis)	135, 388
patrie des précurseurs	116
pâturage	281
pavillon (de haut-parleur)	188
PAVLOV (Ivan)	116, 380
PAYOT (Jules)	22, 386
pays des précurseurs	116
pêcheur	220
péchés d'Israël	230
pédagogie, 86, 179-180, 199, 360,	385
pédales	190
pédantisme	179, 183
peintres	293
PELLIN (Philippe)	220
PELSENEER (Jean)	385
pendule électrique	27-28
pendulisants	24
pénicilline	116, 388
pensée (*Voir* activité intellectuelle).	
Pensées (de Pascal)	386
pente d'une triode	152
pente variable (tubes à),	252-253
penthode	249, 250-252
penthode amplificatrice	251
perceptions	13, 387
PÉRÈS (Joseph)	368
perforeuses	373
période	36
période infinie	75
périodicité (double)	101-102, 110
périodiques (phénomènes)	177, 396
perméabilité	51
PÉROT (Alfred)	107
Pérou	281
PERRIN (Francis)	22, 384
PERRIN (Jean), 135, 295, 385, 389,	396
persistance des impressions lumineuses	281, 284
perspicacité	197, 225, 386
perturbation, 173, 183, 189, 202, 211, 218, 228,	386
pesanteur	14, 17, 349
petites ondes	120, 243, 244
peuples arriérés	368
phanotron	292
Pharaons	116
phase	204
phase (en)	39, 204
phase (modulation de)	204
Phéniciens	369
phénomènes périodiques	177
philatélie	179, 282
philosophie	179-180, 387
phone	180
phonéthèques	185
phonocapteur	186
phonographe	183, 186-187, 265
photocathode	293, 307
photocellule, 292, 294, 319, 390,	397
photochimie	293
photoélectricité, 292, 294, 310,	396
photoélectrons	293, 308
photographie, 278, 280, 288, 293, 294,	307
photogravure	197, 203
photon	22
photosensibilisation	308
physiologie des sensations, 12, 179, 277,	389
physique, 12, 13, 199, 277, 281, 294, 295, 301,	360
piano	162
piano mécanique	380
PICARD (Emile)	17
PICKARD (Greenleaf W.)	220
pick-up, 186-187, 191, 243-244,	396
pico	42, 85
PIE XII	120
PIÉRON (Henri)	12
piézoélectricité, 171-174, 182, 187, 189, 191, 192, 375,	396
pifomètre	353
pif-paf	368
piles sèches	234, 349
pilotage sans visibilité	362
pilote (station)	361
pilote (quartz)	174
pin up girl	287
pinceau d'électrons	291
piste d'atterrissage	363

	Pages
piste sonore	185
PLANCK (Max)	385
plaque	139
plaque (commande de)	198-200
plaque collectrice	308
plaques photographiques	193
plaques vibrantes	9, 182
plateaux (*Voir* armatures).	
platinocyanure de baryum	334
plomb	192, 223
PLÜCKER (Julius)	294, 396
pluie	340
POINCARÉ (Henri), 23, 135, 368,	388
point d'arrêt, 327, 330, 333, 356,	357
points sensibles	220, 221
pointes (pouvoir des)	220
pointes d'épingle	250
poissons (bancs de)	193
polarisation automatique	236-239
polarisation de la grille	148, 149
polarisation des plaques	231
pôles (erreur de)	234
police d'Etat	116
politiciens, 116, 184, 234, 317, 340, 377,	382
politisation	116
PONCELET (Jean-Victor)	135
pont aérien de Berlin	363
PONTE (Maurice)	354
POOL (B. van der)	302
POPOFF (Alexandre)	106, 115, 396
ports (entrée des)	193
Port-Royal	22
portage des ondes	161-164
portée des émetteurs	121, 122
portraitistes	293
position (numération de)	369
positions de repli	337
postes-auto	235-236
poste-batteries	231, 234-235
poste à lampes	222
poste à galène	222
poste récepteur, 208, 225-276, 328-	329
postes-secteur	141, 143
potassium	293
potentiel (*Voir* tension).	
potentiomètre	213, 252, 366-367
pouche-poule	265
poudre de graphite	182
pouls	174
POULSEN (Valdemar)	185, 397
« pour voir »	226
pousse (à la va-comme-je-te-pousse)	37
pousse-moi, tire-moi	265

	Pages
pouvoir (abus de)	116, 388
pouvoir des pointes	220
PPI	346
« pps »	36
pratique et théorie	250, 339, 360
Pravda	116
précision	130, 137, 384
précurseurs (pays des)	116
préjugés	384, 387
préjugé réaliste	12, 13, 15
prélèvement	238
premiers plans	9, 16-21
présélecteur	275
prévisibilité	384
prévision des marées	377
prévision scientifique	378
primaire	56
primauté de l'esprit	387
prise de masse	77, 228
prise médiane	61
prise pick-up	187, 276
prise de Terre, 77, 114-115, 213,	306
prix Nobel	107, 375, 385
probabilité (calcul des)	23, 337
probité intellectuelle	6, 116, 388
problèmes apparents	384
produits chimiques	294
profondeur (gouverne de)	364
profondeur de la modulation	196
progrès technique, 187, 279, 308, 309, 352, 353, 359,	375
projecteurs ultrasonores	193
propagande	116, 271
propagation (anomalies de)	123
propagation directe	126
propagation des explosions	377
propagation du rayonnement, 101,	397
prophètes	16
propriétés directrices, 245, 344-345,	361
proton	11
proximité (fusée de)	348-349
P S V	362
psychologie, 8, 9, 13, 16, 21, 22, 341, 381, 384,	385
psychologie du témoignage	386
psychophysiologie	284, 378-384
PT	254
p'tit raton	305
P. T. T. (laboratoire des)	223
publicité	173, 271
PUGET	189
puissance	163
puissance (commande de)	269
puissance (volonté de)	116
puissance d'antenne	119

Pages

puissance de crête..... 342
puissance au départ..... 118-122
puissance de l'esprit..... 387
puissance des émetteurs, 120, 316, 341
puissance sonore, 178-180, 191, 213, 214, 261-263, 270
pure (résistance)..... 73, 156
push-pull..... 265-266
puzzle (jeu de)..... 228, 255
pyrite..... 220

Q

quadrature en avance (en), 39-40, 204
quadrature en retard (en), 52-53, 204
quadripôle..... 77, 166
qualité (souci de la)..... 317
qualité et quantité..... 142
quanta..... 389
quantité et qualité..... 142
quart d'onde..... 115
quartz (commande par)..... 174
quartz (lame de)..... 172-174
quartz (oscillateur à)..... 174-176
quartz pilote..... 174
quartz piézoélectrique.. 171-174, 375
quatraines..... 272
queue leu leu (à la)..... 280, 312
quincaillerie..... 360

R

racisme..... 116
raclée d'électrons..... 308
racontars... 107, 116, 135, 220, 225
radar, 116, 191, 337, 339, 394, 395, 397
radar-impulsion..... 342-346
radar-fréquence..... 346-348
radar-panoramique..... 362, 363
radiateur..... 65, 87, 89
radiesthésie..... 24
radio (artisans de la), 106, 168, 394-396- 397
radio (inventeur de la).... 106-107
radio aveugle..... 277
Radio-Bordeaux, 118, 120, 247-248, 255, 271- 274
Radio-Lille..... 120, 275
Radio-Limoges..... 120
Radio-Lyon..... 120, 163, 248, 275
Radio-Marseille..... 120, 121

Pages

Radio-Monte-Carlo..... 120
Radio-Nancy..... 120
Radio-Nice..... 120, 275
Radio-Paris..... 120, 275
Radio-Rennes..... 120
Radio-Strasbourg..... 120
Radio-Toulouse..... 120, 121
radioactivité.... 171, 388, 394, 395
radioaltimétrie..... 340
radiocommande..... 360, 362-363
radiodiffusion, 5, 7, 9, 21, 32, 119, 161, 234, 270, 394, 395
radioélectricité, 16, 20, 21, 23, 24, 35, 53, 59, 84, 86, 94, 97, 106, 137, 143, 159, 178, 189, 202, 388-391, 392- 397
radiogoniométrie..... 118, 360-361
radiophare..... 361
radiophonie (*Voir* radiodiffusion).
radiotélégraphie, 74, 106, 115, 116, 206, 208, 246, 278, 355, 394, 397
radiotélémétrie..... 340
radiotéléphonie..... 206, 208
radiotubes (*Voir* tubes électroniques).
radiovision..... 277
raison, 10, 11, 17, 291, 312, 384, 385, 386
raisons générales (*Voir* lois).
raison imbécile..... 386
raisons singulières..... 10
raisonnement..... 10, 11
ralentissement..... 364
rapidité, 281, 285, 291, 301, 369, 372, 373, 377
rapport de transformation..... 62
RASHEVSKY (Nicolas)..... 381
rassemblement (zones de)..... 351
rayons cathodiques..... 295
rayons X, 18, 144, 145, 278, 390, 394
rayonnement dirigé..... 192
rayonnement hertzien..... 100
réaction..... 266-268, 357
réaction (avions à)..... 388
réalisme naïf..... 12, 13, 15
réalité sous-jacente, 10, 11, 32, 389, 391
RÉAUMUR..... 135
rebrousse-poil (à), 216, 219, 266, 313
récepteur... 208, 225-276, 328-329
récepteur à bretelles..... 234
récepteur-radar..... 343, 344, 349
récepteurs-radio (structure des), 227, 232-233, 245

	Pages
récepteurs - télévision (structure des)	321-324, 328-329
récepteur ultrasonore	192
réception citadine	121, 122
réception directe	227-231
réception diurne	123, 127
réception nocturne	123, 127
réception rurale	121, 122
recettes (recueils de)	276
recevabilité (limite de)	123
recherche scientifique	209, 225, 377
récurrence (fréquence de)	344
redressement diode-condensateur,	145, 147
redressement diode-résistance,	144-146
redresseurs	144, 196, 209, 397
redresseur électrolytique	144
redresseurs mécaniques	144
redresseurs secs	144, 220, 222, 234
réel, 5, 8, 13, 14, 15, 22, 26, 30, 32, 35, 62, 75, 86, 107, 130,	133, 388
réflexe conditionné	380
réflexe direct	380
réflexe pupillaire	380
réflexe rotulien	380
réflexion des ondes, 105, 124,	338-340, 341, 396
refroidissement	12
registre des sons	271
réglage d'une antenne	117
règle de trois	150, 211
règlementations internationales,	119, 174, 272-273
Reichenbach (Hans), 15-16,	131, 378
réinjection	267
relais	149, 317
relais excité	368
relativité générale	24
relaxation	302, 303, 305, 357
relief (télévision en)	335
religions	16, 382
remplissage	302
rendement, 23, 61, 78, 119, 143,	206, 224, 235, 378
répartition des électrons, 32, 35,	92, 389
répétition (fréquence de)	344
repli (positions de)	337
réponse (courbes de)	272
représentations schématiques, 42, 53, 80, 138, 144-145, 147-148,	199, 228, 249, 250
répulsion électrique	289, 389, 394
réseau de courbes	142, 150-151
réseau de distribution, 25, 32, 72,	85, 102, 139
résignation	384
résistance	73, 124
résistance apparente	81, 82-83
résistance chauffante	231
résistance chutrice	231
résistance de fuite	358, 366
résistance interne	152
résistance morte	73, 156
résistance ohmique	156
résistance pure	73, 156
résistances en radio	154
résistance shuntée	237, 366
résistance du vide	134, 152
résonance	66, 67, 70, 72, 81, 175
résonance (cavité à)	352-354
résonance (montage à)	157
résonance aiguë	66-67, 243
résonance d'espace	352
résonance mécanique	183
résonateur de Hertz	104-105
résonnant (circuit)	67
respiration	14, 18, 165, 182
restitution du son	186-187
résultats définitifs	373
retards	184
retard (en quadrature en)	52-53
rétine	281
retour	297
réversibilité, 111, 172, 181-182,	186, 187
rhéostat	46, 138-139
rhéostat (microphone-)	181
rhétorique (*Voir* verbiage).	
rhétorique (figure de)	246
Ribot (Théodule)	385
Richardson (Owen-Williams),	106, 115, 135, 137, 140, 397
rien (tout ou)	366, 367
rigidité des couplages	55, 272-274
Robida (Alfred)	277
robots, 338, 360, 363-364, 365,	373-378, 388
Rœntgen (Conrad)	278
Romains (Louis Farigoule, dit Jules)	209
ronds dans l'eau	7, 102
Rosenschœld (Munck de)	107
Rosing (Boris)	295, 397
rotateur	181
ruban enregistreur	185
rubidium	293
rue (homme de la), 5, 234, 243,	277, 278, 330, 355, 368, 391

Pages

S

S 77
saccades 303
saints 220
SAINT-EXUPÉRY (Antoine de)... 384
SALOMON (Charles) 389
sans dire (il va)..... 347
SARNETTE 189
saturation (courant de), 142, 214, 332, 355, 366, 368
sauts d'électrons..... 295, 350, 396
Savants américains..... 135
savants français..... 135, 394
savants russes..... 116, 190, 394
SAVART (Félix)..... 393
scène télévisée..... 335
scène à téléviser..... 307, 309, 315
scepticisme..... 15, 96, 100
« schémas », 42, 53, 80, 138, 144-145, 147-148, 199, 228, 249, 250, 264
SCHOTTKY (Walter).. 251, 254, 397
SCHWAB (Jean-Pierre) 381
scie (dents de), 303, 305, 306, 332, 359
science (hostilité contre la), 386- 388
science atomique..... 5, 8, 18
Science et vie (Revue)..... 6
scientifique (esprit), 16, 37, 98, 112, 116, 131, 135, 142, 171, 198, 199, 360, 384- 388
scientisme, 13, 16, 131, 360, 382, 384- 388
scintillation 285
SCOTT DE MARTINVILLE (Léon), 186
secondaire 57
secondaire de chauffage.... 166, 167
secret 349, 361
secteur, 25, 32, 72, 85, 102, 139, 395
sécurité 349
Seignette (sel de)..... 189
sel de Seignette..... 189
sélection..... 75, 77
sélectivité, 157, 183, 189, 240, 247, 270- 274
sélectivité variable..... 274- 275
« self »..... 49, 55
« self » d'antenne..... 117
self-inductance..... 49, 71, 72, 396
self-inductance et fréquence.. 72, 82
Seltz (eau de)..... 302
sens commercial..... 271
sens du courant..... 139, 146
sens de la modulation..... 318

Pages

sens unique (conducteurs à), 143-144, 209, 220
sensations (physiologie des), 12, 179, 277, 389
sensibilité, 123, 130, 137, 247, 263, 265, 271, 341
sentiment, 131, 254, 360, 370, 382, 385, 386, 388
sentiment des nuances..... 317
séparateur (étage)..... 326
séparateur de fréquence..... 330
séparateur-synchro..... 329, 331
série trigonométrique..... 168
série (en)..... 48, 62, 259
serré (couplage).. 55, 159, 272- 274
servomoteurs..... 345, 364
seuil d'audibilité..... 180
seuil de sensation douloureuse.. 180
SHAKESPEARE (William)..... 124
shrapnel 349
shunt..... 214, 237
shuntage..... 214, 237, 366
shunté..... 214, 237, 366
SIEMENS (Werner VON)..... 396
sifflement 275
signal-code 346
signaux..... 13, 107
signaux-synchro..... 287, 309
signaux-vidéo 309
silence..... 200, 262
silence (zones de)..... 128
silicium 223
sillon de disque..... 184, 186
simili-torpédo 209
simplicité..... 5, 370
simplicité biblique..... 212
simultanéité spatiale..... 281
sinusoïde..... 39, 179
siphon intermittent..... 302, 305
situation de fait..... 272
slogans..... 199, 208, 210, 240
snobisme 327
sociologie..... 116, 341, 387
SOCRATE..... 12, 384
sodium 293
Soleil..... 19, 125, 127
« solénoïde »..... 44
solution 138
SOMMERFELD (Arnold)..... 389
son, 7, 9, 10, 20, 21, 161-164, 177-180, 280-281, 314, 317, 339, 341, 348, 394
sons (amplification locale des).. 270
son (effaçage du)..... 185
son (enregistrement du)... 184- 185

	Pages
sons (incorporation de), 177, 194, 200-201, 205, 207,	246
son (ingénieurs du)	180
son (lecteur de)	185
sons (registre des)	271
son (restitution du)	186-187
sons (visualisation des)	278
son (vitesse du)	178, 192
sons aigus	268
son-courant (traducteur)	182
sons faibles et sons forts	189
sons graves	268
son parasite	189
sondages sous-marins	192
sonnerie trembleuse	235
sonorisation des images	278
sophismes	340, 385, 387
sortie	77
soucis (le cadet des)	135
souci de la qualité	317
souffles respiratoires	182
soupape	143, 144
source sonore	189
sourciers	24
sous-jacente (réalité), 10, 11, 32, 389,	391
sous tension	26, 85
soviétisme	116
speakers	179, 181, 183, 200
spécialités pharmaceutiques	189
spire	45
spiritualisme	22, 381, 384
spot	297, 314
stabilité	173-176
STALINE (Joseph)	116
stations d'émission (*Voir* émetteurs).	
station esclave	361
station pilote	361
statistiques	373, 375
stator	188
STEINBERG (Jean-Louis)	130
stéréoscopie	335
stérilisation du lait	193
stigmate de dégénérescence	249
stimulation	380
stockage	90
« stop »	283
stratovision	317
strontium-baryum	140-141
structure cristalline	220
structure des émetteurs-radio, 197, 200-	201
structure des machines calculatrices	374
structure des récepteurs-radio, 227, 232-233,	245
structure des récepteurs-télévision, 321-324, 328-	329
stupidités, 37, 49, 55, 62, 84, 120, 130, 149, 174-175, 189, 262, 277, 288, 295, 317, 324, 337, 369, 373,	386
studio	183
subodoration	353
succession temporelle	281
sulfamides	388
sulfate de magnésium	334
sulfate de zinc	334
SULLY	281, 315
supercherie	337
superhet	246
superhétérodyne, 227, 232-233, 245-	248
superinaudis	378
superoutil	378
superposition d'ondes	202
super-réaction	266
supertensions	32, 325, 336
suppressor	252
surface	41, 50
surfaces (courbure des)	220
surhommes	282
surpolarisation	216, 218
surtension	66
survie	381
survolteur	61
symbiose condensateur-bobine	94
symbiose électromagnétique	107
symboles	13
symétrie (tube de)	332
symétrique (montage)	357, 365
symphonie	280, 287
synchronisateur-radar	343-344
synchronisation, 36, 59, 286-287, 326-	332
synchronisation-image	287
synchronisation-ligne	287
synchronisme	113
synthèses	190
système auto-entretenu	302
système auto-oscillant	354
système binaire	370-373
système décimal	369-370, 371
système hyperbolique	361-363
système nerveux	379
système nerveux (instabilité du)	386
systèmes de numération, 369-372,	394
système téléran	362
système sexagésimal	369

Pages

T

T 37
T (cellules en)..... 80-81
table d'addition 372
table de multiplication..... 372
tableau de bord..... 364
taches solaires 127
tactique élastique..... 116
Tantale (vase de)..... 302
tapisserie..... 164, 196, 197, 203
TATON (René) 369
taux de modulation..... 196, 313
TAYLOR (Brook) 394
technicienne (mentalité), 13, 36-37, 49, 110, 120, 135, 186, 226, 295, 334, 360
technique, 5, 23, 106, 116, 138, 171, 226, 254, 340, 355, 378, 387, 391
techniques (incidents) 184
télautographie 278
téléauditeurs..... 268, 271, 276
télécinéma 278, 307
télécommande 337
télécommunications, 93, 94, 120, 391
télédétection 338
télégraphe Morse..... 63
télémécanique 337
télémétrie..... 192, 339
télépathie 337
téléphone, 7, 32, 161-162, 182, 183, 185, 223, 319, 335, 381, 390, 396
téléphone automatique..... 380
téléphonoscope 277
téléphotographie, 278, 319, 355, 396
téléran 362
télescope électronique..... 291
téléspectateur, 280, 287, 301, 309, 313, 333, 334
télétransmission 284
télévision, 9, 21, 32, 116, 119, 126, 161, 164, 176, 193, 394, 395, 397
télévision bichrome..... 335
télévision en couleurs, 312, 334-335, 397
télévision directe..... 278, 307
télévision électronique, 277, 307, 397
télévision sur grand écran..... 336
télévision mécanique..... 277-278
télévision en relief..... 335
télévision-sur-place 319
télévision trichrome..... 335
témoignage (psychologie du)... 386
témoignage des yeux..... 13
tempête (synthèse de la)..... 190
temps (base de)..... 306
temps (lutte contre le)..... 281
temps bouché, 193, 339, 340, 346, 362
tension..... 11, 32, 396
tension (en)..... 48, 62, 259
tension (mise sous)..... 26, 85
tension alternative..... 25
tension d'attaque..... 153
tension composée..... 230
tension continue..... 25, 30, 32
tension-grille 146
tension étoilée..... 230
tension nulle..... 114
tension ondulée.. 145, 147, 154, 156
téra 37
terrain (déblaiement du)..... 206
Terre, 16, 17, 19, 81, 82, 125-127, 317, 338, 340, 362
Terre (descente à la)..... 118
Terre (mise à la), 77, 118, 140, 144, 147, 168, 170, 188, 190
Terre (prise de), 77, 114-115, 118, 213, 306
téthrode 249, 255
thème..... 371-374
théorie électromagnétique de la lumière, 24, 95, 99, 338, 348, 393, 394, 396
théories électroniques.. 291, 389, 397
théorie et pratique.... 250, 339, 360
THEREMIN 190
thermoélectronique (émission), 137-140, 289, 295, 390, 397
THOMSON (Joseph-John), 295, 389, 397
THOMSON (William, *Voir* KELVIN).
thyratron, 292, 304-306, 312, 330, 356, 359
tir..... 340, 345
TISSOT (Camille)..... 220
toiles de fond..... 8, 16-21, 164
tonalité (commande de) ... 268-270
tonnerre (synthèse du)..... 190
top d'écho..... 339
tops synchro..... 318
totalitarisme.... 116, 363, 368, 388
TOULON 189
tour Eiffel..... 316, 317
tourner un bouton..... 234
tous courants..... 230-231
tout de go..... 288
tout ou rien..... 367, 368
Toute la radio (revue)..... 199
tradition 384

	Pages
traducteur courant-lumière	294
traducteur courant-son	182, 194
traducteur lumière-courant,	294, 334
traducteur son-courant	182, 194
traducteur-thème	373-374
traducteur-version	373-374
traduction faits-symboles	199
traduction montage-réalisation	211
traduction mots-mots	199
traduction principe-montage	211
traduction symboles-faits	199
train d'oscillations	73, 74, 105
traitement des alliages	193
trajectoires hélicoïdales	297
trame	196, 197, 330
tramways	123
tranche de vie	278
« transfo »	61
transformateur	57, 61, 390, 396
transformateur cuirassé	60
transistor	223
transistron	223-224
transmissions accélérées	185
transmissions multiples	208
transmissions ultrarapides	208
transports	278, 390
travail	26
travail (division du)	387
travail (méthode de)	135, 199
travail intellectuel,	288, 376, 378, 384, 391
travail manuel	375
trèfle cathodique	265
TRENDELENBURG (F.)	182
trépidations	220
triage des fréquences	208, 331
trichrome (télévision)	335
trièdre trirectangle	97, 102
trieur de fréquences	75
trigonométrique (série)	168
trimmer	260
Trinité sainte	387
triode	150-153, 249
triode (double)	330
triode amplificatrice	153-157
triode bloquée	332, 359, 366
triode détectrice	210
triode écrêteuse	356-357
triode-hepthode	258
triode-hexode	258
triode modulatrice	199
triode oscillatrice,	157-160, 199-200
triphasé	230
trirectangle (trièdre)	97, 102
trucs	318, 376
T. S. F.	5, 21, 86, 115, 181, 393
tube de Braun	295, 397
tube cacahuète	137
tube cathodique,	21, 295, 333, 335, 336, 397
tubes électroniques,	21, 134-137, 397
tube micro	137
tubes multigrilles	248-254
tubes multiplaques	248-254
tube de symétrie	332
tungar	144
tungstate de calcium	334
tungstène	140, 141
tunnel aérodynamique	377
tuyau acoustique	7
tuyaux sonores	9, 106, 115
tympan	180, 183
types d'analyse	318

U

ULLMO (Jean)	385
ultranoir	318
ultrasons	174, 191-193, 339
ultraviolet	395
UNESCO	116
unilatérale (conductivité)	209, 220
union sacrée	381
unique (conducteurs à sens),	143-144, 209, 220
Univers,	8, 9, 15, 16, 22, 23, 338, 372, 387
URBAIN (Georges)	389
usine à calcul	373-375
ustensiles à contact	222
utilitarisme	116, 271

V

V	29
V-1	340
va-comme-je-te-pousse (à la)	37
va-et-vient	265
VALÉRY (Paul)	277
valve	143
valve biplaque,	167-169, 235, 249, 325
vapeur de mercure (convertisseur à)	144, 166
variomètre	53-54
VARLAN (E. et H.)	353
vase de Tantale	302
Vatican	120
vedettes	287
vélo-moteur	12

	Pages
vent 9, 19,	20
ventres et nœuds..... 115,	316
ventriloquie	186
Vénus	116
verbiage..... 158, 179,	277
vérité	384
vérités de La Palisse.....	270
VERNE (Jules)..... 277, 319,	381
version 371-	374
vibrateur 181,	188
vibrations, 9, 36, 106, 161-162, 175, 177-178, 181, 339,	349
vibration et oscillation 178,	339
vibrations ultrarapides, 191-193,	349
vibreur 235-	236
vidage	302
vide, 14, 18, 26, 28, 37, 38, 40, 42, 47, 59, 85, 86, 100, 112, 125, 131-134,	394
vide (horreur du).....	131
vidéo	323
vidéofréquence	314
vie 8, 9, 22,	23
vie (tranche de).....	278
Vie intellectuelle	107
vie quotidienne	341
VIÈTE (François)	135
VIRGILE	373
visibilité optique (zone de).....	317
vision stéréoscopique.....	335
visiotéléphone	319
visualisation des sons.....	278
visuel d'accord (indicateur), 263-	264
vitesse, 19, 20, 91, 92, 93, 115, 118, 348, 349,	390
vitesse (modulation de).....	353
vitesse de la lumière, 62, 100, 338, 391,	394
vitesse du son..... 178, 192,	349
vitesses supersoniques.....	349
vivantes (images).....	278
vocabulaire 136, 185, 209,	248
voix humaine	179
voix féminines	179
voix masculines	179
voix de tête.....	183
volatilisation	138
volt	32
volonté de puissance.....	116
« volonté » humaine.....	338
volt par centimètre.....	27
VOLTA (Alessandro) 25, 393,	394
« volume sonore », 213, 214, 261-	263
volume de vide.....	86
voûte céleste	387
voyelles 179, 183,	280

W

W	65
watt	65
WATT (James)	65
watt-heure	85
WEHNELT (Arthur), 140, 141, 295, 323-324, 333,	397
« Wehnelt »..... 323-324,	333
Wehnelt (cathode de).. 140-141,	397
Wehnelt (grille de), 323-324, 333,	397
WELLS (Herbert-George)	381
WERTHEIMER (Max).....	284
W-h	85
WIENER (Norbert)	382
WINDOW	340
WINKLER (Siemens)	223
WRENCH Jr. (J.-W.).....	372

Z

ZELBSTEIN (U.).....	199
zéro 369-	372
zinc (oxyde de).....	334
zinc (sulfate de).....	334
zones de rassemblement.....	351
zones de silence.....	128
zone de visibilité optique.....	317
ZWORYKIN (Vladimir-Kosma), 307, 309, 312, 319,	397

TABLE DES MATIÈRES

Pages

INTRODUCTION 5

CHAPITRE PREMIER

Le concret et le réel

1. Expliquez-nous donc la radio 7
2. Les deux tables d'Eddington 14
3. Toiles de fond et premiers plans 16
4. L'explication scientifique 22

CHAPITRE II

Aux deux bouts du sans-fil

5. Le champ électrique 25
6. Ce que sont réellement une tension électrique et un courant 30
7. Champ électrique oscillant 35
8. Le farad et ses diminutifs 40
9. Le champ magnétique 44
10. Le henry et ses diminutifs 49
11. Variomètre; transformateur 53
12. Condensateur et bobine en série 62
13. Condensateur et bobine en dérivation 68
14. Fréquence propre; amortissement 69
15. Filtre passe-bande 75
16. Les deux autres filtres 78

CHAPITRE III

Ce qu'il y a dans le sans-fil

17. La localisation de l'énergie 84
18. L'énergie du condensateur sous tension 85
19. L'énergie de la bobine traversée par un courant 88

Pages

20. Echanges d'énergie dans un circuit oscillant..... 90
21. L'oscillateur à éclateur..... 94
22. Le champ électromagnétique : fréquence et longueur d'onde.... 97
23. Le résonateur..... 102
24. De l'oscillateur à l'antenne émettrice..... 107
25. Fréquence propre d'une antenne; variantes..... 112
26. Puissance au départ; champs à l'arrivée..... 118
27. Anomalies dans la propagation du rayonnement..... 123
28. Zones de silence; évanouissements; parasites atmosphériques; bruit de fond..... 128

CHAPITRE IV

Les intervalles de vide dans les montages de radio

29. Rôles multiples du vide en radioélectricité..... 131
30. La gamme des tubes électroniques..... 134
31. L'émission thermoélectronique; cathodes..... 137
32. Le redressement par diode..... 143
33. Adjonction d'une électrode de commande..... 145
34. L'amplification de tension..... 153
35. L'entretien d'oscillations électroniques par couplage grille-plaque. 157

CHAPITRE V

L'émission des ondes porteuses

36. Pourquoi « porter » les sons?..... 161
37. Les diverses étapes de l'obtention des oscillations entretenues.... 164
38. L'alimentation..... 166
39. Le quartz piézoélectrique..... 171
40. L'oscillateur à commande par quartz..... 174

CHAPITRE VI

Sons et ultrasons

41. Les fréquences sonores..... 177
42. Le microphone; la distorsion..... 180
43. Procédés d'enregistrement..... 184
44. L'électrification du phonographe..... 186

Pages

45. Le haut-parleur 187
46. La musique électronique 189
47. Les vibrations mécaniques ultrarapides 191

CHAPITRE VII

Modulation et détection acoustiques

48. Du microphone au haut-parleur 194
49. La structure complète d'une station d'émission 197
50. La modulation d'amplitude par commande de plaque 198
51. La modulation d'amplitude par commande de grille 201
52. Autres procédés de modulation 203
53. Radiotélégraphie; radiotéléphonie 206
54. Les modes de détection 208
55. La détection-diode 209
56. La détection-triode-grille 214
57. La détection-triode-plaque 215
58. Le détecteur à cristal. Le transistron 219

CHAPITRE VIII

Le récepteur de radiophonie

59. Réception directe et superhétérodyne 225
60. La structure d'un poste à réception directe 227
61. Alimentation tous courants 230
62. Poste-batteries et poste-auto 231
63. Polarisations automatiques des tubes électroniques 236
64. Organes de liaison 238
65. Accord sur la station d'émission 243
66. La structure d'un superhétérodyne 245
67. Les tubes électroniques à plusieurs grilles et plaques 248
68. La changeuse de fréquence 255
69. Améliorations de la réception 262
70. Améliorations de la basse-fréquence 265
71. Le compromis entre la sélectivité et la musicalité 270
72. Sélectivité variable et présélecteur 274

CHAPITRE IX

La modulation optique

73. Deux réalisations inverses 277
74. Embarras provoqués par les images 279

Pages

75. Les principes du balayage rationnel..... 281
76. Nécessité de la synchronisation..... 286
77. Compléments à notre connaissance de l'électron..... 287
78. Canon à électrons et organes de déviation..... 294
79. Dents de scie et signaux-synchro..... 301
80. L'iconoscope et ses émules..... 306
81. Aspect graphique de la modulation optique..... 312
82. La structure d'un émetteur de télévision..... 315
83. Normes de la télévision..... 317
84. Quelques applications supplémentaires et inattendues..... 318

CHAPITRE X

Le récepteur de télévision

85. La structure d'un poste de télévision..... 321
86. Les alimentations..... 324
87. La synchronisation en réception..... 326
88. L'image reçue : perfectionnements en cours..... 333

CHAPITRE XI

Radar et radioguidage

89. What is it, a radar?..... 337
90. Conditions préalables..... 341
91. Principe du radar à impulsions..... 342
92. Idée du radar à modulation de fréquence..... 346
93. Fusée de proximité..... 348
94. Oscillateurs à hyperfréquence..... 349
95. Exemples de circuits électriques en technique radar..... 354
96. Radioguidage et radiocommande..... 359

CHAPITRE XII

La relève électronique des esprits et des âmes

97. Du multivibrateur au flip-flop..... 365
98. Flip-flop et numération binaire..... 368
99. La structure d'une usine à calcul..... 373
100. Les performances des grandes machines calculatrices..... 375

Pages

101. Le système nerveux et la cybernétique..... 378
102. Les récriminations contre le déterminisme..... 383
103. L'absorption de la radioélectricité par l'électronique..... 388

CHAPITRE XIII

L'effort du passé

104. La naissance de la radioélectricité..... 392
105. Découverte des lois scientifiques et origine des techniques actuelles 395

INDEX ALPHABÉTIQUE..... 398
TABLE DES MATIÈRES..... 425

IMPRIMERIE LAROUSSE
1 à 9, rue d'Arcueil, Montrouge (Seine).
Avril 1950. — Dépôt légal 1950-2e.
N° 266. — N° de série Editeur 166.
IMPRIMÉ EN FRANCE (*Printed in France*).
192-4-1950.