

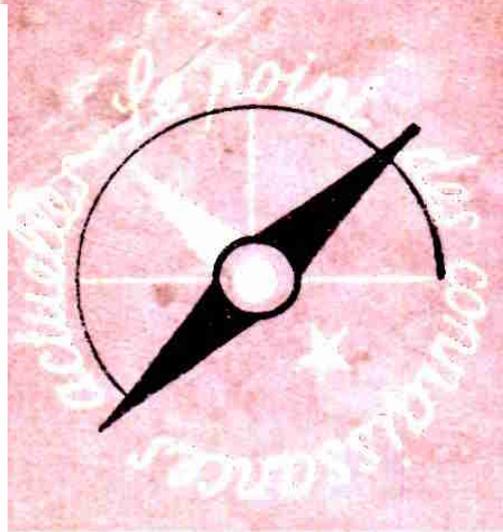
*Que
sais-je?*

LA

TÉLÉVISION

par

P. GRIVET ET P. HERRENG



**PRESSES UNIVERSITAIRES
DE FRANCE**

Que sais-je ?

Catalogue général

1. Les étapes de la biologie.
2. De l'atome à l'étoile.
3. Les certitudes du hasard.
4. Histoire de l'Afrique.
5. Comment se défend l'organisme.
6. Le peuple des abeilles.
7. Histoire de l'électricité.
8. Le système nerveux.
9. Les grandes religions.
10. La Corporation.
11. Le cancer.
12. Les vitamines.
13. L'astronomie sans télescope.
14. L'éducation nouvelle.
15. La tuberculose.
16. La terre et son histoire.
17. Les premières civilisations de la Méditerranée.
18. Histoire de l'architecture.
19. L'exploitation rationnelle des abeilles.
20. La vie créatrice de roches.
21. Les ultrasons.
22. L'alimentation humaine.
23. La terre, source de richesses.
24. Les rêves.
25. Histoire de l'Asie.
26. Le mobilier français.
27. La nouvelle organisation professionnelle.
28. La peinture moderne.
29. Automates et automatisme.
30. La télévision.
31. Les étapes de la médecine.
32. L'économie humaine.
33. Radium et radioactivité.
34. Histoire de Paris.
35. Les étapes de la chimie.
36. Histoire de la propriété.
37. La relativité.
38. Histoire des Etats-Unis.
39. Les hormones.
40. Histoire de la musique.
41. Radionavigation et radioguidage.
42. Les étapes des mathématiques.
43. Histoire de la navigation.
44. La monnaie et le change.
45. Les arts du feu.
46. Les matières plastiques.
47. Les grandes philosophies.
48. La lumière.
49. Le roman français depuis 1900.
50. La sexualité.
51. Les migrations des animaux.
52. La folie.
53. Les microbes.
54. Les étapes de l'archéologie.
55. Histoire du commerce.
56. La défense de nos cultures.
57. L'exploitation du hasard.
58. Le péril vénérien.
59. L'équipement électrique de la France.
60. La guerre des matières premières.
61. La toxicologie.
62. L'agriculture coloniale.
63. Technique du sport.
64. Les radiations et la vie.
65. Les étapes de la géographie.
66. Histoire de la peinture.
67. Etude physique de la terre.
68. L'embryologie.
69. La formation de la France au moyen âge.
70. Les rayons X.
71. L'éducation des enfants difficiles.
72. La vie dans les mers.
73. Les expéditions polaires.
74. Histoire de la sculpture.
75. Histoire de l'Océanie.
76. Les assurances.
77. Les arts d'Extrême-Orient.
78. La croissance.
79. Origine des plantes cultivées.
80. La lutte pour les denrées vitales.
81. Histoire du cinéma.
82. La littérature symboliste.
83. Les insectes et l'homme.
84. Le papier et les dérivés de la cellulose.
85. La littérature de la Renaissance.
86. Les chemins de fer.
87. Le tabac.
88. Histoire de la vitessse.
89. La météorologie.
90. Le coton.
91. Les probabilités et la vie.
92. Les océans.
93. Les produits de remplacement.
94. La chimie du cerveau.
95. La littérature du siècle classique.
96. Les étapes de la métallurgie.
97. La mesure du temps.
98. La vision.
99. La T. S. F.
100. Les ports maritimes.
101. La littérature allemande.
102. L'adolescence.
103. Le blé.
104. Les colloïdes.
105. Les grands travaux.
106. La genèse de l'humanité.
107. Histoire de Byzance.
108. Les étapes de la poésie française.

Suite page 3 de la couverture

LA TÉLÉVISION

DÉPOT LÉGAL

1^{re} édition 31 décembre 1941
4^e — 4^e trimestre 1947

TOUS DROITS
de traduction, de reproduction et d'adaptation
réservés pour tous pays

COPYRIGHT
by *Presses Universitaires de France*, 1941



« QUE SAIS-JE ? »
LE POINT DES CONNAISSANCES ACTUELLES

LA
TÉLÉVISION

par

Pierre GRIVET et Pierre HERRENG

Docteur ès Sciences

Agrégé de Physique

Anciens élèves de l'École Normale Supérieure

Préface de M. Paul LABAT

Ingénieur en chef des Transmissions de l'État



PRESSES UNIVERSITAIRES DE FRANCE
108, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, PARIS

—
1948

DIX-NEUVIÈME MILLE

PRÉFACE

Je dois à l'amitié d'écrire cette préface. Amitié bâtie dans ces premiers mois de guerre, où personne de l'équipe de jeunes, qui avait associé foi patriotique et enthousiasme scientifique pour l'étude des problèmes radioélectriques posés par la Défense nationale, ne s'est laissé abuser par les fallacieuses duperies de la lénifiante propagande de cette « drôle de guerre ». Amitié durcie par les raidissements des semaines de mai et de juin 1940, où la volonté de créer dominait la vérité des angoissantes nouvelles, amitié confirmée par la discipline dans les épreuves de l'exode et par ce regroupement dans un petit village landais, où camaraderie et confiance inébranlables dans les destinées du pays éclairaient les jours sombres, que précisait la défaite.

Vous rappelez-vous, mes amis, ces séances techniques dans la grande salle de la mairie, alors que quelques jours à peine après l'armistice vous continuiez à livrer bataille aux mêmes problèmes, comme si la débâcle n'avait été qu'un accident dans votre activité ?

Cet esprit d'équipe, les auteurs de ce petit livre en sont toujours imprégnés : la collaboration, la demande qu'ils ont faite à leur ancien chef pour quelques lignes de préface, en sont la preuve.

Leur science, leur technique se seraient plu à un exposé rigoureux des principes physiques de la télévision. Ils n'ont pas pensé s'abaisser en faisant passer dans les pages de ce petit livre un jeune enthousiasme, qui ne vulgarise que pour éveiller, dans le simple exposé de phénomènes physiques variés, le désir de connaître et d'approfondir.

Un jour, on vous dira que les neuf mois de guerre ont été marqués dans l'évolution de la technique radioélectrique par un rapide et vigoureux développement de procédés nouveaux, dont la technique particulière s'apparente à celle la plus récente de la télévision. Vous ne serez pas alors surpris que l'équipe à laquelle appartenaient les auteurs de ce livre ait apporté à ces études nouvelles la contribution de sa science et de son allant.

Il ne vous surprendra point non plus, que chaque membre de cette équipe aujourd'hui disloquée n'ait plus qu'un but : accroître le potentiel scientifique de notre pays meurtri, pour que son rayonnement intellectuel s'impose au jour de la reconstruction. Aussi je salue avec joie ce petit livre parce qu'il est le sourire de mes deux jeunes collaborateurs d'hier avant qu'ils ne s'adonnent à la recherche scientifique appliquée à la radioélectricité, où s'affirmera, j'en suis certain, leur brillante personnalité.

Paul LABAT,
Ingénieur en chef des Transmissions de l'État.

INTRODUCTION

En 1939, le développement auquel était parvenue la télévision rappelait beaucoup celui qu'avait atteint la radiodiffusion dix ans plus tôt : les transmissions avaient la qualité qu'exige un habitué des spectacles modernes, et les postes émetteurs des grandes capitales diffusaient chaque jour de copieux programmes ; les images pouvaient, tant par le choix que par la fidélité, intéresser un public beaucoup plus étendu que celui des amateurs de curiosités scientifiques ; on pouvait commencer à parler d'art ; les actualités, aussi bien que les retransmissions de films n'étaient plus — ainsi qu'il était arrivé — ridicules en comparaison de celles qu'offrait le cinéma.

Cet état de choses était d'autant plus satisfaisant qu'il n'était pas un aboutissement mais qu'il marquait seulement une première étape toute pleine de promesses. Les difficultés qu'avait, un instant, fait prévoir la théorie, et qui avaient semblé devoir faire obstacle à un progrès illimité avaient été levées par l'invention de l'icône. Les perfectionnements obtenus dans la construction de l'oscillographe cathodique et la création de lampes produisant des ondes très courtes, faisaient espérer que le matériel de télévision gagnerait à la fois en simplicité et en qualité, ce qui supprimerait un double obstacle à une large expansion du nouvel art : le prix élevé des appareils et leur fragilité. Il est bien

probable, que n'eût été la guerre, ces progrès auraient été réalisés grâce à la pléiade de chercheurs d'élite qui se passionnait à sa poursuite, grâce aussi à l'énormité des moyens financiers mis à leur disposition. Nous fixerons les idées à ce sujet en disant que le budget annuel d'une grande compagnie de construction française s'élevait à 50 millions de francs, qu'elle occupait une cinquantaine d'ingénieurs, et que ces chiffres devraient être encore multipliés par 10 ou 100 pour exprimer les moyens et les ressources de certaines compagnies américaines. Les appareils que les constructeurs préparaient pour le Salon de 1940 n'étaient, déjà, ni plus compliqués que de grands postes de radio ordinaires, ni plus encombrants que deux de ces postes ensemble ; et ils reproduisaient avec une netteté suffisante, sur un écran carré de 20 centimètres de côté, les images émises par la Tour Eiffel. Mais depuis 1940, cet effort scientifique et industriel a été très ralenti en France et dans les autres pays (sauf aux Etats-Unis) par les nécessités de la guerre ; et il est même difficile d'indiquer avec une entière précision les derniers progrès réalisés.

* * *

Ce qui assure le succès de la télévision, c'est sa large diffusion due à la transmission par ondes de radio.

La radio transmettait déjà beaucoup de ces messages que les Anglais groupent sous la dénomination générale d'« intelligence » : paroles, musique, télégrammes en Morse, télégrammes secrets, dessins, photographies. Mais toutes ces formes d'« intelligence » doivent être traduites à l'aide d'un code qui les transforme en variations d'un courant dans le temps.

Le télégraphe est le plus simple de ces systèmes et le code Morse représente toutes les lettres de l'alphabet par le rythme des interruptions d'un courant. Le manipulateur découpe, en quelque sorte, ce courant en morceaux longs qu'on appelle « traits »

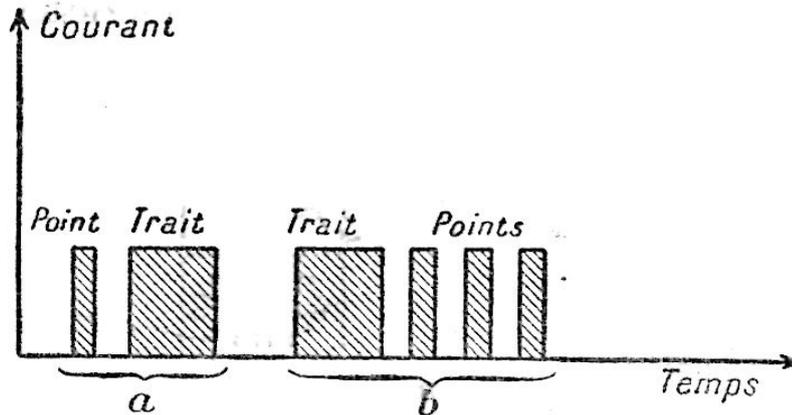


Fig. 1

et en morceaux courts qu'on appelle « points ». Chaque lettre de l'alphabet est représentée par une association particulière de traits et de points. On peut ainsi transmettre des mots et des phrases. La

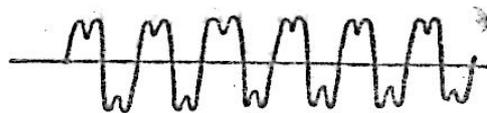


Fig. 2

figure 1 représente les variations, en fonction du temps, d'un courant transmis par télégraphie sans fil.

Pour la téléphonie, le code est encore simple : la courbe de la figure 2 qui l'exprime a une explication intuitive : c'est l'agrandissement d'un morceau de sillon de disque de phonographe ; l'aiguille qui l'a tracé suivait les vibrations de l'air, et le mouvement

de l'aiguille qui lit le disque provoque facilement, grâce aux phénomènes d'induction, des variations de courant proportionnelles aux déplacements. La figure 3 montre un des dispositifs utilisés à cet effet, le « pick-up » électromagnétique.

Les documents, dessins et photographies représentent une forme d'« intelligence » plus riche et plus

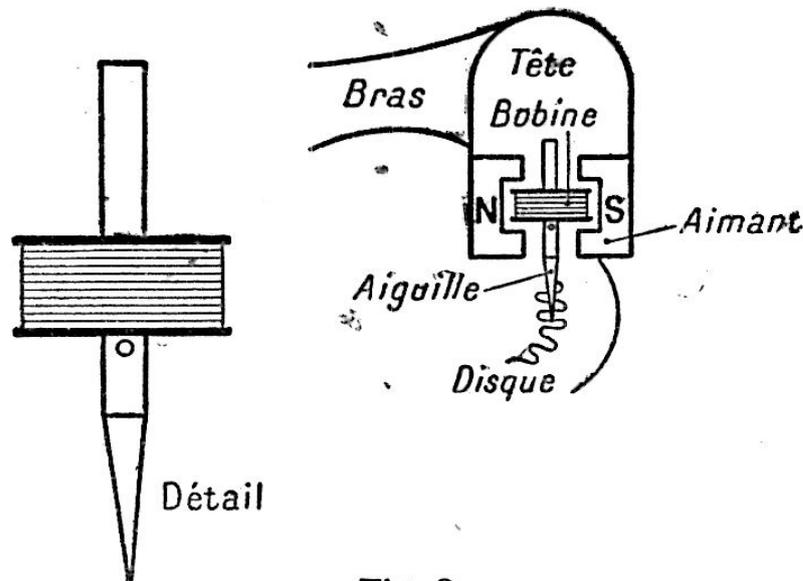


Fig. 3

difficile à transmettre : les vingt dernières années ont vu naître à ce sujet nombre d'études et distribuer quantité de brevets. Nous ne décrirons pas tous les efforts accomplis, puisqu'ils aboutissent en somme à la télévision pour laquelle le problème se pose sous sa forme la plus difficile et la plus complexe.

Le problème se décompose en trois autres dont chacun appelle sa solution particulière :

- 1° Comment capter l'image à transmettre ?
- 2° Comment effectuer la transmission par radio jusqu'au lieu où se trouve le spectateur éloigné ?
- 3° Comment assurer pour celui-ci la réception de l'image ?

Un aperçu très sommaire de la façon dont ce triple problème a été résolu orientera le lecteur et lui permettra de suivre plus aisément les explications détaillées qui formeront le contenu de cette étude.

L'appareil qui sert à capter l'image est un objectif

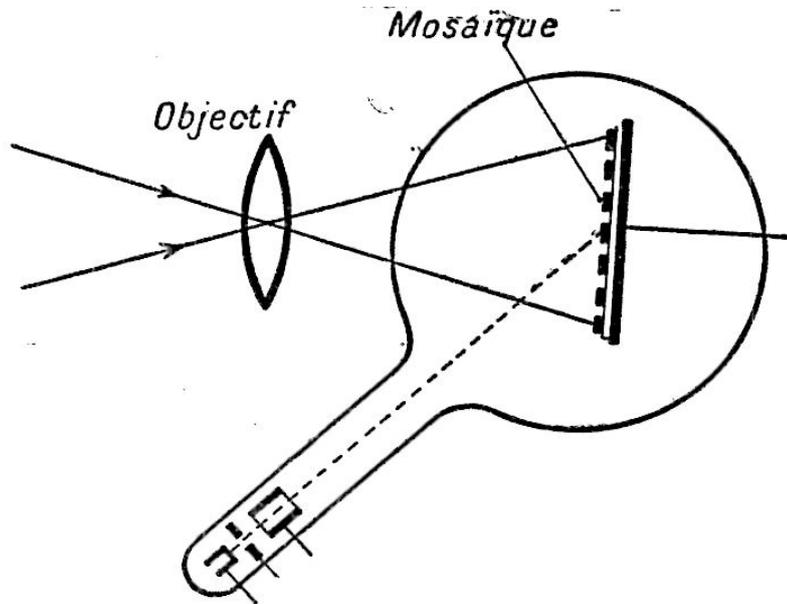


Fig. 4

analogue à celui d'un appareil photographique. C'est l'œil de la télévision. Il projette (fig. 4) sur une pellicule métallique carrée, comparable à la rétine de l'œil, une image de la scène à téléviser : image mouvante comme cette scène elle-même et formée — tel un négatif photographique — de parties en clair et de parties d'ombre. Les couleurs n'importent pas, car cette rétine artificielle est insensible à leurs nuances.

Comment transmettre l'image mobile ainsi recueillie ? Divisons la rétine dont nous venons de parler en minuscules carrés comparables à ceux d'un canevas à broder, mais infiniment plus nombreux

et plus petits. Ces petits carrés seront, au gré du mouvement de la scène réelle et du jeu des ombres et de la lumière, tantôt clairs, tantôt obscurs. Nous pouvons les comparer aussi à autant de microscopiques fenêtres qui dans la façade de quelque gratte-ciel aux multiples étages, s'allumeraient et s'éteindraient, de manière à produire un dessin animé. Numérotons ces fenêtres, à partir de l'étage supérieur et, dans chaque étage, de gauche à droite.

Et maintenant, en attendant que nous sachions résoudre scientifiquement le problème de la transmission, appelons une bonne fée à notre secours. Elle veut bien poster à chaque minuscule fenêtre un lutin plus minuscule encore, qui sera chargé d'annoncer à tous les coins de l'horizon par une T. S. F. à lui, dont il a le secret : « Fenêtre numéro tant s'éclaire » ou bien « Fenêtre numéro tant s'éteint ».

Et pour que les messages ainsi envoyés ne se chevauchent pas en une délirante cacophonie, nos lutins, gens disciplinés, vont s'imposer une stricte consigne : ils ne parleront jamais qu'à tour de rôle, dans l'ordre des numéros de leurs fenêtres ; dès que le dernier lutin, à la droite du rez-de-chaussée, aura émis son message, le premier, à la gauche de l'étage supérieur, recommencera une autre série d'émissions, et ainsi de suite, aussi longtemps que durera la scène animée. Et comme nos lutins ont la langue déliée et preste, ils n'exigeront, très exactement, qu'un $1/25$ de seconde au total pour faire s'envoler de toute la superficie de la façade, chaque série de messages.

Mais leur voix est menue ainsi que leur personne ; et il faudra, pour lui donner la portée nécessaire, que les ondes qui la propagent passent par une série d'amplificateurs, qui n'altéreront, bien entendu

ni la nature, ni l'ordre des messages, mais leur permettront d'atteindre leur but lointain.

Nos lutins signaleurs, chevilles ouvrières de la transmission, baptisons-les tout de suite du nom que leur donnera la science quand elle se substituera à notre bonne fée, ce sont des « cellules photo-électriques ». La façade sur laquelle ils ont élu domicile n'est autre que cette rétine placée à l'arrière de l'objectif, dont nous parlions plus haut ; elle s'appelle, dans les appareils récents, la « mosaïque ». Cette mosaïque est, on le voit, la cloison mitoyenne entre les bureaux d'enregistrement et d'expédition ; sur elle se dessine l'image captée par l'objectif ; et comme habitacle des lutins photo-électriques, c'est elle qui est à l'origine de l'émission.

L'édifice tout entier où travaillent les lutins s'appelle l'iconoscope ; ses parties essentielles sont la mosaïque, juxtaposition de « cellules photo-électriques minuscules » et le « canon à électrons », qui joue en pratique le rôle de la fée distributrice de lutins.

Au lieu où les messages vont être reçus, aménageons une seconde façade à carrelage de fenêtres identique à celui de la première, et donnons à ces nouvelles fenêtres, d'étage en étage, des numéros rigoureusement correspondants à ceux des premières.

Une autre fée serviable nous fournit une autre équipe de lutins placés également aux fenêtres en sentinelles attentives. Chacun d'eux a son minuscule appareil récepteur de T. S. F., et dès qu'il perçoit le message envoyé par son petit confrère de même numéro, instantanément, il éclaire ou obscurcit sa propre fenêtre pour la rendre semblable à celle d'où le message est parti.

La deuxième façade reproduira donc à tout ins-

tant, en clair et en obscur, le dessin mouvant de la première ; et le miracle du transport instantané du dessin à des kilomètres de distance aura été réalisé.

Les lutins de la seconde équipe se nommeront encore, lorsque la science les aura pris à son service, des « électrons », fournis par un « canon à électrons »,

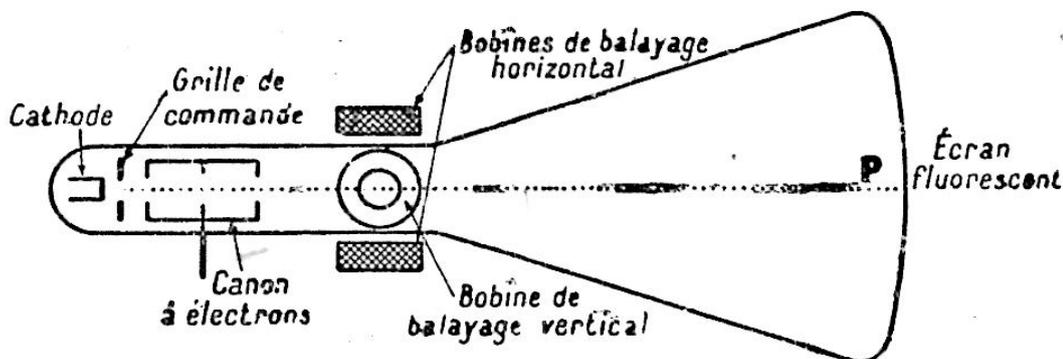


Fig. 5

pièce maîtresse de l'appareil récepteur, dont tout l'ensemble porte le nom d'« oscillographe cathodique » (fig. 5).

* * *

En vérité, les choses ne se passent pas tout à fait aussi simplement qu'il semblerait d'après le schéma que nous venons de tracer. Ce schéma ne fait pas la part assez belle aux lutins-électrons. Ceux-ci mobiles et officieux à l'extrême s'introduisent partout dans la télévision, il sera temps d'insister sur ces complications lorsque nous étudierons en détail les organes de transmission et de réception.

On devine, d'après ce qui précède le chemin que nous nous proposons de parcourir. Nous ferons plus intime connaissance avec le peuple de fées et de lutins, cellule photo-électrique, électrons et canon à

électrons, qui se mettent à notre service. Puis, après avoir présenté et dépeint ces serviteurs dévoués, nous les montrerons à l'œuvre dans ces délicates usines : l'iconoscope, l'oscillographe cathodique qui sont le lieu de leur travail.

Toutefois, avant d'entrer dans le vif de notre sujet, nous rappellerons quelques données essentielles relatives au fonctionnement de l'œil, spécialement de la rétine, et insisterons sur le phénomène appelé « persistance de l'image rétinienne ». Ces préliminaires ne seront pas inutiles, croyons-nous, à l'intelligence des phénomènes de la télévision.

CHAPITRE PREMIER

LA VISION NATURELLE

Structure de l'œil

Des scènes les plus variées, les plus vivantes, qui s'offrent à nous, nos yeux nous donnent toujours des impressions qui peuvent se classer en trois catégories : forme, couleur, mouvement. Jusqu'à maintenant, le spectateur de télévision a toujours dû renoncer au tiers de ses possibilités sensibles ; les images sont grises, et comme ce fut longtemps au cinéma, il ne voit que jeux de formes et de mouvements.

La structure de l'œil est très compliquée, mais il nous suffira d'en connaître un schéma assez rudimentaire pour comprendre l'illusion d'optique que constitue une image de télévision. L'œil humain est représenté en coupe (fig. 6) ; il se compose d'une lentille, le cristallin, qui à travers les deux liquides transparents qui remplissent l'œil : humeur aqueuse et humeur vitrée, donne des objets extérieurs une image sur la membrane sensible à la lumière qui tapisse le fond de l'œil : la rétine. On peut schématiser cette optique par une lentille convergente de 16 millimètres de distance focale et de 8 millimètres de diamètre, mais on ne décrit pas ainsi l'élégant mécanisme par lequel le cristallin accomplit une

mise au point automatique sur les objets auxquels nous portons attention. Sans intervention de notre volonté, par un réflexe, un muscle modifie la courbure du cristallin qui « accommode » pour que soient

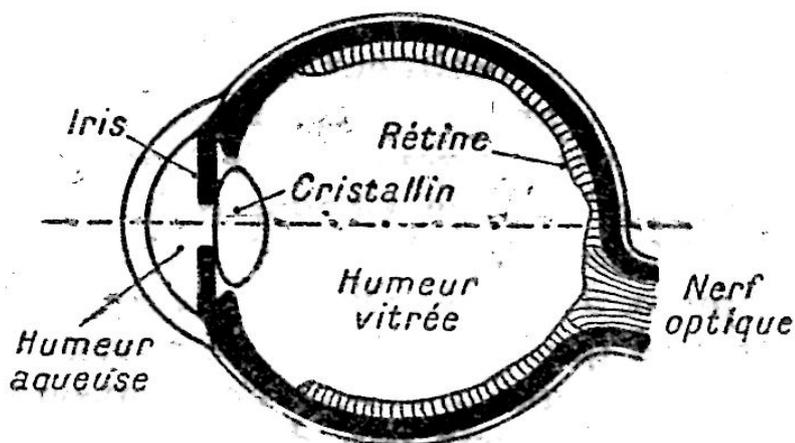


Fig. 6

nettes sur le fond de l'œil les images des objets qui nous intéressent.

Un autre réflexe délicat est celui de l'iris. Ce petit muscle circulaire règle la quantité de lumière qui entre dans l'œil, selon l'impression que reçoit la rétine. Son diamètre varie de 3 à 8 millimètres ; dilaté dans l'obscurité, il se ferme dans la pleine lumière pour que la rétine sensible ne se fatigue pas.

La partie la plus mystérieuse est la rétine. La figure 7 donne sa structure simplifiée et réduite aux éléments essentiels à notre point de vue. La

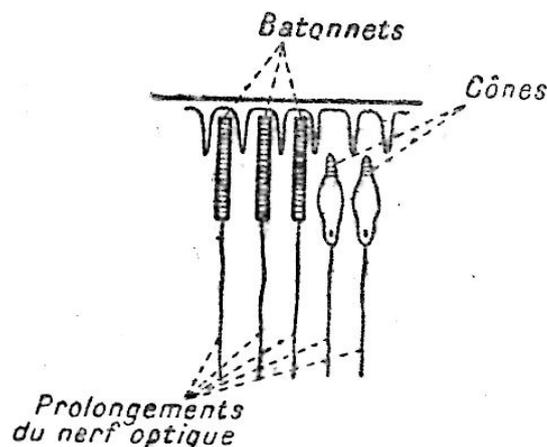


Fig. 7

surface du tissu apparaît comme une mosaïque de cellules minuscules sensibles à la lumière ; leur dimension varie de 1 à 5 microns (millièmes de millimètres) suivant les régions de la membrane ; la finesse et la sensibilité maxima étant celle du centre, de la « fovea centralis ». Sur la coupe, on distingue les trois éléments qui constituent chaque cellule en profondeur, ils portent des noms imagés, d'abord le cône, puis le bâtonnet qui est relié à de fins prolongements du nerf optique. Chaque cellule donne une impression élémentaire, elle exprime l'intensité d'un point lumineux de la scène totale qui se trouve ainsi décomposée en quelque 100.000 éléments.

Du mécanisme qui provoque l'excitation du nerf par la lumière, on sait peu de choses sûres ; son fonctionnement, peut-être analogue à celui des cellules photo-électriques que nous décrirons plus loin, est encore mystérieux. Cônes, bâtonnets, ainsi que le colorant pourpre qu'ils secrètent et qui disparaît, détruit par la lumière, jouent un rôle essentiel, mais mal défini. Il existe même des espèces animales qui voient et auxquelles il manque un de ces éléments.

Pouvoir séparateur de l'œil

Cette analyse de la sensibilité rétinienne explique bien pourquoi il est impossible de distinguer les détails d'un objet au-dessous d'une certaine limite. Deux points de l'objet n'apparaîtront séparés que s'ils correspondent dans l'image rétinienne à deux points situés sur des éléments différents de la rétine. S'ils éclairent le même élément, ils nous paraîtront confondus.

La limite ainsi fixée au pouvoir séparateur de l'œil est très petite et sur un dessin placé à 25 cen-

timètres, nous pouvons encore distinguer l'un de l'autre deux détails serrés à 75/1.000 de millimètre. Mais il ne faut pas trop regretter l'existence des loupes et des microscopes ; le manque d'acuité de l'œil va nous apparaître sous un jour plus avantageux. C'est grâce, en effet, à cette insuffisance qu'il est possible de le tromper, et avec des images assez sommaires et grossières de lui donner l'illusion des images réelles. Examinons, en effet, à la loupe la reproduction imprimée d'un dessin ou d'une photo dans un journal : elle nous apparaît comme composée d'une multitude de petits carreaux, plus ou moins noirs selon les ombres ou les lumières. A l'œil nu, cette structure est invisible, et nous avons l'illusion de l'original. Pour cela, la dimension de chaque carreau est choisie nettement plus petite que la limite de discernement de l'œil définie précédemment. En pratique, on prend une dimension de 2 à 4 dixièmes de millimètre pour avoir un bon effet de continuité.

Toute la difficulté en imprimerie consiste à obtenir la gradation des noirs : là encore, l'œil n'est pas très difficile, et comme chaque carreau n'éclaire qu'un élément de la rétine, il suffit pour fabriquer un carreau gris de laisser en blanc une partie d'un carreau noir. En variant la proportion des surfaces blanches et noires, on obtient toute la gamme des gris par une sorte de hachurage qui se prête bien à l'imprimerie et qui résiste à l'analyse de l'œil. C'est ainsi que sont faites la plupart des reproductions qui illustrent les livres et les journaux.

Persistance des impressions lumineuses

On dit souvent d'un événement rapide : « J'ai à peine eu le temps de le voir ». Cette expression fami-

lière traduit une importante propriété de l'œil, que le physicien anglais Talbot a précisée le premier par l'expérience suivante (fig. 8).

Une lampe éclaire par intermittence un papier blanc, car un disque opaque percé de trous est interposé sur le chemin des rayons lumineux ; ce disque,

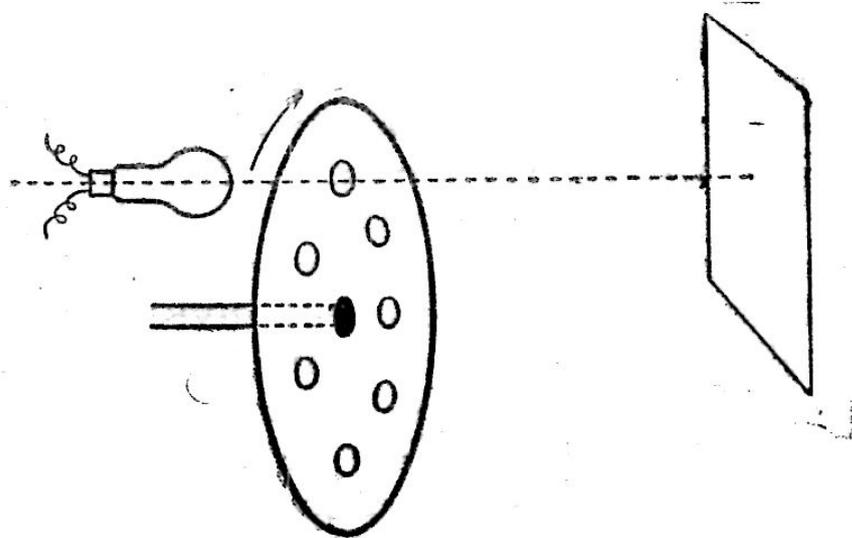


Fig. 8

entraîné par un moteur électrique, tourne à une vitesse réglable : la lumière ne passe que lorsqu'il se présente un trou, et l'écran est éclairé par une suite régulière d'éclairs plus ou moins longs suivant la vitesse du moteur. Tant que la cadence des éclairs est lente, par exemple 4 ou 5 par seconde, nous avons la sensation nette d'une alternance d'éclairage et d'obscurité. Quand la vitesse de rotation croît, la variation devient de plus en plus difficile à suivre, il y a un papillotement désagréable qui s'atténue de plus en plus et qui disparaît lorsque nous atteignons une fréquence de 16 éclairs par seconde.

Pour un même observateur, la limite dépend aussi de l'intensité de la lampe : plus elle est forte,

plus les éclairs sont brillants, et plus vite il faut faire tourner le disque pour supprimer le papillotage. La couleur de la lumière intervient aussi ; et, à éclairement égal de l'écran, l'œil est plus subtil en lumière jaune qu'en rouge ou en bleue. La limite n'est naturellement pas la même pour tout le monde, mais personne, en tout cas, ne distingue plus rien au delà de 20 éclairs par seconde. Le rythme mesure la persistance des impressions lumineuses : lorsque la rétine reçoit un éclair lumineux, la sensation ne disparaît pas tout de suite, et lorsque le disque a rendu l'obscurité, nous voyons encore l'écran éclairé ; mais cette persistance de la sensation est courte, elle disparaît au bout de $1/20$ de seconde environ, l'écran nous paraît alors ce qu'il est en réalité : obscur. Nous distinguons donc le papillotage, jusqu'à ce que le disque tourne assez vite pour qu'après $1/20$ de seconde l'écran soit à nouveau éclairé grâce à l'arrivée du trou suivant.

Cinéma

La persistance des impressions lumineuses est utilisée au cinéma pour donner l'illusion du mouvement. Le film est une suite de photos instantanées du mouvement original, prises tous les $1/25$ de seconde et rangées dans l'ordre chronologique. Le film se déroule d'un mouvement rapide, pour qu'à chaque seconde 25 photos passent dans l'appareil de projection, sur un rythme compliqué : la photographie est immobile pour être projetée pendant $1/25$ de seconde puis une brusque saccade l'escamote et lui substitue la suivante ; pendant ce temps très court, l'écran est obscur, le passage de la lumière est obturé par le secteur opaque d'une sorte de disque de Talbot, que sa forme particulière

a fait nommer croix de Malte (fig. 9). Le mécanisme nécessaire pour produire ce mouvement est très délicat, il est pourtant bien au point comme les spectateurs de cinéma le constatent communément.

L'œil ne perçoit pas l'escamotage de la lumière entre deux vues : la sensation d'une image dure encore quand la suivante prend sa place (les mouvements photographiés sont assez lents pour que deux images successives soient peu différentes l'une de l'autre), l'œil les fond ensemble, et de la file d'images naît la sensation d'une image continue et mobile.

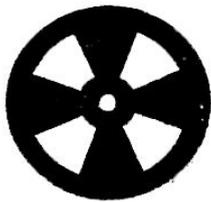


Fig. 9

Si le mouvement photographié est trop rapide, deux images consécutives du film sont alors trop différentes l'une de l'autre, l'œil les mélange bien encore en une impression unique, mais celle-ci ne donne plus l'illusion de l'objet réel, elle est floue. C'est ce qu'on remarque couramment, dans les films, pour les balles de tennis, les autos ou les avions en mouvement rapide, lorsque ces objets sont des détails accessoires dans les vues. Mais, en prenant la précaution d'accélérer la cadence, on améliore à volonté la qualité de la reproduction.

La limite dans ce sens est imposée par la difficulté de construire avec précision et sécurité le mécanisme qui assure le déroulement discontinu du film. La vitesse de 128 par seconde réalisée dans les prises de vues destinées aux effets de ralenti donne la limite atteinte industriellement aujourd'hui. Ce sont les mêmes limitations qui ont empêché le développement de la télévision, avant la découverte des procédés purement électriques modernes ; car ses exigences au point de vue de cette rapidité discontinu sont encore plus grandes.

Exploration de l'image en télévision

La télévision utilise simultanément les techniques de la typographie et du cinéma.

Pour comprendre comment se déroule l'exploration des images en télévision, nous réduirons l'appareillage de prise de vues à un schéma très simple (fig. 10). Un objectif donne de l'objet A, que nous

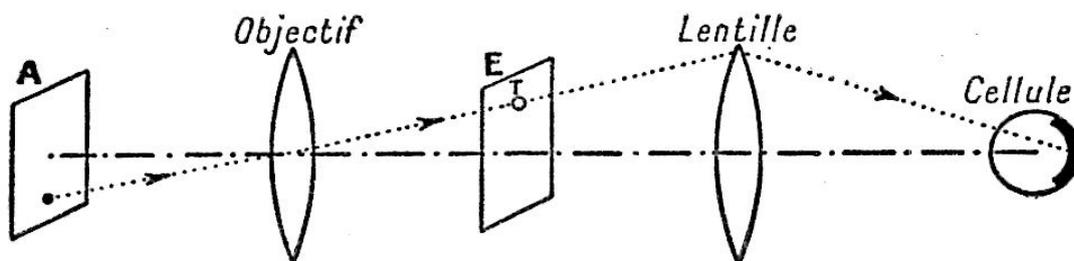


Fig. 10

supposerons d'abord immobile, une image dans le plan de l'écran E. Cet écran est opaque mais il présente un trou très petit T qui laisse passer la lumière d'une toute petite surface de l'image. Cette lumière est recueillie par une cellule photo-électrique qui donne naissance à un courant électrique d'intensité proportionnelle à la quantité de lumière reçue. D'autre part, le trou T ne reste jamais immobile ; il explore toute la surface de l'écran pendant le temps très court de $1/25$ de seconde, de manière que tous les points de l'image envoient successivement leur lumière sur la cellule. Ce trou joue en somme le rôle du carreau élémentaire de la typographie et ses dimensions doivent être aussi petites que possible pour que le grain de la reproduction tombe au-dessous du pouvoir séparateur de l'œil. Nous supposerons que ce trou, que nous appellerons *point*

explorateur est un cercle de $4/10$ de millimètre de diamètre. Nous allons décrire le chemin qu'il suit sur l'écran E.

Mouvement du point explorateur

Considérons (fig. 11) l'écran E vu de face, c'est par exemple, un rectangle de 12 centimètres de largeur et 10 centimètres de hauteur.

Le point explorateur part de A et se déplace de gauche à droite, d'un mouvement uniforme, en suivant un trajet presque horizontal ; pas tout à fait horizontal cependant, car lorsqu'il est arrivé à

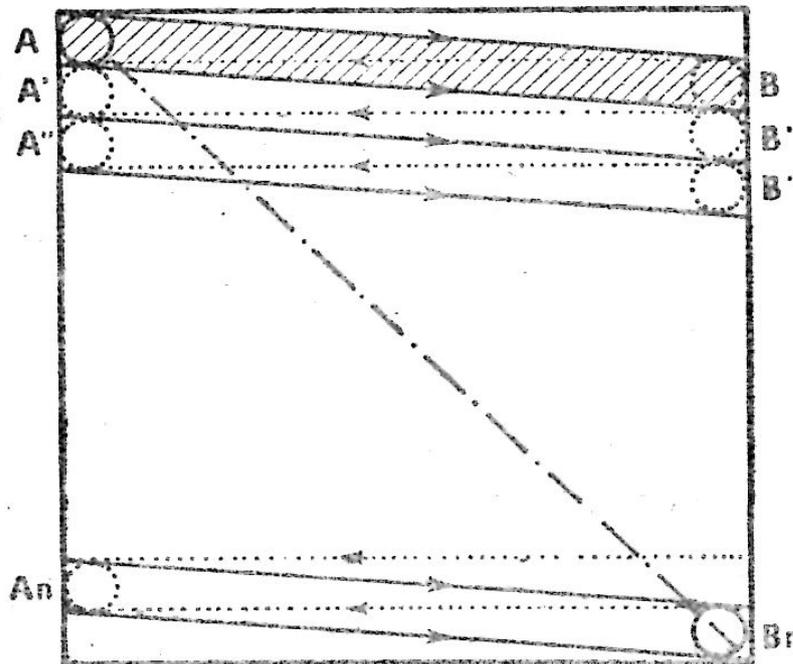


Fig. 11

droite de l'écran en B, il est descendu de $4/10$ de millimètre, d'une hauteur égale à son diamètre. Il a balayé sur l'écran une bande étroite, hachurée sur la figure. En réalité nous avons démesurément

grossi le point explorateur ; la bande balayée que l'on appelle une *ligne* est très peu inclinée sur l'horizontale puisqu'elle ne descend que de $4/10$ de millimètre sur une longueur de 120 millimètres.

Arrivé en B, le point explorateur saute brusquement en A' à gauche de la mosaïque. De B en A', il suit maintenant un trajet rigoureusement horizontal (représenté en pointillé sur la figure) et vient se replacer en A' exactement au-dessous de sa position de départ A.

Tout ceci ne dure pas longtemps : pour aller de A en B, il faut un peu moins de $1/5.000$ de seconde, mais pour revenir de B en A', le point ne met plus que un millionième de seconde, soit 200 fois moins de temps encore. C'est pourquoi on admet que ce temps de retour est négligeable et que le saut du point explorateur de B en A' passe inaperçu.

Revenu en A', le point explorateur repart immédiatement, pour décrire la ligne A' B' exactement semblable à AB et immédiatement en dessous. De B' il saute brusquement en A'' au-dessous de A', et décrit A'' B'', et ainsi de suite jusqu'à ce qu'il soit arrivé au bas de l'écran. Il termine son exploration par une dernière ligne A_n B_n qui l'amène en B_n, dans le coin inférieur droit de l'écran. Arrivé là, il bondit en 1 millionième de seconde en A en traversant tout l'écran suivant la ligne en trait mixte.

De A il part vers B pour recommencer une nouvelle exploration identique à la précédente. L'exploration complète de A à B_n a duré $1/25$ de seconde. La hauteur des lignes étant $4/10$ de millimètre et celle de l'écran 10 centimètres, il y a au total $1000/4$, soit 250 lignes. Le parcours d'une ligne dure donc $1/(25 \times 250) = 1/6250$ de seconde.

On peut dessiner sur la surface de l'écran les

250 lignes dont nous venons de parler (fig. 12) Chaque ligne ayant 0,4 millimètre de haut et 12 centimètres de large, on peut la diviser en 300 carrés de 0,4 millimètre de côté : l'écran contient donc 75.000 de ces carrés. On désigne souvent ces carrés

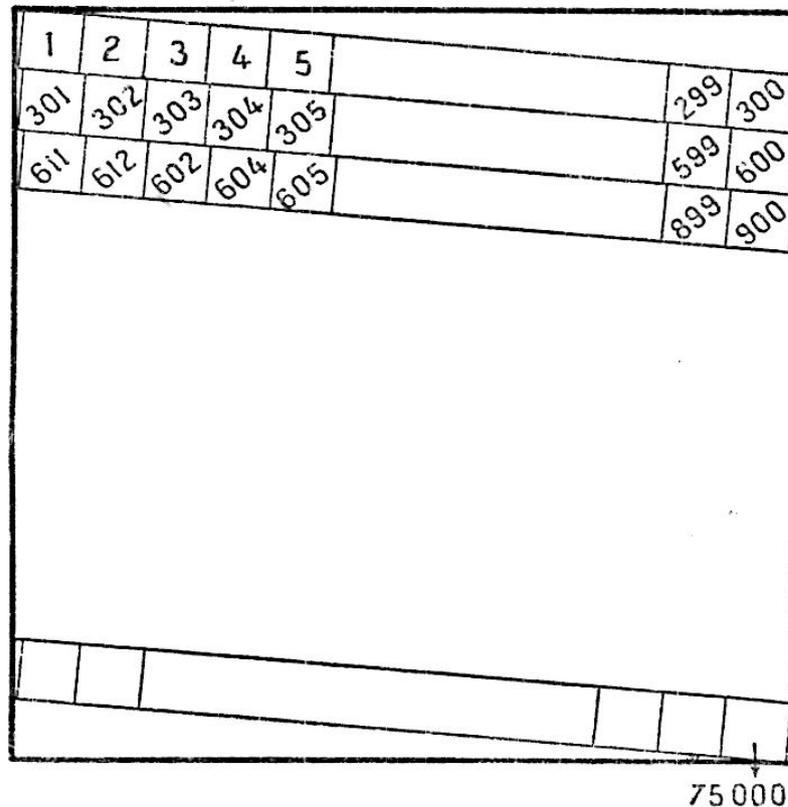


Fig. 12

fictifs sous le nom de *points d'image* ; en les numérotant de 1 à 75.000 en commençant en haut et à gauche et en allant sur chaque ligne de gauche à droite, nous constatons qu'à chaque exploration, le point explorateur rencontre tous les points d'image dans l'ordre où ils sont numérotés et sans en omettre aucun.

A chaque position du trou correspond une intensité différente de la lumière qui passe, suivant qu'on

est dans un clair, un noir ou un gris de l'image ; et la cellule traduit fidèlement ces nuances par des variations de courant : leur allure est représentée par la courbe en trait gras de la figure 47 a.

A la réception, un courant de même forme entre dans le modulateur de lumière (fig. 47 a) qui produit un pinceau lumineux dont l'intensité suit les variations du courant. Un dispositif de balayage dirige ce pinceau sur l'écran E' où apparaît une tache lumineuse T'. Divisons également E' en 75.000 cases ; le balayage est fait de telle manière que le point explorateur à l'émission et la tache lumineuse à la réception soient à chaque instant sur le même numéro de E et de E'. La cellule photo-électrique et le modulateur sont fidèles : la tache T' a le même éclairement que la portion d'image originale couverte par le trou T.

Impression du spectateur. — Elle est la même que s'il était à l'émission et regardait l'image E à travers le trou T : le mouvement est si rapide que lorsque T est sur la case 75.000, il y a seulement 1/25 de seconde que l'observateur le voyait sur la case 1 : l'impression visuelle de la case 1 dure encore au moment où le trou y revient pour recommencer le trajet d'exploration suivant, il en va de même pour toutes les cases intermédiaires ; l'observateur a l'illusion de voir toute l'image comme si l'obturateur à trous n'existait pas ; elle paraît seulement assombrie. Si l'objet est un écran uniformément blanc, son éclat paraît affaibli comme si on dispersait sur toute sa surface la quantité de lumière qui tombe en réalité sur la surface du trou. D'une manière plus précise, l'éclairement apparent de l'écran de réception est à celui de la tache lumineuse exploratrice comme la surface du trou à la surface totale de l'écran ; il y a donc une grosse

perte de lumière, et pour avoir une réception suffisamment claire, il faudra que le pinceau lumineux soit très brillant.

Cas d'un objet en mouvement. — On a la même impression qu'au cinéma : chaque cycle d'exploration, s'il était isolé, donnerait au spectateur l'impression d'un instantané au 1/25 de seconde de la scène ; les cycles se succèdent sans interruption, c'est-à-dire que ces instantanés se suivent, comme au cinéma, au rythme de 25 par seconde ; les images successives se fondent en une impression unique d'objet en mouvement.

Nombre d'éléments et qualité d'image

La dimension moyenne d'écran désirable et réalisée pour les récepteurs d'intérieur est un carré de 30 centimètres de côté. Plusieurs personnes peuvent le regarder simultanément en se plaçant à 1,50 mètre-1,80 mètre. A cette distance, le pouvoir séparateur de l'œil atteint 8/10 de millimètre, c'est la dimension de la tache d'exploration nécessaire pour que le grain d'exploration disparaisse, il correspond à 300 lignes pour l'écran. Les possibilités techniques actuelles ont permis de standardiser, en Amérique, le nombre de lignes à 440 ; c'est aussi le nombre auquel on tendait à se rallier en Europe. La qualité de l'image est alors excellente et on pourra se rapprocher davantage de l'écran, jusqu'à 1 mètre environ, sans distinguer la trame.

La télévision est légèrement avantagée par rapport à la typographie, parce que la variation de luminosité d'un élément à l'autre le long d'une ligne est progressif, le mouvement du trou explorateur étant continu.

Par contre, les conditions sont plus dures qu'au

cinéma. Le papillotage est beaucoup plus marqué à la même cadence; ce fait tient à ce que les instantanés ne sont eux-mêmes que des juxtapositions de points encore plus fugitifs. La différence est considérable : la fréquence de 25 images par seconde, très suffisante pour construire l'impression de mouvement, donne un papillotage désagréable; il faut atteindre 60 pour que cet effet disparaisse. On juge sur notre schéma simplifié que cette accélération du rythme d'images correspond à une augmentation de la vitesse de déplacement du trou explorateur, donc à une difficulté supplémentaire.

Un des moyens employés pour la surmonter consiste à adopter une loi plus compliquée pour l'exploration, qui est nommée « entrelacée ». Le cycle de balayage est décomposé en deux temps, on balaye d'abord les lignes impaires en sautant les lignes paires; puis dans un deuxième temps, on balaye les lignes paires. Ce système présente un papillotage atténué et cet avantage est assez marqué pour le faire adopter universellement malgré la complication de son rythme.

Les couleurs non perceptibles pour l'œil

Et voici une autre insuffisance de l'œil humain, dont nous aurons aussi à faire état au cours de cette étude.

La lumière du soleil, ou lumière blanche peut être dissociée en une infinité de lumières simples, comme Newton l'a découvert dans une expérience célèbre (fig. 13). Il suffit pour cela de recevoir sur un prisme de verre un pinceau lumineux, comme ceux que le soleil envoie à travers le trou d'un volet; le pinceau est dévié et dispersé; sa trace sur une feuille de papier blanc peint toutes les teintes de l'arc-en-ciel : le

rouge est à l'extrémité la moins déviée, le violet à l'autre ; c'est ce qu'on appelle un spectre lumineux. Les noms rouge, vert, ne sont qu'une manière bien primitive de désigner les couleurs. Une partie importante de l'optique, la théorie des interférences, nous apprend à considérer la lumière comme une vibration électrique analogue aux ondes de la T. S. F.

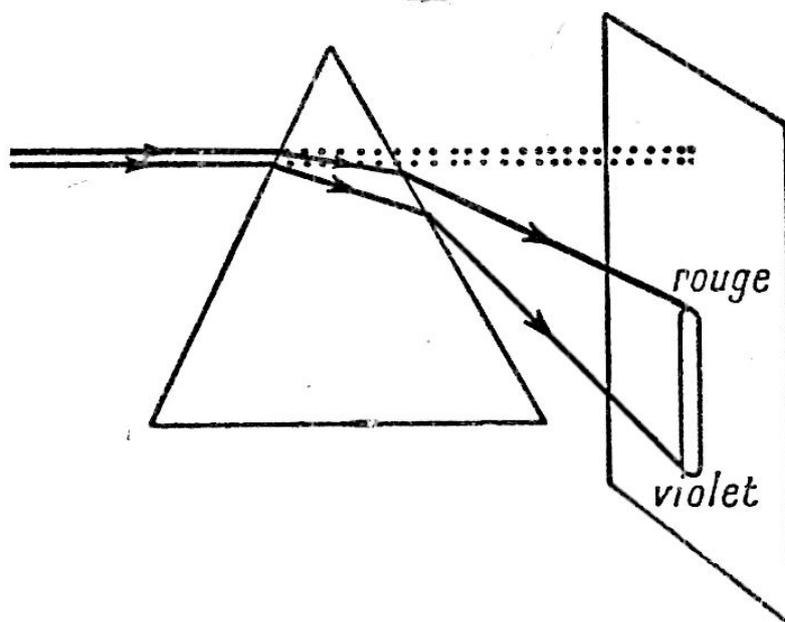


Fig. 13

Comme elles, la lumière a une fréquence, mais énorme, et une longueur d'onde toute petite, et on peut choisir l'une ou l'autre de ces deux grandeurs pour caractériser les couleurs et en donner un repérage précis, car des radiations lumineuses de couleurs différentes ont des longueurs d'onde différentes.

On a le tableau suivant :

Couleur	rouge	orange	jaune	vert	bleu	indigo	violet
Long. d'onde en μ (1) ..	0,80	0,65	0,60	0,53	0,48	0,45	0,40

(1) μ = micron, c.-à-d. millième de millimètre.

Toutes ces lumières colorées transportent de l'énergie, comme on peut le constater en plaçant dans le spectre le réservoir noirci d'un thermomètre : l'énergie est transformée en chaleur que mesure l'élévation de température. En réalité on emploie des appareils beaucoup plus sensibles qu'un thermomètre à mercure, car les quantités de chaleur sont petites. Un exemple de ces instruments est la

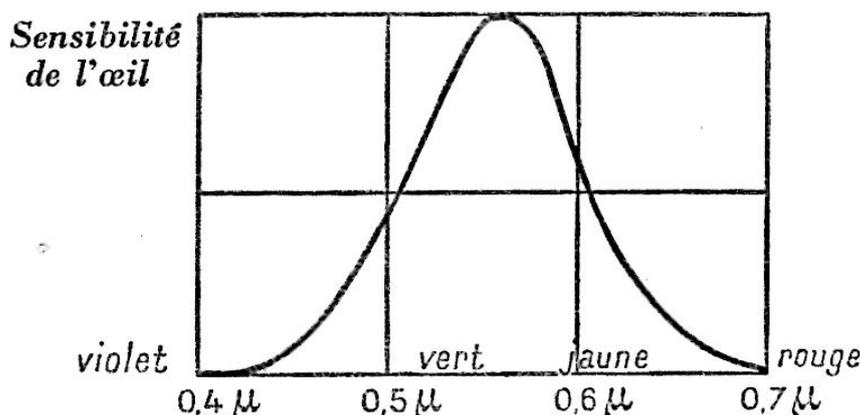


Fig. 14

pile thermo-électrique formée par la soudure de deux fils, l'un de bismuth, l'autre d'antimoine; la deuxième soudure des deux fils est mise à l'abri de la radiation, à température constante. Lorsque la première est échauffée, il passe un courant dans les fils; et en mesurant ce courant avec un galvanomètre, on a un thermomètre extra-sensible, dont la réponse est proportionnelle à l'énergie de la radiation qui l'éclaire.

Quand on explore le spectre du soleil avec cet appareil, on constate qu'il y a encore de l'énergie au delà du rouge : c'est l'infra-rouge, et au delà du violet, c'est l'ultra-violet. Nos yeux sont insensibles à ces radiations, nous ne les voyons pas. La sensibilité de l'œil n'est pas non plus uniforme pour

toutes les couleurs du visible, et si nous regardions un spectre, où la pile thermo-électrique décèlerait une répartition uniforme de l'énergie, les bords rouge et violet nous paraîtraient beaucoup plus sombres que la partie jaune. C'est cette inégalité

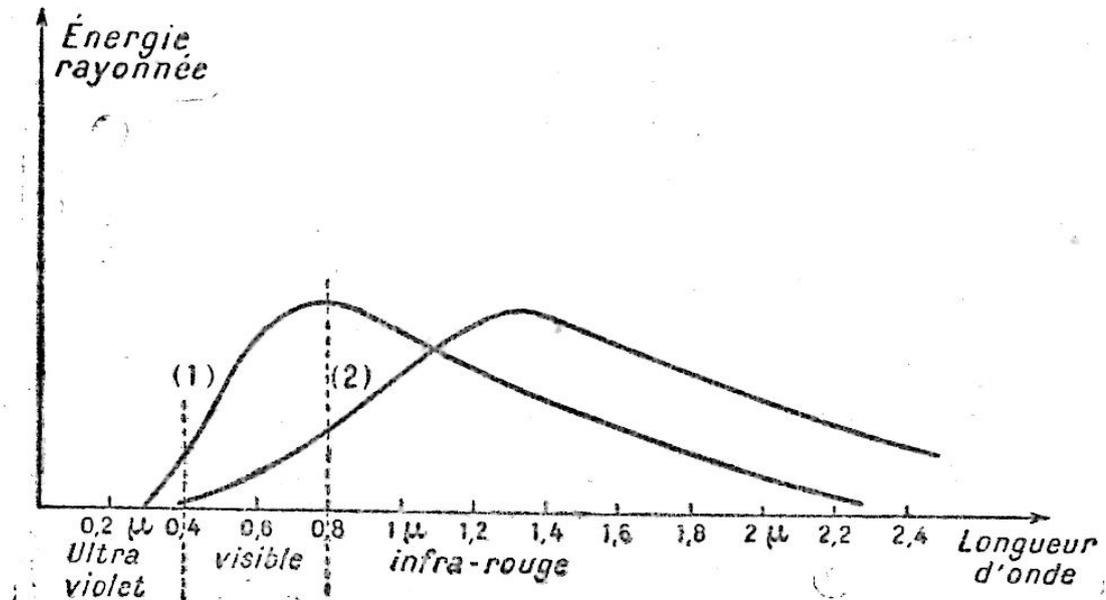


Fig. 15

d'impression que traduit la courbe de la figure 14.

Les sources de lumière courantes nous paraissent blanches sans rayonner la même quantité d'énergie pour toutes les couleurs, ainsi qu'on le voit sur les courbes (fig. 15).

Dans les lignes qui précèdent, nous avons précisé quelles conditions les propriétés de l'œil imposent à la transmission des images. Nous allons décrire maintenant les solutions que la technique moderne a données de ce problème.

CHAPITRE II

LA CELLULE PHOTO-ÉLECTRIQUE

■ Dans l'organe essentiel d'un émetteur de télévision, l'iconoscope, les phénomènes photo-électriques jouent un rôle fondamental. Nous allons faire connaissance avec eux en examinant le plus simple des appareils dans lesquels ils se manifestent : la cellule photo-électrique. Signalons en passant, pour souligner l'intérêt de cette étude, les multiples applications que les cellules ont reçues de nos jours : barrages lumineux, cinéma sonore, téléphotographie, télévision, etc.

Description de la cellule photo-électrique

■ Une cellule est constituée essentiellement par une ampoule de verre vide d'air (fig. 16) à l'intérieur de laquelle, on a déposé, sur une partie de la paroi, une mince couche de métal alcalin (potassium ou césium par exemple). Cette couche métallique, appelée « cathode », est reliée électriquement à un fil qui traverse la paroi. Au milieu de l'ampoule, se trouve une boucle métallique A, l'« anode » elle aussi en communication électrique avec l'extérieur.

Réunissons l'anode au pôle positif d'une pile P de 80 volts, la cathode au pôle négatif et intercalons un galvanomètre dans le circuit pour mesurer le courant électrique.

Si nous opérons dans l'obscurité, le galvanomètre n'indique aucun courant, mais si nous plaçons devant la cellule une lampe à incandescence, de façon à bien

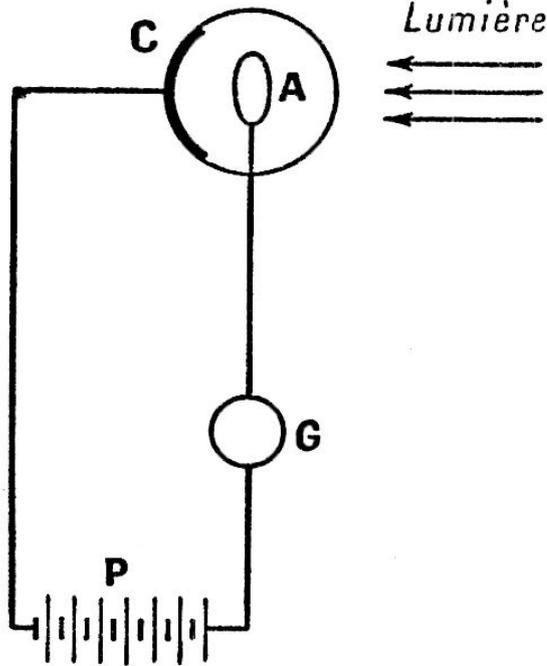


Fig. 16

éclairer la cathode, nous constatons que le galvanomètre dévie, il passe un petit courant électrique. Eteignons la lampe, le courant cesse ; rallumons-la, il réapparaît et dure tant que la cathode est éclairée. On l'appelle courant photo-électrique ; le phénomène que nous venons de décrire est l'« effet photo-électrique ». Nous avons là un courant qui fait partie de la catégorie de phénomènes surprenants, découverts à la

fin du XIX^e siècle sous le nom de conductibilité électrique du vide.

Nul n'ignore, en effet, que pour faire débiter du courant à une pile, nous relions ses pôles + et — par un fil conducteur. Si le fil vient à être coupé, le courant cesse, c'est le principe de tous les interrupteurs.

Dans le cas de la cellule, nous avons bien un fil conducteur qui va du pôle + à l'anode et un autre qui relie le pôle — à la cathode, mais à l'intérieur de la cellule, entre anode et cathode, il n'y a rien que le vide. Et cependant, le courant passe en l'absence de son support matériel habituel, le fil métallique. Le vide ne remplit son rôle d'isolant parfait, d'interrupteur, que dans l'obscurité.

Cette conductibilité, il faut bien le noter, n'est pas ordinaire : le courant va du pôle positif au pôle négatif de la batterie, il traverse la cellule de l'anode à la cathode ; mais si l'on intervertit les connections en reliant la cathode à la borne positive et l'anode à la borne négative, le courant photo-électrique disparaît, quelle que soit la lumière reçue par l'appareil. Le courant va donc nécessairement, dans la cellule, de l'anode à la cathode. Nous verrons plus loin comment ce mécanisme particulier est expliqué simplement par l'existence des électrons dont la découverte est contemporaine de celle des cellules. Un élément nous intéresse, c'est la grandeur du courant photo-électrique, elle dépend de l'éclairement, lui est proportionnelle, mais reste très faible, le plus souvent inférieure à 1 microampère. Il est nécessaire pour toutes les applications d'amplifier fortement ces courants.

Résumons les caractéristiques décrites : une cellule photo-électrique est un appareil qui peut être traversé par un courant électrique si l'une de ses électrodes (cathode) constituée par une mince couche de métal alcalin est éclairée, et si l'autre électrode (anode) est reliée au pôle positif d'une pile de 10 à 100 volts. Ce courant photo-électrique, très faible (il se mesure en microampères), va dans la cellule de l'anode à la cathode ; il est proportionnel à l'éclairement.

Nature du courant photo-électrique. — Électrons

C'est l'action de la lumière sur le métal de la cathode qui crée le courant photo-électrique. Pour saisir au mieux le mécanisme de cette opération examinons d'un peu près la structure de ce métal.

Tous les corps, solides, liquides ou gazeux, conduc-

teurs ou isolants, sont formés de particules extraordinairement petites, les atomes. Personne n'a jamais vu d'atomes, car leur petitesse défie de loin l'objectif des meilleurs microscopes, mais leur existence a été rendue certaine par l'œuvre expérimentale et théorique des chimistes du XIX^e siècle et des physiciens du XX^e.

Dans les corps solides, comme les métaux, les atomes sont fortement pressés, les uns par rapport aux autres. Un morceau de métal, qui nous paraît une masse parfaitement continue, prendrait l'aspect, si nos yeux étaient assez perçants pour les distinguer, d'un amas de petits grains serrés les uns à côté des autres dans un ordre régulier comme celui d'un tas de boulets (fig. 17).

Nous ne sommes pas au bout de notre analyse. L'atome lui-même, si petit qu'il soit, n'est pas l'étape ultime de la division de la matière. A l'intérieur de cet atome se trouve tout un système solaire en miniature. Il y a au centre un soleil, le noyau, relativement très lourd, autour duquel gravitent des planètes très légères, les électrons ; toutes ces parcelles sont encore incomparablement plus petites que l'atome.

Le nombre des électrons dépend de la nature chimique du corps. Il y en a, par exemple 29 dans un atome de cuivre et 26 dans un atome de fer. Ces électrons portent tous une même charge électrique négative. De son côté, le noyau a une charge positive égale à la somme des charges négatives de tous les électrons de l'atome, de sorte qu'en définitive l'atome est électriquement neutre ; c'est ce qui explique qu'un morceau de cuivre, bien qu'étant un véritable grouillement de corpuscules électrisés ne manifeste extérieurement aucune charge électrique.

Ici apparaît la distinction entre les corps conduc-

teurs de l'électricité et les corps isolants. Dans les corps conducteurs, comme les métaux, une partie des électrons, au lieu de tourner bien sagement autour de leur noyau, se sont échappés et promènent leur indépendance dans l'espace laissé libre entre les atomes, ce sont eux que nous avons figurés par des points noirs (fig. 17). Dans un corps isolant, au contraire, aucun électron ne se permet un pareil vagabondage.

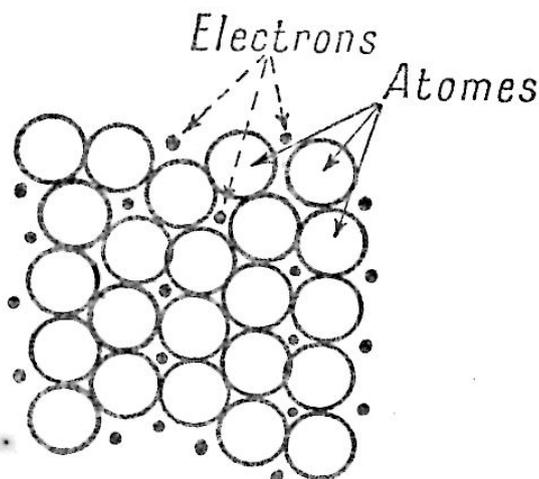


Fig. 17

Si nous relions les deux pôles d'une pile par un fil de cuivre, les électrons libres du métal vont être attirés par le pôle $+$ de la pile et repoussés par le pôle $-$, puisqu'ils sont chargés d'électricité négative. Ils vont donc se précipiter vers le pôle $+$, s'engouffreront dans la pile qui les expulsera par son pôle $-$, d'où ils fileront à nouveau vers le pôle $+$. Nous aurons ainsi, dans le fil et la pile un flot continu d'électrons, un véritable torrent de petites charges électriques négatives, qui constitue tout simplement le banal courant électrique. Ce flot va en sens inverse du sens conventionnel du courant qu'on avait choisi au hasard bien avant l'existence de la théorie électronique. Si nous remplaçons le fil de cuivre, par un fil de soie isolant, dans lequel chaque atome garde jalousement ses électrons, il n'y aura plus ici d'électrons vagabonds, partant, plus de courant électrique.

La théorie des électrons donne une interprétation mécanique simple de la distinction entre

corps isolants et corps conducteurs et de la nature du courant dans ces derniers. Avec le même succès elle explique l'échauffement des conducteurs par le passage du courant. Pour circuler dans le fil, les électrons sont obligés de se faufiler entre les atomes. Comme ceux-ci sont étroitement serrés les uns contre les autres, les électrons suivent un chemin des plus tortueux. Si petits et si agiles qu'ils soient, ils n'en heurtent pas moins les atomes; il n'y a pas de choc sans dégagement de chaleur. C'est l'explication du chauffage électrique. Plus le courant sera intense, plus il passera d'électrons dans le fil et plus l'échauffement sera grand. Pour donner une idée de la petitesse de l'électron, nous dirons que sa masse est égale à $0,9 \cdot 10^{-27}$ gramme, ce qui revient à dire que 1 milliard de milliards d'électrons pèsent 1 cent millionième de gramme. Quant à la charge de l'électron, elle est telle que dans un circuit parcouru par un courant de 1 ampère, il passe en 1 seconde, en chaque point du circuit 2 milliards de milliards d'électrons.

Le succès de la théorie électronique est d'unifier l'explication des phénomènes électriques les plus divers et d'en faire un ensemble logique et cohérent. Ainsi elle fournit une explication très simple des diverses particularités de l'effet photo-électrique.

Tous les courants dans les conducteurs métalliques sont constitués par un flux d'électrons, il en est de même dans le vide de la cellule. D'où viennent-ils dans ce cas ? De la cathode, qui en contient à l'état libre en tant que métal conducteur : la lumière, dès que la cellule est éclairée, arrache une partie de cette réserve et ces particules parcourent l'espace entre les électrodes. Si on réunit maintenant les électrodes aux deux pôles d'une pile, deux branchements sont possibles : si l'anode est positive,

elle attire les électrons qui se précipitent sur elle, créant un courant dans le circuit extérieur ; si elle est négative elle repousse tous les électrons, qui ne parviennent pas à la toucher, aucun courant ne passe.

Quand la cellule est dans l'obscurité, il ne passe en aucun cas de courant, puisqu'aucun électron ne sort de la cathode. L'effet photo-électrique réside, en définitive, dans la propriété que possède le métal de la cathode, d'expulser, sous l'action de la lumière, une partie de ses électrons.

Sensibilité des cellules photo-électriques

Le courant débité par une cellule est très petit et de nombreux techniciens se sont efforcés de perfectionner la construction des cellules, pour augmenter leur sensibilité.

Pour comparer à cet égard deux cellules différentes, nous les placerons successivement dans les mêmes conditions, à la même distance d'une même source lumineuse, d'une même lampe à incandescence par exemple. Nous relierons leurs électrodes aux bornes d'une même pile et nous mesurerons les courants débités par les deux cellules. La cellule qui donne le courant le plus intense sera la plus sensible. Mais ici s'élève une grande difficulté.

L'expérience prouve que cette classification dépend de la source éclairante et peut très bien s'inverser si nous passons de la lumière du jour à la lumière très colorée de certaines lampes analogues aux tubes des réclames lumineuses, lumière jaune d'une lampe à sodium, ou rouge d'un tube à néon. De même, si, en gardant comme source une lampe à incandescence, nous interposons entre la source et la cellule différents verres colorés de façon à éclairer successivement la cellule en violet, en bleu,

en vert, en jaune, en rouge, nous constaterons que telle cellule, très sensible à la lumière violette, ne l'est plus du tout à la lumière rouge, et que pour une autre de fabrication différente, c'est l'inverse qui se produit.

La cellule ressemble à l'œil, elle ne réagit pas également à toutes les couleurs. En l'éclairant avec

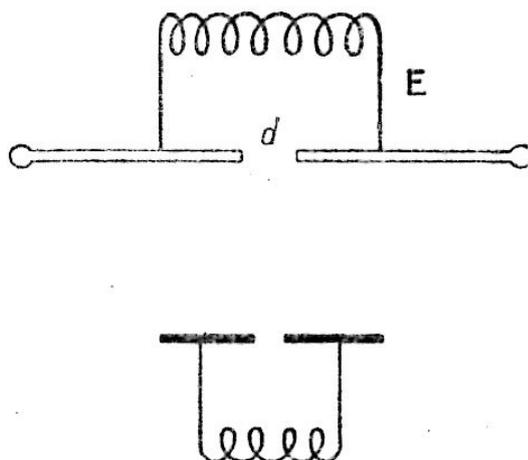


Fig. 18

des radiations de couleurs différentes, mais de même énergie, on obtient des courants différents.

Il nous faut donc préciser le rôle de la couleur de la lumière et étudier, comme on dit, la sensibilité spectrale des cellules. Cette étude sera en même temps un historique des recherches qui, dans le domaine qui nous occupe, ont conduit aux connaissances actuelles.

C'est Hertz qui en 1887 découvrit l'effet photo-électrique de manière curieuse au cours des expériences fondamentales d'où devait sortir la T. S. F.

Son émetteur E (fig. 18) comportait un éclateur qui donnait de très fortes étincelles et l'onde manifestait son existence dans le récepteur par la création

d'une petite étincelle, dont on mesurait la longueur. Au cours des expériences sur la propagation des ondes qui portent son nom (ondes hertziennes), Hertz sut discerner qu'elles n'étaient pas seules à déterminer la petite étincelle ; la lumière de la grosse étincelle d'émission qui, par un hasard de montage, parvenait à l'éclateur de réception avait aussi une action ; sa présence facilitait le passage de la décharge, à travers la coupure. Après avoir montré

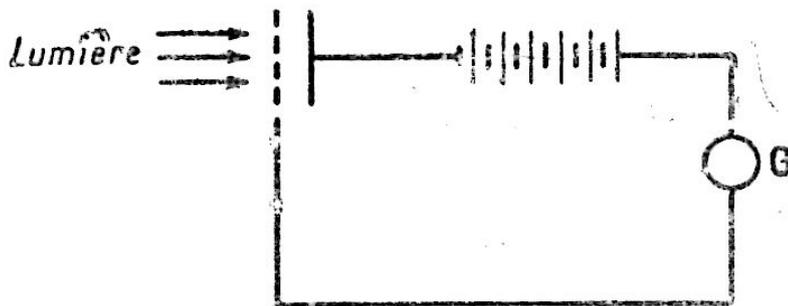


Fig. 19

que les radiations ultra-violettes étaient les plus actives, Hertz ne s'occupa plus de sa subtile découverte et c'est Hallwachs qui éclaircit les conditions de l'expérience.

En 1888, il établit qu'une sphère de zinc polie, isolée et fortement chargée d'électricité négative, perdait cette charge quand on l'éclairait par des radiations ultra-violettes. Puis Stoletow eut l'idée de recueillir l'électricité négative perdue par le métal éclairé en l'entourant d'une grille métallique, et en reliant grille et plaque par l'intermédiaire d'un galvanomètre et d'une pile (fig. 19). Avec ce dispositif, il constata qu'une radiation éclairant la plaque faisait passer un faible courant continu de la grille à la plaque. Le principe de la cellule était

acquis ; mais la présence de l'air entre les plaques compliquait beaucoup le fonctionnement. L'étape définitive fut franchie grâce à Julius Elster et Hans Geitel. Les métaux étudiés auparavant pour leur sensibilité photo-électrique étaient le magnésium, l'aluminium et le zinc ; ils voulurent essayer les métaux alcalins comme le sodium et le potassium et comme ces métaux s'altèrent au contact de l'air, ils enfermèrent le métal sensible et l'électrode collectrice d'électrons dans une ampoule bien vidée d'air, réalisant ainsi les premières cellules. Non seulement ces cellules étaient beaucoup plus sensibles aux radiations ultra-violettes que les montages antérieurs, mais, fait encore plus important, elles fonctionnaient avec la lumière visible ordinaire. Continuant à perfectionner leur cellule, ils montrèrent d'abord que les hydrures de sodium et de potassium étaient plus sensibles que les métaux eux-mêmes et trouvèrent un procédé de fabrication encore en

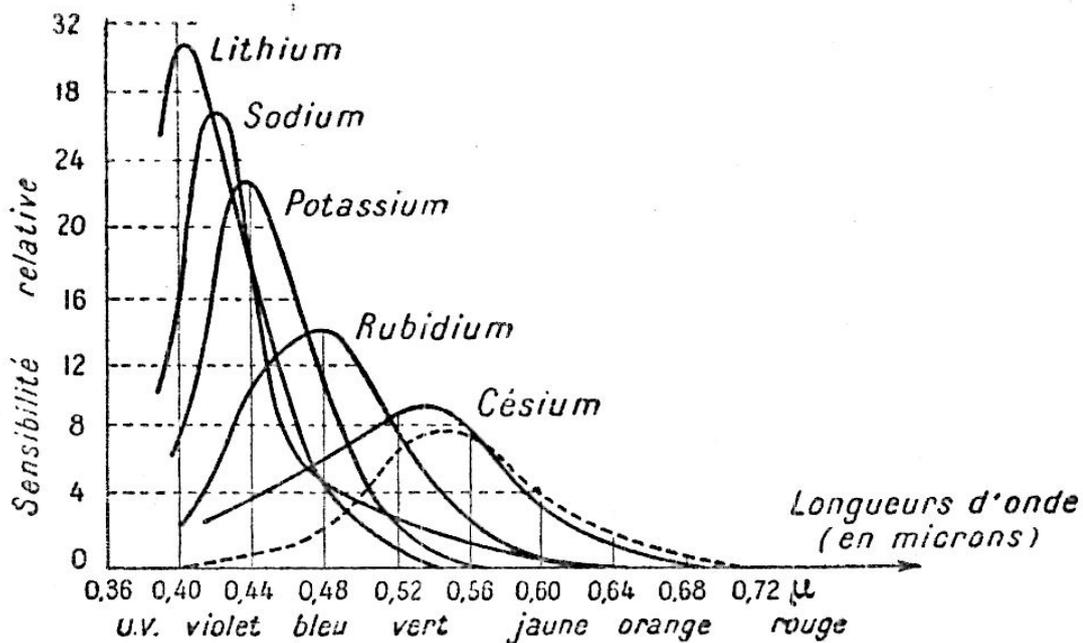


Fig. 20

usage maintenant. On remplit une cellule à métal alcalin de gaz hydrogène et on fait passer à travers ce gaz une décharge électrique suffisante pour l'illuminer; la cathode se colore fortement et devient jusqu'à 100 fois plus sensible.

Ensuite, l'étude devint systématique; elle fut conduite par de très nombreux physiciens dans des laboratoires industriels et les essais se multiplièrent. Il y a cinq métaux alcalins : lithium, sodium, potassium, rubidium, cæsium. Pour chacun d'eux la courbe de sensibilité spectrale a la même allure, celle de la figure 20; mais la longueur d'onde du maximum varie beaucoup de l'un à l'autre.

La courbe pointillée représente la sensibilité de l'œil; on voit que la sensibilité chromatique du cæsium en est très voisine. C'est donc à ce métal qu'il faut recourir pour fabriquer les cellules photo-électriques les mieux adaptées aux exigences de la télévision.

Fabrication des cellules

Technique du vide. — Dans la cellule, comme dans les lampes de T. S. F., l'iconoscope et l'oscillographe à rayons cathodiques, un élément essentiel de la construction est le vide.

Les pompes à vide se sont beaucoup perfectionnées depuis le XVII^e siècle, et le manomètre à mercure n'est plus assez sensible pour déceler le degré de vide qui peut s'exprimer en millièmes ou millionièmes de millimètre de mercure (fig. 21). Mais les théories modernes nous ont donné une image de la constitution des gaz qui permet de chiffrer de manière intuitive ces vides extrêmes.

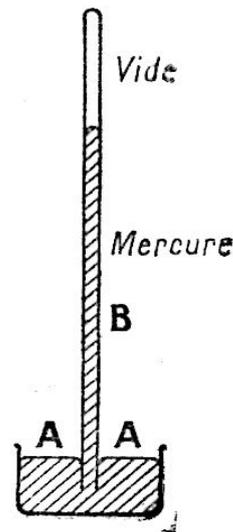


Fig. 21

Tous les gaz sont formés de petites particules, les molécules, agglomérats d'un petit nombre d'atomes, qui sont en agitation perpétuelle et chaotique. Elles se déplacent avec la vitesse d'une balle de fusil, de l'ordre de 300 mètres à la seconde, en se heurtant entre elles et en rebondissant élastiquement les unes sur les autres ; elles viennent aussi heurter les parois des récipients, et c'est la résultante de tous ces petits chocs qui crée la pression. « Faire le vide » : dans un récipient : c'est en retirer des molécules, on diminue ainsi le nombre de chocs par seconde sur les parois, donc la pression.

La qualité « vide » nous apparaît, sous cet angle, comme indéfiniment perfectible, et elle naît de manière progressive depuis la pression atmosphérique. On peut se demander où commence le vide ? Au cours de la raréfaction du gaz, il y a cependant un moment où les propriétés varient brusquement, c'est celui où les molécules sont devenues assez rares pour n'avoir plus de chances de se heurter entre elles entre deux rebondissements sur les parois.



Fig. 22

Le chemin que parcourt une molécule entre deux chocs consécutifs s'appelle son « libre parcours moyen ». Cette distance est de quelques microns à la pression atmosphérique et croît jusqu'à plusieurs mètres pour les vides poussés.

Or ce sont les chocs entre molécules qui donnent au gaz ses propriétés caractéristiques. Examinons, par exemple, le mécanisme de passage du courant

dans un tube de réclame lumineuse (fig. 22). Deux électrodes sont portées à une tension de 1.000 volts et espacées d'une cinquantaine de centimètres. Lorsqu'on établit la tension, il y a toujours, dans le récipient, quelques électrons en liberté qui se précipitent sur la plaque positive ; dans leur mouvement, ils entrent en collision avec quelques molécules qu'ils électrisent, qu'ils ionisent, comme on dit.

Si la pression est de l'ordre de quelques centimètres de mercure, le libre parcours moyen est de 10 microns environ, et les molécules électrisées auront beaucoup de chances d'en heurter d'autres avant d'atteindre les électrodes ; dans ces chocs, les molécules déjà électrisées électrisent les autres ; si bien qu'il y en a bientôt un grand nombre qui portent des charges électriques ; suivant leur signe, elles se jettent vers l'une ou l'autre des électrodes. Un courant important passe alors et se traduit par la brillante illumination du tube.

Grâce aux chocs, l'ionisation initiale de quelques molécules en a contaminé beaucoup d'autres. Si la pression est réduite à quelques millièmes de millimètre, le libre parcours moyen devient de beaucoup supérieur à la distance des électrodes (50 cm.), et les molécules électrisées parviennent sur les électrodes sans en cogner d'autres, sans pouvoir communiquer leur ionisation : on a le vide qui est isolant.

On fait toujours le vide avec des pompes mécaniques. La perfection des machines modernes a permis de réduire considérablement les jeux entre pistons et cylindres, entre les soupapes et leurs logements : en quelques tours de roues, la pression d'un récipient est abaissée de plusieurs décimètres à quelques millimètres de mercure. Cependant les pompes les plus énergiques sont plus simples, ce sont les pompes à diffusion.

La figure 23 représente une pompe à condensation de mercure. Un réservoir R, en verre, renferme une petite quantité de mercure liquide que l'on chauffe doucement, à l'aide d'une résistance élec-

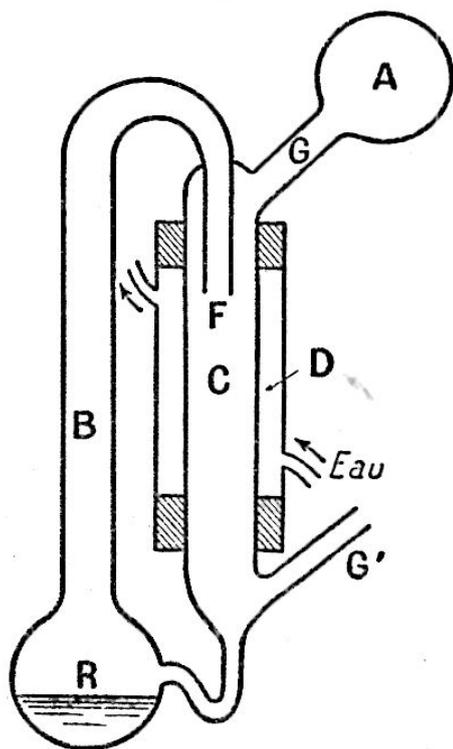


Fig. 23

trique le plus souvent. Le mercure bout, les vapeurs montent dans le tube B et arrivent dans le tube C qui est énergiquement refroidi par la circulation d'eau froide du réfrigérant D. Les vapeurs de mercure se condensent presque totalement dans C, et le mercure redevenu liquide retombe dans le réservoir R. Il y a ainsi dans l'appareil une circulation continue de mercure. En particulier, au point F, à l'entrée de C, passe sans arrêt un rapide courant de vapeur de mercure. F communi-

que avec l'ampoule dans laquelle on veut réaliser un bon vide.

Dans leur agitation naturelle, les molécules d'air viennent se mélanger à celles du jet de vapeur de mercure et, au bout de quelques minutes, elles suivent le sort commun ; elles sont alors entraînées par le courant rapide qui les amène jusqu'en C. Là, les molécules de mercure et d'air se séparent à nouveau ; celles de mercure s'attachent aux parois refroidies par l'eau, elles se condensent en donnant du mercure liquide ; la température n'est naturellement pas assez basse pour liquéfier l'air, qui s'accumu-

lerait en C si la pompe mécanique, reliée à G', ne l'évacuait pas, dès que la pression atteint quelques millimètres. Tout l'air du récipient A est ainsi progressivement happé et comprimé en G'.

Préparation d'une cellule. — Les cellules sont le produit d'une cuisine compliquée, où les ingrédients sont des gaz dont on remplit l'ampoule sous faible pression (quelques millimètres de mercure), après y avoir fait le vide avec les pompes décrites.

La cathode est formée par une feuille d'argent ou par l'argenture du verre de l'ampoule. Ce métal est ensuite oxydé. Pour cela, on introduit un peu d'oxygène dans l'ampoule et on y fait passer une décharge électrique ; une couche d'oxyde se forme sur l'argent qui se teinte de vives couleurs ; on arrête l'oxydation quand il a une teinte verte.

On vaporise alors un grain de cæsium, contenu dans un petit tube latéral qu'on chauffe vers 200° ; il se condense sur l'argent et on recouvre ainsi la surface d'une mince couche de cæsium, en faisant virer la teinte au marron. Il ne reste plus qu'à cuire l'ampoule à 200° pour que la préparation soit à point. La cellule est terminée ; on la sépare de la pompe en fondant au chalumeau le petit tube de verre qui les relie.

Toutes les autres ampoules de la télévision : lampes, iconoscopes, oscillographes sont fabriquées de manière analogue. Le vide se conserve indéfiniment si l'appareil a été porté, pendant le vidage, à une température supérieure de plusieurs centaines de degrés à celle qu'il atteindra en service normal. Sans cette condition, des molécules de gaz resteraient collées au métal, comme une couche de peinture, et se dégageraient lentement, sous l'influence de la chaleur, au cours du fonctionnement, abrégeant la vie de l'appareil. La cuisson, opération

de peu de durée pour les petites cellules photo-électriques, peut durer un mois et davantage pour les lampes d'émission de quelques kilowatts ; et c'est là l'origine essentielle de la différence de prix de ces lampes.

CHAPITRE III

LE CANON A ÉLECTRONS

Lampes de T. S. F.

Examinons rapidement le fonctionnement d'une lampe de T. S. F., l'un des appareils aujourd'hui les plus familiers à tous, et voyons le rôle fondamental qu'y jouent les électrons. Dans les anciennes lampes triodes, la structure est simple et visible (fig. 24). Un *filament* fin de tungstène est entouré d'une hélice de nickel, la *grille*, et le tout est contenu dans un petit cylindre de nickel : la *plaque*. L'ensemble se trouve dans une ampoule de verre où l'on a fait le vide ; des fils scellés à travers la paroi relient les électrodes à l'extérieur.

On envoie un courant dans le filament qui est porté au rouge blanc et une partie des électrons libres à l'intérieur du métal peu-

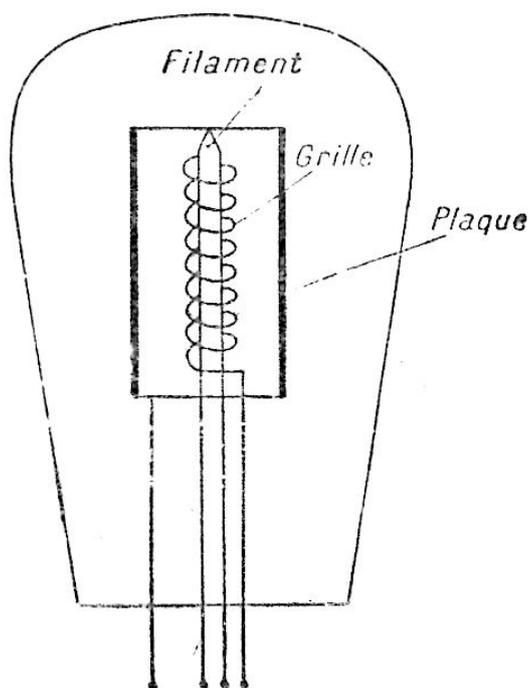


Fig. 24

vent s'échapper. La plaque, portée à une tension positive d'une centaine de volts attire et recueille ces électrons libres chargés négativement. Le courant constitué par ces électrons qui vont du fil à la

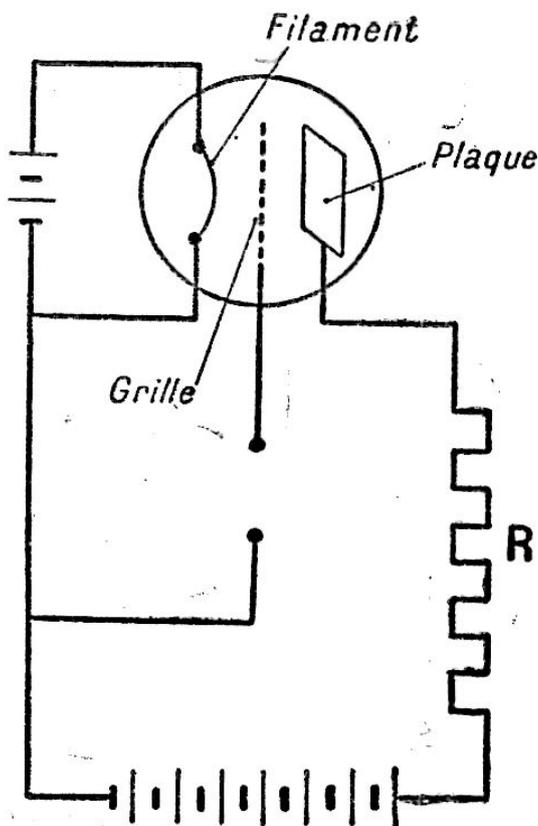


Fig. 25

plaque et qui passe ensuite dans le circuit R, est le « courant de plaque » (fig. 25).

La grille peut être portée par rapport au filament à des potentiels positifs ou négatifs et permet de régler l'intensité du courant de plaque. Si la grille est positive par rapport au filament, elle attire les électrons et aide à les libérer; si elle est négative, au contraire, elle les repousse et contrarie leur extraction. Les variations de tension de grille déterminent des variations proportionnelles

du courant de plaque, et on peut mesurer les variations de potentiel, créées par le courant de plaque aux bornes de la résistance R. Les variations de tension aux bornes de R sont l'image fidèle et agrandie des variations de tension imprimées à la grille.

Dans la lampe, comme dans la cellule, on s'intéresse aux électrons à un point de vue très simple : on les compte et c'est leur nombre qui exprime la mesure de l'intensité du courant dans le circuit d'uti-

lisation. Cette manière d'envisager l'émission thermique d'électrons a déjà conduit à de belles découvertes, qui ont abouti à la construction de ces lampes merveilleuses dont l'usage est devenu banal avec la vogue de la T. S. F.

Canon à électrons

Le même courant d'idées a amené la naissance du canon à électrons. Le but nouveau est d'obtenir un jet d'électrons, de forme bien définie, et dont la pointe fine puisse arroser avec précision un objectif déterminé. Le grand intérêt de cette réalisation est dû à la légèreté extraordinaire de l'électron, alors que sa charge électrique est notable ; de ce fait, il est soumis, au voisinage des corps électrisés, à des attractions ou à des répulsions qui peuvent être qualifiées d'extraordinaires par rapport à son poids.

Le jet d'électrons est donc une sorte d'aiguille tout spécialement légère et très facile à déplacer ; on pourra lui donner des mouvements très brusques et très rapides, puisque la force qui agit sur les corpuscules à l'approche des corps chargés est brutale.

Dans les expériences d'électrostatique classique, on choisit avec soin des corps légers : bouts de papier, moelle de sureau ; c'est tout juste si, en frottant bien un bâton d'ébonite avec un chiffon de laine, on arrive à les attirer suffisamment pour les soulever : les forces électriques sont faibles relativement au poids du corps. Dans ce corpuscule étrange qu'est l'électron se trouve concentrée une si grande quantité d'électricité pour une si faible masse qu'on pourrait mettre le bâton électrisé à plusieurs mètres au-dessus du corpuscule sans que celui-ci cessât d'être happé.

Un jet d'électrons nous fournit donc une aiguille

idéalement docile et agile, et l'ingéniosité des techniciens s'est appliquée à l'employer partout où l'inertie des aiguilles matérielles était un obstacle à un mouvement rapide. En télévision nous verrons comment cette propriété a trouvé son application dans l'iconoscope et dans l'oscillographe.

La construction du canon offre deux genres de difficultés. Il faut d'abord qu'il soit précis, c'est-à-dire que tous les électrons viennent converger sur la cible, à l'intérieur d'une tache aussi petite que possible, quelques dixièmes de millimètre de diamètre au maximum ; c'est le rôle des organes de « concentration ». Il faut aussi pouvoir régler le tir sur un point quelconque de la cible, il faut diriger le jet ; c'est l'office des organes de déviation.

Source d'électrons et lentilles électriques

On connaît aujourd'hui des sources d'électrons bien plus abondantes que le fil de tungstène chauffé à blanc. Elles sont formées d'un enduit d'oxydes de strontium et de baryum mélangés ; ces corps broyés finement en une espèce de peinture sont étendus sur de petits cylindres de nickel, puis calcinés : ils recou-

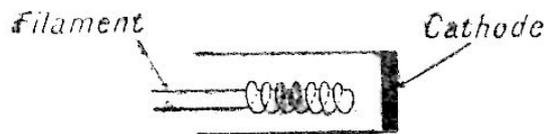


Fig. 26

vrent alors le métal d'une couche adhérente qui émet un torrent d'électrons dès qu'on la chauffe vers 800° , température du rouge naissant.

Pour obtenir cette température, le cylindre

contient un fil de nickel isolé par une pâte d'alumine qui assure un chauffage électrique économique. La figure 26 montre la forme de la source, de la « cathode » adoptée pour les canons à électrons.

Les électrons ne sortent pas facilement des corps chauds, il faut les y aider en plaçant tout près d'eux une électrode à un potentiel positif : c'est le rôle de l'anneau D_1 (fig. 27). Une partie des électrons tombe malheureusement sur lui et se trouve perdue ; la partie utilisable est celle qui traverse le trou de l'anneau. Les corpuscules en sortent avec une grande vitesse, et si l'on n'agissait plus sur eux, ils continueraient leur chemin en ligne droite, découpant sur la cible une large tache.

Mais dans la suite du canon, un ensemble de diaphragmes, portés à des tensions convenables : D_1 , D_2 , D_3 , change la direction des trajectoires et les force à venir converger en un point. On comprend leur action en regardant le dessin simplifié (fig. 28), où il y a un seul anneau porté à une tension négative par rapport au diaphragme d'accélération D_1 : cet anneau repousse les électrons, mais son action est d'autant plus énergique que les électrons sont plus rapprochés. Ainsi, ce sont les corpuscules qui ont les trajectoires les plus divergentes qui passent le plus près du bord et sont le plus fortement repoussés : leurs trajectoires s'incurvent bien plus que celles qui passent près du centre du diaphragme. Le calcul montre et l'expérience vérifie que la compensation de la divergence peut être assez parfaite pour que tous les électrons issus d'un point C convergent en un point S' à quelques dixièmes de millimètre près.

La « lentille électronique » comme on appelle l'ensemble des diaphragmes G et D_1 , par analogie avec l'optique, donne de la cathode une image.

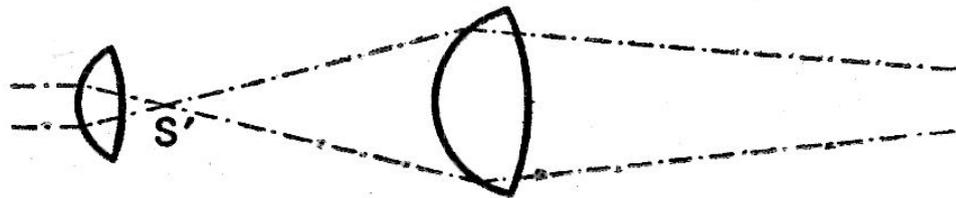
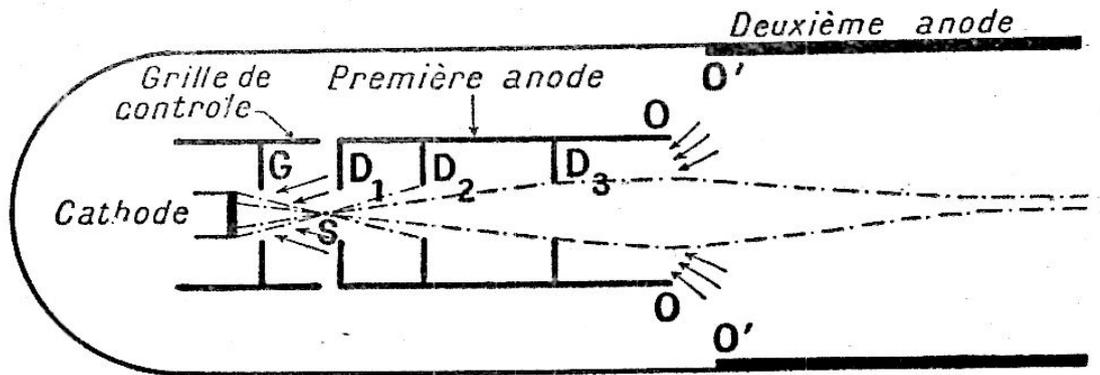


Fig. 27₁

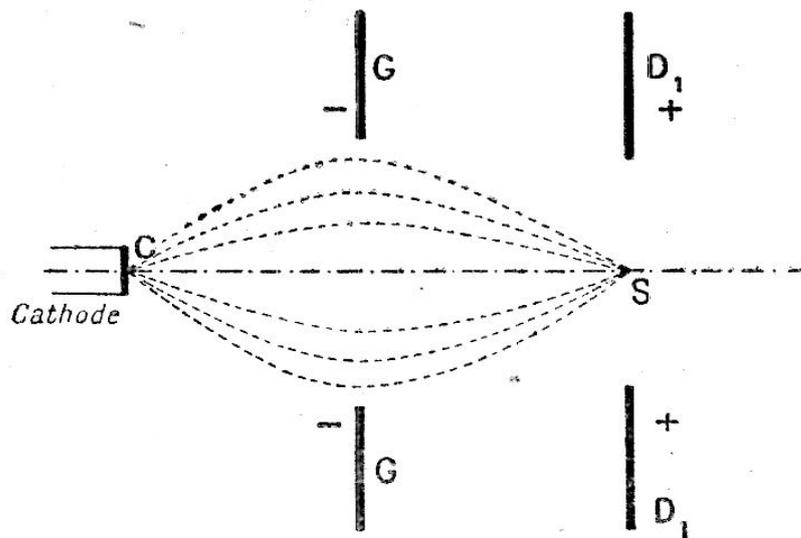


Fig. 28

Ce n'est pas cette image qui, dans les canons usuels, est envoyée sur l'écran : l'optique du canon est aussi compliquée et aussi parfaite que celle des instruments d'optique ; il y a, en réalité, une seconde lentille qui projette sur l'écran final l'image intermédiaire que nous venons d'obtenir. La seconde lentille électronique est constituée par l'ouverture O de la première anode et par une couche métallique conductrice déposée sur la paroi de l'ampoule (seconde anode). La première anode est fortement négative par rapport à la deuxième, si bien que l'ouverture O de la première et le bord O' de la seconde se comportent vis-à-vis des électrons comme l'ensemble des diaphragmes G et D_1 . Ils réalisent une lentille qui fait converger les trajectoires électroniques sur l'écran final. La figure 27 montre la marche des électrons et les équivalents optiques de tout le système ; on voit que la deuxième lentille sert à donner à l'aiguille électronique une longueur suffisante pour qu'elle puisse balayer tout l'écran sans tourner d'un angle trop grand.

Le type de lentille que nous venons de décrire et qui est appelé « électrostatique » n'est pas le seul. On peut remplacer la seconde lentille par une bobine entourant le tube (fig. 29) et parcourue par un courant de quelques ampères ; en réglant ce courant, on arrive à assurer sur l'écran une image aussi fine qu'avec le dispositif précédent, et avec une construction plus simple.

Pour comprendre l'action d'une telle bobine sur les électrons, il faut se rappeler qu'à l'intérieur de la bobine existe, quand elle est parcourue par un courant, un champ magnétique. Si nous plaçons dans ce champ un fil métallique ff' , parcouru lui aussi par un courant, il sera soumis à des « forces électromagnétiques », qui sont perpendiculaires à la fois au

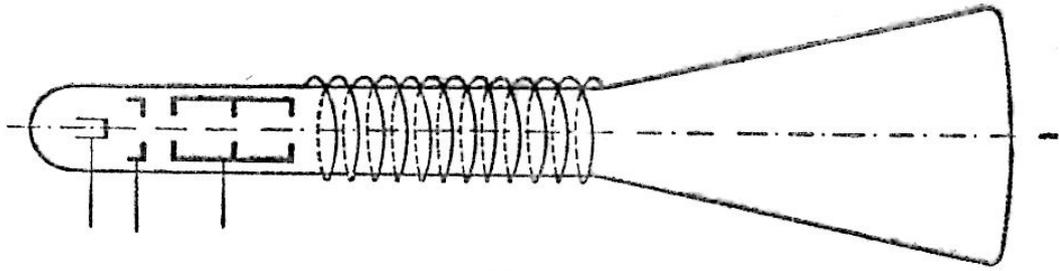


Fig. 29

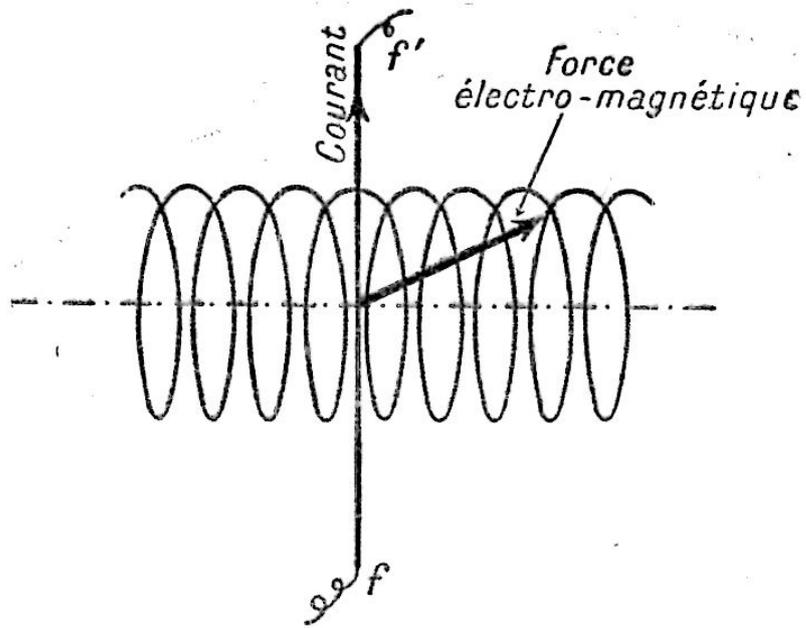


Fig. 30

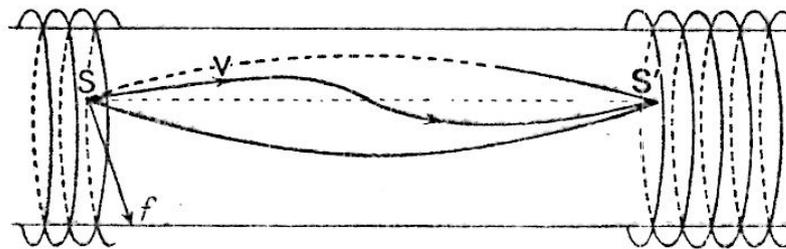


Fig. 31

fil ff' et à l'axe de la bobine (fig. 30). Ce sont ces actions entre courants qui sont utilisées dans tous les moteurs électriques.

Les électrons émis dans une certaine direction Sv par le même point S d'une cathode chaude et qui se suivent sur leur trajectoire commune comme les balles d'une mitrailleuse, constituent l'équivalent exact du courant circulant dans un fil, avec cet avantage énorme que, sous le vide, les électrons n'ont pas besoin du support matériel d'un fil métallique et qu'en raison de leur légèreté, ils obéissent très docilement aux forces électromagnétiques produites par la bobine qui entoure l'ampoule (fig. 31). Ces forces sont perpendiculaires à l'axe de la bobine et à la trajectoire des électrons ; la flèche f représente leur direction au point S .

Sous l'action de ces forces, les électrons, au lieu de continuer leur chemin en ligne droite, dans la direction Sv , décrivent une spirale qui s'enroule autour de la parallèle à l'axe de la bobine menée par S . Ils rencontrent tous à nouveau cette parallèle en un point S' , image électronique de S . La position de l'image dépend du courant qui circule dans la bobine ; en modifiant ce courant, on peut amener l'image à se former sur un écran placé dans l'ampoule.

Organes de déviation

Ils sont disposés à la bouche du canon à électrons et peuvent être également de deux sortes : électrostatiques ou magnétiques.

Dans le premier cas (fig. 32), le faisceau d'électrons sortant du canon et venant rencontrer normalement le fond de l'ampoule en E passe à égale dis-

tance de deux plaques métalliques parallèles A et B. Quand on relie ces plaques horizontales aux bornes d'une pile, elles se recouvrent, l'une A d'électricité positive, l'autre B d'électricité négative ; la première attire les électrons, l'autre les repousse : en passant entre ces plaques, le faisceau est dévié.

Une fois sortis du condensateur, les électrons reprennent une route rectiligne, mais inclinée sur l'axe de l'appareil, si bien qu'ils viennent frapper l'écran en E', au-dessus de E. En inversant les connections de la pile, les électrons sont déviés vers le bas, ils arrivent sur l'écran au-dessous de E.

La force de déviation ne dépend que de la tension de la pile, 100 à 200 volts suffisent à déplacer le spot (1) d'un bord à l'autre de l'écran. Mais la paire de plaques horizontales ne permet qu'un déplacement rectiligne vertical du spot sur l'écran. Des plaques A' B' verticales (fig. 33) donnent un déplacement horizontal. En combinant les deux déviations et en leur donnant des amplitudes convenables, on peut atteindre n'importe quel point de l'écran.

Ici également, des bobines magnétiques extérieures peuvent remplacer les plaques déviateuses. Leur action s'exerçant de l'extérieur, à travers le verre et à distance, la construction du tube et le soufflage sont grandement simplifiés. La figure 34 indique la disposition, par rapport au tube, d'une paire de bobines. Composées de quelques centaines de tours de fil, elles sont reliées en série et parcourues par un courant de l'ordre de un ampère. Les électrons, en passant entre les bobines, sont soumis à des forces électromagnétiques perpendiculaires à l'axe commun des bobines et à leur direction de propagation. Si l'axe est horizontal, la déviation est

(1) Terminologie anglaise : spot = tache.

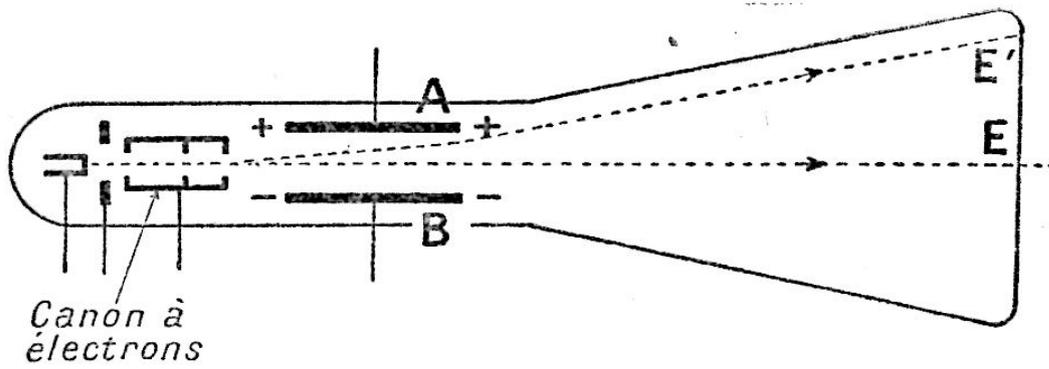


Fig. 32

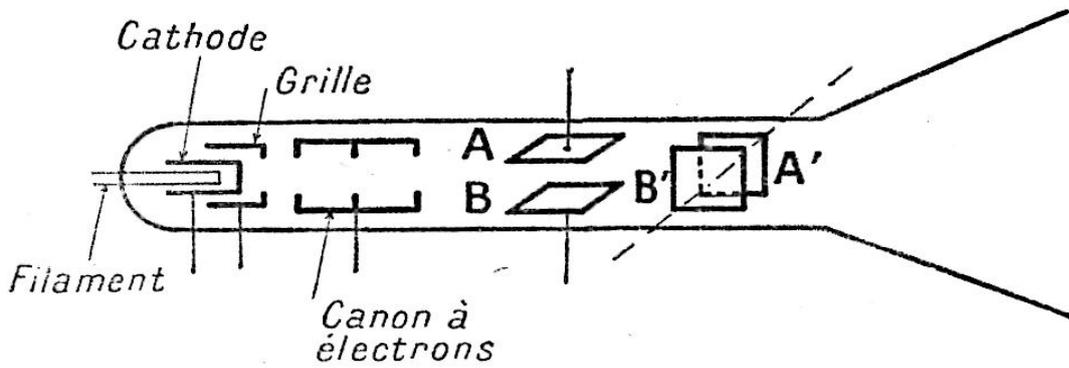


Fig. 33

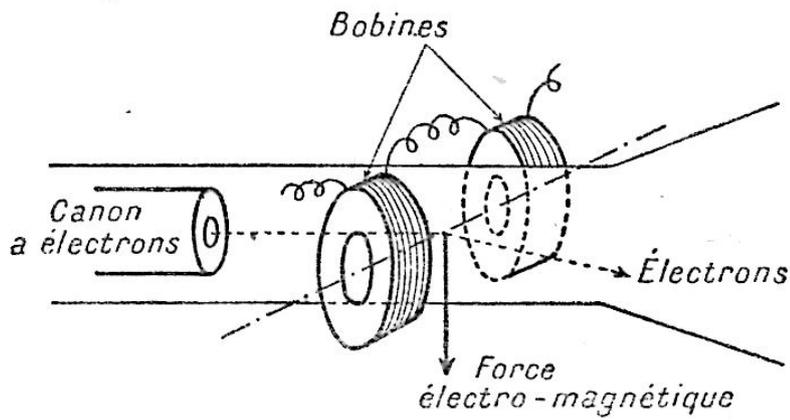


Fig. 34

verticale, vers le haut ou vers le bas suivant le sens du courant dans les deux bobines. L'ensemble de deux paires de bobines permet de régler complètement le bombardement électronique de l'écran (disposition des quatre bobines, voir fig. 5).

CHAPITRE IV

APPAREILS DE TRANSMISSION

Le disque de Nipkov

Jusqu'en 1934, le dispositif le plus courant pour la transmission des images était celui qu'avait inventé Nipkov et qui se composait essentiellement d'un « disque de Nipkov » et d'une cellule photo-électrique ordinaire.

Ce dispositif est encore utilisé pour transmettre les films de cinéma, sous la forme que représente la figure 35. Le disque de Nipkov est percé de petits trous de $4/10$ de millimètre de diamètre placés à 35 millimètres les uns des autres tout le long d'un cercle. Cet écartement est calculé pour qu'il n'y ait jamais qu'un trou sur la surface d'une image qui a 35 millimètres de largeur : le film est éclairé par un arc, dont la lumière traverse le film et le trou du disque pour tomber ensuite sur la cellule photo-électrique.

Repérons un trou que nous appelons n° 1 ; si nous faisons tourner le disque, le trou passe sur le film en balayant une petite bande $a_1 b_1$; lorsqu'il est en b_1 , le trou n° 2 lui succède, le film s'est élevé un peu pendant ce temps et la bande décrite est $a_2 b_2$ au-dessous de $a_1 b_1$, et ainsi de suite ; lorsqu'on arrive au 25^e trou, le disque a fait un tour

et l'on est en bas de l'image ; quand le trou n° 1 entre à nouveau en action, il balaie la bande supérieure d'un second film qui a pris la place du premier, et ainsi de suite.

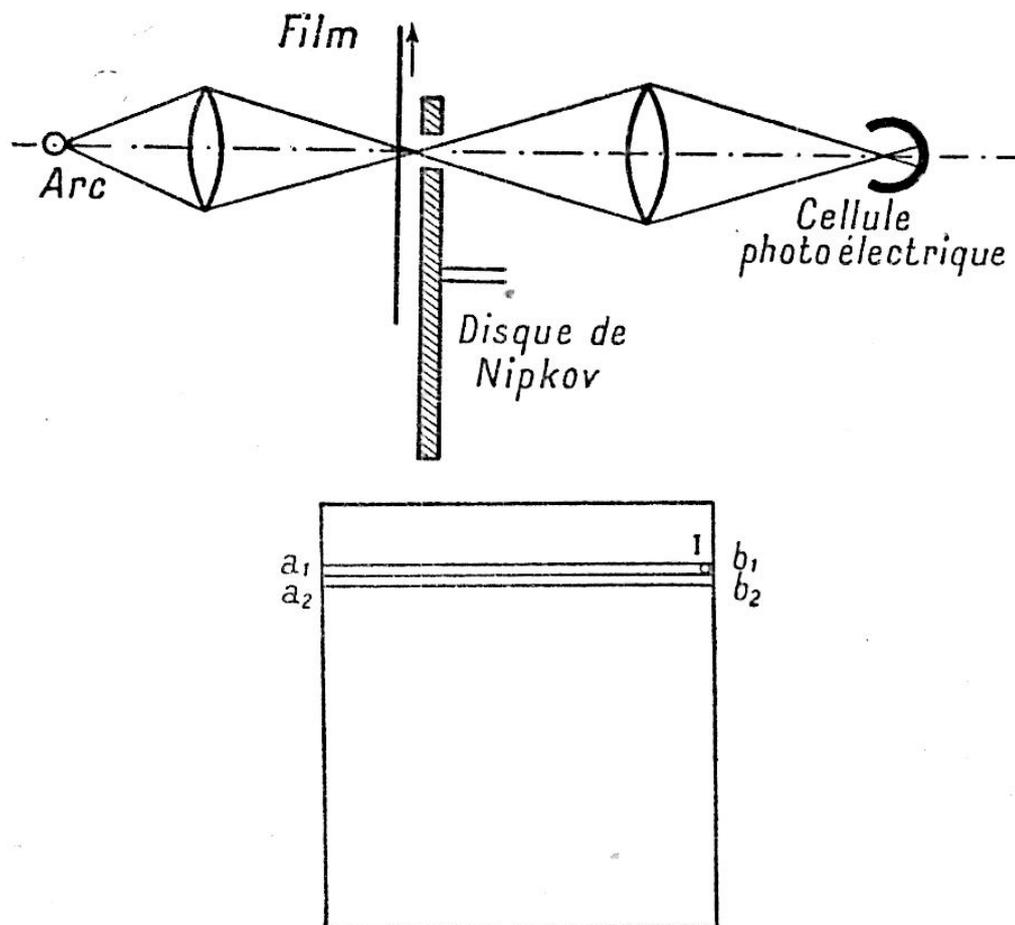


Fig. 35

On comprend comment, au fur et à mesure qu'ils trouvent accès à la cellule photo-électrique par la minuscule fenêtré du disque, les rayons lumineux partis de l'arc impressionnent cette cellule inégalement, selon qu'ils ont préalablement traversé des carreaux plus ou moins clairs ou foncés, et lui font émettre un courant intermittent qui est l'expression électrique de l'image dessinée sur le film.

Il restera, à l'autre bout de la chaîne — côté réception — à retransposer ce langage électrique, comparable aux points et traits de l'alphabet Morse, en représentation visuelle.

Nous nous trouvons ici dans une situation un peu différente de celle qu'a esquissée la fiction des lutins au seuil de cette étude. Par la rotation du disque et de sa lucarne, le film se trouve en quelque sorte découpé lui-même en minuscules fenêtres, éclairées ou obscures. Mais dans ce dispositif de Nipkov, il n'y a pas encore pour décrire l'éclairage, un lutin à chaque fenêtre. C'est un lutin unique d'assez respectable taille — la cellule photo-électrique telle que nous l'avons présentée sous sa forme classique — qui se charge de cette description pour toutes les fenêtres.

C'est un dispositif plus exactement correspondant à notre fiction initiale que réalise « l'iconoscope de Zworykin », dont nous allons parler. Avec lui, les fenêtres sont beaucoup plus nombreuses que dans l'appareil de Nipkov, et chacune d'elle a son lutin particulier.

Iconoscope de Zworykin

Le dispositif de transmission universellement adopté aujourd'hui est l'iconoscope, qui a été inventé en 1934 par l'ingénieur américain Zworykin. C'est un véritable « œil électrique » et son fonctionnement offre de grandes analogies avec celui de l'œil humain.

L'iconoscope a l'aspect d'une ampoule de verre, vide d'air, dont les dimensions sont celles d'une grosse lampe d'éclairage ; c'est dans ce faible volume que s'effectuent toutes les opérations nécessaires à la transformation des images en courant électrique d'intensité variable.

La rétine de l'œil électrique

L'iconoscope (fig. 36) comporte une partie de forme sensiblement sphérique et une partie cylindrique allongée. Dans la partie sphérique se trouve logé l'organe essentiel, la « rétine » de l'œil électrique. C'est une plaque carrée de 10 centimètres

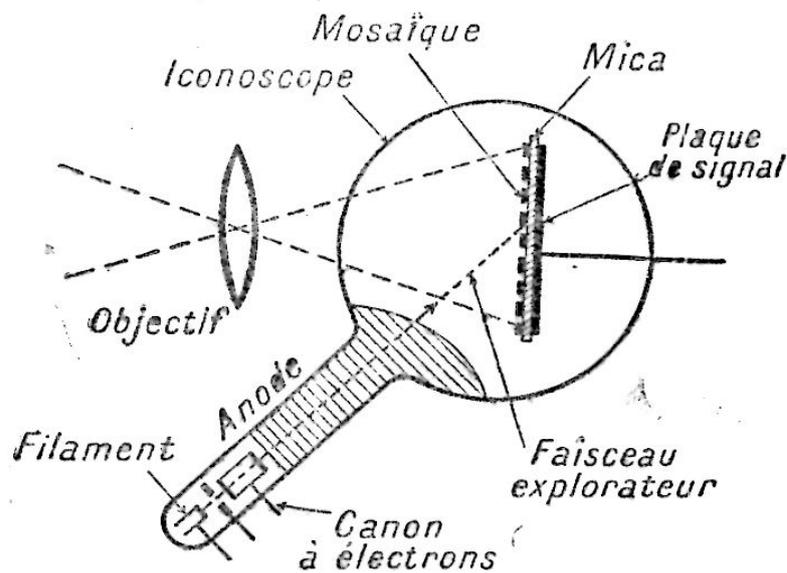


Fig. 36

de côté et de quelques dixièmes de millimètre d'épaisseur, en mica. Cette substance est un très bon isolant électrique, même en couches minces. De plus, les blocs de mica qu'on extrait à Madagascar ou au Brésil ont une structure lamellaire, on peut les « cliver », c'est-à-dire les séparer en lames minces, et ces lames de formation naturelle ont une épaisseur extraordinairement constante : les inégalités ne dépassent pas 1/10.000 de millimètre quand on opère avec précaution et aucun autre isolant, travaillé de main d'homme, ne permettrait d'atteindre une pareille précision. Enfin le mica, solide

mécaniquement, résiste bien à la chaleur et ne souffre aucunement des cuissons que subit l'iconoscope au cours de sa fabrication.

Pour transformer le mica en rétine, on argente une de ses faces : ce côté constitue alors la « plaque de signal ».

Sur l'autre face, on pulvérise un très grand nombre de gouttelettes d'argent, leur répartition est uniforme et, à première vue cette face a le même aspect que l'argenture de la plaque de signal ; mais en l'examinant au microscope on constate que la structure est discontinue, comme le représente la figure 37.

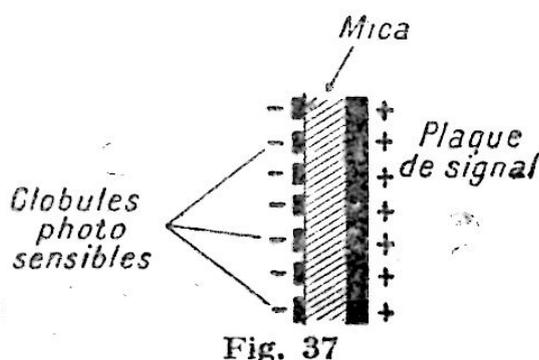


Fig. 37

Toutes les gouttes forment de petites taches sans contact les unes avec les autres, et comme elles sont supportées par du mica, elles sont aussi isolées électriquement les unes des autres. La plaque ainsi préparée est activée comme une cellule ordinaire avec du cæsium, de la manière que nous avons décrite.

Le résultat est que chaque goutte forme une minuscule cathode photo-électrique, et que la plaque de mica est recouverte d'une mosaïque de centaines de milliers d'éléments photo-sensibles ; malgré leur taille si réduite ils ont toutes les propriétés optiques et électriques des cellules normales.

Le plus merveilleux de toute cette technique est que la fabrication de la mosaïque, d'apparence compliquée, est réalisée par de nombreux procédés très simples. Le mica, par exemple, est saupoudré d'une fine poudre d'oxyde d'argent, puis chauffé dans le vide à 600° : l'oxyde est détruit, l'oxygène est

pompé dans l'installation de vide et il reste les gouttelettes d'argent cherchées.

Le faisceau explorateur

Sur la mosaïque, un objectif de cinéma projette une image de la scène à téléviser et l'image se trouve automatiquement découpée en éléments par les gouttes de la mosaïque.

Comme chaque goutte est une cellule photo-électrique, l'éclairement de chaque élément se traduit par l'émission d'un nombre d'électrons proportionnel à la quantité de lumière reçue. Mais pour que la transmission de ces signaux électriques soit possible, il nous faut encore un commutateur extrarapide, qui branche successivement toutes les cellules élémentaires, en bon ordre, sur l'entrée de l'amplificateur d'émission.

Ce rôle est rempli par un organe dont nous avons déjà décrit le fonctionnement et qui est logé dans la partie allongée de l'ampoule : le *canon à électrons*. Cette partie du tube contient la cathode qui émet des électrons et les rondelles métalliques qui servent à les accélérer et à les rassembler en un faisceau très fin.

Les électrons, vigoureusement expulsés du canon à travers la dernière rondelle, continuent leur chemin en ligne droite et convergent sur la mosaïque où ils découpent une très petite tache dont le diamètre ne dépasse pas $4/10$ de millimètre. Cette tache recouvre un petit nombre de grains de la mosaïque qui sont explorés en même temps ; le canon, qui joue plutôt le rôle d'une mitrailleuse, les asperge d'un jet ininterrompu de ces petits projectiles électrisés que sont les électrons.

Le canon à électrons ne peut être placé devant la

mosaïque, car il intercepterait la lumière. On le place de façon que le faisceau électronique atteigne la mosaïque sous une incidence moyenne d'environ 30° .

Les éléments de la mosaïque sont donc reliés au monde extérieur ; pour toucher successivement tous les grains de la mosaïque, il faut réaliser l'exploration déviant le faisceau électronique. Nous savons que cette déviation peut être obtenue très commodément par des bobines électriques entourant la bouche du canon à l'extérieur de l'ampoule et parcourues par des courants convenables.

Sous l'influence des bobines de déviation, la tache d'électrons se déplace sur la mosaïque suivant le trajet compliqué que nous avons décrit page 22, figures 11 et 12. Une mosaïque de 12×10 centimètres de côté, peut être divisée en 75.000 éléments de $4/10$ de millimètre de côté, numérotés de 1 à 75.000. Le mouvement du faisceau est tel que, à chaque cycle d'exploration, il asperge d'électrons tous ces éléments dans l'ordre où ils sont numérotés.

Tout se passe comme s'il y avait 75.000 cellules juxtaposées qui fonctionnent à tour de rôle lorsqu'elles sont atteintes par le bombardement électronique. L'exploration de toutes ces cellules ne dure pas plus de $1/25$ de seconde.

Circuit électrique de l'icône

Avant d'examiner le comportement de la mosaïque sous le bombardement électronique, il faut connaître le schéma du circuit électrique de l'icône.

Sur la figure 38, on a représenté par des piles les tensions qui sont fournies en réalité par une boîte d'alimentation à partir du réseau.

La paroi de l'ampoule de verre, dans la partie hachurée, est recouverte d'une couche conductrice mince, en graphite, qu'on appelle deuxième anode et qui est portée à un potentiel positif par rapport à la mosaïque ; son rôle est de recueillir les électrons expulsés de la mosaïque par la lumière. Nous avons

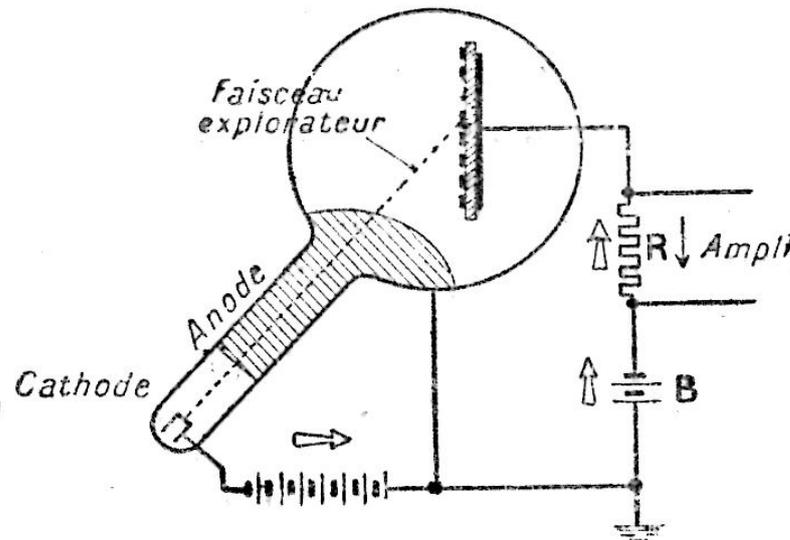


Fig. 38

vu plus haut qu'elle intervenait en outre dans l'optique du canon à électrons.

La cathode est à un potentiel négatif de 1.000 volts par rapport à l'anode (1). Le courant arrive à la plaque de signal à travers une résistance R qui transforme les variations du courant de signal en variations de potentiel, appliquées à l'entrée des amplificateurs.

Fonctionnement de la mosaïque

Supposons d'abord que l'image projetée sur la mosaïque soit simplement un dessin en noir et blanc.

(1) Nous appellerons anode, dans tout ce qui suit, la deuxième anode.

Les cellules se divisent en deux catégories : celles des blancs qui sont éclairées et celles des noirs qui ne le sont pas, et c'est leur répartition qui caractérise le dessin. Voyons ce qui leur arrive pendant l'exploration.

Considérons une de ces cellules, au moment où le faisceau explorateur la touche : sous l'action des électrons, les globules d'argent de l'élément prennent une charge négative ; en somme, le faisceau leur abandonne une partie de ses électrons. Cette charge négative dépend de la fabrication de la mosaïque, de l'intensité du bombardement explorateur et du temps qu'il passe sur l'élément. Mais pour un icoscope donné, c'est une constante qui a même valeur pour chacune des 75.000 cellules de la mosaïque.

Les électrons, en s'accumulant dans les globules de la cellule, vont attirer, dans la partie de la plaque de signal qui leur fait face, une certaine charge positive (fig. 37). En fait, la cellule et l'élément correspondant de la plaque de signal, séparés par une mince couche de mica isolant, constituent un minuscule condensateur que le passage du faisceau explorateur charge (avec des charges $-q$ du côté de la mosaïque et $+q$ du côté de la plaque de signal).

Le faisceau balaie ensuite les autres éléments de la mosaïque et il met $1/25$ de seconde à revenir au point initial. Pendant ce temps, la cellule est abandonnée à elle-même. C'est ici qu'interviennent essentiellement les phénomènes photo-électriques et que le comportement des cellules sera tout différent selon qu'elles sont éclairées ou obscures.

Si la cellule n'est pas éclairée, elle garde intégralement sa charge jusqu'au retour de la tache exploratrice ; mais si elle est éclairée, elle expulse des électrons photo-électriques et sa charge diminue

avec le temps. Plus l'éclairement est intense, plus l'effet photo-électrique est intense, et plus la provision d'électrons s'épuise vite.

L'appauvrissement en électrons dure jusqu'au retour du point explorateur, et les électrons ainsi expulsés sont attirés et recueillis par l'anode qui est à un potentiel positif par rapport à la mosaïque. De l'anode, ils passent dans la pile B, puis à travers la résistance R et viennent neutraliser une partie de la charge positive de la plaque de signal : notre petit condensateur se décharge pendant tout ce temps, et ceci d'autant plus vite que la cellule a été plus vivement éclairée. Cette décharge donne lieu, dans la résistance R, à un courant de décharge qui circule dans le sens de la flèche noire ; il est extrêmement faible, et son effet dans R est entièrement négligeable devant celui des courants de charge qui vont intervenir maintenant.

L'état où se trouve la cellule au moment où le faisceau d'électrons revient la frapper est donc très différent suivant qu'elle a été éclairée ou non. Si elle n'a pas reçu de lumière, elle a gardé sa charge électrique et ne peut plus en prendre davantage au faisceau quand celui-ci revient : le second passage du point explorateur n'a aucun effet sur la cellule, elle a pris une fois pour toutes sa charge négative maximum et la garde tant qu'aucune lumière ne tombe sur elle.

Si la cellule a été éclairée, sa charge n'a pas cessé de diminuer et le condensateur minuscule s'est déchargé. Quand le faisceau arrive sur elle, le globe sensible, fortement positif par rapport à la cathode, attire énergiquement les électrons et la cellule reprend sa charge $-q$; c'est-à-dire que le condensateur se recharge. Le courant de charge va de la cathode à la plaque de signal à travers les

batteries A et B et la résistance R, dans le sens des flèches blanches.

Ce courant est extrêmement bref, puisqu'il dure le temps que le point explorateur recouvre la cellule ; comme ce point visite 75.000 cellules en $1/25$ de seconde, il ne s'arrête sur chacune d'elles que $1/1.875.000$, c'est-à-dire un peu plus de 1 deux millionième de seconde. Ce temps suffit cependant pour que la cellule reprenne toute sa charge, car le courant de charge est intense. Ici il est 75.000 fois plus grand que le courant de décharge, et la charge qui avait été perdue en $1/25$ de seconde est restituée en un temps 75.000 fois plus court. Seul le courant de charge joue un rôle efficace dans la résistance R.

En définitive, il y a, à chaque instant dans la résistance R un courant, dans le sens de la flèche blanche, qui rend compte fidèlement de l'éclairement de la cellule recouverte par le point explorateur à ce même instant. Si la cellule n'est pas éclairée (point noir de l'objet), il n'y a pas de courant ; si elle est éclairée, il y a un courant intense. Le courant est exactement proportionnel à la charge perdue par la cellule entre deux passages du point explorateur ; et cette perte de charge, conséquence de l'effet photo-électrique, est proportionnelle à l'éclairement de la cellule ; les demi-teintes sont ainsi rendues avec autant de précision que les blancs et les noirs.

Au cours d'une exploration, le courant change de valeur 75.000 fois et ses variations traduisent fidèlement tous les détails lumineux de la scène à téléviser. Nous avons fixé, sous forme électrique, les détails d'un instantané au $1/25$ de seconde de la scène à transmettre ; et l'iconoscope, comme le cinéma, prend 25 vues par seconde.

Aux extrémités de la résistance R est branché un

amplificateur qui amplifie les variations de tension aux bornes et les livre au poste d'émission.

Exploration de la mosaïque

Un des grands avantages de l'iconoscope est la simplicité de réalisation du mouvement d'exploration. Le trajet que parcourt le point explorateur

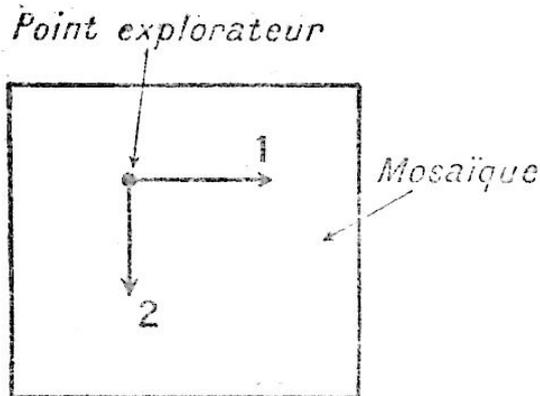


Fig. 39

et le rythme du mouvement sont pourtant compliqués, mais la figure 39 montre que le déplacement de ce point peut être obtenu par la combinaison de deux mouvements élémentaires simultanés.

Ce sont les deux aspects que présente le mouvement réel à l'observateur dont les

regards sont dirigés d'abord dans le sens de la flèche 1, puis dans la direction 2.

1° Un mouvement à vitesse constante, du bord droit au bord gauche de la mosaïque en $1/6.250$ de seconde suivi du retour instantané à gauche, et ce mouvement se répétant sans cesse ;

2° Un mouvement uniforme, de haut en bas de la mosaïque, avec retour très rapide en haut, le tout s'effectuant cette fois en $1/25$ de seconde et recommençant aussitôt.

Ces deux mouvements sont de même nature : balayage uniforme, suivi de retour instantané ; mais, dans notre exemple d'une transmission à 250 lignes, le mouvement dans le sens horizontal s'opère 250 fois plus vite que dans le sens vertical. Ces mouve-

ments sont réalisés par des moyens très simples.

On dispose autour du col de l'iconoscope quatre bobines reliées deux à deux comme l'indique la figure 40. Les bobines 1 et 1', d'axe vertical dévient le faisceau explorateur dans le sens hori-

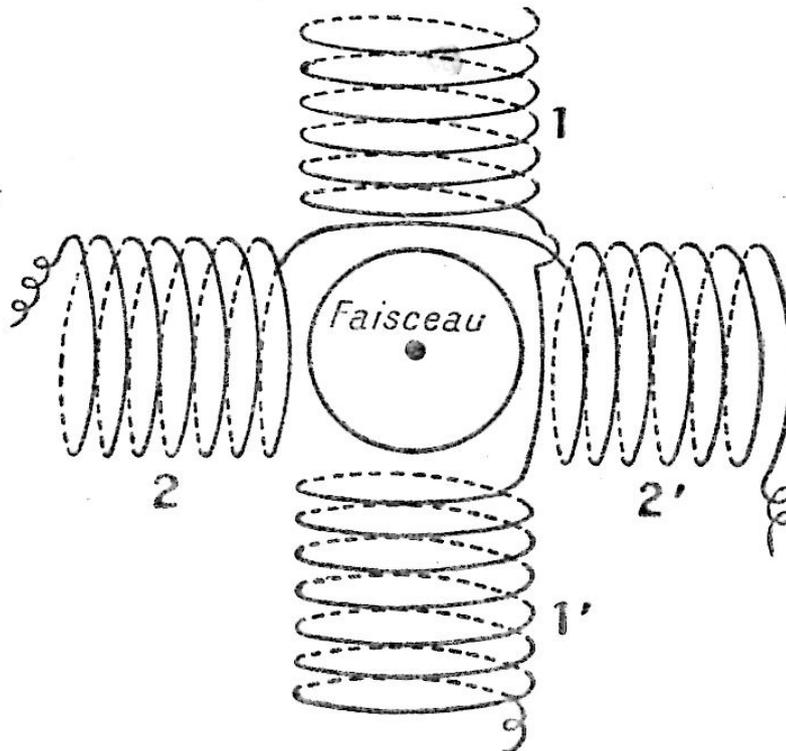


Fig. 40

zontal ; les bobines 2 et 2' d'axe horizontal donnent la déviation verticale. L'action des bobines est proportionnelle au courant qui les traverse, et on déplace le point explorateur en faisant passer dans les fils des courants variables au cours du temps.

La loi d'évolution nécessaire pour le mouvement horizontal est représentée figure 41. Le courant part de la valeur zéro (point O) et croît d'abord proportionnellement au temps (partie Oa de la courbe) puis s'annule brusquement (ab) pour recommencer à

croître (bc), et ainsi de suite. Un tel courant est dit en « dents de scie ». Chaque dent de scie dure le temps nécessaire à l'exploration d'une ligne, c'est-à-dire $1/6.250$ de seconde. Quand le courant croît régulièrement (Oa), le faisceau est dévié et le point explorateur va d'un mouvement uniforme du bord gauche au bord droit de la mosaïque, pour revenir brusque-

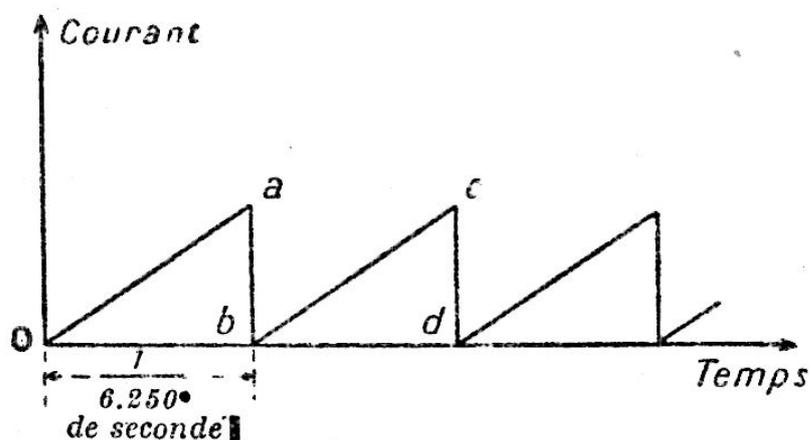


Fig. 41

ment à gauche quand le champ s'annule (ab), et recommencer immédiatement le même parcours. On a donc réalisé l'exploration dans le sens horizontal.

L'exploration dans le sens vertical s'effectue en envoyant dans les bobines 2 et 2' un courant en dents de scie, dont chaque dent dure $1/25$ de seconde. Le courant part de la valeur zéro et croît régulièrement, provoquant un mouvement uniforme du point explorateur du haut en bas de la mosaïque en $1/25$ de seconde, puis le courant s'annule brusquement et le point remonte au lieu de départ.

Les deux courants en dents de scie passant simultanément dans les deux paires de bobines, les deux mouvements correspondants se superposent et déterminent l'exploration en zigzag, très saccadée, que nous avons décrite précédemment.

Production d'un courant en dents de scie

Toute la difficulté de l'exploration se ramène maintenant à créer un courant en dents de scie. La solution adoptée consiste à employer une lampe de T. S. F. remplie d'un peu de gaz sous faible pression : ce thyatron est une ampoule de verre à l'intérieur de laquelle se trouvent les trois électrodes classiques filament, grille, plaque, mais elle est remplie de néon, d'argon ou de mercure sous une pression de 1 à 10 millimètres de mercure.

Montons le schéma de la figure 42. Si nous appliquons entre la plaque et le filament, à l'aide d'une pile, une différence de potentiel croissante, nous constatons qu'il ne passe aucun courant dans le tube tant que la différence de potentiel est faible, puis quand la tension atteint une certaine valeur, de l'ordre de 100 volts : la « tension d'allumage », le tube s'allume et se laisse traverser par un courant intense. A ce moment, si le gaz du tube est du néon, il prend

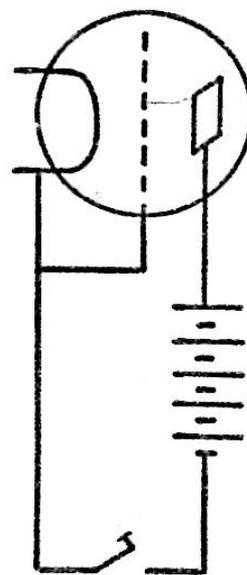


Fig. 42

la couleur rouge que tout le monde connaît bien par les réclames lumineuses.

Lorsque le tube est allumé, il est impossible de l'éteindre en abaissant la tension à ses bornes, à moins d'annuler la tension d'alimentation.

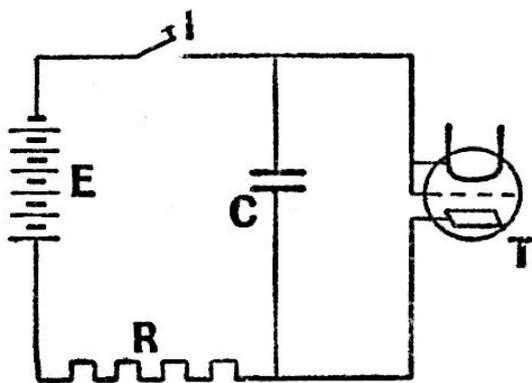


Fig. 43

Réalisons alors, le montage de la figure 43. A l'aide d'une pile E, nous chargeons le condensateur C à travers une résistance R. Aux bornes du condensateur, nous relions la plaque et le filament du thyatron T. La pile a une force électromotrice supérieure à la tension d'allumage du tube.

Le condensateur C n'étant pas chargé, si nous fermons l'interrupteur I, la pile charge le conden-

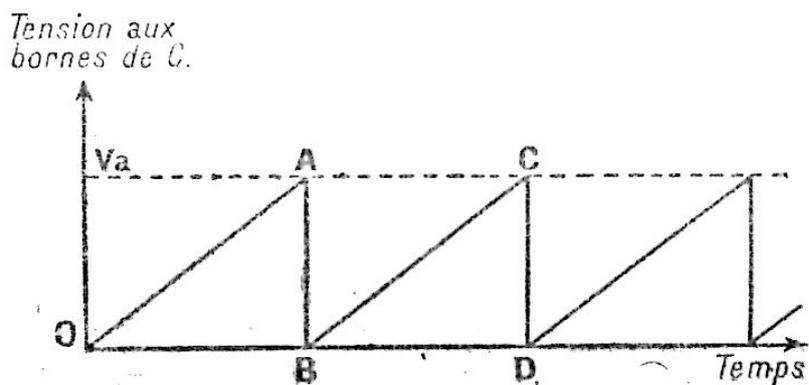


Fig. 44

sateur, mais la résistance freine le passage du courant de charge et la tension aux bornes de C (ou de T) ne prend pas instantanément la valeur qu'elle a en E ; elle croît régulièrement et rapidement. La variation de cette tension en fonction du temps est représentée par une courbe presque rectiligne OA (fig. 44).

Mais bientôt, la tension atteint en A une valeur égale à la tension d'allumage V_a du thyatron ; celui-ci s'illumine et cesse de s'opposer au passage du courant. Le condensateur se trouve pratiquement court-circuité ; il se décharge alors dans le tube à gaz, de façon pratiquement instantanée (portion AB de la courbe). La décharge s'arrête en B quand la tension est devenue voisine de zéro, car le tube s'éteint et arrête net la décharge.

A ce moment, la pile, qui est restée branchée aux bornes du condensateur, recommence à le charger à travers la résistance R et tout le cycle se reproduit (BCD).

La différence de potentiel aux bornes du condensateur varie, en fonction du temps, suivant une courbe en dents de scie. La durée de chaque dent est celle que met la pile pour charger le condensateur à travers la résistance jusqu'à la tension d'allumage du thyatron. Cette durée sera d'autant plus grande que la capacité et la résistance R seront plus grandes. On pourra régler commodément la durée de la dent de scie en agissant sur la capacité ou sur la résistance.

Avantages de l'iconoscope

Examinons les différences entre le disque de Nipkov et l'iconoscope de Zworykin à rythme d'images égal (25 par seconde) et à finesse d'élément d'exploration équivalente (4/10 de millimètre), c'est-à-dire, pour un même nombre de points d'images, ici environ 40.000.

Dans l'installation mécanique, chaque élément n'éclaire la cellule que pendant 1/40.000 de seconde, quand le trou est en face de lui. Dans la mosaïque, au contraire l'effet de la lumière s'accumule pendant tout le temps qui sépare deux passages consécutifs du spot explorateur, soit 1/25 de seconde ; c'est le passage de la tache qui transmet le signal photo-électrique, mais la grandeur du signal est déterminée par la quantité de lumière qu'a reçue l'élément depuis le passage précédent.

L'iconoscope, qui totalise 40.000 cellules juxtaposées, est 40.000 fois plus sensible que la cellule unique derrière le disque. En pratique, ce gain n'est pas réalisé à 100 %, car les petites cellules ont

des pertes qu'ignore la grosse ; mais l'avantage reste énorme.

Alors que le disque ne permet que des transmissions de films ou de scènes de studio au milieu d'une débauche de lumière, que les sunlights ne dispensent malheureusement pas sans une chaleur bien cuisante pour la peau des acteurs, l'iconoscope permet de transmettre les extérieurs même par temps nuageux, et il est très possible de téléviser la pluie tombant sur les flaques d'eau dans une rue l'hiver.

Dans notre exemple, le trou explorateur avait $4/10$ de millimètre de diamètre. C'est une limite extrême, pour la finesse d'exploration par disque, car pour la dépasser il faut prendre un disque plus grand, augmenter le nombre des trous et diminuer leur diamètre. Mais en même temps qu'on augmente le nombre de points d'image, on diminue le temps pendant lequel chaque point est éclairé, et on est très rapidement arrêté par le manque de sensibilité des cellules photo-électriques. Une augmentation de finesse se traduit nécessairement par une perte de sensibilité. Dans les meilleures conditions, on n'a pas pu dépasser 180 lignes par exploration, et ceci est insuffisant pour des images présentant un grand nombre de détails.

Pour l'iconoscope, l'augmentation du nombre des points d'image ne diminue en rien la sensibilité de l'appareil, puisqu'à chaque point de l'objet est affectée une cellule particulière qui emmagasine l'action lumineuse pendant toute la durée du cycle entier d'exploration. Il n'y a donc pas de difficulté de principe et les progrès de la technique ont été poussés assez loin : on a pu obtenir des mosaïques microscopiques et des faisceaux électroniques assez déliés pour transmettre des images décomposées en 600 lignes dont le fouillé est irréprochable.

Enfin, l'iconoscope est d'un emploi très pratique ; nous supprimons le grand disque encombrant, fragile, dont les petits trous doivent être abrités sous un pesant carter contre les poussières ; quatre petites bobines de fil de cuivre le remplacent avantageusement. L'appareillage de prise de vues devient extrêmement compact et portatif : c'est une boîte montée sur un trépied en tous points semblable à la camera des chasseurs d'images du cinéma. A l'intérieur se trouvent logés l'objectif photographique, l'iconoscope, les bobines exploratrices et un premier amplificateur à deux étages. Un câble amène les tensions électriques d'alimentation, ainsi que les courants en « dents de scie » du balayage. Un autre câble emmène le courant de signal vers les amplificateurs de la station de diffusion.

Avec cet ensemble d'appareils robustes et peu encombrants, on peut téléviser des vues à l'extérieur sans éclairage particulier et obtenir des images aussi riches en détails que celles d'une camera de cinéma : le problème de l'émission est résolu presque parfaitement.

CHAPITRE V

LES AMPLIFICATEURS

Le courant fourni par l'iconoscope est tout petit et pour le déceler, il faut un instrument sensible comme un galvanomètre. Il est clair que si nous voulons distribuer ce courant à des millions d'auditeurs, il faudra l'amplifier énormément pour que la fraction reçue par chacun soit pratiquement utilisable.

Les progrès accomplis à chaque étape ressortiront nettement si nous suivons l'évolution de la « puissance » du signal. Cette grandeur, qui permet de caractériser l'utilité d'une dynamo ou d'une machine à vapeur, exprime aussi clairement l'efficacité des amplificateurs. La notion nous paraîtra plus intuitive si on se souvient que toute puissance peut être transformée en une quantité de chaleur équivalente.

A vrai dire, à l'entrée de la chaîne d'appareils, la lumière qui éclaire un élément de l'iconoscope est si faible que si on la dirige sur un thermocouple noirci (cf. p. 29), il faudra un galvanomètre très sensible pour déceler la très faible élévation de température qui résulte de la fraction de microwatts livrés par la lumière.

A la sortie de l'iconoscope, la puissance est devenue électrique, mais elle est restée très faible et il faut attendre deux ou trois étages d'amplification (on

appelle étage l'ensemble des organes qui sont montés avec chaque lampe amplificatrice) pour que la chaleur que peut créer le courant de signal soit facilement mesurable ; elle est encore petite, de quelques microwatts, elle est passée à des milliwatts, et il faut encore pour la mettre en évidence utiliser des moyens raffinés. On fait passer le courant de signal dans un fil résistant qui s'échauffe, on mesure encore l'augmentation de température avec un thermocouple soudé au fil chauffé.

La puissance continue à augmenter régulièrement le long de la série d'amplificateurs : chaque étage la multiplie en moyenne par 10, au total une dizaine d'étages l'amènent au chiffre formidable de 50 kilowatts. Dès le 5^e étage, le courant est assez fort pour porter à l'incandescence une ampoule électrique normale ; à la fin, il peut illuminer tout le laboratoire en faisant briller à la fois 100 grosses lampes d'éclairage de 500 watts.

Toute cette puissance a été puisée dans le réseau et les amplificateurs successifs l'ont modelée suivant la loi déterminée par l'iconoscope. L'énorme écart qui sépare les microwatts sortant de l'iconoscope de la centaine de kilowatts rayonnée par l'antenne marque bien l'une des grandes difficultés résolues par les ingénieurs de la radio.

Forme du courant de signal

Une deuxième qualité de l'amplification est la fidélité. Le signal est un courant variant avec le temps, suivant une loi dont la figure 45 schématise un exemple. Ce sont les détails de la forme de cette courbe qui traduisent les détails de l'image ; et pour conserver l'image sans déformation, il faut que la loi d'évolution du courant à la sortie de la chaîne des

amplificateurs soit la même qu'à l'entrée. L'intensité du courant aura gonflé énormément dans ce parcours, mais à l'échelle près, sera toujours représentée par le même dessin (fig. 45).

Pour saisir la difficulté de ce problème, analysons de plus près la nature du signal de télévision et comparons-le au signal de radio. La différence fondamentale est que le courant microphonique varie

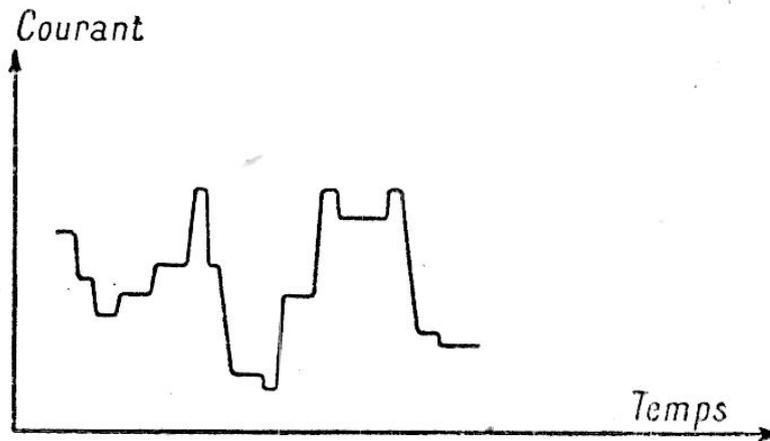


Fig. 45

beaucoup plus lentement que le courant d'image.

C'est qu'une image entière de télévision dure $1/25$ de seconde et contient 75.000 carreaux élémentaires dont chacun se traduit, pour les images les plus fouillées, par une ondulation de la courbe de signal, ondulation qui dure $1/25 \times 75.000 = 1/1.875.000$, environ un deux millionième de seconde. Dans un orchestre, les sons les plus aigus correspondent aux vibrations les plus rapides ; le record dans ce sens appartient aux instruments à vent, mais les notes les plus hautes de la flûte ne donnent pas de boucle de la courbe microphonique de durée inférieure à $1/10.000$ de seconde. On voit, par cet exemple, que les détails des courbes sont 200 fois plus subtils dans un cas que dans l'autre.

Il ne faut pas en conclure qu'en télévision, les signaux à variation lente soient sans intérêt ou n'existent pas : de même que dans un orchestre on peut entendre, à côté de la flûte, la voix grave du basson, de la grosse caisse ou du piano, de même les images ne sont pas toujours bâties par un quadrillage de détails, elles présentent des ciels, des gros plans, de larges surfaces d'éclat uniforme qui peuvent couvrir une grande partie de leur surface ; le signal ne change pas d'intensité pendant toute la durée de l'exploration de ces parties de l'image ; sa lente oscillation peut durer près de $1/50$ de seconde, ou même plus longtemps si l'objet est immobile.

Le signal de télévision comprendra donc une gamme de rapidités très étendue : depuis les très lentes ($1/50$ de seconde) jusqu'aux très rapides (1 deux millionième de seconde), tandis que le son commence aussi bas, mais s'arrête à $1/10.000$ de seconde.

On sait que tout son musical, quelle que soit sa complexité apparente, la musique d'un orchestre par exemple ou la parole humaine, peut être considéré comme le résultat du mélange de sons dits simples tels que ceux que donnent, à un grand degré de pureté, les diapasons. La simplicité de ces sons est caractérisée par le fait, facile à vérifier sur leur enregistrement, que leur courbe représentative est une sinusoïde, qui a une forme unique bien définie (fig. 46) ; la seule différence, d'un son à l'autre est une différence d'échelle : les sons aigus ont des oscillations plus serrées et on exprime leur hauteur par leur fréquence, nombre d'oscillations de la courbe sur la longueur qui représente une seconde ; comme il est bien clair, la grandeur des boucles dans le sens vertical exprime seulement l'intensité du son.

Cette courbe représente aussi les variations, en

fonction du temps, du courant dans un microphone devant lequel on produit un son simple, en faisant vibrer un diapason.

Le succès le plus frappant de cette théorie est mis en évidence dans les expériences de synthèse de sons complexes à partir de leurs éléments simples. C'est ainsi qu'un des clous de la New-York Fair était

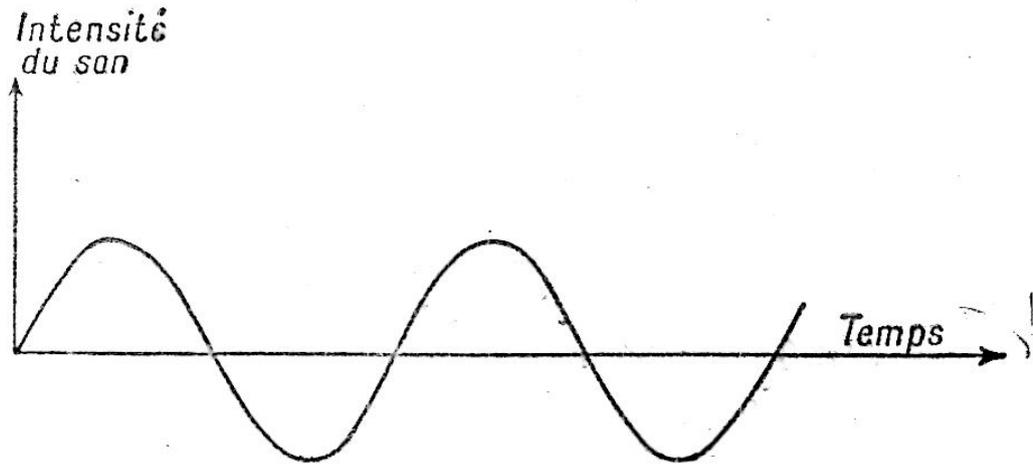


Fig. 46

le « Voder », appareil qui réalisait la synthèse de la parole humaine : une opératrice, spécialement exercée, était assise devant le clavier de commande, analogue à celui d'une machine à écrire, et répondait aux questions du public par la « bouche » du Voder, un haut-parleur, en frappant sur les touches.

Pour le signal de télévision, une décomposition en éléments simples est également possible ; elle ne donne pas lieu à des expériences brillantes comme pour le son, mais l'emploi des mathématiques lui donne une forme aussi précise ; le résultat de l'analyse est qu'on peut considérer un signal quelconque comme la superposition d'un grand nombre de signaux sinusoïdaux simples, et dans ce langage, les résultats précédents s'expriment en disant que les

fréquences élémentaires s'étendent de 50 par seconde à 2 millions par seconde.

Onde porteuse

La grande rapidité des signaux de télévision soulève des difficultés dans leur amplification par les lampes de T. S. F. comme nous le préciserons par la suite, mais son effet sur la transmission par ondes est encore plus fondamental. Reprenons les signaux à la sortie de la première chaîne d'amplificateurs qui les a amenés à une puissance d'une cinquantaine de kilowatts ; ils entrent dans un autre appareil à lampes : le modulateur, mais ils n'y entrent pas seuls, ils y retrouvent des kilowatts d'une autre sorte, ceux de la bande porteuse à très haute fréquence (par exemple 50 millions par seconde, ce qui correspond à la longueur d'onde de 7,50 mètres employée à Paris).

Le diagramme (fig. 47) représente en *a*) le signal, en *b*) la porteuse à son entrée dans le modulateur et en *c*) l'onde modulée qu'on envoie à l'antenne. Les trois dessins ne sont pas à la même échelle, car si on représentait la porteuse à l'échelle du dessin *a*), ses oscillations seraient trop serrées pour être visibles ; nous avons vu que les détails les plus petits de *a*) ont une longueur de 1 deux millionième de seconde, il contiendrait donc 25 festons de *b*).

Sur le dessin, nous comprenons ce qu'est l'onde modulée : c'est une onde de même haute fréquence que la porteuse, mais l'amplitude de ses festons varie suivant la loi du signal donnée par la courbe *a*). Nous comprenons ainsi une des premières parmi les raisons pour lesquelles la fréquence de la porteuse doit être grande : sa maille doit être beaucoup plus fine que les petits détails du signal pour que ceux-ci

puissent s'y sculpter avec précision ; il en va de même pour les figures qu'on découperait dans du

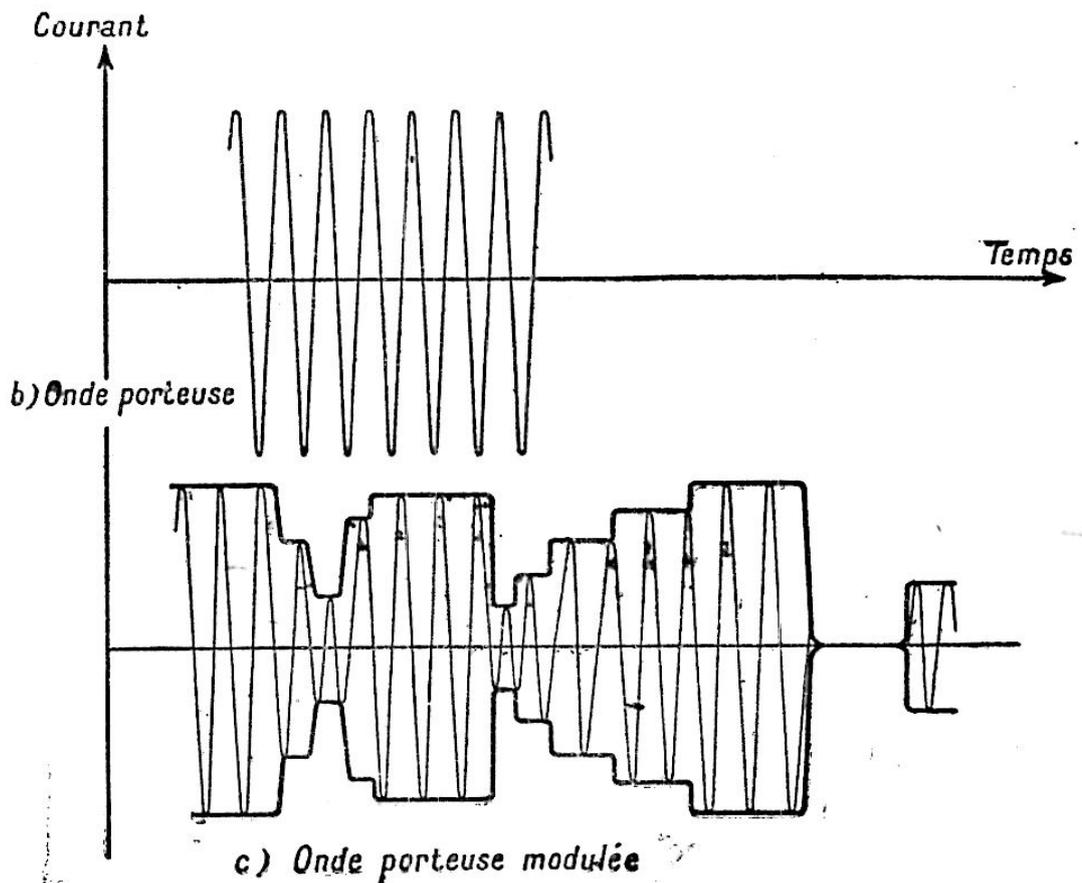
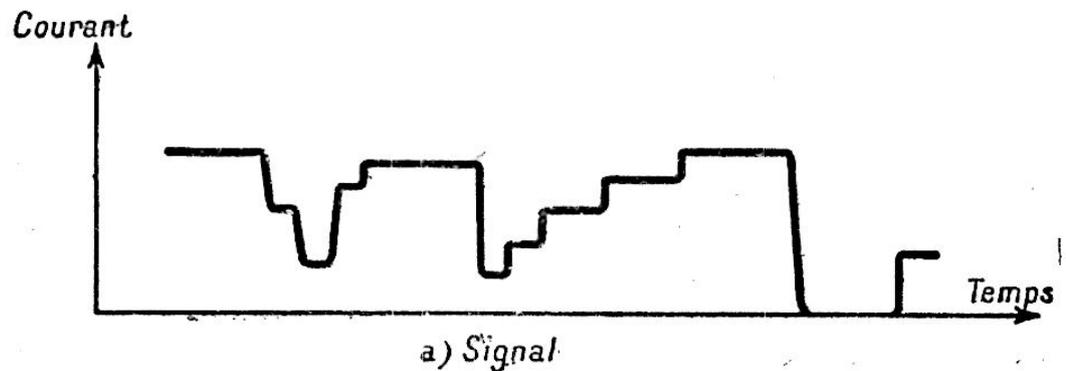


Fig. 47

canevas, il faut que les têtes soient grosses vis-à-vis des mailles qui doivent être bien plus petites que les yeux, le nez, etc., et tous les détails qui donnent la ressemblance.

Un autre motif est plus impérieux encore : l'auditeur de radio est exigeant, il veut pouvoir choisir entre plusieurs programmes et il demande à son récepteur d'être sélectif, c'est-à-dire de lui fournir le programme de son choix à l'exclusion de tout brouillage par les autres programmes. A vrai dire, c'est là un problème du futur, puisque les plus grandes capitales ne possèdent encore qu'un émetteur chacune et que la réception à une distance de plus de 100 kilomètres est un tour de force. Mais les techniciens escomptent le progrès.

Il a fallu d'ailleurs prendre une décision à ce sujet dès la naissance de la télévision, car les émissions de la radio utilisent déjà complètement toutes les fréquences depuis 20 mégacycles jusqu'à 175 kilocycles (1) ; il ne serait pas possible de réaliser une émission de télévision sur ces fréquences sans perturber gravement un grand nombre de diffusions téléphoniques ou de liaisons télégraphiques. Nous allons voir que la gêne peut être considérable et toucherait un nombre si important d'émetteurs qu'il a paru indispensable d'obliger les émetteurs de télévision à se contenter des ondes comprises entre 10 mètres et 1 mètre.

Pour nous expliquer ce choix, considérons d'un peu près le maniement de notre poste de radio familial. Supposons que, très tôt le matin, il n'y ait qu'un émetteur en action, Paris-P. T. T. par exemple, et que nous réglions notre récepteur sur la porteuse avant que le speaker ne parle. Observons « l'œil magique » ou le « trèfle cathodique » qui sert au réglage du poste pendant que nous tournons le bouton du condensateur : tant que nous sommes

(1) Une fréquence de 1 kilocycle est une fréquence de 1.000 par seconde. Une fréquence de 1 mégacycle est une fréquence de 1.000.000 par seconde.

loin du réglage, l'effet est nul; puis les secteurs de l'œil magique s'ouvrent progressivement, pour se refermer ensuite et l'œil retombe dans l'insensibilité; si nous représentons sur un graphique l'ouverture de l'indicateur pour chaque division du condensateur, nous avons la figure 48 a. Répétons la même expérience lorsque la musique ou la

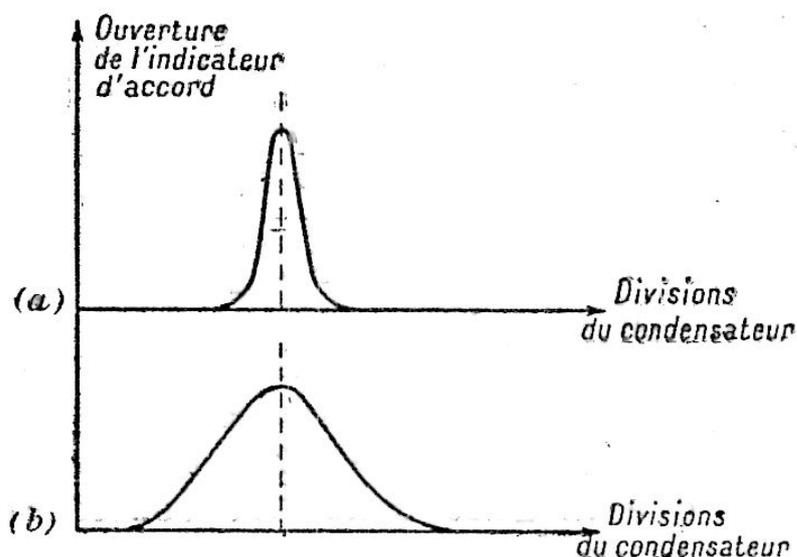


Fig. 48

parole ont commencé; nous obtenons une courbe analogue, mais moins pointue (fig. 48 b). Cet aplatissement est très perceptible si le poste est très sélectif. On peut observer l'effet de la modulation sur la séparation d'émetteurs voisins d'une manière encore plus nette: par exemple, le soir, essayons de capter Rome pendant l'émission des P. T. T.; à mesure que nous nous éloignons du réglage P. T. T., le son faiblit, mais devient aussi plus criard; nous sommes déjà sur le réglage de Rome et nous entendons encore les éclats de voix aigus venus de Paris. Nous saisissons là directement l'effet de la modu-

lation d'une onde sur la sélectivité du récepteur.

Les résultats s'expriment facilement si nous supposons que la porteuse de fréquence N est modulée seulement par une composante sinusoïdale (ce qui correspond en radio au son d'un diapason). Si la

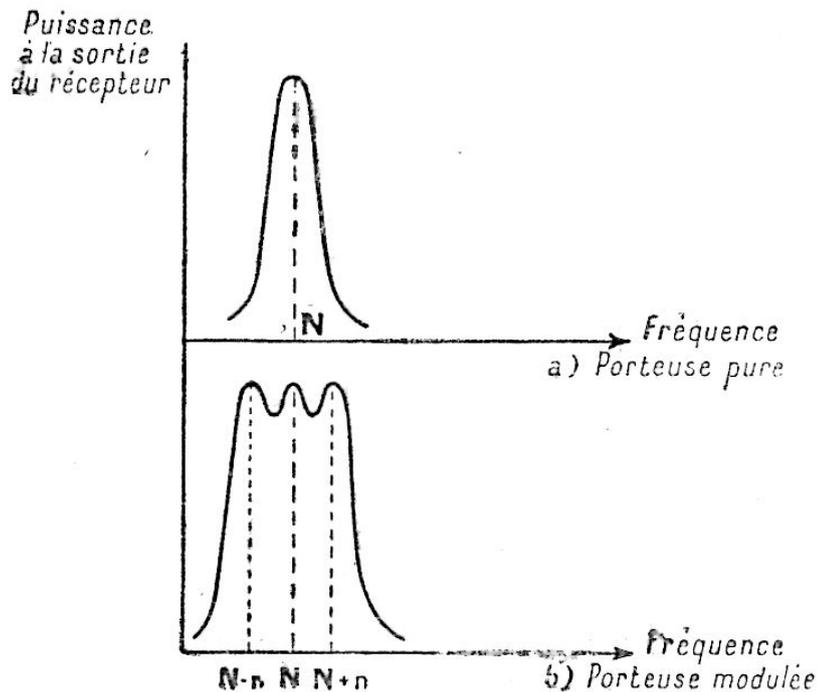


Fig. 49

courbe de sélectivité est pour la porteuse seule celle de la figure 49 a), elle devient la courbe à trois bosses de la figure 49 b) pour l'émetteur modulé; et l'écart des bosses est d'autant plus grand que la fréquence de modulation est plus haute, que le son correspondant est plus aigu.

L'expression quantitative de ce fait est elle-même très simple : une onde porteuse de fréquence N se comporte vis-à-vis d'un récepteur, lorsqu'elle est modulée par un signal de fréquence n , comme trois ondes porteuses pures simultanées de fré-

fréquences $N - n$, N et $N + n$. Pour les sons de la radio, n ne dépasse pas 10.000 par seconde et n reste petit devant N qui est, par exemple, 500.000 pour les P. T. T. ; les trois bosses de la courbe sont rapprochées. Pour la télévision, n atteint 2 millions et les trois bosses sont très largement séparées.

De plus, il ne faut pas oublier que la modulation réelle est composée de la superposition de nombreuses modulations simples, dont la fréquence change d'un moment à l'autre. Pour considérer « l'encombrement » de l'émission, il faut tenir compte des fréquences élémentaires comprises à chaque instant entre 0 et n ; et l'émission occupe toute la gamme de fréquences comprises entre $N - 2.000.000$ et $N + 2.000.000$; dans toute cette étendue, il ne peut y avoir aucun autre émetteur si l'on veut éviter le brouillage.

Les conditions sont même plus sévères ; un second émetteur de télévision de fréquence porteuse N' encombrera la bande $N' - 2.000.000$ à $N' + 2.000.000$, et pour éviter le chevauchement, il faudra que $N' + 2.000.000$ soit inférieur à $N - 2.000.000$: les fréquences N et N' devront donc différer de plus de 4 millions de cycles.

Nous comprenons ainsi pourquoi la gamme d'ondes de la télévision s'étend de 1 à 10 mètres : Pour la radio, la fréquence maxima de modulation étant 10.000, les postes voisins doivent être séparés de 20 kilocycles, et même les postes de télégraphie aux signaux plus simples peuvent être encore plus rapprochés ; entre 20 et 30 mètres, c'est-à-dire 10.000 et 15.000 kilocycles, on peut loger $5.000/20 = 250$ postes transmettant de la musique ; mais si l'on voulait émettre des images, il faudrait réduire leur nombre à moins de trois et il faut bien noter que la présence d'un seul poste de télévision supprimerait la possi-

bilité de 5.000 postes de téléphonie ou de 20.000 de télégraphie.

Ne nous étonnons donc pas si l'on a décidé, aux Congrès de Radiotélégraphie, de reléguer la télévision dans un domaine bien séparé, dans les ondes plus courtes que 10 mètres. Il y aura d'ailleurs de la place puisque 1 mètre et 10 mètres correspondent aux fréquences 50.000 et 300.000 kilocycles, entre lesquelles on peut loger une centaine d'émetteurs.

La partie sonore est transmise sur une onde de la même gamme. L'ensemble complet d'une émission se compose ainsi, par exemple, de la bande de longueurs d'onde comprises entre 4,80 mètres et 5,20 mètres, pour l'image (fréquences correspondantes 58 à 62 mégacycles) et de la longueur d'onde distincte 5,50 mètres pour le son. Les deux postes récepteurs de l'amateur sont commandés par un bouton unique : la construction est faite de telle sorte qu'il suffit de régler la réception du son sur 5,50 mètres comme en radio ordinaire, pour que le deuxième appareil soit automatiquement accordé au mieux pour la réception de l'image, c'est-à-dire sur 5 mètres, milieu de la bande 4,80 mètres-5,20 mètres.

Lampes à émission secondaire

Aux deux sortes de courant que nous avons décrites correspondent deux variétés d'amplificateurs. Les uns reçoivent le courant de signal, dont la forme est donnée figure 49 (a) ; à l'émission, ils sont branchés à la sortie de l'iconoscope, et ils attaquent l'étage de modulation, où se fait le mélange du signal et de l'onde porteuse ; à la réception, ils sont placés après la lampe détectrice, dont le rôle, inverse de celui de la modulatrice, est de

restituer le signal à partir de l'onde modulée. Les autres amplificateurs traitent le courant de haute fréquence de l'onde porteuse et de l'onde modulée.

Nous ne nous étendrons pas sur le fonctionnement de ces appareils ; le lecteur trouvera descriptions et renseignements dans les livres sur la T. S. F. Nous donnerons seulement quelques indications sur une nouveauté intéressante : « l'émission secondaire », née de la télévision, mais qui pourrait bien conquérir la radio.

Le courant de signal en télévision est analogue au courant microphonique de la radio. Mais, comme nous l'avons expliqué, la gamme des fréquences élémentaires, en lesquelles on peut le décomposer, est très étendue de 0 à 2 millions de périodes.

De plus, dans le cas des courants microphoniques, l'oreille n'est pas difficile et tolère une certaine distorsion du signal, du genre appelé « distorsion de phase ». Cette propriété est bien simplement exprimée au moyen des sons élémentaires : représentons-les sur un même graphique (fig. 50) ; l'effet d'un amplificateur fidèle est tel que le courant de sortie est représenté par la même courbe très agrandie. Mais pratiquement, il n'est pas besoin de tant de perfection et l'oreille supporte le défaut, qui se traduit par un léger décalage, dans la direction OT, inégal pour les différentes composantes (schéma pour un son à deux composantes) : il est permis à l'ampli de retarder différemment les sons élémentaires.

En télévision, de tels défauts amènent une distorsion insupportable de l'image, et il faut les supprimer.

Aucun des défauts de l'amplification ne vient du fonctionnement des lampes ; ils sont dus aux élé-

ments extérieurs : résistances, capacités, transformateurs qui servent à relier une lampe à la suivante dans l'amplificateur, et qui constituent le délicat

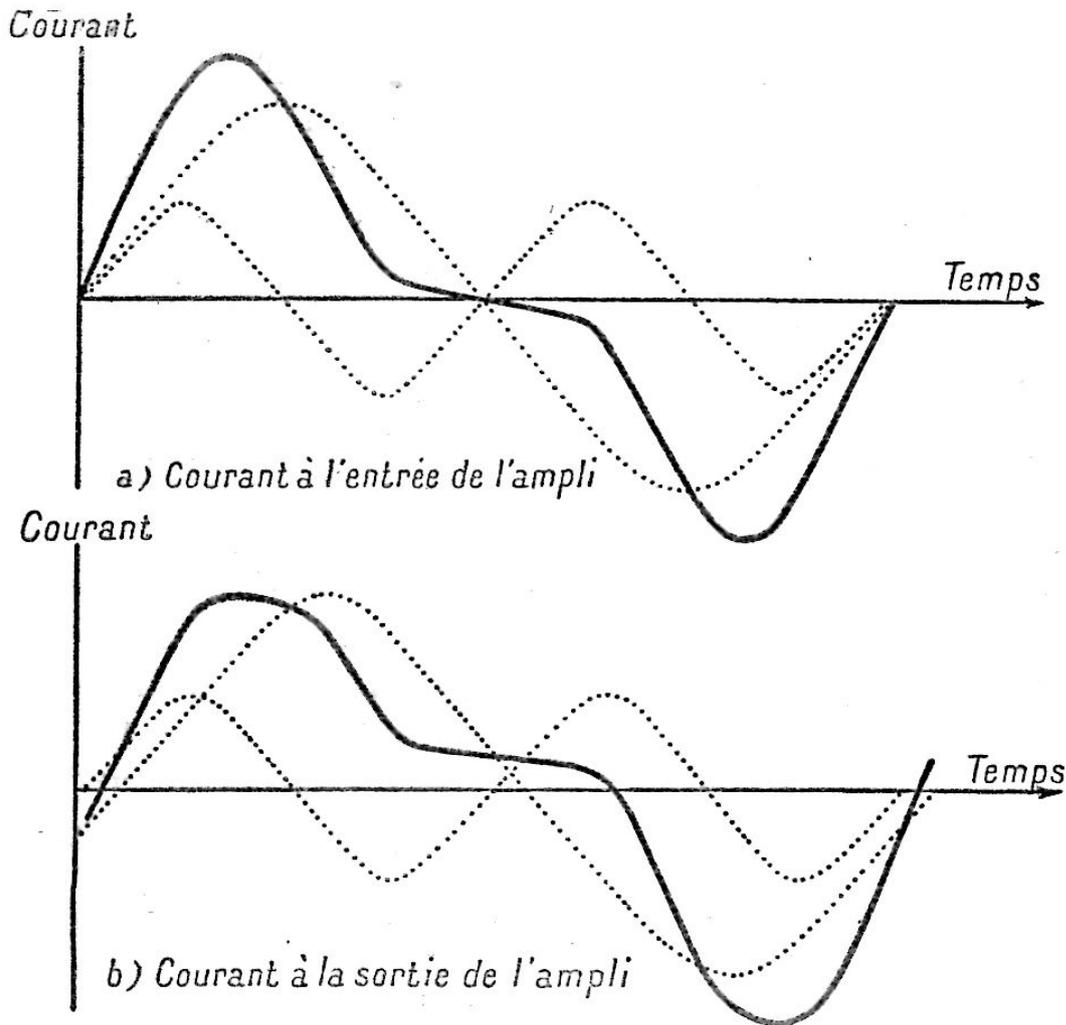


Fig. 50

« câblage » des châssis de T. S. F. Les défauts augmentent donc avec le nombre d'étages de l'amplificateur, et le moyen le plus radical de les supprimer serait de réduire l'appareil à un seul étage, en créant une lampe à pouvoir amplificateur suffisant. C'est la tendance actuelle de la technique, qui utilise à cet effet un phénomène nouveau, apparenté à l'effet photo-électrique : l'émission secondaire.

Multiplicateur d'électrons

Ce phénomène est très simple. Considérons une cellule photo-électrique ordinaire, qu'on a pourvue d'une 3^e électrode, suivant le dessin n° 51. Lorsque la lumière frappe la cathode, celle-ci émet des électrons ; l'anode n° 1, portée à + 250 volts environ,

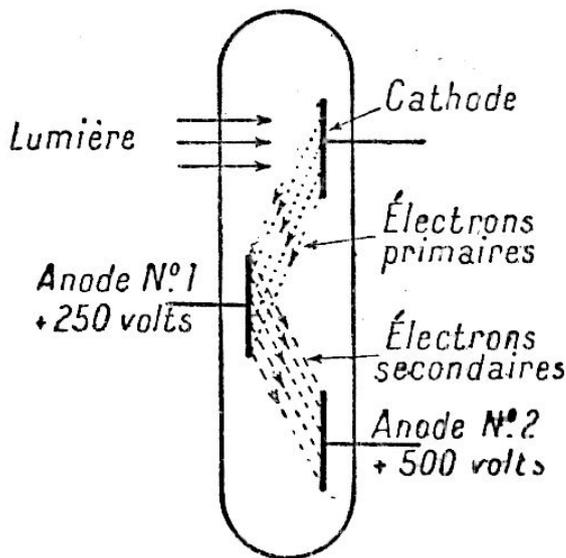


Fig. 51

les attire et ces corpuscules négatifs viennent la bombarder, créant dans le circuit extérieur le courant photo-électrique habituel i . Mais là n'est pas leur seul effet, quand l'anode n° 1 est formée de la même couche sensible de cæsium que la cathode photo-électrique. Dans ce cas, chaque électron qui arrive expulse de l'électrode

environ huit électrons nouveaux, les électrons secondaires. On ne soupçonnerait pas leur existence si l'anode 2 n'existait pas ; il suffit de porter celle-ci à + 250 volts par rapport à l'anode n° 1 pour recueillir ces électrons, qui créent un courant 8 fois plus fort que le courant photo-électrique primaire : on a amplifié huit fois le courant. Et rien n'empêche de continuer l'amplification en ajoutant des électrodes : on est allé jusqu'à 11 électrodes, et le courant final devient 8^{11} fois le courant photo-électrique initial.

La seule difficulté est d'empêcher les électrons de

s'égarer et de les forcer à sauter docilement d'une plaque à l'autre. C'est un problème d'optique électronique, résolu, soit en donnant aux électrodes des formes très étudiées, soit en les plaçant entre les pôles d'un aimant.

Le même procédé s'applique aux lampes de T. S. F. : le courant émis par le filament traverse la grille et se multiplie par 8 sur une cible ; la plaque recueille le courant final ; l'efficacité de la lampe est multipliée par 8. Sur ce principe, on a construit des lampes à 10 étages, dont une seule remplace un amplificateur entier. Leur fabrication industrielle est encore dans la période de mise au point, car la préparation de couches sensibles sur toutes les électrodes est délicate, comme on peut le juger d'après ce que nous avons dit des cellules ordinaires. Mais, il est à penser que leur utilisation commerciale est proche, et que la simplification qui en résultera pour les appareils contribuera à leur succès auprès du public.

CHAPITRE VI

LES ONDES AU-DESSOUS DE 10 MÈTRES

Mais pourquoi la gamme 1 mètre-10 mètres est-elle dédaignée par téléphonistes et télégraphistes, pourquoi est-elle restée libre jusqu'à l'avènement de la télévision ? La raison en est simple : la portée des ondes extra-courtes est beaucoup plus faible que celle des autres ondes, elle ne dépasse pas 200 kilomètres, ce qui réduit considérablement leur intérêt pour les communications commerciales.

La propagation des ondes est restée longtemps mystérieuse, mais on connaît maintenant avec certitude les grands traits de son mécanisme. Ce qui en complique l'étude, c'est qu'elle dépend surtout des propriétés électriques d'un élément très variable : l'atmosphère. Qui plus est, les couches atmosphériques intéressantes à cet égard sont inaccessibles à une expérimentation directe puisque, suivant la longueur d'onde et l'heure de la journée, il faudrait atteindre des altitudes comprises entre 60 et 120 kilomètres, alors que les records de Picard et de ses émules ne dépassent pas 25 kilomètres, et que les ballons sondes éclatent toujours avant 40 kilomètres.

Cependant, depuis Kennedy et Heaviside (1904), on peut résumer assez simplement les phénomènes qui se passent dans la haute atmosphère. Ses couches

ionisées E et F de Heaviside, comme les désignent les spécialistes, se comportent en général comme un miroir parallèle à la surface de la terre. La difficulté est de prévoir les variations de son pouvoir réflecteur suivant l'heure, la saison, la fréquence des ondes.

Les rayons hertziens issus de l'antenne disposent donc de plusieurs chemins pour parvenir au récepteur : ils arrivent soit directement, soit après s'être

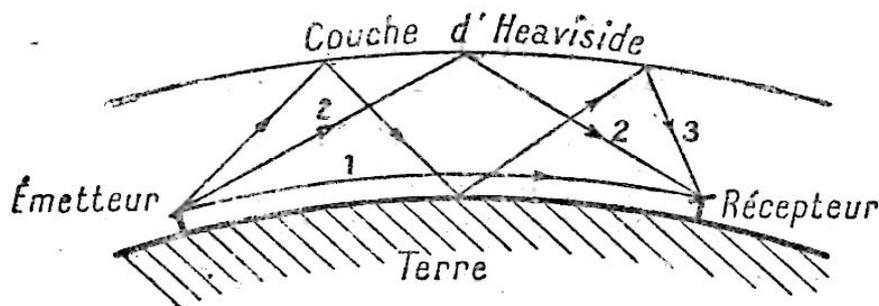


Fig. 52

réfléchis sur le miroir atmosphérique. Quand le miroir est très réfléchissant, ils peuvent même subir plusieurs réflexions successives, en l'air, puis sur le sol. L'intérêt de ces parcours en zigzag (fig. 52) est que les rayons hertziens qui les empruntent cheminent loin du sol : or c'est le sol qui absorbe les ondes ; il se comporte comme une multitude d'antennes minuscules pompant l'énergie de l'onde qui passe à son voisinage et la transformant en chaleur. C'est ainsi que le jour, la haute atmosphère est très peu réfléchissante pour les ondes de la radio et notre poste ne capte que les rayons dits « directs », qui ont suivi la courbure de la terre et sont donc très affaiblis ; la portée des émetteurs de radiodiffusion est alors très faible, une ou deux centaines de kilomètres. Tandis que la nuit, au contraire, le miroir est excellent, l'onde réfléchie est

très forte et assure de très longues portées, 1.000, 1.500 kilomètres et davantage. Tout ceci s'entend pour les ondes dites courtes, dont la longueur est comprise entre 200 et 600 mètres. Pour les ondes très courtes, entre 16 et 50 mètres, les phénomènes sont encore plus compliqués : le pouvoir réflecteur est bien meilleur et il persiste le jour ; les portées réalisées deviennent transocéaniques. Mais l'influence de la longueur d'onde et de la lumière se font sentir très brutalement : suivant que le trajet du rayon hertzien est entièrement dans un hémisphère éclairé, ou entièrement dans un hémisphère obscur, ou partiellement dans l'un et dans l'autre, il faut choisir une longueur d'onde déterminée pour assurer la communication ; pour des ondes quelconques, le miroir n'existerait plus, la liaison serait impossible. C'est ainsi qu'entre la France et l'Amérique, la longueur d'onde 15 mètres convient le jour et 25 mètres la nuit. Il faut ajouter que la saison, l'activité solaire, la direction des ondes (E.-W. ou N.-S.) interviennent à un degré notable.

Lorsqu'on descend au-dessous de 10 mètres, dans le domaine des ondes dites « métriques » réservé officiellement à la télévision, les phénomènes sont bien plus simples : en aucune saison, ni de jour ni de nuit, il n'y a de miroir atmosphérique ; les ondes parties vers le ciel, traversent l'atmosphère et ne reviennent pas. Nous en sommes réduits à l'onde directe à faible portée, ce qui explique le dédain des techniciens des radiocommunications pour cette gamme.

Les conditions sont même beaucoup plus défavorables que pour les ondes de radiodiffusion. En effet, l'absorption due au sol augmente beaucoup quand la longueur d'onde diminue, et dès qu'un rayon hertzien de cette gamme de longueur d'onde

frôle le sol, son énergie est absorbée sur une distance de quelques kilomètres. Les rayons hertziens se comportent exactement comme les rayons lumineux d'un phare, et pour que le récepteur reçoive l'émetteur, il faut qu'il y ait visibilité directe de l'un à l'autre.

L'analogie avec la lumière est encore plus étroite : il y a aussi des zones d'ombre. Les maisons, les collines, les forêts sont peu transparentes aux ondes de 10 mètres, et portent ombre dans le faisceau hertzien dès qu'elles se présentent sous une épaisseur notable ; un récepteur placé dans cette zone ne reçoit que des signaux très affaiblis.

Les ondes de radio se comportent tout différemment ; elles semblent contourner les obstacles : cela tient à ce que, au voisinage de l'obstacle, elles créent par « diffraction » des ondes nouvelles qui l'entourent et le contournent tout comme les rides à la surface de l'eau, viennent-elles à rencontrer un roseau, l'entourent d'un rayonnement d'ondelettes. Mais pour que cet effet soit certain, il faut que la longueur de l'onde soit grande par rapport aux dimensions de l'obstacle : une onde de 400 mètres diffractera beaucoup autour d'une maison, qui fait écran complet pour une onde de 4 mètres.

Ces particularités de la propagation des ondes de moins de 10 mètres nous font saisir l'intérêt des antennes élevées pour couvrir une large surface. On réduit ainsi l'épaisseur de murs à traverser pour parvenir à l'auditeur dans les villes, on enjambe plus facilement collines ou bois, mais aussi on surmonte la plus inévitable de toutes les montagnes, la courbure de la terre (fig. 53). Comme pour les phares, on éloigne l'horizon en élevant l'antenne, la figure montre qu'on gagne aussi en élevant le récepteur. Le tableau ci-contre donne les portées pos-

sibles quand le récepteur est au sol, pour différentes altitudes de l'émetteur ; si le récepteur est à la même altitude que l'émetteur, il faut doubler ces chiffres, c'est ce qui explique que les récepteurs situés sur les collines qui bordent le bassin de Londres aient pu recevoir des images à 150 kilomètres ; et nous voyons aussi que l'antenne parisienne n'a pas été placée, par hasard, au sommet de la tour Eiffel, mais ses 300 mètres d'altitude assurent une portée de 80 kilomètres.

Hauteur de l'antenne en mètres	10	100	300	500	1.000	1.500
Portée en kilomètres	15	47,5	82	106	150	184

Fading (1)

La transmission à portée optique a un avantage considérable : elle n'est pratiquement pas affectée par le fading. En radio, le fading vient de l'efficacité de la couche d'Heaviside, l'auditeur peut recevoir en un même point différents rayons hertziens qui ont

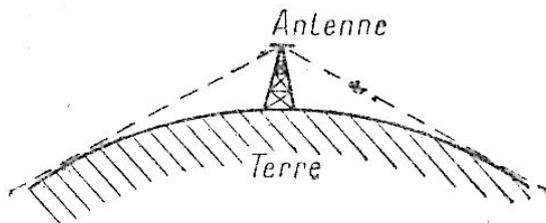


Fig. 53

suivi des trajets légèrement ou même très différents (fig. 52). Or les effets ondulatoires de plusieurs ondes reçues en même temps ne s'additionnent pas si elles sont différentes, ces ondes inter-

ferent ; et dans notre cas, le retard des plus lentes (trajet le plus long) peut être assez grand et assez mal distribué pour que leur effet se retranche de celui

(1) De l'anglais : to fade, s'effacer, s'affaiblir.

des ondes les plus rapides (trajet court), avec un résultat nul : on n'entend plus rien, il y a fading. Les variations des propriétés de l'atmosphère expliquent les caprices de ce phénomène.

En télévision, rien de pareil n'est possible puisque l'atmosphère ne réfléchit rien et que seule l'onde directe nous parvient. Cependant, il y a un autre miroir, c'est le sol ; il peut donner des effets analogues à ceux du miroir atmosphérique (fig. 54) son

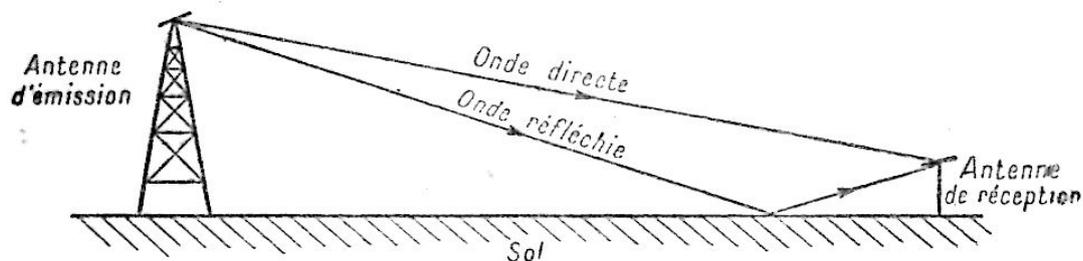


Fig. 54

pouvoir réflecteur est toutefois très faible ; l'effet n'est notable qu'à la limite de portée où le rayon rencontre le sol sous un angle faible : cela donne, suivant la position du récepteur, un affaiblissement ou un renforcement du signal, dont dépend le décalage des deux ondes ; en tout cas, le sol étant fixe, on n'a jamais les fluctuations dans le temps si gênantes, et la télévision ignore le fading.

Parasites

En radio, il y a grand progrès dans l'atténuation des parasites quand on utilise les ondes courtes, où seuls ceux de l'atmosphère sont encore insupportables. Dans la gamme de la télévision, l'amélioration atteint son maximum ; les parasites d'origine humaine ont encore diminué d'intensité, à l'except-

tion de ceux qui sont dus à l'allumage des voitures automobiles. Ce dispositif d'allumage se comporte, en effet, comme un petit émetteur dont la longueur d'onde est dans la gamme de la télévision, et un écran de télévision est un indicateur très sensible du passage d'une auto dans les environs. On n'évite pas d'avoir les oreilles déchirées par des craquements, puisque la sonorisation emploie la même gamme d'ondes, tandis que l'image paraît zébrée de raies lumineuses. Cet inconvénient n'est pas grave, car il faut que l'auto soit dans un périmètre de 200 mètres et il est très possible de supprimer cette influence en antiparasitant la voiture. Le problème est résolu depuis longtemps pour les avions qui ont un intérêt vital à recevoir la radio et la simplicité des solutions permet d'espérer leur généralisation dès que la télévision sera populaire.

Si on excepte ces parasites spéciaux, les réceptions sont pures d'une manière surprenante, et au plus fort de l'été, les parasites atmosphériques ne sont même pas soupçonnés. La faible portée des signaux nous aide à comprendre ce point : alors que sur 20 mètres, les parasites atmosphériques reçus sont souvent émis par des orages terribles des tropiques, situés à des milliers de kilomètres, il faut, dans la gamme de 10 mètres, qu'il y ait un orage dans un cercle de 50 kilomètres pour que la perturbation parvienne au récepteur.

CHAPITRE VII

LA RÉCEPTION

Le rôle du récepteur est, nous l'avons vu, de nous rapprocher, en apparence, à quelques mètres de l'émetteur : la résistance R' (fig. 58), branchée aux bornes du récepteur, est traversée par un courant qui est, à tout moment, proportionnel à celui qui parcourt la résistance R , dans le circuit de sortie de l'iconoscope ; et l'utilité du système émission-réception est de transporter presque instantanément ce courant jusqu'à nous. Comment restituer l'image à partir de ce courant ? C'est la fonction de l'oscillographe à rayons cathodiques.

L'oscillographe à rayons cathodiques

L'appareil est analogue, d'apparence extérieure, à l'iconoscope. Comme celui-ci, c'est une grosse ampoule de verre pyrex, vide d'air, de forme indiquée figure 55. Elle comporte une partie cylindrique allongée, de quelques centimètres de diamètre, dans laquelle est logé un canon à électrons semblable à celui de l'iconoscope, à un détail près ; il comporte une électrode supplémentaire appelée électrode de commande, dont nous verrons plus loin l'utilisation. La deuxième partie de l'ampoule,

en pain de sucre, est vide ; et seul le fond, qui est un disque d'environ 30 centimètres de diamètre, joue un rôle actif.

Il est en effet recouvert d'un enduit blanc, le plus souvent en wilhemite ou tungstate de cadmium, qui est une matière fluorescente. Nous savons que ces corps émettent une vive lumière, verte dans le cas du tungstate, bleue pour d'autres, lorsqu'ils sont

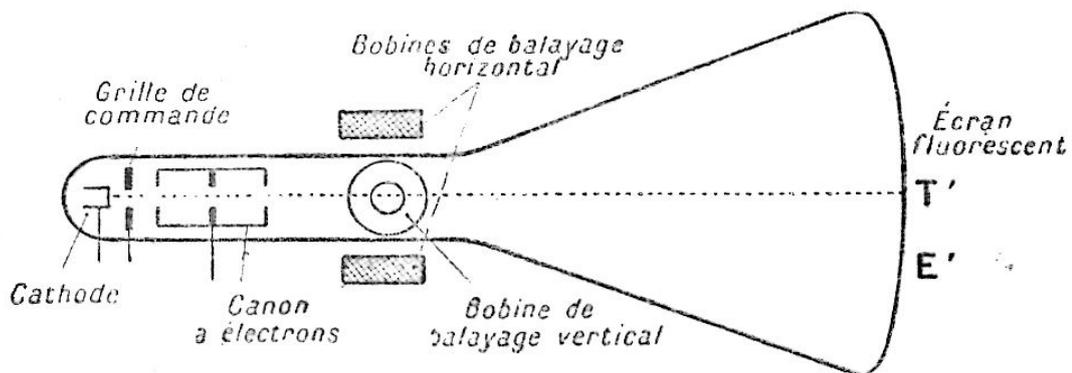


Fig. 554

frappés par les électrons ; les points d'impact apparaissent alors comme des taches lumineuses brillantes. Dans les oscillographes destinés à la télévision, on choisit un mélange de substances fluorescentes tel qu'il s'illumine en blanc. Le tir du canon à électrons est bien réglé sur le fond fluorescent et tous les électrons viennent y converger dans une petite tache, un « spot » brillant de $\frac{4}{10}$ de millimètre de diamètre. C'est ce qu'on voit lorsque le tube est allumé sans que le balayage soit mis en route : sur le fond du tube, en son milieu, se détache un point brillant.

Mais, comme l'icône, le tube est muni d'un balayage réalisé au moyen de quatre bobines disposées autour de son col, à la bouche du canon à électrons ; lorsqu'elles sont parcourues par des

courants en dents de scie semblables à ceux qui nous servaient à la prise de vues, elles dévient le faisceau électronique ; le spot lumineux se déplace suivant la même loi de mouvement que la tache exploratrice sur la mosaïque de l'iconoscope ; il balaie tout l'écran fluorescent par lignes successives, au-dessous les unes des autres (fig. 12), et comme il parcourt toute la surface en $1/25$ de seconde, l'impression lumineuse correspondant aux différentes positions persiste d'un cycle au suivant : l'écran paraît uniformément éclairé.

C'est là l'aspect de l'écran lorsque le tube fonctionne, sans que le récepteur lui envoie de signaux. Leur arrivée va se traduire maintenant par l'apparition d'une image sur l'écran.

Nous avons supposé que le balayage était réalisé par un système de quatre bobines. On peut aussi employer quatre petits plateaux deux à deux parallèles, comme nous l'avons vu au chapitre IV. Il arrive même souvent qu'on utilise simultanément les deux méthodes. On réalise alors une déviation électrostatique (par plateaux) pour le balayage horizontal et une déviation magnétique (par bobines) pour le déplacement des lignes dans le sens vertical.

Formation de l'image

La formation de l'image est due à ce que le spot ne garde pas une brillance constante au cours de son trajet ; l'électrode de contrôle modifie la richesse du faisceau en électrons, et par suite l'intensité du bombardement de l'écran et la brillance de la tache exploratrice. Le mécanisme est le suivant : dans les parties les plus brillantes de l'image, l'électrode de contrôle laisse passer tous les électrons et dans les

parties obscures, elle en arrête au contraire la plus grande partie.

L'électrode de contrôle est intercalée entre la cathode émettrice d'électrons et les autres électrodes du canon à électrons.

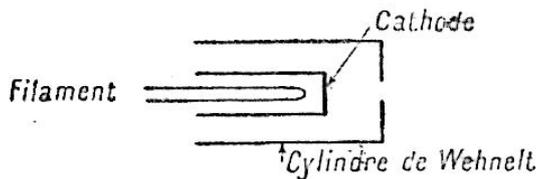


Fig. 56

Une forme simple et courante, appelée cylindre de Wehnelt, est un cylindre percé, au fond, d'un petit trou qui enveloppe la cathode (fig. 56). Le

fonctionnement de cette électrode ressemble beaucoup à celui d'une grille de lampe de T. S. F., c'est pourquoi on l'a représenté d'une manière identique sur les schémas (fig. 57).

En faisant varier le potentiel de cette sorte de grille par rapport à la cathode, on modifie le nombre des électrons qui la traversent. Si la grille est fortement négative, elle repousse énergiquement les électrons, elle constitue pour eux une barrière infranchissable et l'écran reste sombre. Si la grille est au même potentiel que la cathode, elle n'agit pas sur les électrons; ceux-ci la traversent tous et l'écran a son éclat maximum.

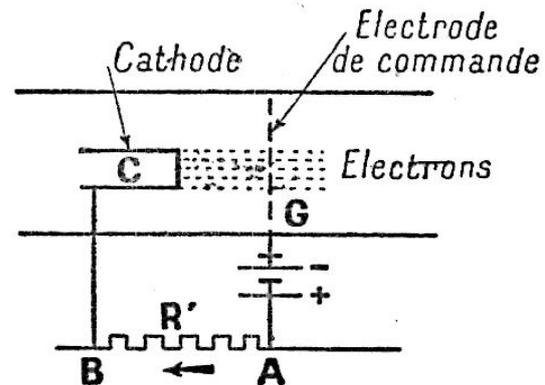


Fig. 57

Le problème de la reconstitution de l'image se ramène donc à faire varier le potentiel de la grille en fonction du courant de signal.

Pour obtenir ce résultat, on relie la cathode et

l'électrode de contrôle par l'intermédiaire de la résistance R' et d'une pile de polarisation, dont le pôle négatif est du côté de la grille de contrôle G . Dans la résistance R' circule de A en B un courant qui est, à tout moment, proportionnel à celui qui parcourt la résistance R du circuit de l'iconoscope. Il apparaît entre A et B une tension électrique,

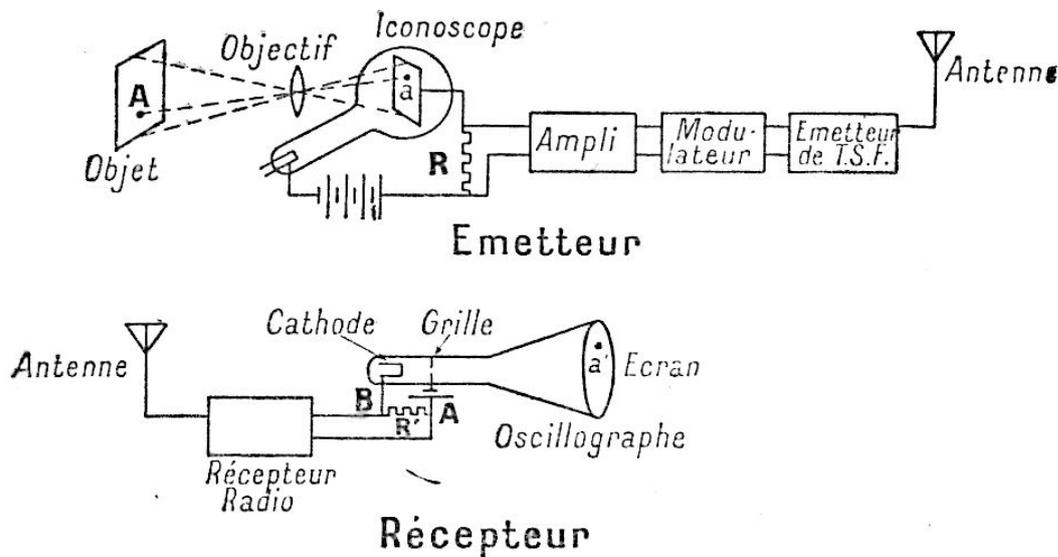


Fig. 58

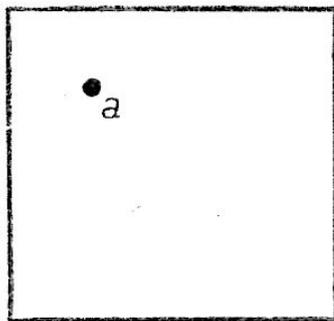
proportionnelle au courant, et de sens tel qu'elle rend la grille d'autant moins négative qu'elle est plus intense.

Ce mécanisme permet de dessiner sur l'écran une reproduction fidèle de la scène télévisée (fig. 58). Par exemple, un point noir A de l'objet n'envoie aucune lumière sur l'élément a de la mosaïque où se forme son image. Quand le point explorateur passe sur a , il ne provoque aucun courant dans R ; donc à la réception aucun courant dans R' ; la grille G reste fortement négative, arrête tous les électrons, le point correspondant a' de l'écran reste sombre. De même on peut rendre toutes les teintes de la

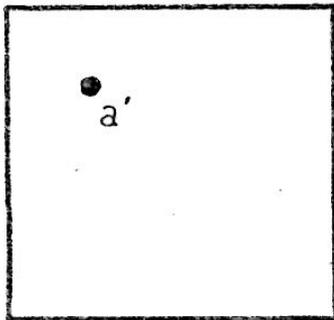
scène à transmettre, car toute la série des grandeurs électriques qui interviennent dans l'émetteur et le récepteur varie proportionnellement à l'éclairement de la mosaïque.

Synchronisation

Nous aurons un tableau plus saisissant des résultats obtenus en supposant qu'on ait donné les mêmes dimensions à la mosaïque de l'iconoscope et à



Mosaïque



Écran

Fig. 59

l'écran de l'oscillographe. Au même instant, nos yeux voient sur la première l'image optique de la scène à transmettre, sur l'autre l'image reçue par télévision. En réalité, seul un élément est actif sur chaque écran : c'est celui qui reçoit le bombardement du jet d'électrons explorateur et, à l'instant considéré, les deux éléments en question *a* et *a'* occupent exactement la même position sur les deux écrans ; si on pouvait mettre ces deux écrans l'un sur l'autre, ils se recouvriraient exactement comme un calque et un dessin (fig. 59) et les points *a* et *a'* seraient à chaque instant superposés.

Cette condition de recouvrement exact à tous les instants de l'exploration a été difficile à réaliser et elle n'est remplie que grâce à un ensemble d'appareils assez imposant : les appareils de synchronisation. Le principe de l'opération nous est très

familier, et nous en voyons l'application chaque fois que nous allons au concert : le flûtiste et le violoniste sont tous deux de bons musiciens ; ils jouent certainement en mesure, et cependant, s'ils ne s'écoutent pas mutuellement avec attention, ils auront de petits écarts de rythme, imperceptibles certes à chaque mesure, mais qui s'additionnent si bien de page en page que la mesure, en fin de compte, sera perdue. Le remède est simple : un chef d'orchestre indique à tous les exécutants les attaques et les pauses, et leur permet de ne prendre ni avance ni retard.

Les générateurs de tension en « dents de scie » qui donnent le rythme de balayage à l'émission et à la réception sont d'assez médiocres exécutants, aussi les rappelle-t-on à l'ordre à chaque mesure, c'est-à-dire à chaque dent. Pour cela, on ne laisse pas les dents de scie se produire suivant leur rythme naturel, mais on les déclenche par des signaux spéciaux dits signaux de synchronisation. Ces signaux sont produits à la station d'émission par un oscillateur à lampes d'un genre particulier qui joue le rôle de chef d'orchestre. Cet oscillateur produit une différence de potentiel dont les variations en fonction du temps sont schématisées par la figure 60. Ce sont des successions de pointes de tension régulièrement espacées entre lesquelles la tension reste nulle. Leur durée représente environ 5 % de l'intervalle de temps qui les sépare.

Un émetteur de télévision comporte deux oscillateurs de cette espèce ; l'un règle la durée de balayage d'une ligne, l'autre celle d'une image. Si nous transmettons par exemple à chaque seconde 25 images de 300 lignes, le premier oscillateur donnera 7.500 signaux par seconde, le deuxième 25 seulement ; l'un de ces oscillateurs commande l'autre, pour que le chef d'orchestre soit unique.

Les signaux produits doivent commander simultanément le générateur de dents de scie de l'émetteur et ceux de tous les récepteurs. A l'émetteur, il suffit

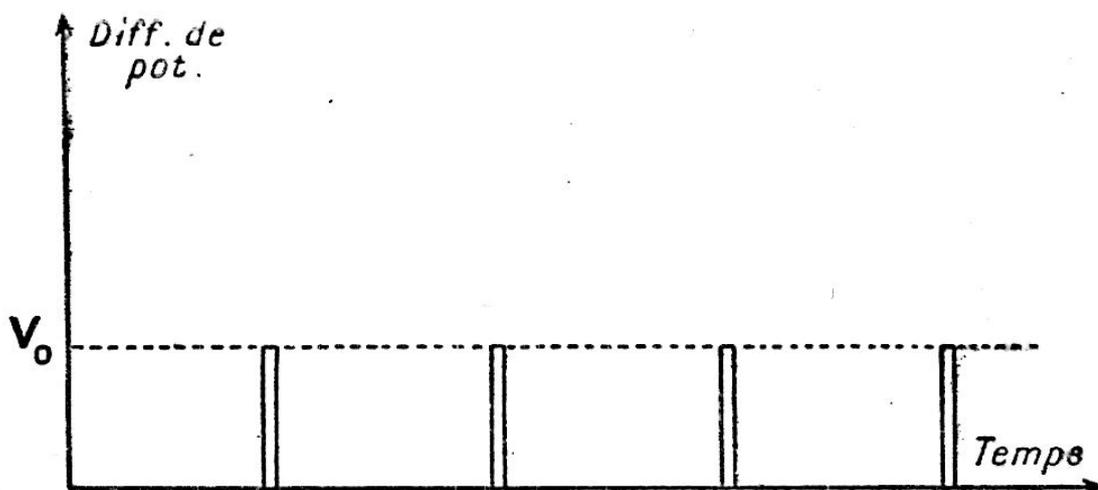


Fig. 60

de relier les deux organes par deux fils. Mais pour les récepteurs, il faut avoir recours à la T. S. F. On est contraint de mélanger les signaux de synchronisa-

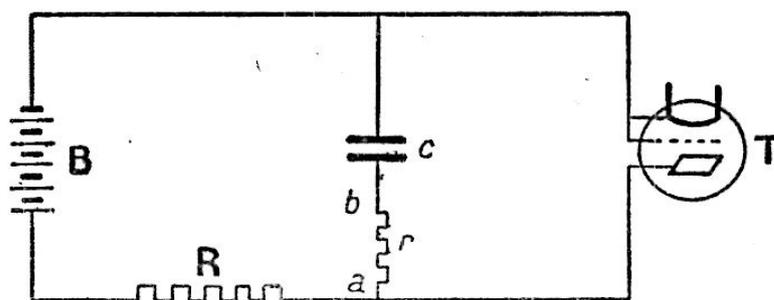


Fig. 61

tion aux signaux d'image donnés par l'iconoscope et de les diffuser comme eux, par des ondes hertziennes. A la réception, un dispositif spécial les trie, grâce à leur forme et à leur grandeur particulières, et les

dirige sur le générateur de dents de scie qu'ils doivent commander.

Il nous reste à voir pourquoi les générateurs de dents de scie obéissent aux injonctions des signaux de synchronisation. La résistance r est reliée au récepteur de manière à ce que la tension de synchronisation se manifeste à ses bornes (fig. 61).

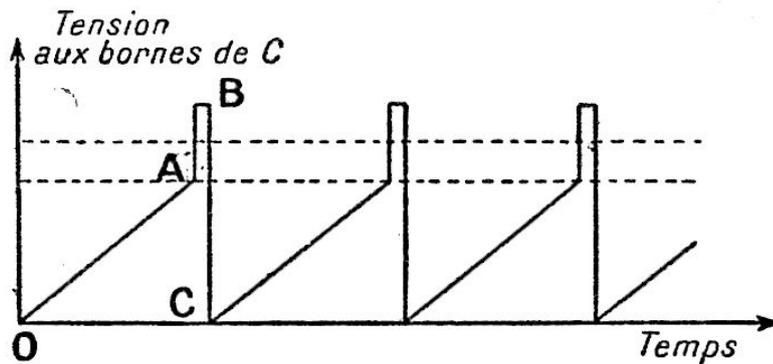


Fig. 62

Partons d'un instant où le condensateur C est déchargé ; la pile B charge C à travers les résistances R et r et la tension croît régulièrement (OA de la courbe 62). Si on abandonnait le système à lui-même, cette tension augmenterait jusqu'au potentiel d'allumage E du thyatron, et on a choisi les résistances pour que ceci ne se produise qu'au bout d'un temps nettement plus long que la durée qu'on veut donner au balayage d'une ligne. Le signal de synchronisation arrive alors aux bornes de r avant que le thyatron ne se soit allumé, la tension fait un saut brusque (AB), dépasse la valeur d'allumage du thyatron qui s'allume et le condensateur se décharge brusquement (BC). Aussitôt la pile B recommence à charger le condensateur et le cycle se répète.

On voit que la décharge est toujours déclenchée par le signal de synchronisation ; la durée de la dent de scie, et par conséquent du balayage est donc rigoureusement égale à l'intervalle de deux signaux. Il en est de même pour tous les autres générateurs à dents de scie de l'émetteur et du récepteur.

Nous avons terminé notre tour dans la technique de la télévision proprement dite. Mais les résultats des recherches entreprises à son sujet ont débordé largement leur cadre initial, la transmission des images ; deux belles inventions, en particulier, auxquelles un très grand avenir semble ouvert, sont nées de ces recherches, ce sont le Télescope et le Microscope électroniques.

CHAPITRE VIII

LE TÉLESCOPE ÉLECTRONIQUE

Il serait bien amusant de se promener par la nuit la plus obscure en voyant tout ce qui se passe autour de soi, et sans révéler cependant sa présence par l'éclat d'un phare ni d'une lampe. Cela paraît, au premier abord un rêve, mais nous avons, dans les chapitres précédents, rencontré tous les éléments qui permettent d'en faire une réalité.

En effet, pour voir dans l'obscurité, nous nous servons d'une lampe à incandescence (lampe de poche ou phare d'auto). Cette lampe éclaire les objets qui nous entourent, en projetant sur eux des radiations lumineuses, mais elle envoie aussi des rayons infrarouges, de longueur d'onde supérieure à 0,80 micron, qui ne servent à rien pour l'éclairage, car notre œil y est insensible.

Nous savons que les cellules photo-électriques au césium sur argent oxydé débitent du courant quand on les éclaire avec ces radiations inutiles à l'œil. Nous pouvons donc, dans ce domaine, employer un œil synthétique; nous éclairerons l'objet avec un phare infrarouge et nous en formerons, avec un objectif photographique, une image sur la cathode d'une cellule. L'objet restera invisible à nos yeux, mais il aura impressionné la cellule. Il restera à traduire cet effet sous une forme sensible pour notre œil. C'est ici qu'intervient l'optique électronique.

La figure 63 représente un modèle schématique de télescope électronique. C'est un tube de verre cylindrique fermé par deux faces planes. Sur la face d'entrée on forme, à l'aide d'un objectif photographique L une image des objets extérieurs. Cette face est revêtue d'une couche uniforme de métal photosensible.

C'est la couche sensible des cellules photo-électri-

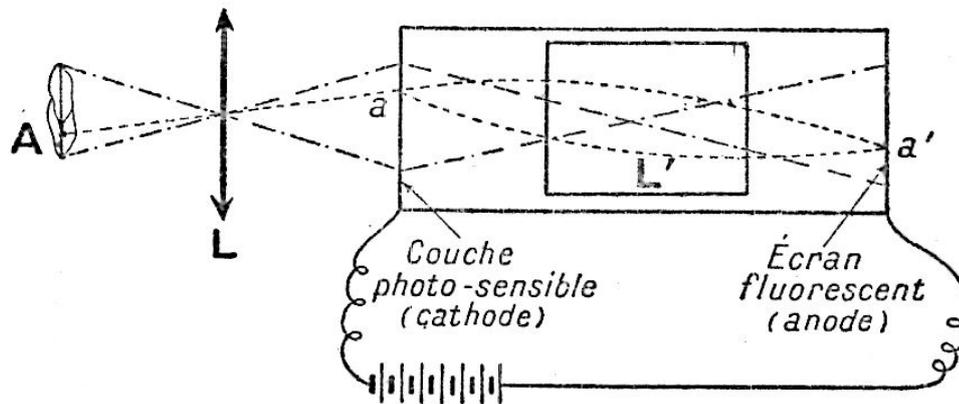


Fig. 63

ques, mais suffisamment mince pour qu'une partie de la lumière puisse la traverser et venir libérer des électrons sur sa face interne, par effet photo-électrique.

Ces électrons traversent toute l'ampoule, attirés par la face opposée du tube, qui a été portée à un potentiel positif et recouverte d'une couche fluorescente. Cette anode est à un potentiel élevé par rapport à la cathode (4.000 à 6.000 volts) et attire énergiquement les électrons ; ceux-ci se précipitent sur elle et illuminent les points qu'ils viennent frapper en les rendant fluorescents. En agissant sur les électrons avec une lentille électronique, telle que L', on obtient sur l'anode l'image de la cathode. Finalement la figure fluorescente reproduit l'image que donne l'objectif sur la cellule photo-électrique.

* * *

Le sujet éclairé présente des parties claires et des parties sombres. Les parties claires renvoient beaucoup de rayons sur l'objectif L, et sur la cathode leur correspondent des régions bien éclairées. Aux parties sombres de l'objet, correspondent au contraire des régions obscures de la cathode.

Si A est un point blanc de l'objet, son image optique a sur la cathode est bien éclairée, elle émet donc beaucoup d'électrons qui viennent tous frapper l'anode au même point a' , image électronique de a . En a' , la couche fluorescente s'illumine brillamment.

Si A est un point noir de l'objet, son image optique a ne reçoit aucune lumière ; elle n'émet pas d'électron et a' , image électronique de a sur la couche fluorescente, reste sombre.

Nous faisons ainsi correspondre aux parties brillantes de l'objet des régions brillantes de l'anode et aux parties peu éclairées de l'objet des régions sombres de l'anode. L'observateur qui regarde l'écran fluorescent voit s'y dessiner une image exacte de l'objet.

Si le sujet est éclairé en lumière blanche, le télescope peut servir à donner une image bien contrastée d'un objet mal illuminé. En effet, l'image définitive est d'autant plus brillante que les électrons viennent frapper la couche fluorescente avec plus d'énergie. En augmentant la différence de potentiel entre anode et cathode, on accélère la course des électrons, ils arrivent sur l'anode avec une vitesse plus grande et la rendent plus brillante. On peut ainsi avoir une image définitive 10 fois plus brillante que l'image optique formée sur la cathode.

Dans le cas où un écran placé devant le phare éclairant l'objet arrête toutes les radiations visibles

pour ne laisser passer que l'infrarouge, l'image obtenue dans le télescope électronique est un peu différente de celle qu'on observerait en lumière blanche. En effet, les parties de l'objet qui envoient sur l'objectif le plus d'infrarouge ne sont pas forcément les mêmes que celles qui diffusent le plus de lumière visible. Les contrastes sont accentués,

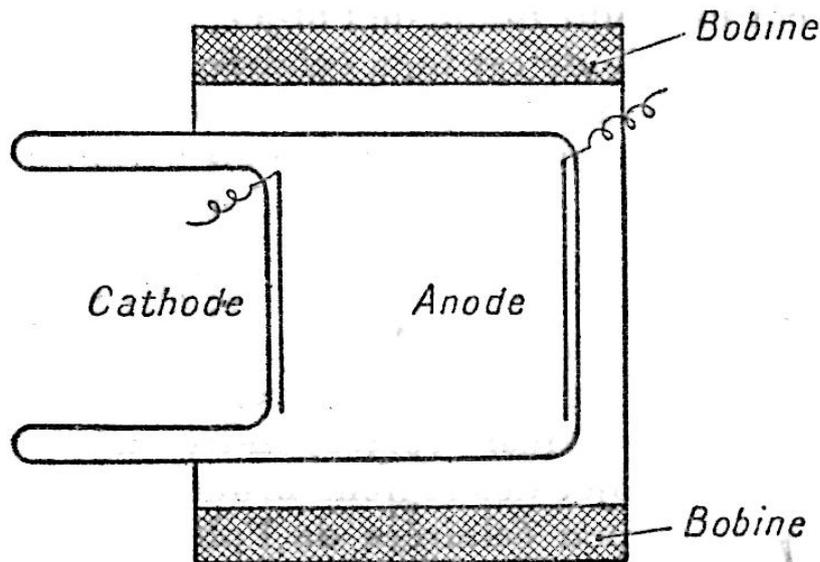


Fig. 64

l'image nous donne une impression quelque peu lunaire, mais l'objet est parfaitement reconnaissable.

La figure 64 représente un des premiers modèles de télescope électronique. Il est exactement conforme au schéma décrit plus haut. La lentille électronique est simplement constituée par une bobine entourant le tube et parcourue par un courant.

Nous ne donnerons pas d'autres détails sur les télescopes électroniques réalisés depuis 1936 et nous laissons au lecteur le soin d'imaginer leurs applications possibles.

CHAPITRE IX

LE MICROSCOPE ÉLECTRONIQUE

Lentilles à électrons et lentilles optiques

Le canon, est composé, nous l'avons vu, de lentilles électroniques. Il paraît surprenant, à première vue, de nommer ainsi de petits disques de nickel ou des bobines de fil de cuivre dont l'apparence est si différente de celle des lentilles de verre en optique.

C'est que la ressemblance entre ces appareils est plus cachée ; il y a une analogie, profonde et encore mystérieuse en partie, entre la lumière et les jets d'électrons. Un premier trait commun ressort tout de suite si on considère dans les deux sortes de lentilles le trajet suivi par les rayons lumineux et par les électrons : la similitude des chemins apparaît sur la figure 65 ; les rayons ou les corpuscules issus d'un point de l'objet lumineux ou d'un point émetteur d'électrons vont converger en un point image ; là, les premiers éclairent l'écran et donnent un point lumineux, tandis que les seconds ne donnent une image visible à nos yeux que si l'on emploie un écran fluorescent.

La ressemblance sera plus complète encore si l'on remplace les deux écrans différents par une même plaque photographique : celle-ci est sensible au bombardement d'électrons comme à la lumière ;

avec les deux dispositifs figurés, on aura un point noir après développement et fixage.

Si, au lieu d'un point, on a un objet étendu, la lentille le reproduit point par point et en donne une image.

L'optique ordinaire offre beaucoup de lunettes

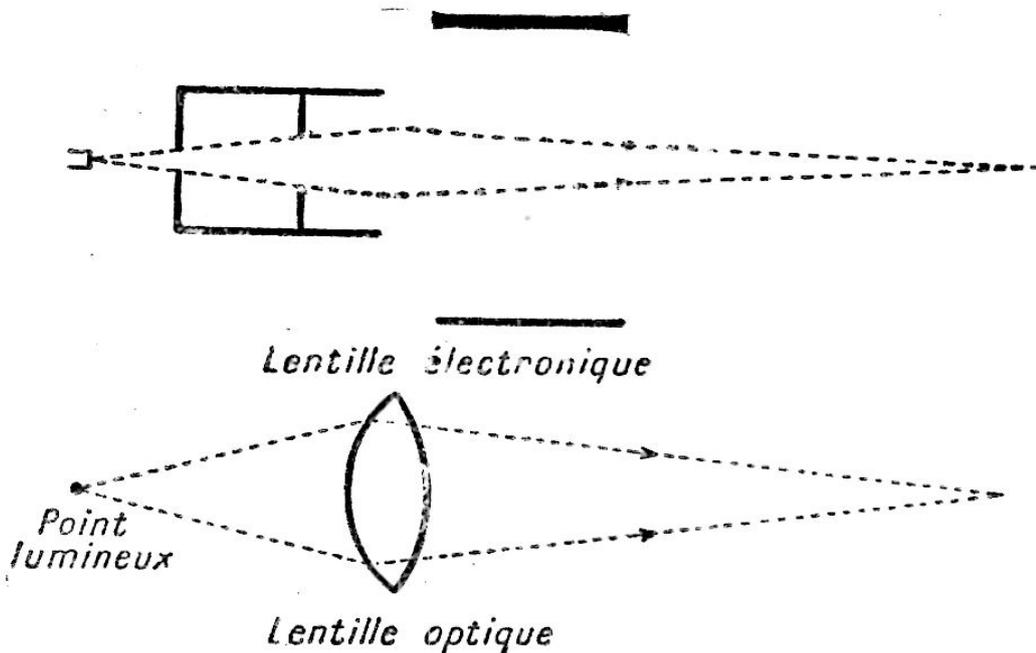


Fig. 65

grossissantes, depuis les loupes jusqu'aux microscopes. Serait-il possible et avantageux de construire des loupes ou des microscopes à électrons ? On voit tout de suite que l'appareil électronique sera très compliqué, puisque les électrons ne peuvent se déplacer librement que dans le vide ; il sera alourdi de tout un équipement de pompes à vide et de boîtes d'alimentation électriques. Il faudrait donc espérer une supériorité écrasante du nouveau système pour tenter la construction de la petite usine qu'il représente.

Cet espoir était assez fondé, les découvertes prévi-

sibles en biologie assez attirantes, pour que l'expérience ait été faite dans trois grands pays, en Allemagne d'abord, puis en Grande-Bretagne et aux Etats-Unis. Ce coup de dés était joué dès 1932; par des physiciens qui avaient foi en la découverte fondamentale du Français Louis de Broglie. Ce dernier fit connaître en 1924 la ressemblance la plus profonde entre la lumière et l'électron : la « nature ondulatoire » de l'électron. Le succès a été définitif en 1939 lorsque les premières photographies, prises avec le microscope électronique, ont montré des infiniment petits jamais vus jusqu'alors.

La perfection du microscope optique

Le microscope ordinaire est arrivé à sa perfection à la fin du XIX^e siècle; et aux alentours de 1890, l'opticien allemand Abbe a expliqué pourquoi tous les progrès de construction ne permettraient plus de distinguer des détails nouveaux, plus fins, dans les préparations. La figure 66 montre un microscope. Le condenseur concentre la lumière d'une forte lampe sur l'objet pour l'éclairer, l'objectif donne de l'objet une image très agrandie qu'on examine avec une loupe puissante, l'oculaire.

La puissance de l'objectif et de l'oculaire ne sont nullement limitées, et on pourrait facilement leur donner un grossissement 10 fois plus grand; mais on ne gagnerait rien : les images seraient 10 fois plus grosses mais pas plus détaillées parce que plus floues.

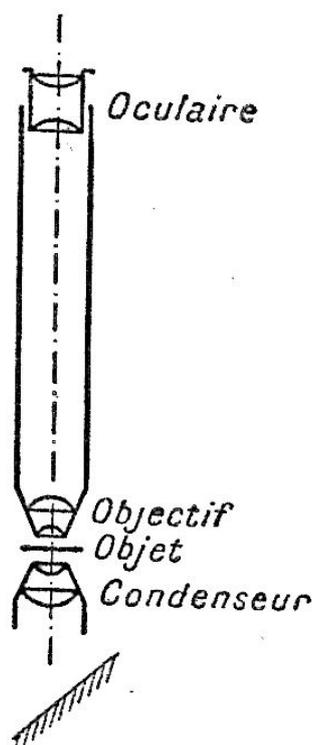


Fig. 66

Le pouvoir séparateur est limité par la nature même de la lumière. La lumière est un phénomène ondulatoire, qui présente une sorte de maille, la longueur d'onde ; de même que sur une étoffe, la finesse du dessin est limitée par la grandeur de la maille du tissu ; de même pour le microscope, la longueur d'onde fixe l'ordre de grandeur des plus petits détails visibles. Bien que cette limite soit petite : 0,4 micron, soit $4/10.000$ de millimètre, les méthodes de fabrication de microscopes ont permis de l'atteindre, il y a une cinquantaine d'années déjà.

La même limitation se retrouve dans tous les instruments d'optique, mais c'est dans le télescope que son effet est le plus simple. Les étoiles sont tellement éloignées de la terre qu'elles sont vues sous un angle imperceptible, elles réalisent un point lumineux sans dimension appréciable. Cependant, lorsqu'on les regarde avec une lunette, munie d'un oculaire très grossissant, elles présentent l'aspect de petites taches circulaires brillantes, entourées d'anneaux alternativement clairs et obscurs. La « figure de diffraction » du télescope, ses dimensions sont indépendantes de l'étoile choisie ; elles traduisent l'effet de la nature ondulatoire de la lumière.

Dans le microscope, il en va de même : à chaque point de l'objet correspond une figure de diffraction, petite tache circulaire dans l'image donnée par l'objectif ; et il serait vain de chercher dans cette image des détails plus petits que le diamètre de la tache. C'est là l'explication précise du flou, du grain de l'image qui limite les possibilités du microscope optique.

Louis de Broglie a établi que l'électron en mouvement a des propriétés ondulatoires semblables à celles de la lumière, et il a appris à lui attribuer une longueur d'onde. Mais, circonstance de première

importance, cette longueur d'onde dépend de la vitesse des électrons, et pour les vitesses atteintes dans le canon à électrons, elle peut être 100.000 fois plus petite que celle de la lumière. En principe, les lentilles électroniques sont aussi imparfaites que les lentilles de verre ; elles ne parviennent jamais à concentrer les électrons en un point, mais bien sur une tache de diffraction ; mais en pratique, les dimensions de la tache sont, comme la longueur d'onde, 100.000 fois plus petites.

Le microscope électronique sera donc théoriquement beaucoup plus puissant que le microscope optique, et pour que l'avantage soit réel, il suffit d'obtenir dans la construction des lentilles électriques la même perfection que pour les objectifs et oculaires en verre. La résolution de ce problème n'a demandé que quatre ans et de nombreuses découvertes ont déjà couronné cet effort.

Le microscope électronique (fig. 67)

Tout l'appareil, composé d'une source d'électrons, de lentilles, de la préparation et de la plaque photographique, est placé dans le vide. Un canon à électrons asperge une préparation très mince, qui n'est pas uniformément transparente pour les électrons. Comme une préparation microscopique ordinaire pour la lumière, les différences d'opacité sur toute sa surface traduisent les détails de sa constitution. Les électrons qui ont traversé la préparation passent à travers une lentille électronique-objectif qui donne une image agrandie de la préparation ; une seconde lentille sert d'oculaire et projette sur la plaque photographique l'image finale. Le grossissement total des deux lentilles atteint couramment 75.000, mais on n'a pas encore dépassé 150.000.

La préparation, très mince, est montée sur une

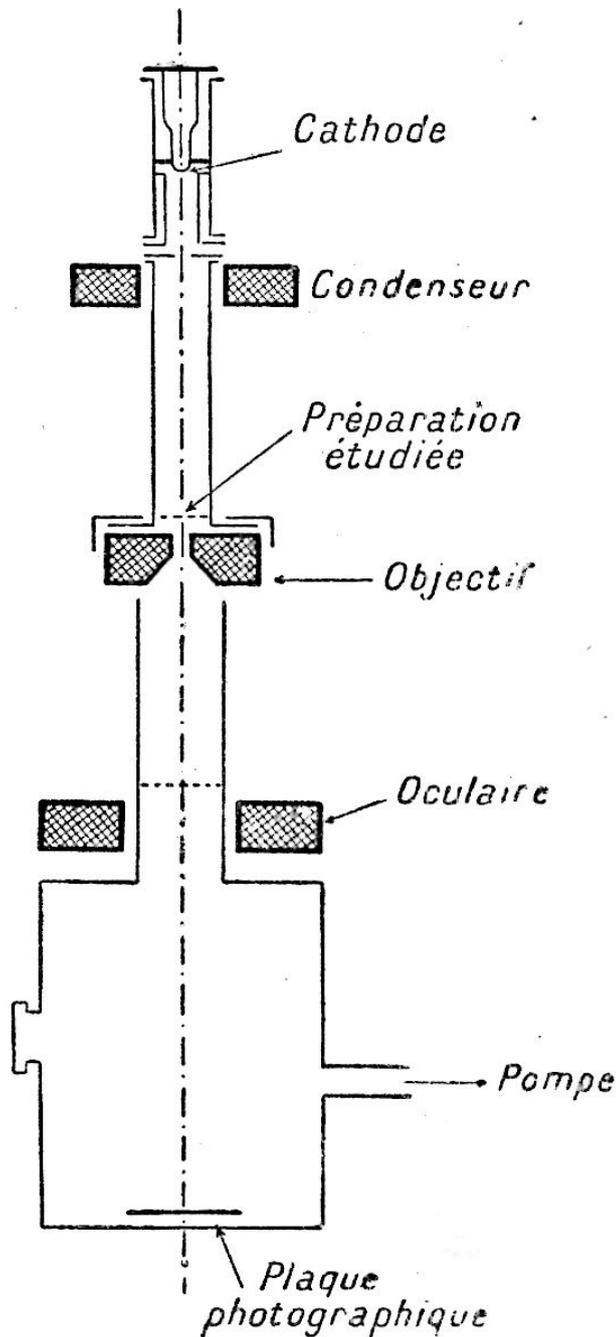


Fig. 67

pellicule de colloidion qui recouvre un petit trou, de quelques dixièmes de millimètre, du porte-objet; le grossissement est assez considérable pour que l'image d'une aussi faible surface recouvre toute la plaque photographique. Il faut apprendre à lire les images électroniques, qui diffèrent quelque peu des images optiques; en effet, la couleur des corps et leur opacité aux électrons sont deux qualités sans point commun. Il faut aussi adopter une technique délicate pour préparer les échantillons : la préparation est soumise à un dur traitement : elle doit supporter à la fois le vide et le bom-

bardement électronique destructeur qui l'échauffe. Les changements de plaque et d'objet sont plus difficiles à cause du vide; d'ingénieux dispositifs ont été inventés qui permettent d'accomplir ces

opérations sans faire entrer l'air dans l'appareil.

Toutes ces difficultés sont aujourd'hui résolues de manière assez heureuse pour que l'instrument puisse être utilisé sans l'aide d'électriciens spécialistes. L'encombrement et la complication de l'installation sont comparables à ceux des appareils à rayons X les plus fréquemment utilisés par les médecins.

On a d'abord examiné des minéraux, comme des feuilles d'or minces ou des poudres impalpables d'oxyde de zinc ou de magnésium ; on a pu observer les formes cristallines classiques, à l'échelle submicroscopique (grossissement 30 à 50.000). Puis l'étude de substances plus compliquées comme des peintures, des ciments a permis de reconnaître que leurs qualités étaient liées à leur structure fine, visible seulement à l'aide des électrons. Enfin, le microscope peut être maintenant utilisé par les biologistes ; grâce à ce nouvel instrument, ils ont pu distinguer différentes espèces de bacilles dysentériques (un seul étant virulent). Ils ont aussi découvert les agents inconnus jusqu'alors de certaines maladies du tabac, de la pomme de terre et de la tomate (ce sont des virus : mosaïque et virus X).

Ces premiers résultats ont été obtenus après deux ans de travail seulement et à la lumière de leur exemple, on peut deviner facilement l'importance des services que le nouveau microscope est appelé à rendre à la recherche scientifique dans l'avenir.



CONCLUSION

Un mot est revenu presque à chaque page de ce livre, le mot d' « électron ». C'est que la télévision n'est, en définitive, qu'une des applications, sans doute la plus curieuse pour le public, de l'optique électronique, de l'art de produire et de diriger les électrons.

Dans l'introduction, nous présentons la télévision comme un conte de fées, comme une fable de petits lutins extrêmement agiles et disciplinés. Les électrons jouent à très peu près le rôle que nous avons attribué aux lutins, et il est difficile d'imaginer démons plus légers, plus prompts et plus obéissants. Ils ne pèsent que $0,9 \cdot 10^{-27}$ gramme, ce qui revient à dire qu'il faudrait en accumuler 1.000 milliards de milliards pour réaliser un poids de 1/1.000 de milligramme. Dans le vide, on peut facilement leur communiquer des vitesses de plusieurs dizaines de milliers de kilomètres à la seconde, et même de 100.000 kilomètres/seconde, sans cesser de pouvoir diriger à sa guise cette course rapide. Ce corpuscule infime supporte une quantité d'électricité relativement considérable : les électrons sont attirés ou repoussés énergiquement par les corps électrisés, et grâce à leur très faible inertie, ils obéissent à ces actions électriques avec une grande facilité.

Avant 1890, personne ne soupçonnait l'existence de l'électron, 50 ans après, il est l'organe essentiel

de toutes les techniques électriques, de la T. S. F. à la télévision. Cette évolution rapide a été d'abord, l'œuvre d'une pléiade de savants qui cultivaient la science pure sans se soucier d'applications immédiates. C'est ainsi que la connaissance de l'électron naît des recherches de Hertz, Lenard, J. J. Thomson, Crookes, Jean Perrin, Rutherford. Entre les mains de ces physiciens, le tube de Geissler qui s'illumine brillamment lorsqu'on l'excite avec une bobine de Rumkorf, livre peu à peu ses secrets, et de cette première ampoule de verre à gaz raréfié découlent progressivement tubes à rayons cathodiques et cellules photo-électriques. Le point culminant de cette œuvre est la théorie du phénomène photo-électrique qui valut à Albert Einstein le prix Nobel en 1905. Parallèlement, des recherches d'allure plus industrielle s'étaient développées, jalonnées par des brevets prestigieux. Edison découvre la lampe à incandescence, puis peu après l'émission d'électrons par les corps chauds. En 1912, Fleming et de Forest utilisent cette énergie pour construire les premières lampes amplificatrices à 3 électrodes qui devaient assurer le triomphe de la T. S. F. Gæde et Langmuir rendent possibles ces recherches par la mise au point des pompes à vide modernes.

Dans le même temps surgissaient des inventions, d'un esprit encore différent, qui pouvaient passer pour entièrement chimériques à leur époque, mais qui devaient porter leurs fruits une vingtaine d'années plus tard. C'est ainsi, par exemple, que furent découverts les principes de transmission des images par division en quelque sorte infinitésimale et exploration ultrarapide que nous avons exposés dans ce livre; et que furent brevetées des anticipations hardies, telles que celle de Campbell-Swinton (1907), dont la mosaïque de cellules ne devait être réalisée

que beaucoup plus tard en 1933, dans l'iconoscope de Zworykin.

Après 1918, commence la vogue de la T. S. F., qui imprime un nouvel essor aux recherches en mettant à leur service de nombreux laboratoires industriels. La théorie et la construction des lampes, grâce à des progrès impressionnants, arrivent à leur stade actuel ; les ondes très courtes deviennent le domaine bien connu des amateurs de T. S. F., tandis que l'oscillographe cathodique devient l'outil banal du dépanneur de radio américain.

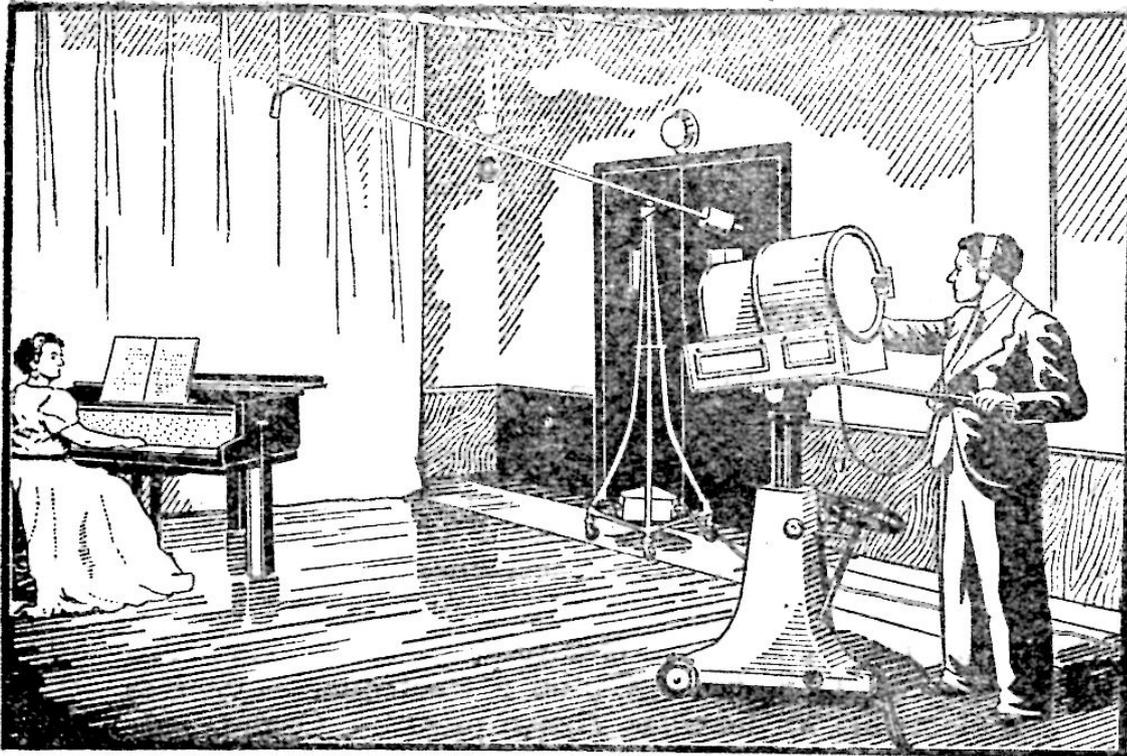
La télévision pratique fait ses premiers pas avec Baird en Angleterre, Jenkins en Amérique, Karolus en Allemagne et Barthélémy en France. Mais l'électron n'accomplit jusque-là ses prodiges que dans les cellules et les amplificateurs, il n'intervient pas encore dans l'exploration et la reproduction des images ; les appareils comportent tous le grand disque à trous de Nipkov. Alors la technique électronique s'affine, Zworykin crée l'iconoscope et la cellule à multiplicateur par émission secondaire, Holweck utilise l'oscillographe cathodique à la réception ; les procédés se simplifient assez pour que l'exploitation commerciale commence ; nous arrivons aux réalisations de 1939 décrites dans ce livre.

Ainsi donc, après avoir, au seuil de notre étude introduit le lecteur dans le monde enchanté des fées et des lutins, nous ne l'aurons peut-être pas trop déçu, en le conduisant de là dans le domaine de la cellule photo-électrique, de l'électron et de quelques-uns de leurs dérivés. Ne lui aura-t-il pas semblé que la science, grâce aux chercheurs dont nous venons de mentionner les plus illustres, était en train de nous dévoiler et d'illuminer pour nous un monde plus féérique encore que celui de la fiction ?

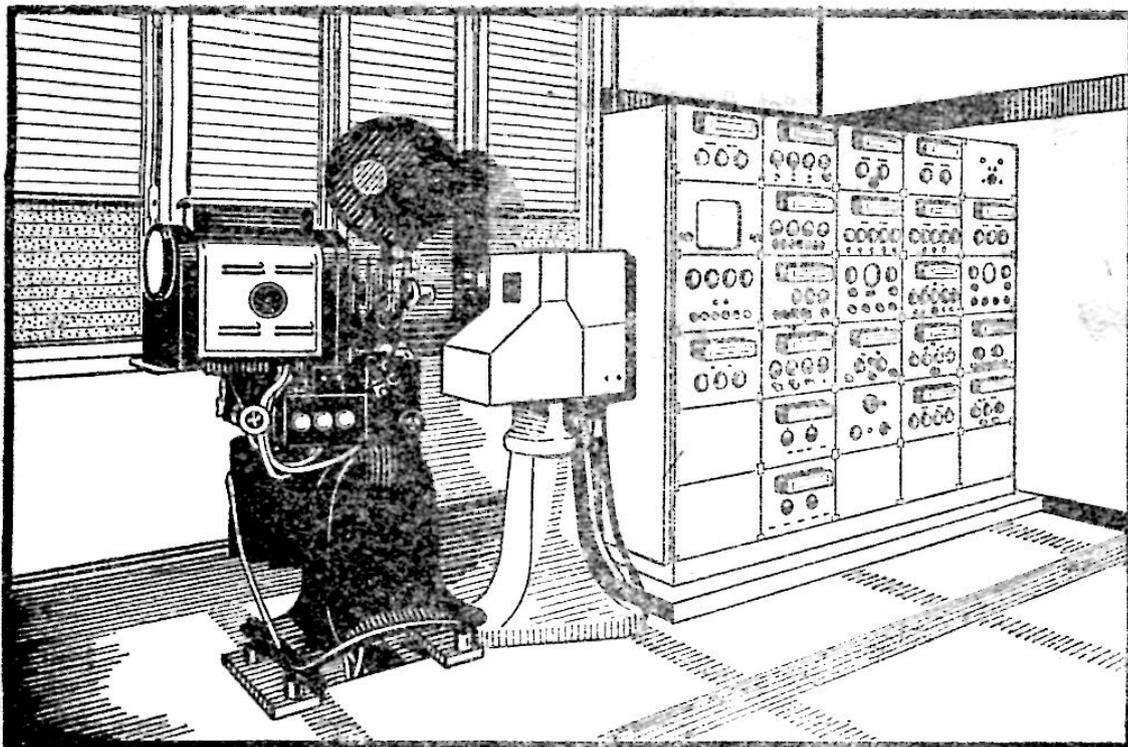
Que sera la télévision de l'avenir ? Comme dans

toutes les branches de la science, cet avenir dépend des découvertes géniales du futur, impossibles à prévoir ; mais il est encourageant qu'il suffise de talent et d'application pour apporter aux appareils déjà inventés les simplifications et les perfectionnements de détail qui en feront nos auxiliaires familiers au même titre que le poste de radio ou le pick-up, qui sont déjà nos compagnons de tous les jours à l'heure actuelle.

Nous sommes heureux d'exprimer toute notre reconnaissance à M. Barthélémy, directeur du laboratoire de Télévision à la Compagnie des Compteurs, qui nous a si aimablement offert les deux gravures de la page suivante. Elles représentent les plus récents appareils français de télévision.



I. — Appareil de prise de vues



II. — Appareil de télécinéma à l'émission

TABLE DES MATIÈRES

	PAGES
PRÉFACE de M. Paul LABAT.....	4
INTRODUCTION	5
CHAPITRE PREMIER. — La vision naturelle	14
Structure de l'œil. — Pouvoir séparateur de l'œil. — Persistance des impressions lumineuses. — Cinéma. — Exploration de l'image en télévision. — Mou- vement du point explorateur. — Nombre d'élé- ments et qualité d'image. — Les couleurs non perceptibles pour l'œil.	
CHAPITRE II. — La cellule photoélectrique	31
Description de la cellule photoélectrique. — Nature du courant photoélectrique. Electrons. — Sensi- bilité des cellules photoélectriques. — Fabrication des cellules.	
CHAPITRE III. — Canon à électrons	47
Lampes de T. S. F. — Canon à électrons. — Source d'électrons et lentilles électriques. — Organes de déviat ion.	
CHAPITRE IV. — Appareils de transmission	59
Disque de Nipkov. — Iconoscope de Zworykin. — La rétine de l'œil électrique. — Le faisceau explo- rateur. — Circuit électrique de l'iconoscope. — Fonctionnement de la mosaïque. — Exploration de la mosaïque. — Production d'un courant en dents de scie. — Avantages de l'iconoscope.	
CHAPITRE V. — Les amplificateurs	78
Forme du courant de signal. — Ondes porteuses. — Lampes à émission secondaire. — Multiplicateurs d'électrons.	
CHAPITRE VI. — Les ondes au-dessous de 10 mètres ...	94
Portée. — Fading. — Parasites.	
CHAPITRE VII. — La réception	101
L'oscillographe à rayons cathodiques. — Formation de l'image. — Synchronisation.	
CHAPITRE VIII. — Le Télescope électronique	111
CHAPITRE IX. — Le Microscope électronique	115
Lentilles à électrons et lentilles optiques. — La per- fection du microscope optique. — Le microscope électronique.	
CONCLUSION	123