N° 162

COLLECTION ARMAND COLIN

(Section de Physique)

Télévision et Transmission des images

par

René MESNY

Professeur à l'Ecole Supérieure d'électricité

97 figures

LIBRAIRIE ARMAND COLIN

103, Boulevard Saint-Michel, PARIS

1933

Tous droits réservés

PRÉFACE

Dans le cadre restreint de ce petit livre, il était impossible de traiter complètement tous les sujets se rattachant à la transmission des images et en particulier de donner des descriptions détaillées des appareils ; nous avons donc laissé de côté cette question, ainsi que tout ce qui ne présentait qu'un intérêt historique et nous nous sommes borné à décrire les principes. Pour permettre au lecteur de compléter sa documentation, nous donnons une bibliographie assez étendue, dont les éléments correspondent aux numéros entre crochets carrés insérés dans le texte. Un ouvrage allemand très complet « Handbuch der Bildtelegraphie und des Fernsehens » de Schröter, auquel nous avons d'ailleurs fait de nombreux emprunts, sera en particulier consulté avec intérêt par les techniciens.

Nous avons pensé qu'à côté des principes des appareils, la théorie de leur fonctionnement serait surtout de nature à intéresser le lecteur, car elle permet de fixer leurs possibilités et les limites imposées à leur emploi ; aussi avons-nous consacré d'assez longs développements à leur exposition. Cette question est délicate, car les théories ne sont solidement assises que quand l'expérience les a consacrées, et ce n'est pas toujours le cas pour la télévision qui est en pleine crise de croissance. En outre, des considérations physiolo-

giques et psychologiques jouent un grand rôle dans les impressions que font sur nous les images et peuvent fausser dans une certaine mesure les prévisions d'un ordre purement physique ; dans l'appréciation des images passagères de la télévision, nos sens et notre conscience — ou notre inconscient — se chargent souvent de retouches avantageuses. Il y a cependant des limites à cette action bienfaisante, qui ne peut produire que de petites oscillations dans les frontières déduites des lois physiques ; il suffira de savoir que ces oscillations se produisent généralement dans un sens favorable.

Beaucoup de ceux qui s'intéressent à l'invention sont enclins à ridiculiser les théories et à proclamer leur inutilité — voire leur danger — parce qu'elles se trompent parfois ; mais n'est-ce pas aussi parce qu'elles imposent un frein à la fantaisie de leurs désirs ? Il ne faut pas oublier qu'à côté de l'intuition, elles constituent le guide le plus précieux pour la recherche ; la connaissance de leurs faiblesses permet de ne pas les suivre en aveugle et de ne les utiliser qu'à bon escient.

Celles qui sont exposées ici paraissent fondées sur des faits bien établis ; elles se vérifient chaque fois que les phénomènes qu'elles conditionnent sont mesurables et il est important de remarquer que, dans la plupart des cas, elles sont indépendantes des types d'appareils. A ce titre, elles sont indispensables pour voir où nous en sommes et pour chercher, dans la mesure du possible, où nous allons.

Nous tenons à remercier bien vivement M. Belin et ses ingénieurs, ainsi que M. Barthélémy, qui ont bien voulu nous fournir les photographies qui illustrent ce livre.

TÉLÉVISION
ET TRANSMISSION DES IMAGES

INTRODUCTION

On pense généralement que la transmission des images est d'invention toute récente. C'est une opinion erronée ; Bain en 1843, Backwell en 1847, Caselli en 1855 ont en effet posé les principes de la télégraphie des dessins et des autographes ; ils réalisèrent l'exploration par contact et la réception électrochimique, et leurs appareils étaient assez au point pour qu'un service public appliquant les procédés Caselli fût établi à cette époque entre Paris et Lyon ; à l'Exposition Internationale d'Électricité de 1881 figuraient des appareils de Lenoir utilisant la gélatine bichromatée et permettant la reproduction d'épreuves photographiques ; pour la télévision, Maurice Leblanc imaginait en 1880 l'exploration par miroirs oscillants, Nipkow inventait en 1886 le disque qui porte son nom, Weiller présentait en 1889 son tambour à miroirs et, en 1907, Rosing donnait les principes de la méthode de l'oscillographe cathodique.

Mais les inventeurs sont toujours en avance sur leur temps ; armés d'un crayon, ils fixent sur le papier les fantaisies de leur imagination créatrice, sans souci des possibilités du moment ; c'est la cause habituelle de ces retards dans leur succès que le public ne manque jamais de mettre entièrement sur le compte de l'inertie des « officiels » et

de leur opposition ignorante ou intéressée. La mise en œuvre des inventions demande presque toujours un supplément de progrès techniques et si la télévision a pu entrer dans le domaine des réalisations, c'est que depuis Nipkow on a découvert la radioélectricité, les cellules photoélectriques modernes, les lampes amplificatrices et les lampes à gaz.

***

Avant d'entrer dans le détail du sujet, il n'est pas inutile de donner quelques indications sur les résultats atteints par la technique ; elles guideront l'appréciation du lecteur.

La transmission sur câble des dessins et des photographies est maintenant au point ; l'œil profane ne distingue guère les épreuves transmises des documents originaux et l'exploitation des méthodes actuelles n'est pas plus délicate que celle des appareils télégraphiques courants ; la presse en fait un usage étendu, des services publics sont créés.

Mais il est encore loin d'en être de même pour les transmissions radioélectriques, car les caprices de la propagation des ondes dans l'espace viennent apporter de nombreuses restrictions à l'emploi des appareils les plus perfectionnés et une exploitation commerciale régulière de ces transmissions est encore impossible, surtout pour les grandes distances comme celles qui séparent les continents. Les dessins ou les textes en noir sur blanc, plus maniables que les demi-teintes, peuvent être transmis dans des conditions convenables, mais avec une vitesse trop faible pour être économique ; il faut compter sur une vitesse maxima de 0,25 décimètres carrés par minute pour les épreuves fines dans le cas des transmissions transatlantiques, et s'il s'agit d'un texte écrit, cela ne représente qu'une cinquantaine de mots à la minute, rendement

bien inférieur à celui des procédés télégraphiques ordinaires.

Quant à la télévision, elle est sortie du laboratoire, mais elle reste en période d'essais ; s'il existe déjà des radiodiffusions de télévision, il ne faut pas en conclure que nous aurons demain le cinéma à domicile ; les images sont encore grossières et très limitées, on se borne généralement à montrer la tête d'un chanteur, et si deux personnages sont introduits sur la scène il ne faut pas demander beaucoup plus que leurs silhouettes ; c'est beaucoup mieux que l'ombre chinoise, mais c'est encore loin du cinéma. Personnellement il nous paraît que, *telle qu'elle est actuellement*, la télévision peut avoir un gros succès de curiosité ; aurait-elle un succès durable ? nous ne le pensons pas.

***

Que réserve l'avenir ? En ce qui concerne la phototélégraphie on peut espérer, à considérer les progrès faits dans la maitrise des ondes, que l'on arrivera à se débarrasser des effets parasites qui s'opposent aux transmissions radioélectriques des demi-teintes et limitent les vitesses d'exploitation ; mais on n'est pas certain de ne pas se heurter à une impossibilité ; il ne faut pas oublier en effet que la lutte contre les parasites atmosphériques n'a encore abouti qu'à des avantages bien peu sensibles, malgré l'ardeur avec laquelle elle est menée depuis l'origine de la télégraphie sans fil. Si l'on réussit, un développement considérable sera assuré aux transmissions transocéaniques des photographies, une transformation profonde s'introduira dans l'exploitation télégraphique de la radioélectricité.

Quant aux transmissions relativement grossières comme celles des cartes météorologiques auxquelles suffisent les appareils si simples à réception électrochimique, elles

prendront certainement un grand essor et apporteront une aide précieuse à la météorologie et à la navigation aérienne quand des progrès mécaniques et électriques des appareils eux-mêmes auront rendu leur usage tout à fait sûr entre les mains de l'usager. De nombreuses utilisations militaires sont aussi à prévoir pour les transmissions de ce genre, car il est à craindre que les techniciens de la radioélectricité aboutissent plus vite que ceux de la paix.

En télévision l'accord n'existant pas sur le présent, il est risqué de parler de l'avenir. On arrivera sans doute dans un temps assez proche à transmettre régulièrement de très bonnes images ne demandant pas plus de détails que la figure humaine ; mais sera-ce suffisant pour intéresser le public ? La transmission de scènes serait assurément accueillie avec le même enthousiasme que la radiophonie, mais ici on se heurte à une difficulté précise, indépendante des appareils et des progrès : c'est la très grande bande de fréquence qui leur serait nécessaire ; or, tout le domaine de l'éther est aujourd'hui occupé, il est même surpeuplé. Les ondes très courtes de quelques mètres, vers lesquelles on s'oriente maintenant, fourniront peut-être la solution cherchée, mais il faut attendre que l'expérience ait prononcé son verdict. Qu'on n'objecte pas les progrès faits en radiophonie depuis dix ans ; rien de semblable ne se présentait dans son cas, il fallait seulement perfectionner des éléments évidemment perfectibles.

La solution complète viendra certainement, mais ce sera peut-être par une voie radicalement différente de celles employées aujourd'hui ; par exemple, par une méthode qui, supprimant le balayage, permettrait de passer d'un seul coup une image entière, comme en radiophonie on transmet d'un seul coup tous les sons d'un orchestre, si nombreux que soient ses exécutants.

CHAPITRE PREMIER

PRINCIPES DE LA TRANSMISSION DES IMAGES

1. Problèmes à résoudre. — La reproduction des images à distance est conditionnée par les dispositions réalisables pour l'émission et la réception et par les procédés de transmission : transmission sur fils ou radioélectrique.

Pour étudier les conditions imposées à cette technique, il n'est pas nécessaire d'entrer dans le détail des appareils, les principes généraux suffisent à les établir. Une fois connues, elles marquent nettement les limites permises et fournissent les éléments d'un examen méthodique des procédés utilisés et de leurs possibilités. Aussi commencerons-nous par un exposé de ces principes que nous ferons suivre de l'étude des conséquences qu'ils entraînent.

Dans l'état actuel de la technique, il n'est pas possible de transmettre d'un seul coup l'ensemble d'une image, il est nécessaire de la décomposer en un très grand nombre d'éléments qui sont transmis successivement et réassemblés à la réception. On se trouve alors en face de cinq problèmes principaux qui sont propres à la transmission des images, au moins dans les solutions qu'elle exige. Ce sont les suivants :

Transformation de la lumière en courant électrique,

Décomposition et exploration des images,

Modulation de la lumière par un courant variable,
Reconstitution de l'image à la réception,
Synchronisation des mouvements de décomposition et de reconstitution.

Nous allons les examiner successivement en donnant pour chacun d'eux la solution schématique la plus simple, afin de fixer les idées avant d'aborder l'étude théorique du chapitre suivant.

2. Transformation de la lumière en courant. — C'est la cellule photoélectrique qui permet cette transformation. Nous y reviendrons avec quelques détails au chapitre III ; pour le moment nous en donnerons seulement une description sommaire.

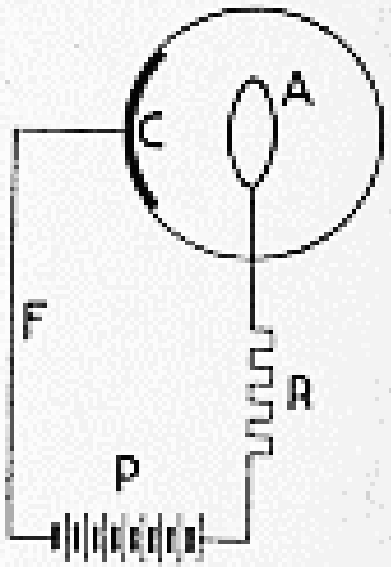

Fig. 1. — CELLULE PHOTOÉLECTRIQUE.

A l'intérieur d'une ampoule de verre, une couche de métal alcalin (généralement potassium ou césium) est déposée sur une partie C de la paroi (fig. 1) ; la face opposée est claire pour laisser pénétrer la lumière. Au milieu de l'ampoule se trouve un anneau métallique A formant anode ; le métal déposé est lui-même en communication électrique avec l'extérieur par un fil F et forme cathode ; entre l'anode et la cathode est montée une pile P. Dans l'obscurité le courant traversant la cellule est négligeable, mais dès que celle-ci est éclairée, il s'établit un courant qui, dans des conditions convenables, est proportionnel au flux lumineux reçu.

Dans les applications que nous avons en vue, les courants fournis en trafic par les cellules sont le plus souvent inférieurs à 10^{-6} A, il est donc nécessaire de les amplifier fortement. En vue de ce résultat, on introduit dans le

circuit de la cellule une forte résistance R, de l'ordre du mégohm, et l'on applique la tension provoquée à ses bornes entre le filament et la grille d'une triode, suivie elle-même d'autres tubes amplificateurs.

3. Décomposition et exploration. — Comme nous l'avons mentionné ci-dessus, il est impossible actuellement de transmettre d'un seul coup une image tout entière : on la décompose alors en un très grand nombre de points que

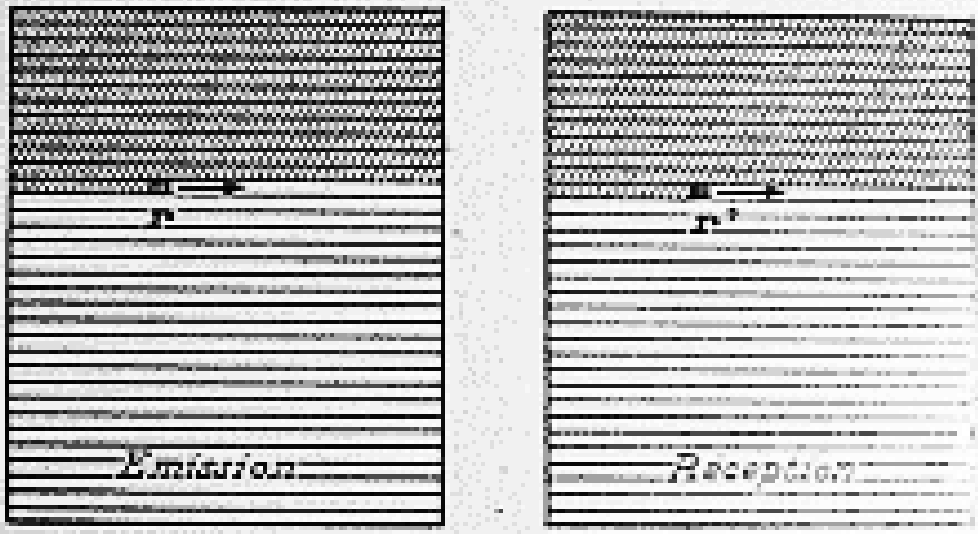

Fig. 2. — Schéma de l'exploration.

l'on transmet successivement. Si ces points sont suffisamment rapprochés, l'œil qui regarde la reproduction est incapable de les séparer et a la sensation de la continuité. Un tel procédé est employé dans la reproduction typographique des photographies, ce que l'on reconnaîtra facilement en examinant à la loupe celles qui sont reproduites plus loin. Le nombre de points de la décomposition est d'autant plus élevé que l'on désire obtenir une reproduction plus parfaite ; on pourra par exemple comparer les images auxquelles nous venons de faire allusion à celles que l'on trouve dans les journaux quotidiens.

Pour obtenir la décomposition voulue, on explore l'image à transmettre par lignes successives ; ces lignes sont représentées sur la figure 2. A un instant donné, une

très petite région r de l'image est seule éclairée ; la hauteur de cette région est naturellement égale à la largeur des bandes de décomposition, sa largeur est généralement égale à sa hauteur. Des dispositions mécaniques ou électriques permettent de déplacer cette région tout le long d'une ligne, puis immédiatement après sur la suivante et ainsi de suite.

Comme le mouvement de déplacement est continu, il n'y a pas, à proprement parler, une série de points discrets dans l'étendue d'une ligne ; la décomposition n'est pas identique à celle d'une reproduction typographique. Le courant engendré ne traduit pas à un instant donné l'éclairement d'une région r de l'original, mais bien une sorte de moyenne entre son éclairement et celui des régions très voisines, moyenne que nous étudierons en détail par la suite. Malgré cela on a coutume de désigner sous le nom de *point d'image* l'étendue de la région r.

L'exploration que nous venons de décrire est naturellement reproduite de façon identique du côté de la réception de telle sorte qu'à un instant donné les régions r et r' correspondant à l'émission et à la réception se trouvent placées de façon homologue sur des figures égales ou semblables.

Pour fixer les idées, nous donnons ci-dessous un schéma des réalisations employées dans les cas les plus simples pour la phototélégraphie et pour la télévision.

4. Réalisation de l'exploration en phototélégraphie. — L'image à transmettre est enroulée sur un cylindre animé d'un mouvement hélicoïdal dont le pas est égal à la largeur des bandes du numéro précédent. Une lentille L (fig. 3) concentre sur une portion de la surface de cette image la lumière provenant d'une source S. Tout près de cette partie éclairée se trouve un micro-objectif qui recueille les rayons réfléchis et les envoie sur la cellule pho-

toélectrique P. Un diaphragme D limite la lumière atteignant la cellule à celle qui provient d'une très petite région de la partie éclairée et qui correspond à l'élément *r* du numéro précédent. Dans ces conditions, quand le cylindre en tournant se sera déplacé de toute sa longueur, tous les points de l'image seront passés dans la région éclairée et auront donné lieu aux courants à transmettre.

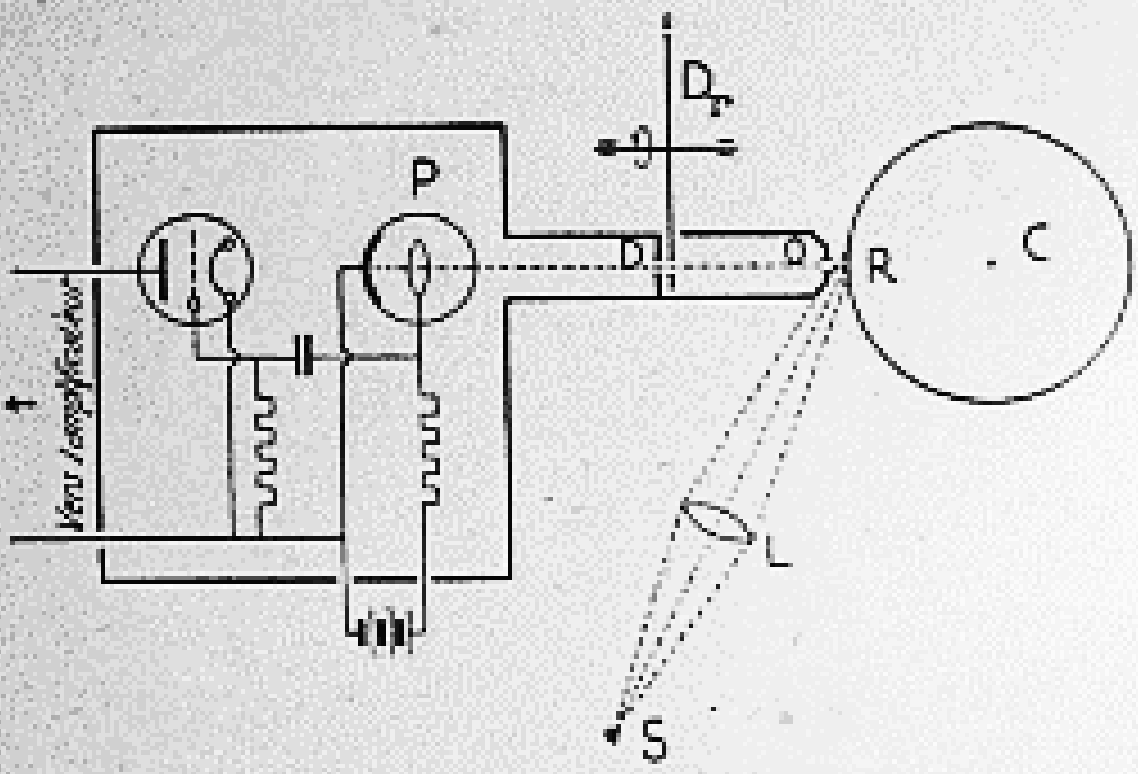

Fig. 3. — PRINCIPE DE L'EXPLORATION PHOTOTÉLÉGRAPHIQUE A L'ÉMISSION.

Pour les reproductions les plus fines le point d'image a une largeur et une hauteur d'environ 0,2 mm ; pour les reproductions grossières ces dimensions atteignent 0,5 mm. Le cylindre tourne généralement à la vitesse de 1 tour/seconde.

5. Réalisation de l'exploration en télévision. — Le principe de l'exploration est le même qu'en phototélégraphie, mais la réalisation est très différente. En effet, non seulement l'original n'est généralement pas représenté sur une feuille, mais à la réception il n'y a plus enregistrement,

mais vision directe. Il faut alors explorer toute la surface utile dans une durée inférieure à celle de la persistance de l'impression lumineuse sur l'œil, pour qu'au moment de

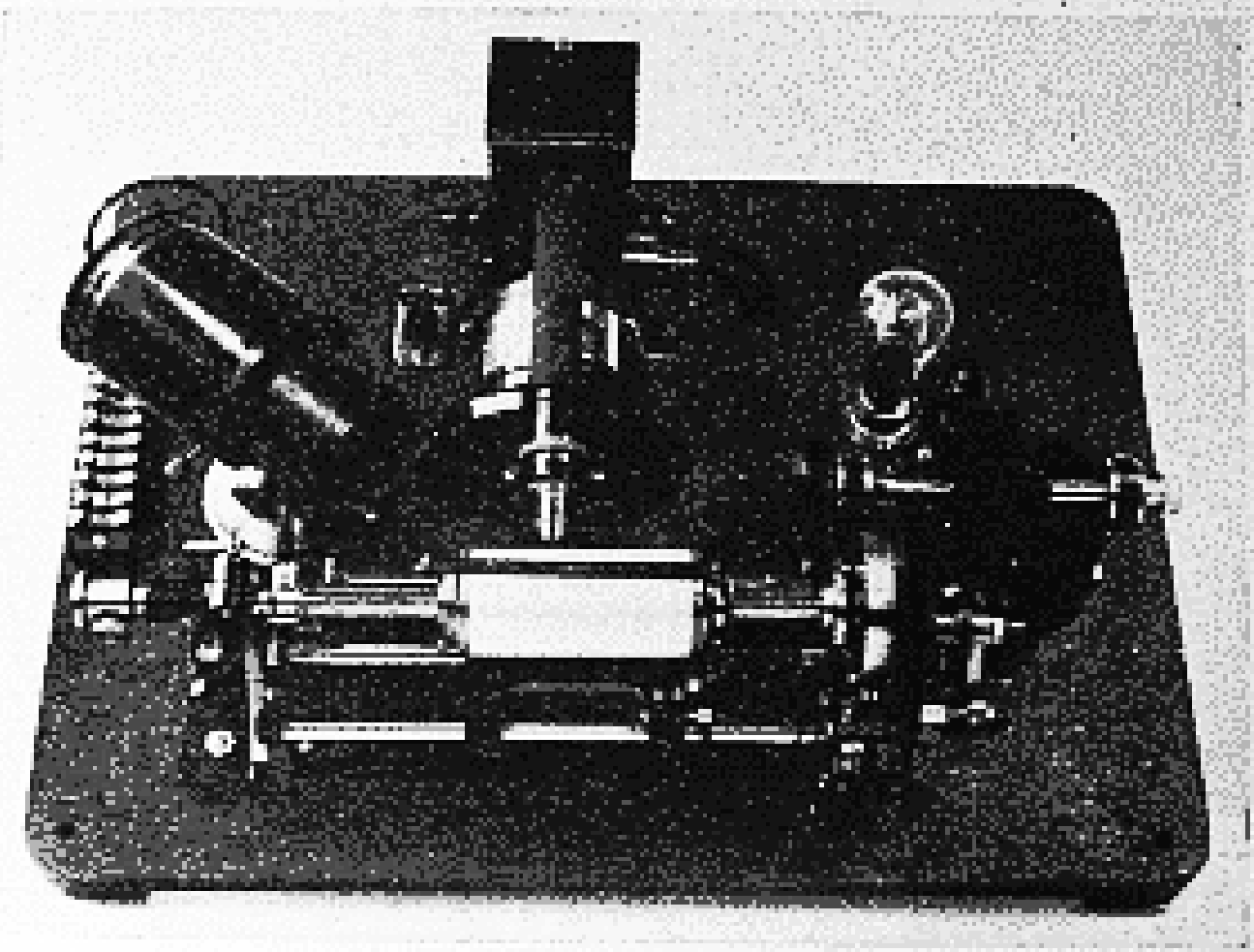

Fig. 4. — Émetteur phototélégraphique système Belin, à trame moyenne ($\nu = 4$) pour réception électrochimique, entraîné par une roue phonique alimentée par le secteur.

Cette roue est à droite près d'une lampe à néon qui sert à vérifier l'absence de pompage. Au milieu, le tube à l'intérieur duquel passe le faisceau lumineux, issu du point d'image et aboutissant à la cellule, qui se trouve dans la petite boîte au haut de la photographie. Au centre le disque rupteur ; à gauche la source lumineuse.

l'exploration du dernier point, le premier soit encore vu. On estime en général que l'impression lumineuse persiste pendant 1/16 de seconde, mais les durées d'exploration utilisées varient entre 1/10 et 1/25 de seconde.

Naturellement, dès qu'une exploration est terminée,

une autre doit commencer, de façon à donner l'impression d'une vue continue.

Pour obtenir ces résultats, le procédé le plus simple et déjà fort ancien — il date de 1884 — est celui du disque de Nipkow. Un disque N (fig. 5) rabattu en N' tourne

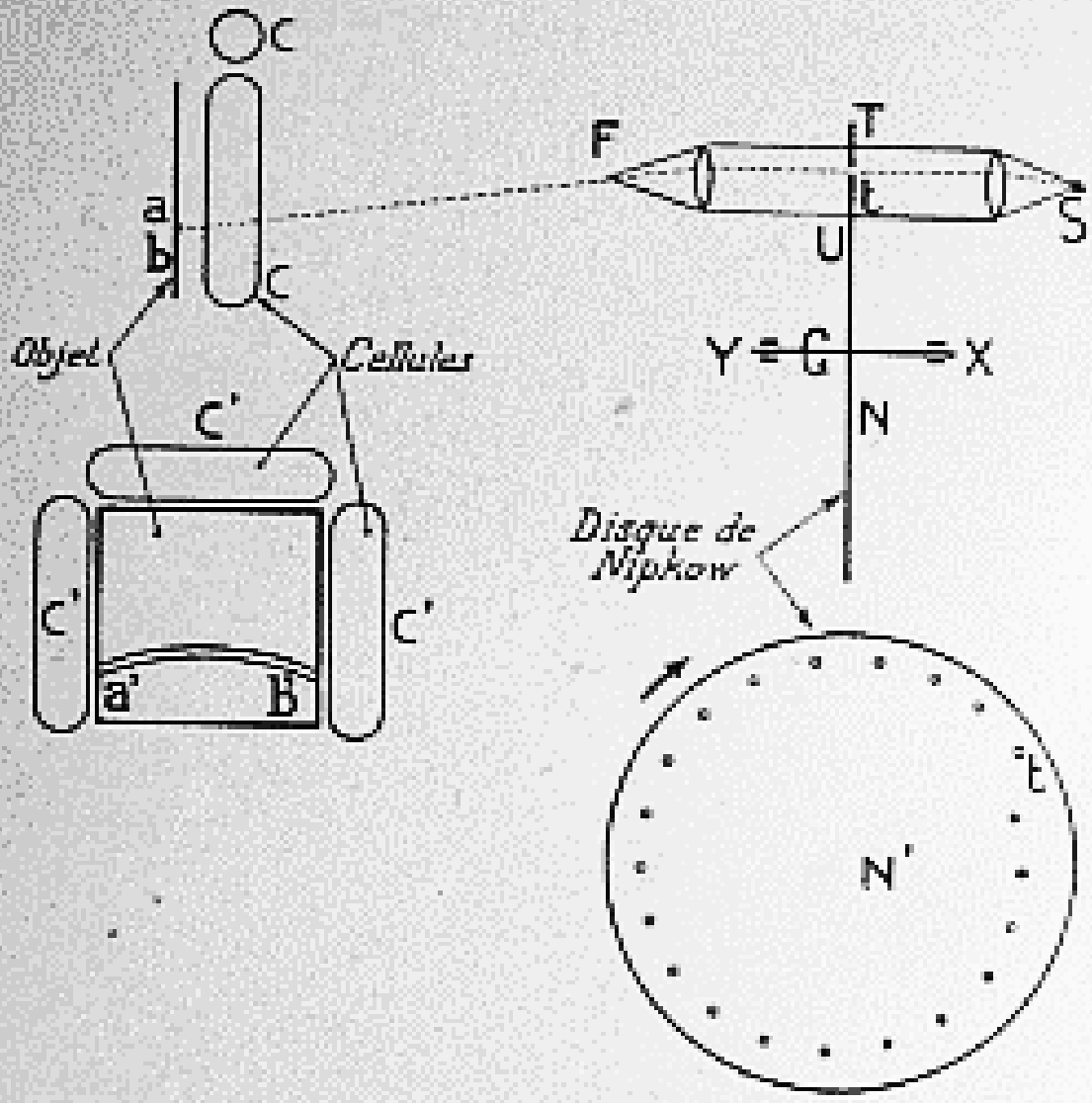

Fig. 5. — Principe de l'exploration de télévision à l'émission.

autour d'un axe XY et fait un tour pendant la durée d'une exploration ; il est percé de trous *t* disposés en spirale. Une source lumineuse S envoie, grâce à une lentille L, un faisceau parallèle sur la région TU traversée par les trous pendant la rotation ; les pinceaux lumineux qui passent par ces trous arrivent sur l'objet O, rabattu en O' et représenté ici par un rectangle. Le pas de la spirale

est égal à la hauteur de l'image et la distance entre deux trous est égale à sa largeur ; on voit aisément que pendant la rotation du disque les pinceaux lumineux successifs balayeront tout l'objet en y traçant de petites bandes *ab*, *a'b'* que la dimension des trous rendra jointives. Le nombre des trous varie de 30 à 100 environ.

Autour de l'objet et en avant de lui sont disposées de grosses cellules C, montées en parallèle et placées de façon à pouvoir recueillir la lumière provenant de tous les points de l'objet ; ce sont les reliefs de ce dernier qui exigent l'utilisation de plusieurs cellules.

6. Modulation de la lumière par un courant variable. — Il existe d'assez nombreux procédés pour réaliser cette modulation : le plus simple théoriquement et le plus employé pour la télévision est basé sur la décharge dans les gaz.

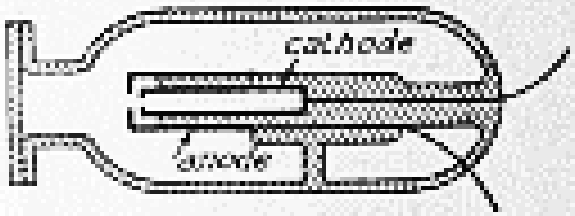

Fig. 6. — LAMPE A CATHODE CREUSE, SOURCE PONCTUELLE.

On sait que si l'on applique une tension convenable entre deux électrodes intérieures à un tube contenant un gaz sous faible pression, ce dernier laisse passer un certain courant et devient lumineux. Nous étudierons de plus près ces propriétés au chapitre IV ; nous nous contenterons pour le moment d'indiquer deux dispositions particulières que l'on peut donner aux électrodes pour obtenir soit une lueur concentrée dans un espace restreint, soit au contraire une lueur s'étendant sur une plaque relativement large.

Le premier résultat s'obtient au moyen d'une cathode creuse comme celle qui est représentée sur le schéma de la figure 6. La lueur se forme presque uniquement à l'intérieur de cette cathode et le petit orifice percé dans cette

dernière peut être considéré comme une source lumineuse ; son diamètre est de 1 millimètre environ.

Pour obtenir une surface lumineuse, on constitue par exemple la cathode et l'anode par deux plaques identiques et très voisines — 1 millimètre environ. La lueur s'étend alors uniformément sur toute la surface extérieure de l'une des plaques (fig. 7).

Les gaz employés sont l'argon, le néon et l'hélium ou un mélange des deux derniers, sous une pression de quelques millimètres.

Les tensions employées sont de l'ordre de 150 à 250 volts et, dans des conditions convenables d'emploi, la brillance est sensiblement proportionnelle au courant d'alimentation.

L'inertie de ces lampes est négligeable.

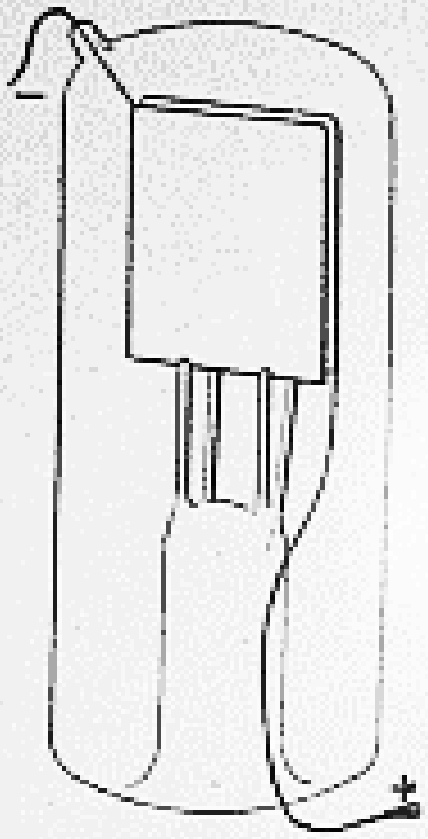

Fig. 7. — LAMPE AU NÉON A GRANDE SURFACE POUR RÉCEPTEUR DE TÉLÉVISION.

7. Réception phototélégraphique. — Le mode d'exploration est le même que celui décrit au numéro 4 pour l'émission. Un papier sensible est enroulé sur le cylindre placé dans une enveloppe imperméable à la lumière et dans laquelle pénètre un petit tube amenant la lumière modulée de la lampe à cathode creuse. Ce tube se termine par un diaphragme placé au contact du papier sensible et dont l'ouverture a les dimensions du point d'image. La région éclairée est identique à celle qui, sur l'original, provoque l'éclairement de la cellule photoélectrique. On place souvent dans le tube une petite

lentille qui concentre la lumière de la source dans la région utile [1].

8. Réception en télévision. — On peut encore faire usage du disque de Nipkow. La lampe à surface lumineuse, décrite au numéro 6, est alors placée derrière un disque de Nipkow identique à celui employé à l'émission et l'on regarde ses trous défiler devant la plaque. Comme la brillance de cette plaque est à chaque instant proportionnelle à l'éclairement du point de l'original éclairé au même moment, on conçoit facilement que si les deux disques tournent en synchronisme et ont la même phase, on verra des points ayant une brillance correspondante à ceux de l'original, au même instant et à la même place.

9. Synchronisation et mise en phase. — Il est inutile de s'arrêter pour le moment sur un des procédés de synchronisation qui seront décrits au chapitre VII : c'est seulement au moment de leur étude détaillée que nous aurons besoin d'aller jusqu'à leur mécanisme pour discuter leur valeur et les défauts auxquels ils peuvent donner lieu. Nous admettrons jusque là que les disques ou cylindres tournent en parfait synchronisme et présentent à chaque instant aux explorations d'émission et de réception des points homologues de l'original et de la reproduction.

10. Amplification. — L'amplification se fait selon les méthodes habituelles pour la haute et la basse fréquence ; mais on peut remarquer tout de suite qu'en phototélégraphie les courants à amplifier pourront avoir une fréquence extrêmement basse ; si la teinte est uniforme dans

---

1. Ce procédé, d'un usage courant pour les films sonores, est peu utilisé en phototélégraphie. Nous l'avons choisi en raison de sa simplicité schématique.

une région étendue de l'original, le courant phototélégraphique pourra rester constant pendant plusieurs secondes. Avec les dispositions que nous avons décrites, il serait alors nécessaire d'employer des amplificateurs à courant continu, et l'on sait les difficultés auxquelles ils conduisent. Si l'on peut admettre leur emploi à l'émission dans certains cas particuliers où des techniciens avertis peuvent les surveiller, on doit les rejeter pour la réception courante.

On tourne alors la difficulté en provoquant des interruptions rapides et régulières de la lumière reçue par la cellule de sorte que les courants à amplifier soient des courants alternatifs, modulés par les variations d'éclairement de l'original. Si l'emploi d'une fréquence auxiliaire ne se trouvait pas justifié par les facilités apportées à l'amplification, il s'imposerait d'ailleurs pour les transmissions sur câbles, car ceux-ci ne peuvent généralement transmettre correctement que des fréquences supérieures à 100 ou 200 c/s au moins. La fréquence de rupture, conditionnée par le mode de transmission, est comprise entre 1 000 et 2 000 c/s.

La rupture de la lumière s'obtient au moyen du disque D_r de la figure 3 ; ce disque, percé de trous, est entraîné à vitesse convenable par les mêmes mécanismes qui commandent le mouvement des cylindres.

CHAPITRE II

CONDITIONS IMPOSÉES PAR L'EXPLORATION ET LA TRANSMISSION

I. — *CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES*

11. Définitions et notations. — Un certain nombre d'éléments précisant les caractéristiques des images et de leur transmission reviennent constamment dans les calculs et dans les descriptions; nous commencerons par les définir en indiquant les notations employées pour les représenter.

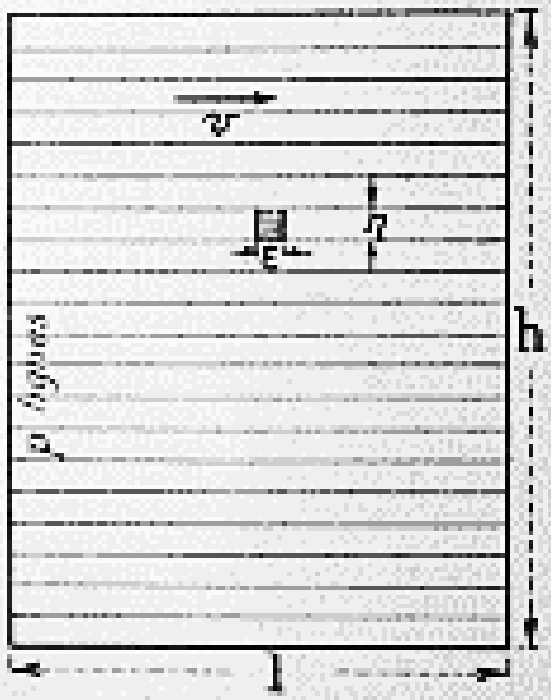

Fig. 8. — NOTATIONS.

Nous désignerons sous le nom de *tache d'exploration* la petite surface éclairée à un instant donné, sur l'original ou sur la reproduction, par le faisceau lumineux utile; sauf indication spéciale, nous lui supposerons la forme d'un rectangle, comme sur la figure 8 [1]; on désigne

1. Pour la commodité du langage, nous supposerons toujours les lignes d'exploration horizontales, mais cette disposition est loin d'être générale; sur les cylindres de phototélégraphie, par exemple, elles sont dans un plan vertical.

souvent aussi cet élément sous le nom de *point d'image*.

En divisant la surface totale de l'image par celle d'un point d'image, on obtient ce qu'on appelle *le nombre de points d'image*. Ce nombre est souvent celui dont on se sert pour indiquer le degré de finesse en télévision, mais on utilise aussi *le nombre de lignes* de l'exploration. En phototélégraphie la finesse est caractérisée par le nombre de lignes au millimètre que l'on désigne sous le nom de *finesse de la trame*.

La *vitesse d'exploration* est la vitesse de déplacement de la tache d'exploration le long d'une ligne. Enfin la vitesse de transmission en phototélégraphie est égale à la surface transmise en une minute ; elle est exprimée en décimètres carrés par minute.

Tableau des notations.

Nombre de points d'image	N
Nombre d'images à la seconde en télévision	n
Nombre de lignes d'exploration	p
Vitesse d'exploration en cm/s	v
Vitesse de transmission en dm²/minute	V
Hauteur de l'image	h
Largeur de l'image	l
Largeur d'une ligne ou pas d'exploration	η
Finesse de la trame ou nombre de lignes au millimètre	$\gamma = 1/\eta$
Largeur de la tache d'exploration dans le sens de son déplacement	ε
Durée du passage de la tache sur un point géométrique	$\theta = \frac{\varepsilon}{v}$
Fréquence de rupture de la lumière	f_r
Fréquence auxiliaire généralement égale à la fréquence de rupture	f_a
Fréquence de coupure d'un filtre ou d'un câble	f_c
Bande de fréquence nécessaire pour une transmission	Δf
Durée d'établissement d'un courant	τ

12. Importance des phénomènes transitoires. — Nous avons vu au chapitre précédent que les transformations

de lumière en courant et réciproquement sont des phénomènes linéaires et sans inertie sensible, mais ces conditions ne suffisent pas pour donner d'un original une reproduction parfaite.

Tout d'abord, la tache d'exploration, ayant des dimensions finies, n'enverra sur la cellule, du côté de l'émission, que le flux lumineux résultant de la brillance moyenne de toute la surface qu'elle recouvre ; si celle-ci est moitié blanche, moitié noire, elle enverra un flux correspondant à un gris. A la réception, la brillance ou l'éclairement apparents d'un point géométrique de la reproduction sera aussi une moyenne des différents éclairements de la tache lumineuse mobile, pendant tout le temps où elle aura éclairé ce point. Les contours seront estompés.

D'autre part, les différents appareils que devra traverser le courant : amplificateurs, filtres, câbles de transmission, sont incapables de transmettre sans déformations les variations très brutales et ils arrondiraient d'eux-mêmes les sauts brusques que pourrait présenter le courant.

On doit donc s'attendre à une reproduction inexacte chaque fois que les variations de teinte de l'original seront rapides.

Pour étudier les conséquences de ces phénomènes il est tout indiqué de se placer dans le cas le mieux défini d'une transition sans gradation du noir au blanc ou inversement. Nous plaçant dans ce cas, nous allons déterminer la largeur de la zone estompée ; il sera ensuite facile d'en déduire les conditions à imposer aux appareils pour obtenir une netteté donnée ou, inversement, de trouver les limites permises par les appareils réalisables.

13. Distorsion provenant des dimensions finies de la tache d'exploration. — Imaginons que l'original présente un passage brusque du noir au blanc, comme sur la partie

supérieure de la figure 9, la tache d'exploration étant un carré de côté égal à l'unité de longueur, et proposons-nous de chercher l'éclairement d'un point de l'image reçue en fonction de son abscisse x par rapport à la ligne de transition sur l'original.

Soit ξ l'abscisse du côté de la tache le plus avancé et i le courant correspondant ; on aura évidemment :

$i = 0$ pour $\xi < 0$; $i = \xi$ pour $0 < \xi < 1$; $i = 1$ pour $\xi > 1$;

le signe $=$ signifiant « proportionnel à ».

Sur l'image reçue, un point d'abscisse x sera éclairé pendant tout le temps où ξ variera entre x et $(x + 1)$ et son éclairement instantané sera proportionnel à la valeur correspondante de i ; mais en raison du passage rapide de la tache d'exploration, l'impression lumineuse sur l'œil ou sur le film photographique sera, en vertu de la loi de Talbot, proportionnelle à l'éclairement moyen pendant ce passage, c'est-à-dire à l'intégrale $\int_x^{x+1} i\,d\xi$. Il est facile de calculer, pour cette impression L, les expressions suivantes :

$$L = \frac{1}{2}(x + 1)^2 \quad \text{pour} \quad -1 < x < 0$$

et

$$L = \frac{1}{2}(1 + 2x - x^2) \quad \text{pour} \quad 0 < x < 1.$$

En dehors des positions extrêmes ci-dessus on aura naturellement un noir et un blanc absolus.

Les variations de L sont représentées par la courbe inférieure de la figure 9 et par les teintes dégradées figurant en dessous. Les carrés de teintes différentes qui se trouvent au-dessus représentent les éclairements instantanés pour différentes positions de la tache. On voit qu'une transition brutale dans l'original est remplacée, dans la reproduction, par une bande deux fois plus large que la tache d'exploration : il faut remarquer néanmoins que

pour $x = \pm \frac{1}{2}$, L est égal à 1/8 et 7/8 et la zone transitoire n'est vraiment sensible que sur une largeur moitié.

En appliquant un calcul analogue au précédent au cas où l'original comporterait une série de bandes verticales alternativement noires et blanches de largeur unité, on verrait facilement que la reproduction ne comporterait plus ni noirs, ni blancs absolus. En représentant encore par 1 l'impression lumineuse correspondant à un blanc, on obtiendrait une série de bandes estompées dans lesquelles les impressions lumineuses ne varieraient qu'entre 1/4 et 3/4 ; des traits d'une largeur voisine de celle de la tache seraient donc mal représentés et fourniraient une impression fatigante de flou.

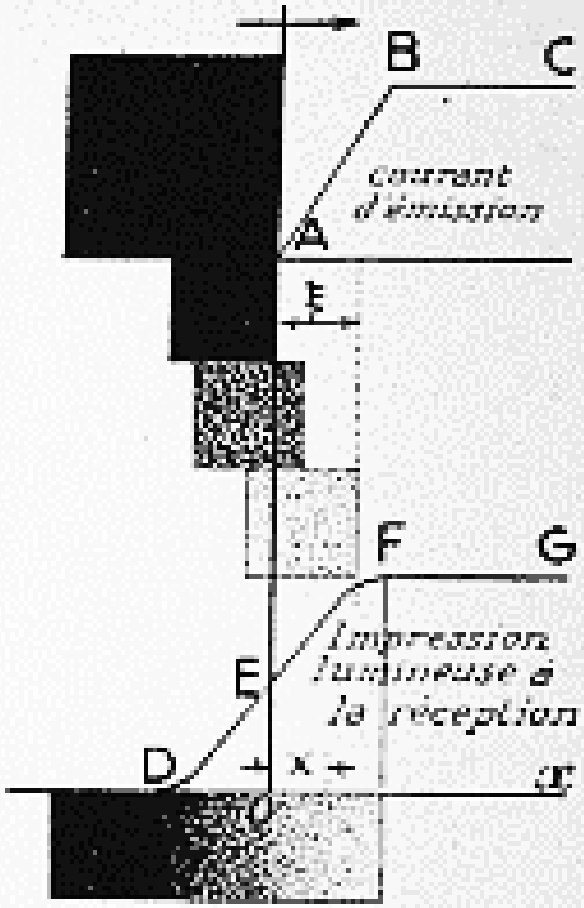

Fig. 9. — INFLUENCE DE LA LARGEUR DE LA TACHE D'EXPLORATION DE L'ÉMISSION.

14. Distorsion provenant de la fréquence de coupure des appareils électriques. — Les zones de flou qui remplacent sur les images reçues les contours nets de l'original ne proviennent pas uniquement de la largeur finie de la tache d'exploration ; elles ont une cause d'égale importance dans les circuits que traverse l'énergie électrique : appareils de transmission et de réception, et dans les milieux où elle se propage : câbles pour les transmissions sur fil, espaces ionisés pour les transmissions radioélectriques.

Nous traiterons d'abord le cas où la lumière employée n'est pas ruptée (n° 10) et nous laisserons de côté les phénomènes propres aux ondes radioélectriques sur lesquels nous reviendrons plus loin. Les circuits électriques ne sont pas également transparents à toutes les fréquences et cette propriété a pour effet de faire correspondre à une variation brusque d'une force électromotrice appliquée

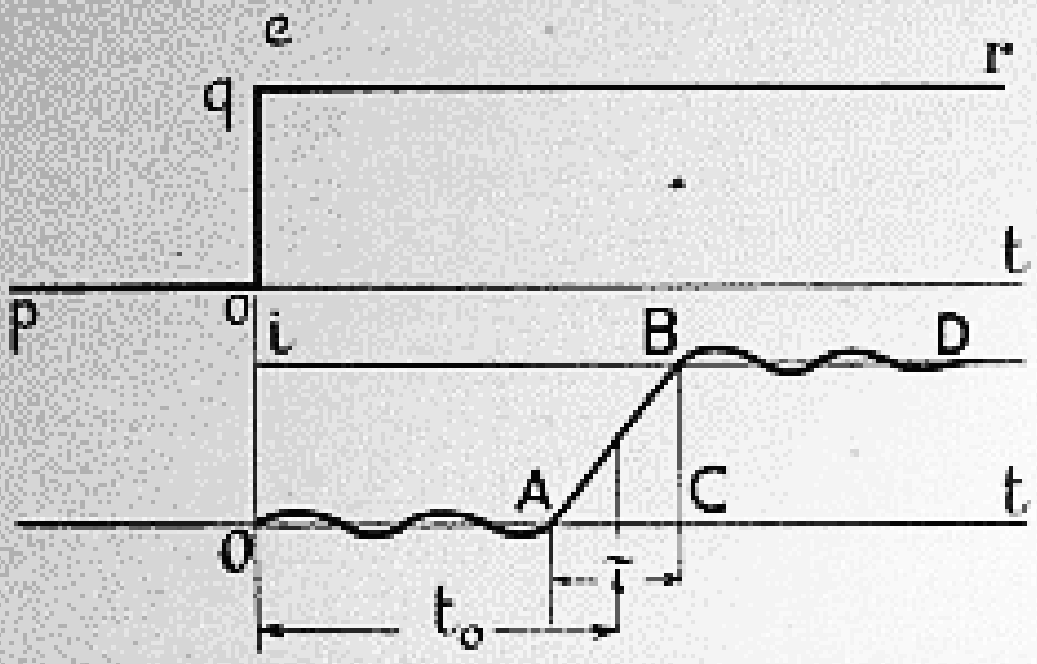

Fig. 10. — Au-dessus : FORCE ÉLECTROMOTRICE APPLIQUÉE A L'ENTRÉE D'UN CABLE ; en bas : COURANT A LA SORTIE.

à leur entrée un courant qui n'atteint que graduellement sa valeur définitive.

Une transformation mathématique est nécessaire pour éclaircir ce phénomène ou, tout au moins, pour assujettir ses effets à des règles quantitatives ; on trouvera dans une annexe le développement de cette transformation (1 — *a* et *b*). Elle montre qu'en appliquant brusquement une force électromotrice constante de grandeur unité à un système de circuits, on obtient le même résultat que si l'on avait appliqué à ce système depuis un temps infiniment long une force constante de grandeur 1/2 et une infinité de forces alternatives infiniment petites dont les

fréquences auraient toutes les valeurs possibles depuis zéro jusqu'à l'infini.

D'après cette conception, si le système est transparent à toutes les fréquences inférieures à une limite f_c, dite *fréquence de coupure*, et opaque à toutes les autres, on pourra calculer l'influence de la force électromotrice ci-dessus en éliminant des formules toutes les fréquences supérieures à f_c.

En opérant ainsi, (annexe 1-*e*) on s'aperçoit que le courant s'établit comme l'indique la figure 10. La ligne brisée *pogr* représente un passage brusque du noir au blanc sur l'original en supposant la tache d'exploration infiniment petite ; elle peut être également considérée comme figurant les variations du courant de la cellule photoélectrique ou la force électromotrice appliquée à l'entrée des amplificateurs. Le courant est figuré par la ligne OABD. On voit qu'il retarde d'un temps t_0 sur sa cause et qu'il met un temps τ pour atteindre sa valeur définitive ; il est en outre sujet à quelques oscillations avant de devenir constant. Les calculs de l'annexe montrent que

$$\tau = \frac{1}{2f_c}. \qquad (1)$$

Le résultat sur l'image reçue sera de même nature que celui qui provient de la largeur de la tache d'exploration. Si v est la vitesse d'exploration, la largeur de la zone estompée sera $v/2f_c$.

15. Relation entre la largeur de la tache d'exploration et la fréquence de coupure. — Pour tenir compte à la fois des deux causes de distorsion précédentes, on ne peut pas se contenter d'ajouter leurs effets, car elles agissent simultanément et s'influencent réciproquement ; il faut avoir recours au calcul. Les formules 9 et 10 du numéro 3 de l'annexe représentent le courant produit par un passage brusque du noir au blanc dans le cas où la durée de pas-

sage de la tache est θ et la fréquence de coupure f_c ; dans ces formules t_0 est le décalage du courant sur sa cause.

L'expression du courant montre qu'il ne dépend que des produits $x = \omega_c(t - t_0)$ et $y = \omega_c\theta$, c'est pourquoi, sur la figure 11, on a représenté ses variations en fonction de $\omega_c(t - t_0)$ pour différentes valeurs de $\omega_c\theta$; il est facile d'en déduire la marche du courant pour des données numériques précisées.

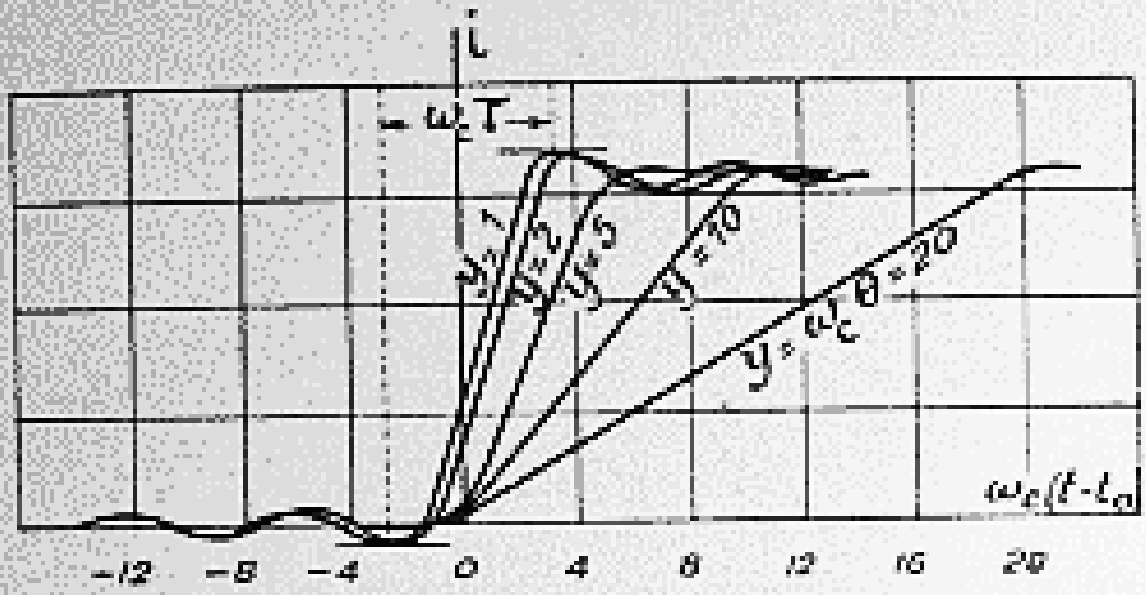

Fig. 11. — Influence de la largeur de la tache d'exploration et de la fréquence de coupure sur l'établissement du courant.

En se plaçant au point de vue des gains de lumière, il y a évidemment avantage à utiliser une tache large ; il faut au contraire la prendre étroite pour obtenir une bonne définition des contours. Mais, d'après ce qui précède, il est bien clair que si la fréquence de coupure est très basse, il n'y a aucun intérêt à choisir une tache trop étroite ; il doit donc exister entre la fréquence de coupure et la largeur de la tache une relation permettant de choisir le couple de valeurs convenable. On peut trouver ces valeurs par les considérations suivantes que nous empruntons à Gray, Horton et Mathes [13].

Ces auteurs prennent comme durée d'établissement : le temps qui s'écoule entre le minimum et le maximum

qui encadrent la montée presque linéaire du courant : le produit $\omega_c\tau$ est marqué sur la figure pour $\omega_c\theta = 1$. Pour les faibles valeurs de $\omega_c\theta$ la quantité ainsi définie est sensiblement le double de celle que nous avons étudiée dans l'annexe et dans les numéros précédents, mais cette divergence ne comporte pas de contradiction majeure si l'on tient compte de la forme des courbes de courant dans le voisinage de la partie utilisée : l'une des définitions est par défaut, l'autre par excès et leur différence s'atténue à mesure que $\omega_c\theta$ augmente. D'ailleurs, il ne s'agit ici que d'étudier les variations de τ sous l'influence de f_s et de θ, de manière à choisir le couple le plus favorable; les valeurs absolues ont peu d'importance.

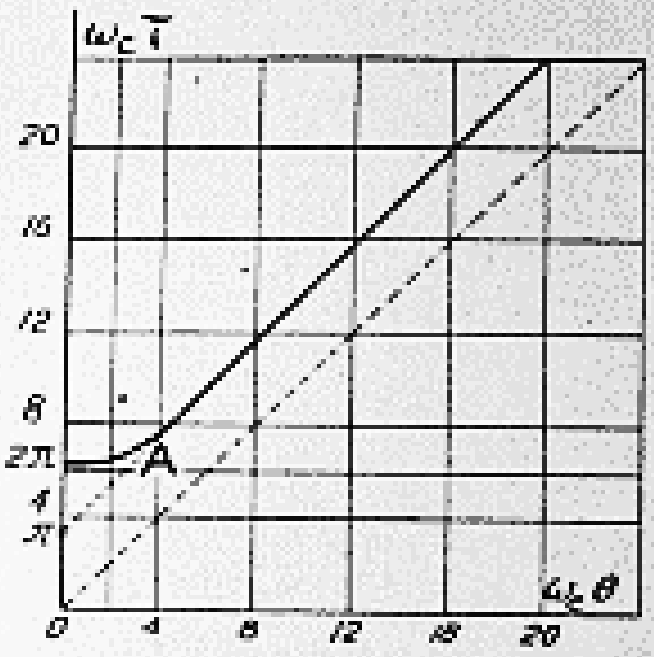

Fig. 12. — θ DURÉE DE PASSAGE DE LA TACHE D'EXPLORATION, τ DURÉE D'ÉTABLISSEMENT DU COURANT, ω_c PULSATION DE COUPURE.

Portons sur la figure 12 les points ayant pour abscisses $\omega_c\theta$ et pour ordonnées $\omega_c\tau$. Le départ horizontal de la courbe obtenue montre que quand la tache reste étroite, sa largeur a peu d'importance pour la précision des contours, la durée d'établissement du courant est alors donnée par la relation :

$$\omega_c\tau = 2\pi \quad \text{ou} \quad \tau = \frac{1}{f_s}.$$

A partir du coude A, l'influence de θ se fait sentir, la courbe s'élève et devient très voisine de la droite

$$\omega_c\tau = \omega_c\theta + \pi \quad \text{ou} \quad \tau = \theta + \frac{1}{2f_s}.$$

On fera donc un compromis entre les gains de lumière et de précision en choisissant les valeurs qui correspondent au point milieu du coude dont l'abscisse est sensiblement égale à

$$\omega_c \theta = \pi \quad \text{ou} \quad \theta = \frac{1}{2 f_c}.$$

La fréquence de coupure et la largeur de la tache d'exploration ont alors une part égale dans la durée d'établissement du courant qui devient :

$$\tau = \frac{1}{f_c} = 2\theta. \tag{2}$$

C'est généralement cette répartition qui est adoptée, mais il est certain que l'on peut s'en écarter un peu dans un sens ou dans l'autre selon les appareils dont on dispose et les nécessités pratiques d'installation.

On établit parfois les conditions imposées à la largeur de la tache et à la fréquence de coupure par la considération d'un original qui serait constitué par des bandes alternativement blanches et noires ; cette méthode montre bien ce qui est nécessaire pour transmettre assez convenablement un damier à petites mailles, mais elle ne fournit aucun renseignement quantitatif sur l'estompage des contours : or toutes les images ont des contours et les damiers y sont rares.

16. Cas d'une lumière ruptée. — Quand la lumière est ruptée (n° 10) le courant correspondant à une teinte uniforme est modulé à la fréquence de rupture f_r. Les appareils qu'il doit traverser ne sont transparents qu'à une gamme de fréquence, dont on choisit les limites de façon que f_r se trouve au milieu de la gamme ; on peut alors représenter ces dernières par $f_r - f_0$ et $f_r + f_0$. La formule 7 de l'annexe montre que l'établissement du courant se fait conformément à la figure 13, l'enveloppe des

oscillations de fréquence f_0 étant constituée par deux courbes comme celle de la figure 10.

La formule 7 donne comme durée d'établissement, en désignant la largeur de la bande passante par $\Delta f = 2f_0$

$$\tau = \frac{1}{\Delta f}.$$

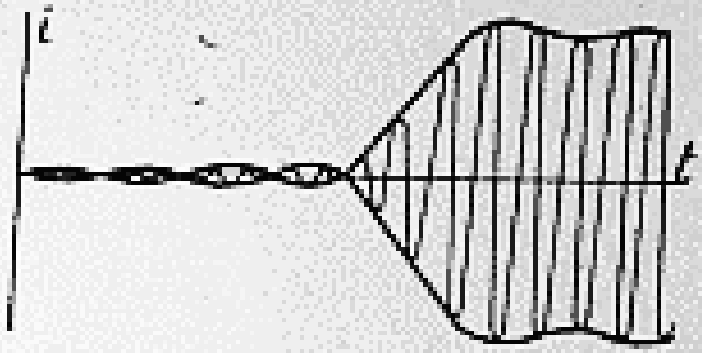

Fig. 13. — ÉTABLISSEMENT DU COURANT POUR UNE FORCE ÉLECTROMOTRICE ALTERNATIVE APPLIQUÉE BRUSQUEMENT.

Cette formule est établie pour le cas d'une tache d'exploration infiniment étroite, mais des considérations analogues à celles du numéro précédent montreront encore qu'il y a intérêt à choisir une largeur de tache telle que sa durée de passage soit

$$(3) \qquad \theta = \frac{1}{\Delta f}$$

et que la durée d'établissement est alors

$$(4) \qquad \tau = \frac{2}{\Delta f}$$

17. Largeur de la zone estompée. — Dans les numéros précédents, nous avons déterminé la durée d'établissement du courant produit par une variation brusque de teinte dans l'original. Pour connaître la largeur de la zone estompée sur l'image reçue, il faut encore tenir compte de la largeur de la tache d'exploration à la réception, tache que nous supposerons identique à celle de l'émission. Il faudra reprendre les raisonnements du numéro 13 en y remplaçant la droite AB d'établissement du courant par la courbe de la figure 11 correspondant aux données ; nous avons tracé cette courbe en AB sur la figure 14,

pour une durée d'établissement correspondant à $\omega_0 = 5$; ce produit est en général voisin de π, mais l'allure de l'établissement du courant est la même.

Comme cette courbe s'étend sur un intervalle de temps 2θ (formules 2 et 4) la zone estompée aura une largeur 3ε ; mais il faut étudier l'allure des variations de lumière dans son étendue pour apprécier correctement les impressions reçues.

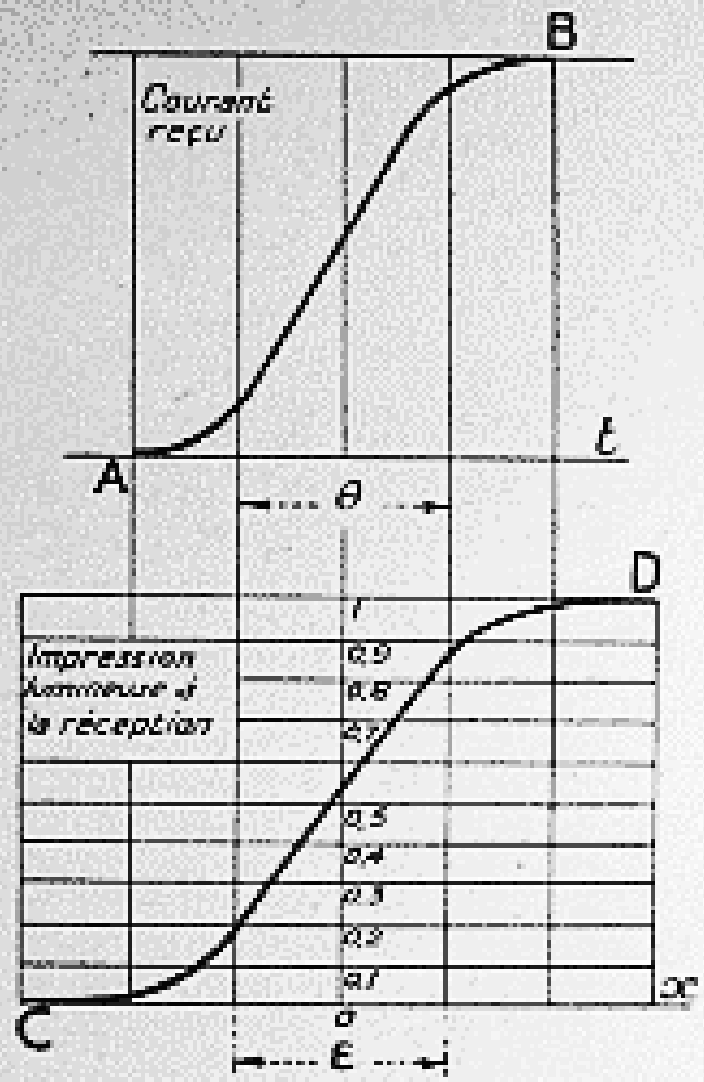

Fig. 14. — Influence de la largeur de la tache d'exploration a la réception.

Désignons par x l'abscisse d'un point de l'image reçue par rapport au centre de la région estompée et par t l'instant où le centre de la tache d'exploration se trouve au point x, ce temps étant nul au moment où la tache passe au point zéro ; par un choix convenable des unités, t et x pourront être représentés par le même nombre et des considérations identiques à celles du numéro 13 montrent que l'impression lumineuse reçue au point d'abscisse x sera : $L = \int_{x-\varepsilon/2}^{x+\varepsilon/2} i\,dt$.

La courbe CD représente les variations de L calculée par cette formule. On voit que dans la vision directe, la

zone de transition ne sera guère sensible que sur une largeur $3/2.\varepsilon$ et même, si l'objet représenté est animé d'un léger mouvement, elle paraîtra encore plus étroite (n° 32). Dans le cas d'une reproduction photographique l'emploi d'un papier convenable réduira facilement la région de transition à ε.

Pour ces raisons, et en vue de la simplicité des formules, nous admettrons par la suite que la largeur de *la zone estompée est égale à celle de la tache d'exploration* ε, quitte à tenir compte, à l'occasion, de ce qu'il peut s'agir d'une valeur par défaut.

18. Retour sur la notion de point d'image. — Nous avons déjà introduit la notion de point d'image (n° 3) que nous avons défini comme ayant les dimensions de la tache d'exploration ; nous avons fait remarquer en même temps que cette notion est très artificielle et que les images transmises ne sont généralement pas composées de points discrets comme les reproductions typographiques, mais bien de la juxtaposition de lignes continues qui, quand elles sont parfaitement disposées, peuvent donner, même en agrandissement, l'impression de la continuité dans le sens perpendiculaire à leur direction comme dans leur direction propre.

Le résultat auquel nous venons d'arriver justifie jusqu'à un certain point l'emploi des points d'image. Considérons en effet sur l'original une droite perpendiculaire aux lignes d'exploration et limitant un brusque changement de teintes. Sur l'image reçue cette droite de transition sera représentée par une bande estompée de largeur égale à celle de la tache d'exploration et, si les lignes successives ne sont pas parfaitement jointives, cette bande sera constituée par une série de petits rectangles ayant précisément les dimensions de la tache. Si les teintes variaient dans le sens perpendiculaire aux lignes d'explo-

ration, ces petits rectangles auraient même des teintes différentes. Dans ces conditions, le point d'image peut être considéré comme correspondant effectivement à une réalité.

On peut encore arriver à une justification de la notion de point d'image en considérant la possibilité de reproduction d'un original constitué par un damier de carrés alternativement blancs et noirs, comme l'a fait Aisberg [1]. Quoi qu'il en soit c'est un terme commode, universellement employé et que nous adopterons.

19. Distorsion de phase sur les câbles. — Quand on applique une force électromotrice $E . \sin \omega t$ à l'entrée d'un câble, on reçoit à sa sortie un courant également sinusoïdal, mais décalé par rapport à sa cause d'un temps t_0 ; on peut le représenter par $I . \sin \omega(t - t_0)$. Dans une bande de fréquence dépendant de la construction du câble et pour des distances relativement faibles, l'amplitude I et l'intervalle t_0 sont sensiblement indépendants de la fréquence ; c'est ce qui nous a permis d'établir dans l'annexe les formules que nous venons d'employer.

On prend les dispositions nécessaires pour maintenir à toute distance l'indépendance approximative de I par rapport à la fréquence, mais on n'agit de même pour t_0 que dans des cas exceptionnels. Or il est clair que cet intervalle de temps représente à une constante près la durée de propagation et que sa constance équivaut à celle de la vitesse de propagation ; si u est cette dernière et D la distance, on a $t_0 = \frac{D}{u} + C^{te}$; de faibles variations de u peuvent donc produire à grande distance des différences importantes sur t_0.

En raison de ces différences, des courants simultanés de fréquences diverses n'auront pas à la sortie les mêmes différences de phase que les causes qui les ont produits et

l'effet d'ensemble auquel ils donneront lieu pourra s'écarter très notablement de l'effet d'ensemble imposé à l'entrée. Négligeable aux petites distances, ce phénomène produit aux grandes une distorsion qui estompe très fortement les contours des images transmises et qui rend la téléphonie incompréhensible. Il est alors nécessaire d'employer des filtres spéciaux, dits correcteurs de phase, qui imposent aux courants des retards variant en sens inverse de ceux dus aux câbles.

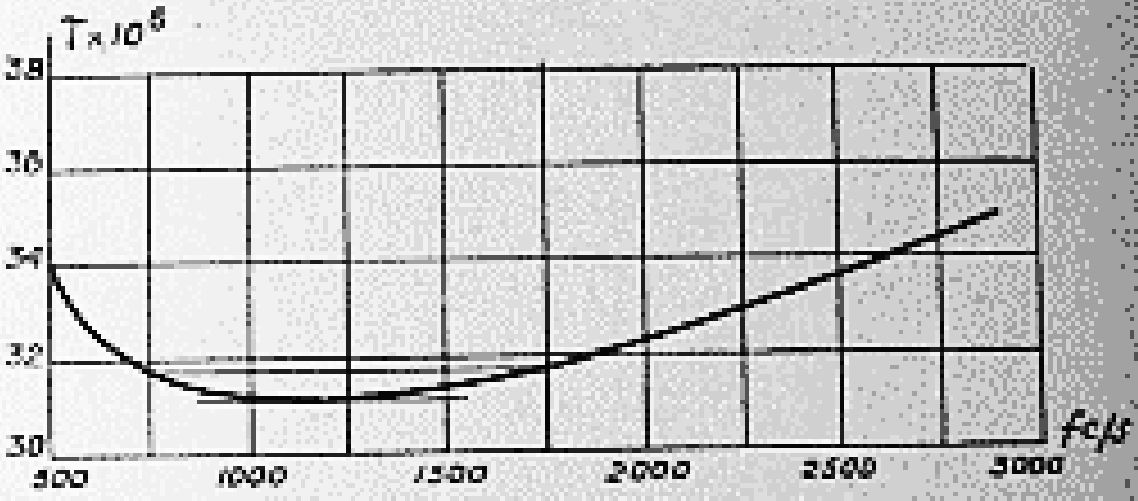

Fig. 15. — DURÉE DE PROPAGATION SUR UN CABLE SOUTERRAIN (MICROSECONDES PAR KM).

La figure 15 donne les durées de propagation sur un câble à charge légère pour une distance de un kilomètre[1]. Si on utilise une bande de fréquence comprise entre 750 et 1 750 c/s, on trouvera une variation extrême de t_0 de un milliseconde pour une distance de 2 000 km ; un tel écart produit une distorsion notable. Nous verrons plus loin (n° 26) qu'on tient compte de ces considérations pour déterminer la fréquence auxiliaire de transmission.

---

1. Il s'agit là d'un câble allemand que nous prenons comme exemple car il a servi à la normalisation des caractéristiques de transmission phototélégraphique ; sur des câbles établis en France la courbe est à peu près rectiligne et horizontale pour les fréquences inférieures à 1500 c/s environ.

II. — *CARACTÉRISTIQUES DE TRANSMISSION*

20. Relation entre la hauteur η et la largeur ε de la tache d'exploration. — Nous avons vu au numéro 17 que le contour net d'une brusque transition de teintes de l'original était remplacé sur l'image reçue par une zone estompée d'une largeur égale à celle de la tache d'exploration. Cela revient à dire que la dimension des détails qui figureront avec une netteté admissible à la réception est au moins égale à ε [1]. Sans même avoir recours aux raisonnements qui précèdent, on reconnaîtra facilement qu'une série de bandes alternativement blanches et noires et dont la distance serait inférieure à $\frac{\varepsilon}{2}$ donnerait lieu à une teinte grise uniforme, car la quantité de lumière envoyée à la cellule photoélectrique serait constante.

Dans ces conditions, la netteté de l'image reçue dans le sens du déplacement de la tache est mesurée par ε ; il y a donc lieu d'adopter la même netteté dans le sens perpendiculaire, c'est-à-dire de prendre une hauteur de tache η égale à ε. La tache d'exploration doit donc être carrée.

Il arrive très fréquemment que l'on choisisse la forme circulaire, plus aisée à obtenir correctement ; il en résulte peu de différences.

21. Relation entre la vitesse d'exploration v, la largeur ε de la tache et la fréquence de rupture de la lumière f_r. — Quand on emploie la lumière ruptée (n° 10), le choix de la fréquence de rupture n'est pas arbitraire : pendant deux alternances successives de cette fréquence l'éclairement de la cellule varie en effet de zéro à un certain

1. Thun a cependant fait remarquer qu'on pouvait percevoir des détails de dimensions moindres que ε [111].

maximum et le courant de transmission est un courant alternatif modulé par les teintes de l'original. Pour que les alternances de ce courant n'apparaissent pas sur l'épreuve reçue, il est évidemment nécessaire que la durée de passage θ de la tache d'exploration sur un point soit égale à un nombre entier de périodes de la fréquence de rupture : la plus petite valeur de f_r est donc

$$f_r = \frac{1}{\theta} = \frac{v}{\varepsilon}. \tag{6}$$

22. Largeur de la bande passante Δf dans le cas de lumière ruptée. — Le courant modulé de fréquence f_r traverse des filtres et des câbles admettant une bande passante de largeur Δf, centrée sur f_r, et la formule 3 comparée à la formule 6 nous donne :

$$\Delta f = \frac{1}{\theta} = f_r. \tag{7}$$

On se tient parfois un peu en dessous de cette limite sans dommage appréciable.

23. Vitesse de transmission phototélégraphique V. — La surface V transmise dans l'unité de temps est évidemment $V = v\varepsilon$ puisque la largeur des lignes d'exploration est ε, ou, en vertu de la formule 6 :

$$V = \varepsilon^2 f_r.$$

Cette formule suppose que la longueur des lignes est égale à la circonférence du tambour sur lequel le document est enroulé : en réalité, il n'est guère utilisé que les 9/10 de cette circonférence, il faut donc réduire la valeur précédente dans le rapport de 10 à 9. Finalement, en exprimant, selon la coutume, V en décimètres carrés, ε en millimètres, f_r en cycles par seconde et en prenant comme unité de temps la minute, on obtient :

$$V = 0{,}0054\,\varepsilon^2 f_r = 0{,}0054\,\frac{f_r}{v^2}. \tag{8}$$

Cette relation montre que la vitesse de transmission décroît très rapidement quand la finesse ν de la trame augmente.

24. Vitesse de transmission d'un texte en mots par minute. — La phototélégraphie est souvent employée à la transmission de l'écriture et l'on pourrait songer à obtenir une très grande vitesse de transmission en mots par minute en utilisant des caractères très petits qui seraient amplifiés par photographie à l'arrivée. Il est facile de voir qu'un tel espoir est illusoire et que la vitesse ainsi exprimée est encore limitée par la fréquence f_r.

Soit en effet m le nombre de mots contenus dans une surface de un décimètre carré ; toutes choses égales d'ailleurs, ce nombre sera inversement proportionnel au carré de la dimension λ d'une lettre et, k étant une constante,

$$m = \frac{k}{\lambda^2}.$$

D'autre part, le nombre de mots transmis par minute sera

$$V = m = 0{,}054 \cdot k \left(\frac{\varepsilon}{\lambda}\right)^2 \cdot f_r.$$

Or il est évident que le rapport ε/λ a une limite qu'on ne saurait dépasser sous peine de rendre les lettres illisibles et ce rapport est indépendant de la grandeur absolue d'une lettre, que l'agrandissement photographique permet d'ailleurs de ramener à une valeur uniforme. Si, dans la relation précédente, on remplace ε/λ par cette valeur maxima on obtient la vitesse maxima de transmission en mots/minute.

Ces considérations théoriques ont été vérifiées par Arendt [2] qui a déterminé la limite de vitesse à 220 mots par minute, pour $f_r = 1\,300$, fréquence imposée par les câbles (n° 26).

25. Relation entre le nombre n d'images à la seconde en télévision, le nombre N de points d'image et la fréquence de coupure f_s. — Quand la lumière n'est pas rupiée, comme c'est le cas général en télévision, on n'a à considérer que la fréquence de coupure des appareils que traverse le courant ; et nous avons vu au numéro 15 que celle-ci est liée à la durée de passage de la tache par la relation

$$f_s = \frac{1}{2\theta},$$

mais $\theta = \varepsilon/v$ et si p et l sont, comme plus haut, le nombre des lignes et la longueur de l'une d'elles, et n le nombre d'images à la seconde : $v = n \,.\, p \,.\, l$. D'autre part on a, par définition, $N = pl/\varepsilon$ et il vient :

$$f_s = \frac{nN}{2}, \tag{9}$$

f_s est la limite supérieure des fréquences nécessaires ; il existe une limite inférieure pratiquement égale à n (n° 119).

III. — *DÉTERMINATION DES CARACTÉRISTIQUES DE TRANSMISSION*

26. Détermination de la fréquence de rupture de la lumière en phototélégraphie. — Considérons d'abord les transmissions sur câbles : la bande de fréquence doit évidemment être placée dans la région où le câble ne produit que de faibles variations d'atténuation, mais cette condition n'est pas suffisante : il faut encore tenir compte de la distorsion de phase (n° 18) dont l'influence est grande aux fortes distances. Pour déterminer la fréquence auxiliaire de rupture à admettre dans les communications européennes (n° 143), on s'est basé sur le diagramme de la figure 15 relatif aux câbles allemands. La

distorsion sera évidemment minima si l'on choisit les fréquences limites de façon que la corde qui leur correspond soit parallèle à l'axe des fréquences ; cela conduit à prendre pour f_r un nombre voisin de 1 300 kc/s ; on sait en effet que la fréquence auxiliaire occupe le milieu de la bande utilisée (nº 16).

Sur des fils aériens, f_r pourrait être beaucoup plus élevée, mais cette voie est inutilisable en raison des perturbations constantes auxquelles elle est sujette de la part des agents atmosphériques.

27. Cas des transmissions radioélectriques. — Il semble *a priori* que pour les transmissions radioélectriques on puisse choisir à volonté la fréquence de rupture ; mais pour un emploi judicieux de la phototélégraphie on doit tenir compte des liaisons éventuelles avec les câbles, permettant d'émettre ou de recevoir les images dans une station quelconque avec ou sans fil. D'ailleurs une retransmission, outre qu'elle ferait perdre du temps, produirait sur les épreuves de fâcheuses moirures si les deux trames utilisées n'étaient pas identiques. On se trouve donc conduit à normaliser la fréquence de rupture, et des conventions internationales sont en cours d'étude à ce sujet.

On peut cependant examiner à part le cas des transmissions transocéaniques dont l'intérêt en elles-mêmes est tel que toutes considérations étrangères à la transmission radioélectrique sont accessoires. Mais dans ce nouveau domaine de grosses difficultés surgissent qui ne sont pas encore résolues et qui s'opposent pour le moment à une exploitation commerciale. Nous reviendrons sur ce sujet par la suite (nº 130), mais nous allons montrer que les phénomènes qui accompagnent la propagation des ondes imposent une limite très voisine de celle qui est due à l'emploi des câbles.

On ne peut songer à transmettre des images à grande

distance qu'avec les ondes courtes, pour les mêmes raisons qui obligent à recourir à elles pour la téléphonie lointaine [1]; or ces ondes se propagent très irrégulièrement, elles suivent plusieurs chemins dans l'espace et un signal bref donne lieu, à la réception, à plusieurs signaux qui arrivent successivement à des intervalles de temps variables, de l'ordre du milliseconde [2]. Des enregistrements ont montré que la valeur moyenne de ces écarts est de 0,6 milliseconde [32] pour des transmissions transocéaniques.

Pour que ces groupes de signaux ne s'inscrivent pas distinctement sur une épreuve photographique, ou ne provoquent pas un traînage, il faut évidemment que leur intervalle soit inférieur à la durée de passage θ de la tache d'exploration, ce qui nous conduit à la relation (nº 16) :

$$f_r = \frac{1}{\theta} < \frac{1}{6.10^{-4}} = 1\,667.$$

Donc dans tous les cas, la fréquence de rupture sera du même ordre de grandeur.

28. Vitesses de transmissions réalisables en phototélégraphie. — Avec une fréquence de rupture de 1 300 c/s, la vitesse de transmission en décimètres carrés par seconde est donc (formule 8) :

$$V = \frac{7}{\gamma^2}.$$

Pour les images les plus fines on emploie 5,33 traits au millimètre ; on ne descend guère au-dessous de 2,5 pour les plus grossières. Dans ces conditions, on voit que le

---

1. A cause de la bande de fréquence nécessaire.

2. Nous ne parlons pas des signaux direct et indirect qui suivent des arcs de grand cercle différents et dont l'écart est généralement beaucoup plus grand. On sait que l'on élimine facilement celui de ces signaux qui est indésirable.

nombre de décimètres transmis par minute est toujours compris entre 0,24 et 1,12. Ces nombres ne dépendent en aucune façon des appareils employés ; ils sont valables quel que soit le système puisqu'ils sont imposés par les organes ou les milieux de propagation.

Qu'il soit possible d'obtenir accidentellement de bonnes transmissions radioélectriques, notablement plus rapides, c'est un fait incontestable mais aussi sans beaucoup d'intérêt.

29. Considérations générales sur les images de télévision. — L'appréciation de la qualité des images est beaucoup plus délicate pour la télévision que pour la phototélégraphie. Dans ce dernier cas en effet, le but à atteindre est la reproduction exacte d'un original ; on se trouve en présence de documents affectant une forme immuable dont on peut définir et mesurer les éléments. En laissant de côté l'exactitude des tonalités, qui relève pour la plus grande part de la technique photographique, la qualité d'une image est parfaitement représentée par la largeur de la zone estompée des contours et il nous a été facile de relier la qualité d'une reproduction aux caractéristiques géométriques et électriques des appareils.

En télévision la question est toute différente ; assurément la netteté de l'image d'un original au repos peut encore être caractérisée par les mêmes éléments qu'en phototélégraphie, cependant ce n'est plus l'exactitude géométrique de la reproduction qui importe, mais l'impression produite sur le spectateur. En mettant à part les applications techniques qui peuvent être envisagées, il y a entre deux images de phototélégraphie et de télévision une différence analogue à celle qui existe entre une photographie ordinaire, visant à la précision, et un tableau ou un dessin artistique. Ce qui compte dans le dernier cas, c'est l'impression subjective indissolublement liée

aux propriétés physiologiques de la vision [10] et aux phénomènes psychologiques de la conscience, et le rôle de la mesure dans ces domaines est à peu près inexistant.

Pour certaines reproductions, celle des visages par exemple, ces conditions diminuent très certainement la sévérité des règles que nous venons d'étudier. La conscience n'a pas besoin de précision dans les contours pour reconnaître un objet familier, les dessins ne comportant que quelques traits de crayon en sont un exemple journalier ; en outre, quand il s'agit du visage humain, l'estompage des lignes, loin de produire un effet désagréable, donne généralement un cachet particulier au portrait. Nous n'avons pas accoutumé de voir des visages au repos absolu et le flou créé à notre insu par leurs mouvements habituels, en se retrouvant dans un portrait, nous le rend sans doute plus vivant. Si le visage examiné par télévision se déplace, le flou provenant de la transmission se confond dans notre esprit avec celui que produit le mouvement et l'illusion devient encore meilleure. C'est un fait bien établi que la télévision d'un visage mobile est appréciée plus favorablement que celle du même visage au repos.

Mais toutes ces considérations ne sont applicables qu'aux objets dont la forme et les déplacements nous sont très familiers et dont notre imagination peut rétablir d'elle-même les détails qui manquent et que réclament les pensées évoquées par la vision.

Dès qu'il n'en est plus ainsi, dès que les formes ou les mouvements sont assez inattendus pour que notre attention soit nécessaire à la compréhension du sujet, le rôle des détails devient prépondérant : nous apprécions favorablement le portrait très estompé d'une jolie femme dont les charmes sont seuls en jeu, mais si celle-ci paraît sur l'écran pour nous présenter une coiffure nouvelle par exemple, nous exigerons des détails, non seulement parce

que nous serons incapables de les imaginer, mais à cause de la fatigue de notre esprit qui cherchera inconsciemment à les deviner.

Si le portrait est remplacé par une scène comportant des acteurs, leurs silhouettes seront insuffisantes, nous voudrons au moins saisir les jeux de physionomie, il nous faudra voir assez distinctement les yeux et la bouche pour y observer des changements. Ici encore l'intérêt du sujet ne sera pas seul en jeu, nous exigerons les détails parce que leur recherche inconsciente nous fatiguera. Chacun de nous a éprouvé l'impression pénible qui résulte de l'imprécision anormale des formes, soit en regardant à travers des verres mal adaptés, soit en lisant un texte dont les lettres sont empâtées ou légèrement doublées.

Il résulte de tout cela que la largeur des zones estompées ne saurait définir la qualité d'un portrait ; mais dans presque tous les autres cas, l'importance de l'impression d'ensemble s'atténue devant la nécessité des détails et la précision de ces derniers redevient une excellente caractéristique de la qualité.

Il en résulte aussi que l'impression favorable qu'aura pu nous laisser l'image télévisée d'un visage ne doit pas être considérée comme un signe que les temps sont révolus et que nous verrons bientôt les scènes que la radiophonie nous fait entendre. Il y a loin de l'un à l'autre, comme nous allons le voir.

30. Nombre de points d'image nécessaire en télévision. — Pour apprécier définitivement le nombre de points d'image nécessaire à une reproduction convenable, il faut évidemment avoir recours à des expériences de transmission, mais il est possible de se faire de ce nombre une idée assez exacte par l'observation des illustrations typographiques.

Assurément, les points d'images de ces dernières sont

discrets alors que ceux de la télévision sont fondus ; mais ils ont ceci de commun qu'ils représentent tous deux la plus petite surface dont il est impossible de différencier les éléments. En outre, à la distance où l'on regarde les illustrations, l'analogie s'accentue car la trame cesse d'être apparente.

On vérifiera aisément que cette trame comporte un nombre de lignes au millimètre variant entre 2,4 et 5,5 environ et, si l'on choisit des illustrations soignées, tirées sur un bon papier, on pourra faire les constatations suivantes :

a) Les portraits isolés y sont en général présentés avec une dimension moyenne du visage de 2,5 à 3 centimètres au minimum, ce qui correspond à un minimum de 60 à 75 traits pour le visage ; dans ces conditions ils contiennent assez peu de détails, mais produisent une bonne impression.

b) Dans les groupes présentant des personnages entiers, les têtes doivent avoir une hauteur de 4 à 5 millimètres pour que les expressions de physionomie soient apparentes, quand la trame est de 5,5 lignes, et une hauteur de 9 à 10 millimètres quand elle est de 2,4 lignes. Cela correspond à un minimum de 22 lignes pour le visage.

L'expérience de la télévision montre que le portrait isolé est acceptable avec 25 à 30 lignes pour l'étendue du visage, ce qui correspond à 35 ou 40 lignes en tenant compte des marges : cette différence à l'avantage de la télévision tient aux remarques faites au numéro précédent, mais ce nombre pourra être à peine réduit pour la présentation de personnages en pied. Admettons pour ce cas le nombre de 20 lignes ; la hauteur totale de l'image, y compris de petites marges, contiendra 200 lignes et la présentation de deux personnages conduisant à une largeur d'écran égale à la hauteur, nous arrivons aux conséquences suivantes :

Un portrait doit comporter au moins 1 200 points d'image.

Une scène doit en comporter 40 000.

Ajoutons que les émissions actuelles utilisent entre 1 200 et 18 000 points.

31. Détermination de la fréquence de coupure en télévision. — Nous avons vu au numéro 25 que cette fréquence f_s était donnée par la formule

$$f_s = \frac{Nn}{2}.$$

Nous venons de déterminer les limites inférieures de N ; n résulte de la durée de persistance des impressions lumineuses pour laquelle on admet généralement un seizième de seconde. Dans les expériences actuelles on prend pour n des valeurs comprises entre 12 et 25 ; la première de ces valeurs est certainement insuffisante, mais on la choisit pour diminuer la fréquence de coupure ; il paraît nécessaire d'atteindre le nombre 20 pour supprimer complètement le papillotement des images et la fatigue qu'il occasionne.

Dans ces conditions, la limite inférieure extrême de la fréquence de coupure est de 7 000 c/s, correspondant à des résultats grossiers et applicable uniquement au portrait. La limite inférieure qu'il conviendrait d'admettre pour transmettre des images présentant un autre intérêt que celui de la curiosité attachée à une nouveauté, est de 400 000 c/s. C'est seulement à ce prix que la radiodiffusion des images pourra prendre une place comparable, d'assez loin d'ailleurs, à celle des sons.

32. Objets en mouvement. — Examinons successivement deux mouvements, l'un parallèle aux lignes d'exploration, l'autre perpendiculaire ; il sera facile d'en déduire les conséquences d'un déplacement quelconque. Admet-

tons d'abord qu'une ligne MT de l'original (fig. 16) ait une vitesse v_d parallèle à la vitesse d'exploration v et supposons le rapport v_d/v très petit. Le passage de la tache d'exploration en p donnera lieu à une image p', mais avant que la tache ne repasse sur MT en q, il s'écoulera un temps sensiblement égal à $\frac{l}{v}$, l étant la longueur d'une ligne. L'image de q sera donc décalée de $l\frac{v_d}{v}$ et viendra en q'. Il en sera de même pour tous les éléments successifs et l'image de MT se présentera en forme d'escalier avec une

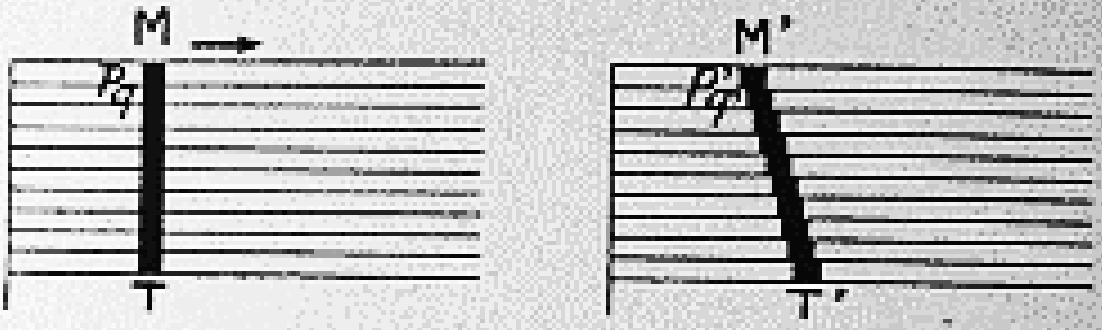

Fig. 16. — INFLUENCE DU MOUVEMENT DE L'ORIGINAL EN TÉLÉVISION.

pente moyenne $\frac{l}{2}\frac{v_d}{v}$. Laissons de côté la forme d'escalier, qui sera peu apparente si le nombre de points d'image est grand, et fixons-nous une pente α que l'on ne devra pas dépasser pour éviter une déformation trop marquée de l'objet ; la vitesse de déplacement de celui-ci devra être limitée et l'on aura :

$$v_d \leqslant \alpha \frac{1}{l} v ;$$

mais, p étant le nombre de lignes et h la hauteur totale du cadre de l'objet, on a :

$$v = npl \qquad \text{et} \qquad h = pz,$$

d'où la limite de vitesse :

$$v_d \leqslant \alpha h n.$$

Cette formule montre que le nombre de points d'image n'a aucune influence sur la vitesse de déplacement admissible, qui ne dépend que du nombre d'images à la seconde et de la hauteur du cadre de l'objet transmis. Admettons une pente $\alpha = 1/100$, presque toujours inappréciable, et $n = 16$; si l'on transmet une tête, h vaudra environ 40 cm et v_d devra être inférieur à 6,4 cm/s, ce qui correspond aux mouvements normaux de la tête. La transmission d'un personnage demandera une hauteur de cadre de 200 cm et la vitesse limite sera de 32 cm/s ; la vitesse de marche normale est environ quatre fois plus grande, de sorte qu'un homme en marche aura une inclinaison de 4/100, probablement assez gênante pour l'observateur.

Les mouvements lents dans le sens perpendiculaire aux lignes d'exploration ne produisent aucune déformation ; ils ont même l'avantage de supprimer les variations brusques de teintes entre deux lignes consécutives, la tache d'exploration ne repassant jamais deux fois exactement sur le même point de l'original ; le lignage, très apparent dans les reproductions d'objets immobiles, disparaît alors presque complètement.

33. Conclusions. — L'étude que nous venons de faire nous conduit à quelques conséquences dont l'intérêt est capital, car elles précisent les limites d'exploitation imposées à la phototélégraphie et à la télévision d'une façon rigoureusement indépendante des systèmes mis en jeu, si ingénieux qu'ils soient.

a) La vitesse de transmission phototélégraphique, exprimée en décimètres carrés par minute, est donnée par la formule

$$V = \frac{7}{v^2}$$

où v est le nombre de traits au millimètre, caractérisant la finesse de la trame. Cette valeur a trait aux câbles

européens actuels ; elle serait naturellement accrue si de nouveaux câbles à bande passante plus large venaient à être établis ; mais la construction de tels câbles est très onéreuse et est limitée actuellement à des emplois spéciaux, tels que la liaison des studios aux stations d'émission radiotéléphonique. Cette formule donne 0,24 dm^2/s pour les images les plus fines qu'il y ait lieu d'employer et 1,12 pour les plus grossières.

Les vitesses de transmission radioélectrique sont à peine supérieures, mais là il n'est pas impossible que des perfectionnements dans les collecteurs d'onde employés à la réception apportent quelque bénéfice. Il ne paraît pas cependant qu'un tel résultat soit très proche, car bien d'autres causes que celles énumérées plus haut viennent troubler les transmissions sans fil.

b) Les transmissions de télévision exigent une bande de fréquence de 14 000 c/s pour la reproduction acceptable d'un visage ; pour la reproduction suffisamment nette d'une petite scène il faut une bande de 800 000 c/s qui ne peut être trouvée, quoi qu'on fasse, que dans les ondes très courtes de quelques mètres. La portée de ces dernières est très limitée et elles ne paraissent pas susceptibles de couvrir une superficie supérieure à celle d'une grande ville et de ses faubourgs ; c'est cependant vers cette solution que s'oriente actuellement la technique.

Chapitre III

LES CELLULES PHOTOÉLECTRIQUES

34. Nature du phénomène photoélectrique. — Nous avons donné au numéro 2 une description sommaire de la cellule photoélectrique ; nous allons maintenant étudier ses propriétés du point de vue de la technique spéciale que nous avons en vue, mais auparavant nous dirons quelques mots du phénomène qui sert de base à leur fonctionnement.

Un métal sur la surface duquel on fait tomber un faisceau de lumière convenable émet des charges négatives. La question a d'abord été étudiée par Hallwachs à la suite d'observations faites par Hertz en 1884 au sujet de l'influence du rayonnement ultra-violet sur l'établissement des décharges entre les armatures d'un éclateur. Nous n'entrerons pas dans le détail du processus physique de ce phénomène qui, d'ailleurs, présente encore certaines obscurités ; nous ferons seulement remarquer qu'il est dû à l'énergie cédée par la lumière aux électrons du métal ; la vitesse de ces derniers, accrue par cet apport, leur permet de traverser la couche électronique superficielle, qui s'opposait à leur départ.

Or cette énergie ne peut être cédée par la lumière que par multiples entiers d'une quantité finie, appelée quantum, dépendant de la longueur d'onde λ des radiations et

que l'on peut écrire $\frac{12\,350}{\lambda} e$, en désignant par e la charge de l'électron en coulombs et en exprimant λ en angströms ; d'autre part, le travail à dépenser pour traverser la couche électronique a évidemment une valeur déterminée pour chaque métal, considéré dans un état bien déterminé. Il en résulte que le nombre d'électrons arrachés par le flux lumineux doit être, pour un métal donné, fonction de la longueur d'onde des radiations employées.

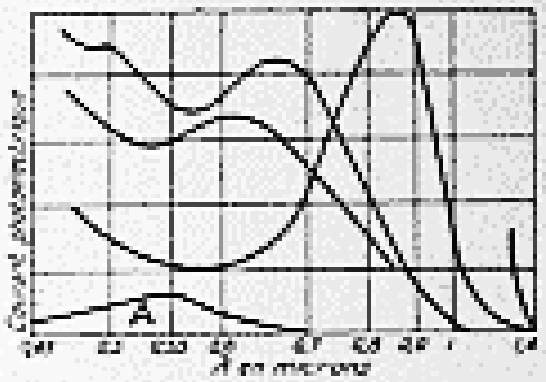

Fig. 17. — INFLUENCE DE TRAITEMENTS DIVERS DE LA COUCHE SENSIBLE SUR LE COURANT PHOTOÉLECTRIQUE.

On distingue deux types d'effets photoélectriques : l'effet normal qui n'existe qu'avec des radiations ultraviolettes et est par conséquent sans intérêt pour nous, et l'effet anormal ou de résonance qui se rencontre principalement avec les métaux alcalins : lithium, sodium, potassium, rubidium et césium. Ce dernier effet présente un maximum très marqué pour une longueur d'onde déterminée, la longueur d'onde de résonance. Celle-ci est voisine de 0,3 microns pour le lithium et croît régulièrement pour les métaux rangés dans l'ordre ci-dessus ; elle est d'environ 0,45 pour le potassium et 0,55 pour le césium. Des études récentes ont permis de découvrir des traitements particuliers du métal et des modes de construction des cellules qui augmentent beaucoup la sensibilité et déplacent les résonances vers le rouge. Nous ne pouvons nous étendre ici sur ces questions pour lesquelles nous renvoyons aux articles de Jouaust [18] et Dunoyer [7]. Disons seulement que l'on remplace les anciennes couches de métal relativement épaisses par des couches mono-

atomiques déposées dans certaines conditions sur des couches sous-jacentes souvent formées d'oxyde d'argent. La figure 17 relative au césium montre la supériorité des nouvelles cellules, A est la courbe de sensibilité correspondante à une couche épaisse, les autres courbes ont trait à des cellules à traitement spécial ; elles sont empruntées à un mémoire de Teves [40].

35. Spectre visible et spectre des sources lumineuses. — Pour apprécier convenablement l'intérêt des cellules dont nous allons parler, il convient de connaître la composition du spectre visible et de celui des sources lumineuses employées pour la transmission des images.

Les seules radiations auxquelles notre œil soit sensible sont celles comprises entre 0,4 et 0,75 micron environ, avec un maximum de sensibilité vers 0,55 entre le vert et le jaune.

Les lampes à arc dont la température peut atteindre 4 000° absolus commencent à rayonner vers 0,3 μ ; l'énergie du rayonnement croît très rapidement pour atteindre un maximum vers la limite supérieure du spectre visible et décroît ensuite plus lentement. Pour une onde de 2 μ, l'énergie est encore voisine du sixième de son maximum.

Les lampes à incandescence correspondant à 2 400° absolus, émettent des radiations depuis 0,4 μ ; le maximum est atteint vers 1,3, et pour une onde de 2,4 μ l'énergie vaut encore le tiers du maximum.

Il est évident que les reproductions par télévision seront d'autant plus correctes que les cellules employées auront une sensibilité plus voisine de celle de l'œil ; avec le césium il est possible de superposer presque exactement les deux spectres.

Quant à la phototélégraphie elle utilisera avec avantage des cellules sensibles au rouge et même à l'infrarouge ; ces dernières lui permettront de diminuer consi-

dérablement l'amplification des courants et de travailler avec des lampes moins chauffées, ce qui augmentera beaucoup leur durée.

38. Cellules à vide. — On désigne sous le nom de cellules à vide des cellules dans lesquelles on a réalisé un vide très poussé. Comme nous l'avons indiqué au numéro 2, on place entre l'anode et la cathode une pile qui porte la première à un potentiel positif convenable. Si l'on fait croître ce potentiel à partir de quelques volts, on s'aperçoit que pour un éclairement invariable le courant augmente. Quand on atteint une certaine tension, comprise pour les cellules habituelles entre 40 et 100 volts, le courant atteint une valeur limite, dite de saturation ; c'est que le champ dans la cellule est devenu assez fort pour entraîner rapidement les électrons émis par la cathode et supprimer les effets de la charge d'espace qu'ils créent, pour les faibles tensions, autour de cette dernière.

Utilisée dans cet état, la cellule à vide jouit de deux propriétés capitales : *Le courant photoélectrique est rigoureusement proportionnel au flux lumineux reçu par la cellule et aucune inertie sensible ne se manifeste dans son fonctionnement.*

Cette dernière propriété a été vérifiée par Metcalf [24] pour des fréquences de rupture de la lumière allant jusqu'à 50 000 c/s.

En revanche la sensibilité des cellules à vide est faible ; le courant que fournissent les cellules courantes est de l'ordre du microampère pour un flux lumineux de un lumen, obtenu au moyen d'une lampe à incandescence. Les cellules au césium sont naturellement beaucoup plus avantageuses pour des sources de cette espèce et peuvent donner plusieurs microampères par lumen. Teves a pu obtenir jusqu'à 65 microampères et construit couramment des cellules en donnant régulièrement 20 à 30 [40].

Les cellules à vide sont utilisées pour la télévision en raison de leur inertie négligeable ; pour cette application leurs dimensions sont souvent fort étendues. On les construit alors en forme de cylindres dont la longueur peut atteindre 50 cm et le diamètre 12 à 15 ; la surface sensible a jusqu'à 4 décimètres carrés.

En travail, le courant moyen ne doit pas dépasser le dixième de celui que peut fournir la cellule. Si l'on dépasse cette limite, la cellule fatigue, c'est-à-dire que sa sensibilité diminue rapidement et souvent d'une façon irrémédiable. En restant près de cette limite on constate aussi une fatigue au bout de plusieurs heures de travail, mais la perte de sensibilité n'est alors que de quelques centièmes et un repos de quelques jours ramène la cellule à son état primitif.

Sur les cellules récentes au césium, la fatigue dépend de la fréquence d'excitation ; elle est très élevée pour les rayons violets et négligeable dans le rouge et l'infrarouge.

37. Cellules à gaz. — On peut augmenter considérablement le courant des cellules en les remplissant d'un gaz que les électrons arrachés du métal ionisent ; les électrons libérés s'ajoutent alors aux précédents. Le coefficient d'amplification que l'on peut ainsi obtenir peut atteindre 100, mais on se limite en général à 20 ou 30.

On doit employer des gaz rares tout à fait purs pour leur assurer une parfaite neutralité chimique ; on a recours à l'argon, au néon et à l'hélium ou plus souvent à un mélange de ces deux derniers ; la pression est de 0,5 à 1 millimètre de mercure.

Le montage est le même que pour les cellules à vide (fig. 1, p. 8) mais la tension appliquée, généralement comprise entre 60 et 150 volts, joue un rôle très différent. Alors qu'avec les cellules à vide, on obtient la saturation dans le

voisinage de 60 à 80 volts, le courant croît constamment dans les cellules à gaz : d'abord très lentement, puis, à partir d'une certaine tension, sa croissance devient très rapide (fig. 18), et si l'on continue à élever la tension, on voit tout à coup la cellule s'illuminer. Si l'on n'a pas pris la précaution de placer dans son circuit une forte résistance, la couche de métal est désagrégée et la cellule mise hors de service. La tension pour laquelle se produit ce phénomène est bien déterminée pour une cellule et un éclairement donné, on lui donne le nom de *tension d'illumination*. En travail on reste toujours à 20 ou 30 volts au-dessous de celle qui correspond au courant maximum.

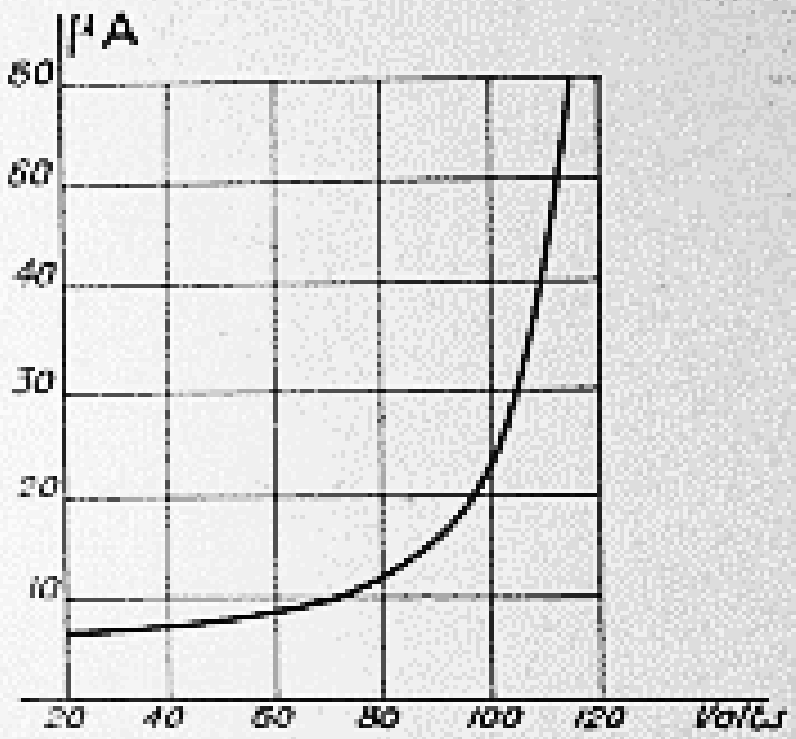

Fig. 18. — Courant photoélectrique en fonction de la tension appliquée.

Le courant est encore sensiblement proportionnel au flux lumineux pour les éclairements utilisés dans la transmission des images ; il croîtrait cependant un peu plus vite pour des flux de l'ordre du millième de lumen appliqués à une petite cellule [34].

Le défaut des cellules à gaz est leur inertie, due, au moins en partie, aux phénomènes d'ionisation qui provoquent l'amplification du courant. Cette inertie dépend du gaz de remplissage : le néon et surtout l'argon sont, de ce point de vue, les plus avantageux. La tension appliquée

joue un rôle non moins important et l'inertie croit très vite quand on se rapproche de la tension d'illumination. Il est difficile de donner des renseignements numériques sur cette question, car les résultats diffèrent notablement selon les cellules étudiées [24, 7]. Citons seulement un exemple d'après lequel, en éclairant une cellule avec une lumière ruptée d'intensité constante et de fréquence croissant de 500 à 10 000 c/s, on voit l'amplitude du courant tomber de plus de 50 % avec l'hélium et le néon, pour la tension de travail. Une cellule à l'argon, placée dans les mêmes conditions, ne donnait qu'une chute inférieure à 10 % [34].

Les cellules à gaz peuvent être employées pour les essais de télévision dans lesquels la fréquence de coupure est basse[1], mais c'est surtout pour la phototélégraphie que leur usage est indiqué. Elles sont alors de petites dimensions, la couche sensible couvrant une surface de 2 ou 3 cm² ; dans ce cas, elles travaillent sur des flux lumineux ne dépassant guère le dixième de lumen.

Il existe actuellement dans le commerce des cellules au césium donnant un courant de près de 100 microampères par lumen.

38. Autres types de cellules. — Nous n'avons parlé que des cellules utilisées dans la transmission des images : il existe depuis peu des cellules d'une espèce toute différente, dites à couche d'arrêt ou à oxyde de cuivre, qui fonctionnent sans tension auxiliaire. Elles ne paraissent pas convenir aux questions qui nous intéressent et nous renvoyons pour leur étude aux mémoires déjà cités ; nous faisons de même pour certains fonctionnements spéciaux des cellules à gaz [34, 18, 7].

1. On peut aussi les employer pour des fréquences de coupure élevées en employant un amplificateur qui corrige l'abaissement du rendement aux hautes fréquences [15].

39. Montage des cellules. — La résistance R placée en série dans le circuit de la cellule est reliée au filament et à la grille de la première lampe amplificatrice conformément au schéma de la figure 19. C est la capacité de liaison, de l'ordre de quelques millièmes de microfarad, R' est la résistance de fuite de la grille.

Le montage doit être particulièrement soigné et abrité de toutes les influences extérieures, électriques ou mécaniques. Ces précautions sont indispensables en raison des tensions très faibles qui arrivent à la grille, tensions dont l'ordre de grandeur peut descendre au-dessous de 10 μV.

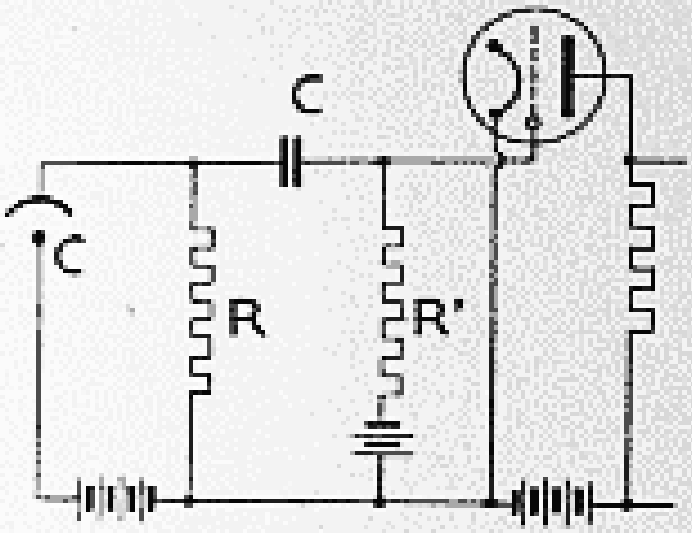

Fig. 19. — MONTAGE D'UNE CELLULE.

Pour abriter cette région de l'installation contre les actions électriques parasites, on place la première lampe, et même souvent les deux premières lampes d'amplification, dans une cage métallique correctement montée, qui contient aussi les résistances R et R'; dans le cas de la phototélégraphie, la cellule est elle-même dans cette cage. On protège l'ensemble contre les vibrations mécaniques qui donneraient lieu à des variations de capacité, par des cloisons intérieures ou extérieures arrêtant les vibrations de l'air ; les lampes sont souvent placées dans des étuis très lourds, suspendus par des liens élastiques.

Les fils de connexion ont des longueurs aussi petites que possible et sont disposés de façon à éviter les capacités parasites dont le rôle très nuisible va être étudié.

40. Influence des capacités parasites. — En ce qui concerne la transmission des tensions à la grille de la première lampe, le schéma précédent peut être remplacé par le schéma, plus simple, de la figure 20, dans lequel Γ représente la capacité grille-filament de la lampe et des fils qui y conduisent. On voit que le courant i débité par la cellule se partage en deux pour suivre le chemin de la résistance et celui de la capacité : la tension aux bornes de la lampe est alors inférieure à ce qu'elle serait sans la capacité.

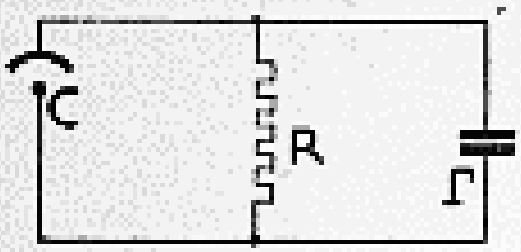

Fig. 20.

Étudions d'abord ce qui se passera au moment d'un passage du noir au blanc sur l'original. En désignant par I le courant de la cellule qui correspond au blanc et par θ la durée de passage de la tache d'exploration, le courant à l'instant t ($t < \theta$) sera : $I\frac{t}{\theta}$. Si d'autre part v est la tension aux bornes communes de la résistance et du condensateur, on aura

$$I\frac{t}{\theta} = \frac{v}{R} + \Gamma\frac{dv}{dt}$$

en exprimant que le courant total est la somme de ceux qui passent par les deux branches de la dérivation. En intégrant cette équation, on trouve :

$$V = RI\left[1 - \frac{\Gamma R}{\theta}\left(1 - e^{-\frac{\theta}{\Gamma R}}\right)\right]$$

comme valeur de la tension au moment où la tache a complètement franchi la ligne de démarcation entre le noir et le blanc. Comme cette tension serait RI si la capacité n'existait pas, le dommage causé est caractérisé par le rapport

$$\frac{V}{RI} = 1 - \frac{\Gamma R}{\theta}\left(1 - e^{-\frac{\theta}{\Gamma R}}\right)$$

et l'on voit immédiatement que Γ'R/0 devra être petit. Les résultats numériques suivants permettent de déterminer la valeur à choisir.

Γ'R/0	1	1/2	1/3	1/4	1/5
e/Re	0,37	0,57	0,68	0,75	0,80

Il est clair qu'en prenant Γ'R trop voisin de 0 on augmenterait beaucoup la zone de flou de l'image reçue.

La capacité grille-filament d'une lampe est inférieure à 4 ou 5 10^{-12} F, mais à cause des connexions, même réduites à leur longueur minima, il faut prendre pour Γ' une valeur trois à dix fois plus forte. On peut se baser sur ces nombres pour déterminer R, en tenant également compte des considérations du numéro suivant.

Outre cet élargissement des zones de flou que nous venons de traiter dans le cas d'une lumière non ruptée, la capacité Γ' a encore l'inconvénient de diminuer la tension alternative en régime permanent, aux bornes de l'amplificateur, quand la lumière est ruptée. Si i est le courant alternatif et f_r la fréquence de rupture, on a en effet avec les mêmes notations que ci-dessus :

$$\frac{V}{RI} = \frac{1}{\sqrt{1 + 4\pi^2(R\Gamma' f_r)^2}}$$

et, comme on sait que l'on a, au moins approximativement, $f_r = \frac{1}{6}$ (n° 22), la relation précédente montre encore l'avantage qui résulte d'une faible valeur du rapport Γ'R/0.

41. Conditions de proportionnalité du courant de travail au flux lumineux. — La proportionnalité dont nous avons parlé plus haut a trait au cas où le circuit de la cellule

ne contient aucune impédance ; mais il est facile de voir que, quand cette condition n'est pas réalisée, il n'y a plus de proportionnalité quand le flux lumineux est trop fort.

Le lien linéaire existant entre le courant i et le flux lumineux L peut en effet s'écrire :

$$i = f(V) \cdot L,$$

V étant la tension effectivement appliquée à la cellule. Quand son circuit contient une résistance R et une pile de force électromotrice E, cette relation devient :

$$i = f(E - Ri) \cdot L$$

ou, si Ri est petit :

$$i = \left[f(E) - Ri \left(\frac{\partial f}{\partial V} \right)_{V=E} \right] L,$$

d'où :

$$i = \frac{L \cdot f(E)}{1 + RL \left(\frac{\partial f}{\partial V} \right)_E}.$$

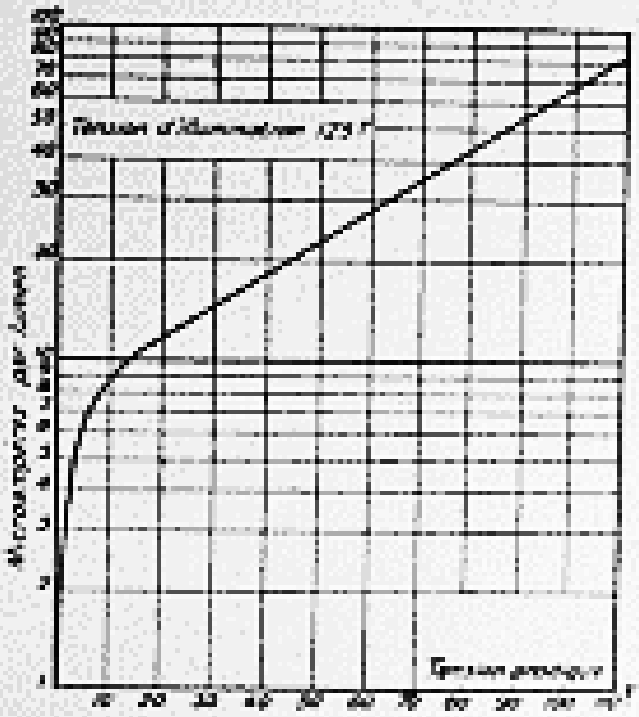

Fig. 21. — CARACTÉRISTIQUE COURANT-TENSION D'UNE CELLULE RÉCENTE.

Pour que i puisse être considéré comme proportionnel à L, il faut que le second terme du dénominateur soit petit par rapport à l'unité ; mais nous avons vu que dans la région de travail normal la courbe du courant en fonction de la tension auxiliaire monte très vite, il y a donc lieu de voir quelles valeurs numériques peut atteindre la dérivée $\frac{\partial f}{\partial V}$. Considérons le cas de la cellule à laquelle se rapporte la figure 21 dont l'échelle des ordonnées est logarithmique ; comme cette caractéristique est relative à un flux de un lumen, et

qu'elle suppose i exprimé en microampères, son ordonnée est

$$y = \log_{10}[f(V) \cdot 10^{-6}] = 2{,}3 \cdot \log_e [f(V) \cdot 10^{-6}]$$

et l'on a :

$$\frac{\partial y}{\partial V} = \frac{2{,}3}{f(V)} \frac{\partial f}{\partial V}.$$

Pour V = 100 volts, on mesure sur la figure :

$$f(V) = 66 \cdot 10^{-4} \qquad \frac{\partial y}{\partial V} = 0{,}0095,$$

ce qui donne :

$$\frac{\partial f}{\partial V} = 0{,}27 \cdot 10^{-4}.$$

En prenant pour R une valeur de un mégohm, qui représente l'ordre de grandeur auquel on est généralement conduit, on voit que la loi de proportionnalité comporterait déjà des déviations notables pour un flux de un lumen, mais un tel flux est déjà élevé pour les transmissions d'images.

Chapitre IV

LES SOURCES LUMINEUSES

I. — *NATURE DES SOURCES*

42. Principe des lampes à gaz. — Il existe des moyens mécaniques ou électriques pour moduler les faisceaux lumineux émis par une source d'intensité constante, nous en verrons des exemples aux numéros 60 à 64, mais, principalement pour la télévision, il est avantageux de pouvoir moduler directement la brillance de la source elle-

Fig. 22. — Phénomènes lumineux dans un tube a gaz.

même. Si on tient compte de ce que la modulation ne doit dépenser qu'une très faible énergie et suivre des fréquences élevées, il faut avoir recours aux lampes à gaz ; pour ces lampes la puissance de modulation est en effet de l'ordre du watt ou de la dizaine de watts suivant le but à atteindre et leur intensité lumineuse ne retarde guère de plus de 10^{-6} seconde sur le courant qui la provoque. Nous allons d'abord indiquer rapidement le principe de ces sources.

Si dans un tube contenant un gaz sous faible pression — 1 à 30 mm de mercure — on place deux électrodes auxquelles on applique une différence de potentiel croissante (fig. 22), on constate d'abord qu'il est traversé par un courant très faible de quelques microampères. Ce courant qui correspond aux électrons normalement libres dans le gaz, augmente à peine avec la différence de potentiel; mais quand celle-ci atteint une valeur déterminée, dite « *tension d'allumage* », le tube s'illumine et le courant prend brusquement une intensité beaucoup plus forte, en même temps que la tension tombe. C'est que les électrons libres ont acquis une énergie suffisante pour ioniser le gaz, et les ions positifs formés exagèrent rapidement le phénomène en multipliant, par le bombardement de la cathode, le nombre des électrons en jeu. Dans cet état du tube, on obtient des courants dont l'intensité varie entre une fraction et quelques dizaines de milliampères pour des variations de tension relativement faibles.

Si on abaisse progressivement la tension, il arrive un moment où la lueur disparaît, le tube retombe dans son état primitif ; la différence de potentiel correspondante, dite « *tension d'extinction* », est toujours inférieure à la tension d'allumage. Pour les tubes habituellement employés en télévision l'écart est de 10 à 20 volts, mais il peut prendre des valeurs cinq ou six fois plus élevées.

En observant la lueur depuis la cathode jusqu'à l'anode, on remarque successivement : une gaine très lumineuse couvrant partiellement ou entièrement la cathode, c'est la « *lueur cathodique* », puis une région présentant des alternances d'obscurité et de clarté et enfin une colonne lumineuse plus ou moins longue, allant jusqu'à l'anode et qu'on appelle la colonne positive ; cette colonne est d'autant plus courte que le tube est plus vidé.

En étudiant les variations de la tension le long du tube, on s'aperçoit qu'il existe une faible chute de potentiel au

voisinage immédiat de l'anode, puis une chute progressive le long de la colonne positive, et enfin au voisinage immédiat de la cathode on observe un fort abaissement du potentiel appelé « chute cathodique » ; c'est la région où les électrons issus de la cathode prennent la vitesse qui leur est nécessaire pour ioniser le gaz. Dans beaucoup de tubes utilisés pour la transmission des images et dans lesquels la distance entre les électrodes est très courte, c'est la chute cathodique qui constitue la presque totalité de la différence de potentiel entre ces dernières.

La chute cathodique est fonction du gaz de remplissage, du métal de la cathode et aussi un peu de la forme des électrodes ; elle est plus faible avec les gaz rares et surtout avec les cathodes construites en métaux alcalins dont on a déjà vu, par les propriétés des cellules photoélectriques, la facilité avec laquelle ils se laissent arracher leurs électrons. Voici quelques valeurs numériques qui fixeront les idées sur ce sujet :

	VAPEUR DE MERCURE	NÉON-HÉLIUM	ARGON
Cathode en fer	389 volts	140	»
— — potassium ...	»	70	64

Si, en modifiant la différence de potentiel entre les électrodes, on amène le courant d'illumination à sa plus faible valeur, une fraction de milliampère, la lueur cathodique ne recouvre plus qu'une partie de la cathode ; à mesure que l'on augmente la tension, la lueur s'étend davantage et finit par envahir toute sa surface. Pendant cette période le courant et la chute cathodique varient très peu ; cette dernière est alors dite « *chute normale* ».

A partir du moment où la lueur cathodique recouvre toute la cathode, la chute cathodique croît avec le courant et on la dit « *anomale* ».

Si l'on continue à faire croître la tension, le courant croît à peu près proportionnellement à la variation de cette dernière, mais en même temps celle-ci s'échauffe sous l'action du bombardement des ions positifs et il est souvent nécessaire de la refroidir artificiellement. A un certain moment, l'effluve se transforme en arc et le courant prend des proportions telles que le tube serait mis hors de service si l'on ne prenait la précaution de mettre en série dans son circuit une résistance convenable. Cette dernière phase n'est pas utilisée.

Les tubes servant à la transmission des images sont remplis d'argon, de néon ou d'hélium ou de préférence d'un mélange de ces deux derniers, sous une pression de 1 à 10 mm de mercure ; le choix de ces gaz tient à leur neutralité chimique qui évite leur absorption par les électrodes et le durcissement consécutif du tube ; en outre, comme nous l'avons déjà mentionné, ils permettent d'abaisser les tensions d'allumage et de fonctionnement.

Le mélange néon-hélium donne une lumière convenant parfaitement aux reproductions de télévision. En outre, d'après une étude faite par les laboratoires de la Telefunken [34], ces gaz, employés à la tension de 6 à 8 mm et additionnés de quelques pour cent d'azote, fournissent un rayonnement très riche en rayons violets et ultra-violets qui lui donnent une efficacité remarquable pour les impressions photographiques. Avec 5 ou 16 p. 100 d'azote on obtient le noircissement d'un film approprié pour des poses de 1/12 000 s, avec un courant de 40 milliampères correspondant à une tension de 400 volts.

D'une façon générale, la pureté des gaz et la propreté des électrodes joue un rôle très important dans le fonctionnement.

Ajoutons enfin que l'emploi des tubes à gaz dans la transmission des images exige évidemment que la tension d'extinction ne soit jamais atteinte en fonctionnement ; il est donc impossible d'obtenir le noir absolu, mais l'expérience montre que l'impression produite par l'illumination minima est très suffisante pour une reproduction correcte des originaux.

43. Lampes à grande surface utilisant la lueur cathodique. — Ces lampes sont employées pour la réception par le disque de Nipkow ; nous en avons sommairement décrit un modèle au numéro 6 (fig. 7, p. 15), ses plaques, rectangulaires, ont des côtés de 5 centimètres environ.

Avec ces lampes, il faut utiliser le régime de la chute cathodique anomale de façon que la cathode soit uniformément illuminée, et cela fixe la tension et le courant minima à des valeurs un peu supérieures à celles correspondant à l'extinction. Malgré cela il existe une marge suffisante entre les illuminations maxima et minima pour donner une impression satisfaisante de l'intensité des teintes à reproduire. Dans les modèles courants de ce genre de lampes le rapport entre le courant maximum et le courant minimum est de 10 environ, les deux limites variant suivant la lampe de 15 à 80 milliampères d'une part et de 1 à 10 de l'autre. Les tensions sont comprises entre 120 et 300 volts environ ; l'écart entre le maximum et le minimum pendant le fonctionnement d'une lampe donnée atteint de 30 à 80 volts. Les plaques sont souvent en molybdène, métal qui peut supporter un courant assez intense sans provoquer la naissance de l'arc entre les électrodes.

Dans le modèle décrit au numéro 6, les électrodes sont deux plaques situées à la faible distance de 1 millimètre. Grâce à la distribution du champ qui en résulte et à la petitesse du volume compris entre les plaques, l'ionisa-

tion se produit à l'extérieur et c'est la face dégagée de la cathode qui s'illumine.

Dans un autre modèle, l'anode est faite d'un simple fil replié en rectangle et qui suit le bord de la cathode à une petite distance devant elle. Sur la face opposée on place une feuille de mica, grâce à laquelle l'illumination se localise sur l'autre face.

44. Lampes à grande surface utilisant la colonne positive. — On peut obtenir avec la colonne positive une illumination beaucoup plus importante qu'avec la lueur cathodique, mais il faut alors donner à la lampe une disposition toute différente. Leithauser a utilisé un tube replié en serpentin (fig. 23); le meilleur gaz de remplissage est un mélange de néon et d'hélium sous une pression de 6 millimètres ; un verre dépoli permet d'obtenir une illumination uniforme.

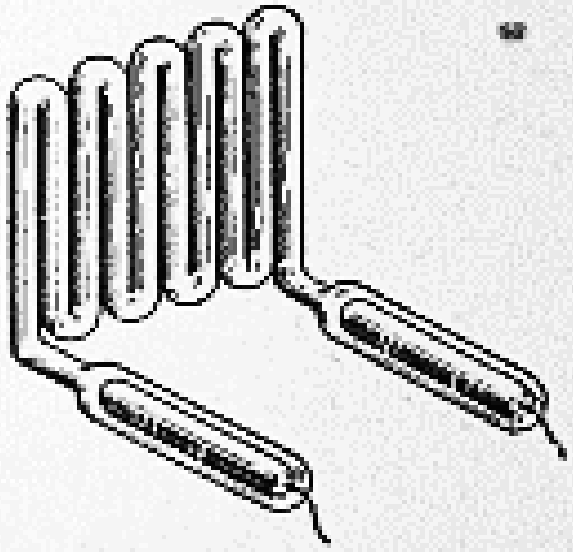

Fig. 23. — LAMPE A GRANDE SURFACE UTILISANT LA LUEUR POSITIVE.

Cette lampe a un bon rendement et est très lumineuse, mais elle a l'inconvénient de travailler sous une tension de 3 à 500 volts et d'exiger une tension d'allumage supérieure à 1 000 volts ; en outre elle est instable pour les faibles courants, ce qui conduit à une illumination minima assez élevée.

M. Pirani et H. Ewest ont construit un tube du même genre à vapeur de sodium dans lequel ils ont diminué la chute cathodique par l'emploi d'une cathode chaude. La brillance et le rendement de ce type de lampe sont extrêmement élevés [34].

45. Sources ponctuelles. — Pour la phototélégraphie et pour certains systèmes de télévision (tambour de Weiller) on a besoin de sources de très petites dimensions. Dans le premier cas, on emploie le plus souvent actuellement des lampes à incandescence à filament très ramassé, comme celles des projecteurs d'automobile, car la modulation se fait sur le faisceau lumineux ; mais pour la télévision la modulation de la source elle-même est généralement indispensable. Les lampes à gaz permettent la construction de sources presque ponctuelles par le développement dans un tube étroit de la lueur cathodique ou de la colonne positive ; le tube est ouvert à une de ses extrémités et on utilise son intensité lumineuse dans la direction de son axe. Très peu absorbants, les gaz utilisés se laissent traverser par la lumière émise sur toute la longueur du tube, de sorte que la brillance effective est presque égale à la somme de celles de tous les éléments illuminés.

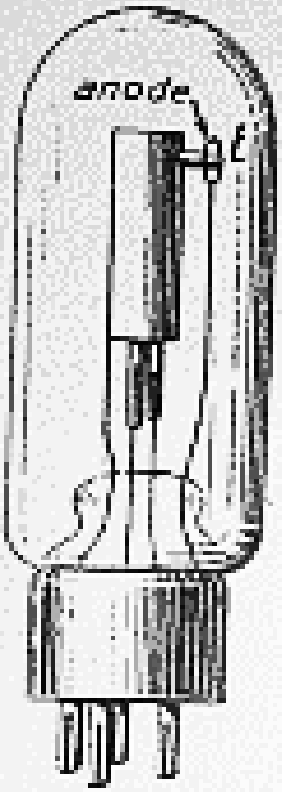

Fig. 24. — Source ponctuelle utilisant la lueur positive dans le petit tube *t*.

Au numéro 6 (fig. 6) nous avons déjà décrit une lampe de cette espèce utilisant la lueur cathodique ; c'est la lampe dite « à cathode creuse ». Cette lampe établie par Schröter présente des qualités remarquables pour un travail à faible puissance. Remplie d'un mélange d'argon et d'azote, elle fonctionne entre 204 et 212 volts avec un courant passant de 0,5 à 6 milliampères. Employée pour l'inscription photographique d'un texte, elle donne sur du papier au bromure d'argent une impression très noire pour une vitesse de déroulement de 80 cm/s ; riche en rayons ultra-violets, elle doit être fermée par une plaque

de quartz [34]. Des lampes du même type, mais plus puissantes, peuvent être employées en télévision avec le tambour de Weiller.

F. Schröter et H. Ewest ont construit sur le même principe une lampe utilisant la colonne positive et représentée sur la figure 24. La cathode est à l'intérieur du cylindre vertical, isolé par rapport aux électrodes ; c'est un filament à oxyde chauffé qui réduit beaucoup la chute cathodique. L'anode est le petit anneau que l'on voit sur la figure à droite et en haut, le petit tube horizontal près de l'extrémité duquel il se trouve est le siège d'une partie de la colonne positive, il a 10 mm de long sur 2 mm de diamètre ; cette lampe travaille sous des tensions variant entre 80 et 90 volts environ et supporte un courant maximum de 200 mA ; sa brillance dans la direction de l'axe du tube est de 48 bougies par centimètre carré. Pirani et Ewest ont obtenu avec des lampes du même type au néon, une brillance de 600 b/cm² ; cette dernière source serait actuellement la source ponctuelle modulable la plus puissante, elle fournirait, avec un tambour de Weiller, des images très éclairées de plusieurs décimètres de côté [34].

46. Montage des lampes à gaz. — Le montage de la figure 25 est le plus fréquent et paraît le mieux adapté : une pile A maintient un potentiel supérieur à celui d'extinction de la lampe et les variations de tension, provenant du passage du courant amplifié dans la résistance R, provoquent des changements d'illumination.

La pile de polarisation P sert à régler convenablement le fonctionnement de la triode. Quand on emploie une fréquence auxiliaire, qui permet de transmettre les teintes proportionnellement à leurs valeurs absolues, cette triode redresse tout simplement le courant modulé par l'image ; le réglage de R est alors fait de façon que la lueur soit très

faible quand la triode ne reçoit aucune excitation et l'éclairement qui en résulte est négligeable. Mais si l'on se passe de fréquence auxiliaire, on ne peut généralement appliquer à la lampe L que les variations de l'intensité lumineuse relativement à la teinte moyenne de l'image et cette teinte moyenne doit être rétablie (nº 122). Pour atteindre ce but, il suffit de régler la polarisation de grille de manière à obtenir l'intensité lumineuse moyenne en l'absence d'émission ; c'est à partir de cette valeur moyenne que les variations positives ou négatives du courant rétablissent correctement l'image.

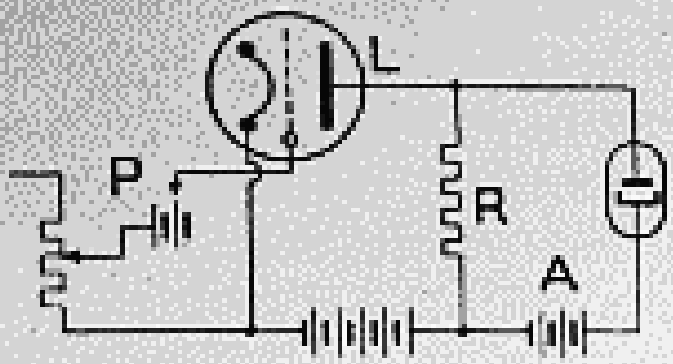

Fig. 25. — MONTAGE D'UNE LAMPE A GAZ.

47. Écrans luminescents. — On utilise avec succès pour la réception de la télévision les phénomènes de luminescence provoqués dans un tube à vide par le bombardement électronique d'un écran recouvert de matières convenables. Nous reviendrons plus tard (nº 85) sur l'oscillographe cathodique qui permet une exploration très rapide sans intermédiaires mécaniques ; disons seulement maintenant que, du point de vue lumineux, le procédé est très avantageux.

Quand la luminescence est utilisée pour les mesures dans les oscillographes, on a recours à des matières telles que le tungstate de calcium dont la durée d'excitation est aussi faible que possible et dont l'efficacité photographique est intense. Ces matières donnent un rayonnement riche en rayons bleus et violets assez impropre à la vision directe, l'œil étant surtout sensible au vert et au

jaune. Pour éviter cet inconvénient en télévision, on utilise des corps fournissant directement les couleurs voulues ou les produisant par effet secondaire ; ce résultat est obtenu, par exemple, en ajoutant une petite quantité de silicate de zinc au tungstate de calcium, ou en plaçant tout près de la couche de ce dernie une couche transparente d'un corps dont la phosphorescence est verte ou jaune, et qui se trouve excité par le rayonnement fortement actinique de la première couche[1].

La durée du phénomène est susceptible de jouer un rôle très important ; l'illumination par la tache d'exploration d'un point d'une image qui comporte N points d'image ne dure en effet que pendant un $N^{ième}$ du temps : s'il était possible d'utiliser un écran qui resterait illuminé par phosphorescence dans l'intervalle de deux illuminations successives on réaliserait donc un bénéfice considérable ; les recherches sont orientées de ce côté.

II. — *ÉCLAIREMENTS ET BRILLANCES*

43. Éclairement des écrans. — Pour apprécier les possibilités offertes par les sources lumineuses, il est nécessaire de connaitre les éclairements des écrans de projection auxquels nous sommes accoutumés, ainsi que les limites inférieures acceptables pour ces éclairements.

On sait que l'éclairement d'une surface, exprimé en lux, est le flux lumineux arrivant sur un mètre carré de cette surface. Dans les meilleures conditions, l'éclairement d'un écran de cinéma est de 200 lux ; 40 lux représentent un bon éclairement moyen et celui des appareils de chambre

1. On peut même penser à employer ces effets de phosphorescence avec les autres systèmes d'exploration (disque de Nipkow, tambour de Weiller, etc...) en utilisant des sources riches en rayons ultra-violets ; il est alors naturellement nécessaire de n'utiliser que des glaces ou lentilles transparentes à ces rayons.

est de 8 lux. D'autre part les images sont encore acceptables avec 1,5 lux et les objets qu'elles représentent sont reconnaissables avec 0,3 lux [41].

Ajoutons à titre de comparaison que, par atmosphère pure, la Lune près du zénith fournit sur une surface horizontale un éclairement de 0,2 lux.

49. Brillance des images. — On désigne sous le nom de brillance d'une image l'impression lumineuse qu'elle provoque sur l'œil. La brillance d'une surface rayonnante dans une direction déterminée est l'intensité lumineuse produite par un centimètre carré de cette surface dans cette direction ; elle est exprimée en bougies par centimètre carré.

Un écran lumineux peut être considéré comme une surface rayonnante et le spectateur se trouvant dans le voisinage de la normale à l'écran, nous chercherons sa brillance dans cette direction. En admettant que la lumière diffusée par un écran suive la loi de Lambert, ce qui est assez voisin de la réalité, la relation suivante relie l'éclairement E et la brillance B_n dans la direction normale :

$$(1) \qquad B_n = \frac{\rho}{10\,000\,\pi} E,$$

ρ désignant le facteur de réflexion diffuse que l'on peut prendre égal à 0,8 dans le cas actuel.

En remplaçant l'éclairement d'un écran par sa brillance, nous allons pouvoir facilement comparer les impressions lumineuses produites par les images de télévision, provenant de l'observation directe d'une source, avec celles qui résultent de projections sur un écran. Pour faire cette comparaison, il faudra toutefois tenir compte de ce que la source lumineuse de la télévision n'est vue en un point donné que pendant un $N^{ième}$ du temps, N étant le nombre de points d'image. Nous distinguerons

alors entre la brillance *réelle* B_r de la source, celle dont on aurait l'impression si on la regardait au repos, sans aucun intermédiaire, et sa brillance *apparente* B_a qui résulte de son observation dans les conditions où elle donne lieu aux images. D'après ce qui précède, B_a serait égal à $\frac{B_r}{N}$, mais Thun a fait remarquer que l'on peut parfois percevoir des détails dont la surface est égale au quart de celle de la tache d'exploration [41]; en admettant que toute la lumière de la tache est concentrée sur un tel détail et en tenant compte des pertes de lumière sur le chemin optique, on peut écrire que, dans les meilleures conditions :

$$B_a = B_r \frac{3,4}{N}. \qquad (2)$$

On peut alors former le tableau I [1], valable à titre d'approximation, pour l'emploi du disque de Nipkow.

TABLEAU I

Brillance réelle en b /cm² que doit avoir une lampe placée derrière un disque de Nipkow pour produire la même impression lumineuse que l'éclairement E en lux d'un écran.

E \ N	1 200	5 000	15 000	40 000
1,5	0,013	0,056	0,17	0,45
8	0,075	0,30	0,89	2,4
50	0,36	1,5	4,5	11,9

1. Les valeurs numériques qui ont servi de base dans ce chapitre sont empruntées à l'ouvrage de Schröter. L'unité d'intensité lumineuse qu'il emploie est la « Hefnerkerze » qui vaut les 9/10 de la bougie internationale ; nous avons conservé cette unité, les nombres que nous indiquons n'ayant l'intérêt que de valeurs approchées.

50. Images projetées. — Considérons maintenant une surface lumineuse plane de brillance apparente B_a, projetons-la sur un écran avec un agrandissement linéaire m

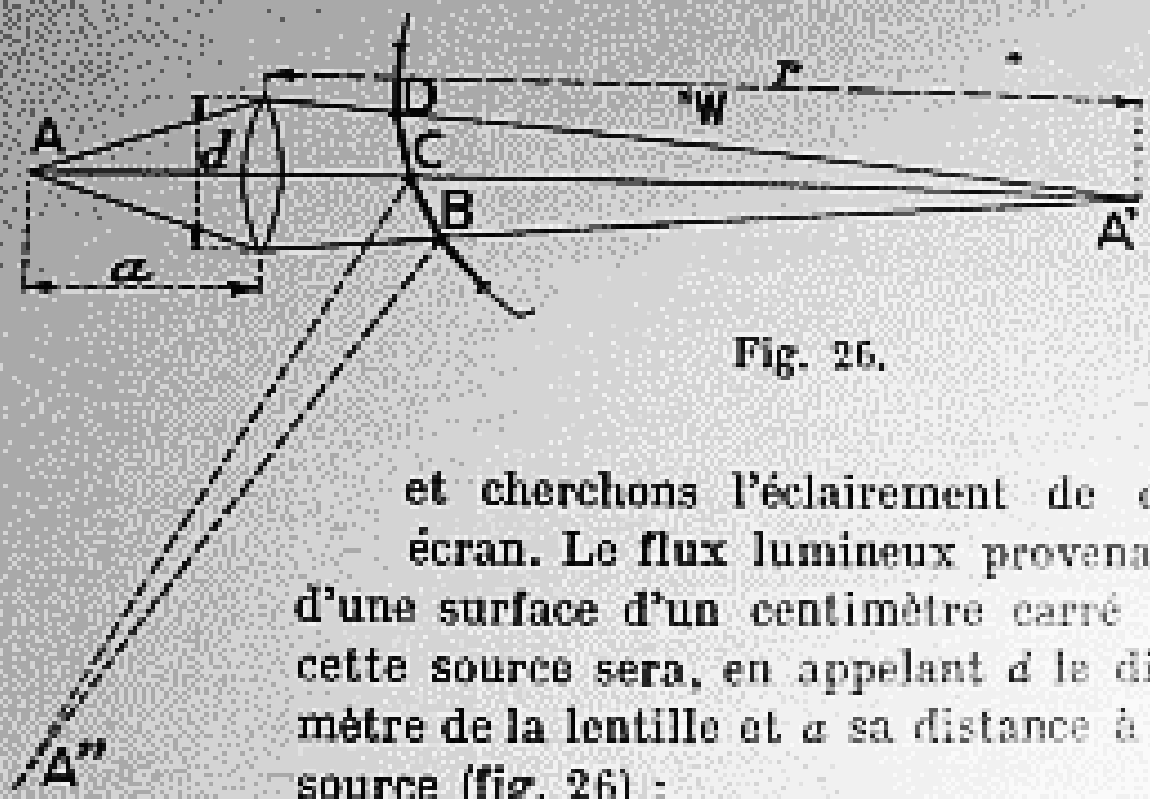

Fig. 26.

et cherchons l'éclairement de cet écran. Le flux lumineux provenant d'une surface d'un centimètre carré de cette source sera, en appelant d le diamètre de la lentille et a sa distance à la source (fig. 26) :

$$\Phi = B_a \frac{\pi d^2}{4a^2}.$$

Ce flux, multiplié par 0,8 pour tenir compte de la perte de lumière dans la lentille de projection, se répartira sur une surface de m^2 centimètres carrés et l'éclairement de l'écran en lux sera :

$$E = 10\,000\ B_a \frac{\pi d^2}{4a^2 m^2} \cdot 0{,}8.$$

Si f est la distance focale de la lentille et r sa distance à l'écran, on aura :

$$m = \frac{r}{a} = \frac{r}{f} - 1,$$

d'où :

$$B_a = \frac{4 \cdot 10^{-4}}{\pi \cdot 0{,}8} \left(\frac{f}{d}\right)^2 (m+1)^2 E$$

puis, d'après la formule 2 :

$$B_r = 4{,}7 \cdot 10^{-5} \left(\frac{f}{d}\right)^2 (m+1)^2 NE. \quad (3)$$

Le tableau II est calculé par cette formule en prenant pour le rapport $\frac{f}{d}$ la valeur 1,2 qui représente à peu près le minimum possible :

TABLEAU II

Brillance réelle en b/cm² d'une source à grande surface pouvant donner sur un écran une image d'éclairement E en lux, agrandie linéairement dans le rapport m ; $\left(\frac{f}{d} = 1{,}2\right)$.

	E \ m	2	5	10	20
N = 1 200	1,5	1,9	4,3	14,8	54
	8	10	22	80	290
	40	50	112	400	1 440
N = 5 000	1,5	7,8	17	61	225
	8	41	93	330	1 200
	40	205	460	610	6 000

51. Brillance de la source avec le tambour de Weiller. — On trouvera au numéro 75 la description du système de Weiller ; la formule 3 ci-dessus est applicable à ce cas avec les modifications suivantes :

On prendra pour m^2 la valeur du rapport de la surface de la tache d'exploration à celle de la source, limitée au besoin par un diaphragme ; la dimension de l'image projetée sera égale au produit de l'aire ε^2 de la tache d'exploration par le nombre N des points d'image.

D'autre part nous ne tiendrons pas compte de la remarque de Thun et la brillance apparente de l'image sera obtenue en divisant la brillance réelle de la source par N au lieu de $\frac{N}{3{,}4}$.

Enfin, le flux issu de la source n'est pas entièrement utilisé car il doit recouvrir deux miroirs voisins représentés en BCD sur la figure 26 ; il n'y a guère qu'un tiers de ce flux qui serve à l'éclairement de la projection. Tenant compte de ces modifications, la formule à appliquer sera la suivante :

$$(3') \qquad B_r = 4{,}7 \cdot 10^{-4} \left(\frac{f}{d}\right)^2 (m+1)^2 \, N \cdot E.$$

Dans ce système, que l'on parte directement d'une source ponctuelle ou que l'on utilise une cellule de Kerr, le faisceau lumineux utilisable est assez étroit et cela conduit à l'emploi de lentilles d'ouverture plus petite ; le rapport f/d peut monter jusqu'à 4.

Si on utilise un arc et une cellule de Kerr, il faut prendre comme source dans l'application de cette formule la surface lumineuse limitée par le diaphragme placé près de la cellule (fig. 50, p. 110) ; c'est à partir de cette surface que l'on déterminera l'agrandissement m. En outre, la passage du faisceau lumineux à travers la cellule et le système optique cause une perte de lumière pouvant s'élever à 8/10 ; il faut donc encore multiplier le résultat obtenu par un nombre voisin de 5. Les brillances réelles auxquelles on sera conduit pour l'arc seront donc de 20 à 550 fois plus élevées que celles du tableau II.

Supposons par exemple que l'on désire obtenir une projection de 50 × 50 cm, contenant 2 500 points d'image, et qu'on utilise un rapport $\frac{f}{d} = 3{,}5$. La surface du point d'image sera de 1 cm² et si le diaphragme est un carré de 2,5 mm de côté, m sera égal à 4. L'expression 3', multipliée par 5, montre que pour obtenir un éclairement de 8 lux, il faudra une source de 14 400 bougies par cm².

52. Brillance réelle des sources. — Nous donnons dans le tableau III la brillance réelle des sources que nous

avons étudiées dans ce chapitre et des lampes usuelles à incandescence ou à arc ; elles sont relatives au courant maximum que puissent supporter ces lampes en service.

La lampe à colonne positive en serpentin, décrite au numéro 44, est faite d'un tube dont le diamètre intérieur a 2,4 mm ; l'intensité lumineuse totale d'un centimètre de ce tube est de 1,35 bougie. Les deux valeurs inscrites pour une source ponctuelle utilisant la colonne positive sont relatives aux deux types mentionnés au numéro 45.

Tableau III

Brillance réelle en b/cm² de quelques sources lumineuses.

TYPE DE LA SOURCE	INTENSITÉ lumineuse totale (bougie)	BRILLANCE réelle	WATTS par bougie
Lampes à grande surface.			
Lueur cathodique	0,68	0,017	6,5
Colonne positive en serpentin.....		5,6	0,75
Colonne positive au sodium	126	10	0,08
Sources ponctuelles			
Lueur cathodique	0,11	1,6	30
Colonne positive	1,5	48	10
Lampes à incandescence ...		600	
Lampes pointolite		200 à 1 800	
Lampes à arc ordinaires ...		2 000 à 3 000	
Écran d'oscillographe		18 000	
		40 à 200	

53. Conclusions. — Des tableaux qui précèdent et des commentaires qui les accompagnent, découlent les conclusions suivantes :

a. Les lampes à grande surface employées avec le disque de Nipkow peuvent fournir des images dont l'éclairement

est de quelques lux ; mais il est difficile de dépasser le nombre de points de 2 500. Ces images ne sont pas susceptibles d'agrandissement sur écran en conservant un éclairement admissible ; elles ont donc en général des dimensions de 4 à 5 cm.

b. Le tambour de Weiller, permettant l'emploi de sources puissantes telles que l'arc ou les lampes à gaz ponctuelles, peut fournir des images agrandies ; nous avons examiné l'exemple d'une image de 50 × 50 cm, obtenue avec un éclairement de 8 lux et contenant 2 500 points d'image (n° 51).

c. L'oscillographe cathodique peut supporter un agrandissement important, de 8 à 10 par exemple, tout en conservant l'éclairement de 8 lux. Comme l'image faite sur le tube lui-même est d'un décimètre carré environ, on peut arriver à des reproductions de l'ordre du mètre carré contenant 5 000 points. Le procédé d'exploration à vitesse variable que nous étudierons au numéro 95 permettrait de multiplier par 5 l'éclairement, toutes choses égales d'ailleurs. Enfin, les progrès faits dans la conservation de la luminescence dans l'intervalle des explorations successives peuvent donner lieu à des progrès considérables dans cette voie.

Pour permettre de juger correctement ces résultats, rappelons que nous avons montré au n° 30 que la reproduction d'une petite scène devrait comporter 40 000 points d'image.

CHAPITRE V

APPAREILS D'ÉMISSION ET DE RÉCEPTION PHOTOTÉLÉGRAPHIQUES

I. — *ÉMISSION* [1]

54. Exploration photoélectrique. — Le principe d'exploration décrit au numéro 4 est commun à tous les systèmes, mais il existe des variantes de réalisation.

C'est ainsi que dans le système Marconi le cylindre est fixe et le document à transmettre est placé à son intérieur ; le faisceau convenablement guidé par un système optique pénètre dans le cylindre le long de son axe, puis y rencontre un miroir incliné à 45° qui le renvoie normalement à la surface du cylindre. C'est ce miroir qui a un mouvement hélicoïdal assurant l'exploration. La lumière diffusée par réflexion par le point éclairé suit un chemin inverse.

Dans les appareils Telefunken-Karolus-Siemens le cylindre n'a qu'un mouvement de rotation, la cellule et le faisceau lumineux ont un mouvement de translation (fig. 27)[2]. Les « Bell Laboratories » utilisent un cylindre

1. On trouvera encore au chapitre IX des dispositions spéciales aux transmissions radioélectriques.

2. Sur cette figure se trouvent deux cellules ; c'est la cellule intérieure qui reçoit le flux lumineux provenant du document, on verra au numéro 57 le rôle de la cellule de compensation.

en verre et un document négatif sur film ; le faisceau lumineux vient de l'extérieur et la cellule est à l'intérieur.

Pour obtenir la fréquence auxiliaire porteuse, on peut remplacer le disque rupteur de lumière par une alimentation de la cellule en alternatif ; on utilise alors un montage en pont pour supprimer toute variation de potentiel

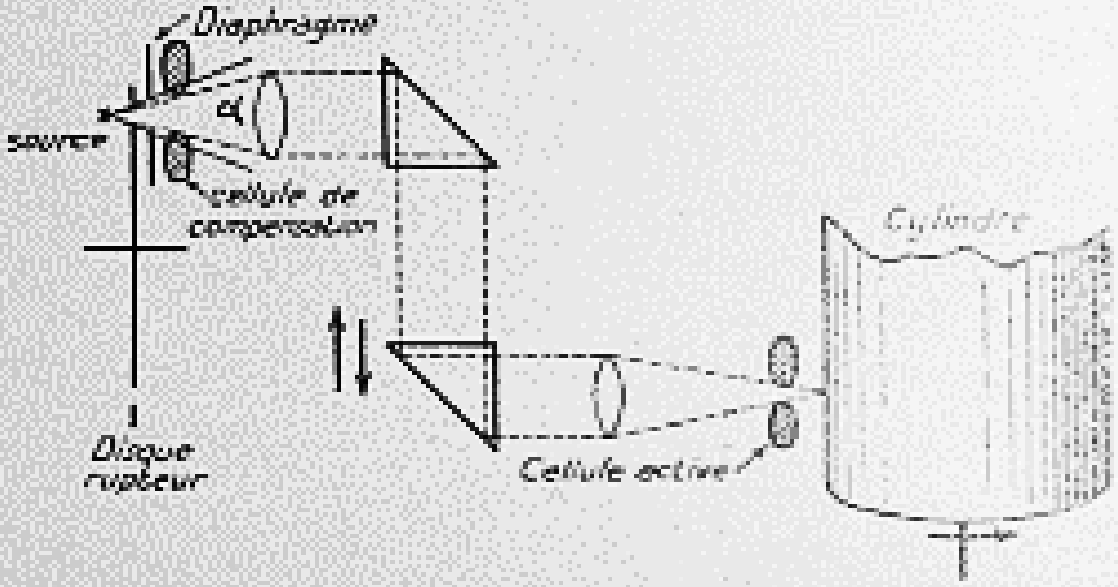

Fig. 27. — EXPLORATION PHOTOTÉLÉGRAPHIQUE DES APPAREILS SIEMENS ET CELLULE DE COMPENSATION.

Le cylindre a un simple mouvement de rotation et la cellule intérieure un mouvement de translation. La cellule de compensation permet l'inversion des épreuves (n° 57).

aux bornes de l'amplificateur quand la cellule n'est pas éclairée. Ce système, délicat à régler, est peu répandu et tend à disparaître.

55. Accroissement du rendement lumineux. — Pour utiliser dans les meilleures conditions la lumière diffusée par le point éclairé du document, on a imaginé divers procédés :

Dans les appareils Siemens, la cellule photoélectrique a la forme d'un tore et est placée au contact du cylindre (fig. 27) : le faisceau d'éclairage arrive par la partie cen-

trale et la lumière diffusée par le papier est reçue par la cellule dans un angle solide très étendu.

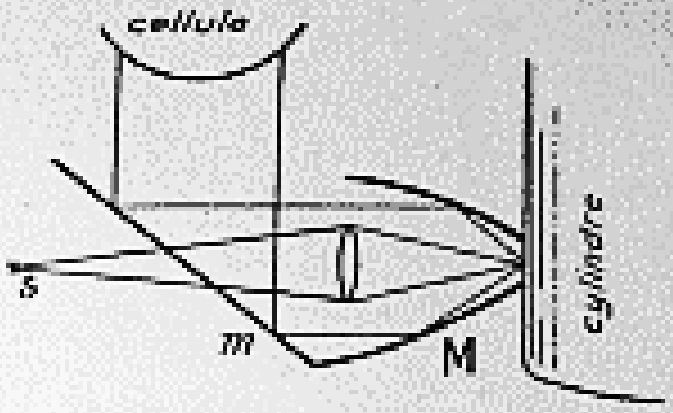

Fig. 28. — RÉFLECTEUR PARABOLIQUE POUR AUGMENTER LE RENDEMENT LUMINEUX.

Le miroir en forme d'ellipsoïde, employé par la Westinghouse et représenté par la figure 28 [51], permet d'arriver au même résultat.

Ces dispositifs, très avantageux avec les cellules à faible rendement dont on disposait voici quelques années, semblent perdre de leur importance avec l'accroissement considérable de la sensibilité des cellules actuelles.

56. Forme des ouvertures du disque rupteur. — Il y a intérêt à ce que les ouvertures percées dans le disque rupteur et dans le diaphragme devant lequel il tourne donnent lieu à un flux lumineux à variation sinusoïdale pour éviter la présence des harmoniques dans le courant qui en résulte ; celui-ci peut en effet être considéré comme un courant porteur modulé par les variations de teinte du document. Un calcul simple permet de tracer la courbe de variation du flux dans le cas où l'une des ouvertures est carrée et l'autre circulaire ou bien dans celui où elles sont toutes deux circulaires. Si les diamètres des trous sont égaux ou que le côté du carré soit égal à celui du cercle, on constate que la variation est presque sinusoïdale. D'ailleurs, f_r étant la fréquence de rupture, nous avons vu que la bande de fréquence utile à la transmission était comprise entre les limites $f_r \pm 1/2 \cdot f_r$ (nos 16 et 22) : dans ces conditions le premier harmonique $2f_r$ se trouve en dehors de cette bande.

57. Inversion des documents à l'émission. — Il est intéressant d'obtenir à la réception des documents positifs ou négatifs à volonté : c'est le cas par exemple quand ces documents sont destinés ou non à être reproduits en plusieurs exemplaires. Ce résultat s'obtient souvent au moyen des dispositifs de réception, mais il peut être nécessaire de réaliser l'inversion à l'émission : c'est le cas pour les appareils Siemens. On emploie alors deux cellules (fig. 27) dont l'une est montée comme nous l'avons indiqué jusqu'ici, elle reçoit les impressions lumineuses variables provenant du document. La seconde cellule, dite de compensation, est éclairée par la même lumière ruptée, un diaphragme permettant de faire varier à volonté le flux lumineux α qui l'atteint. Ces deux cellules sont montées en pont, conformément à la figure 29, ce qui permet d'opposer leurs actions ; en réglant le flux reçu par la cellule de compensation on peut faire en sorte que la tension aux bornes de l'amplificateur soit nulle quand le document présente un blanc parfait ; dans ces conditions, ce sont les noirs qui donneront lieu aux tensions les plus élevées sur l'amplificateur.

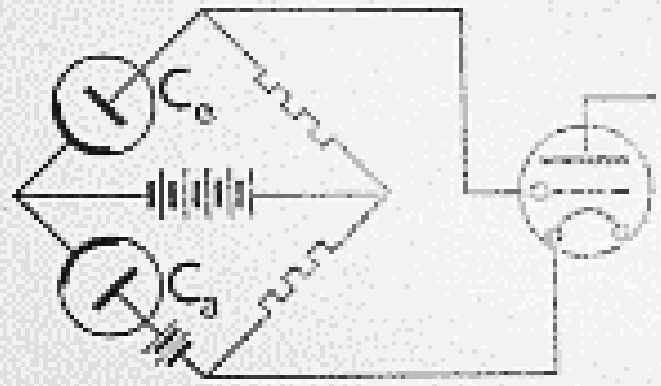

Fig. 29. — Montage de deux cellules pour inversion des épreuves à l'émission.

58. Appareils continus. — Les appareils à cylindre que nous avons décrits sont de beaucoup les plus employés actuellement, mais ils ont l'inconvénient d'exiger l'arrêt du fonctionnement après la transmission d'un document pour remplacer ce dernier par un autre sur le cylindre. Au cas d'un trafic très important il y aurait là une perte

de temps entrant en compte dans l'établissement des tarifs, aussi a-t-on imaginé des systèmes à fonctionnement continu dans lesquels les documents à transmettre sont reproduits sur une feuille de papier ou un film de grande longueur dont les différentes parties défilent sans arrêt devant le faisceau d'exploration. Il existe un grand nombre de ces systèmes, nous donnerons seulement l'exemple représenté schématiquement par la figure 30 et imaginé par Alexanderson ; on trouvera la description de la plupart des autres procédés dans l'ouvrage de Schröter.

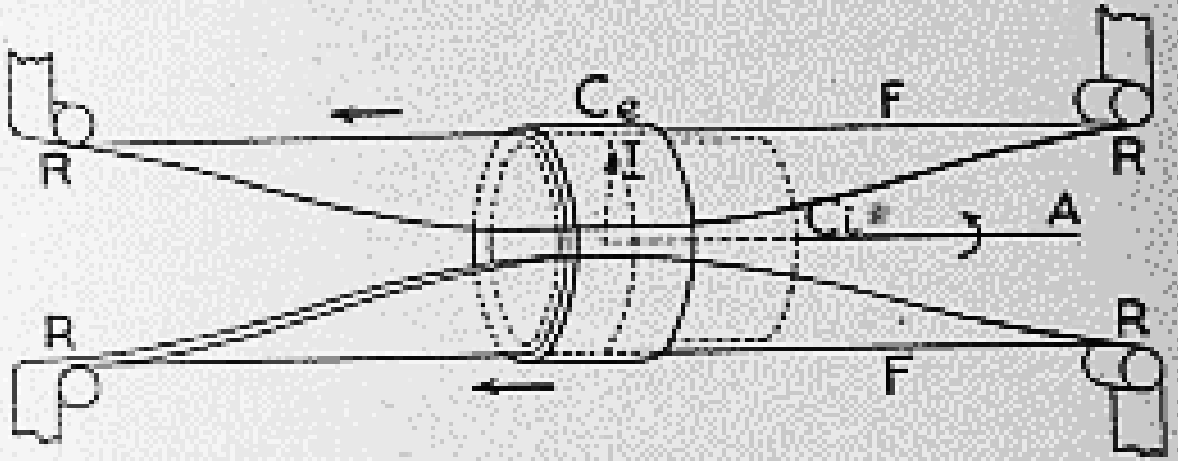

Fig. 30. — APPAREIL A DÉROULEMENT CONTINU.

La bande, guidée par des rouleaux R, vient s'introduire entre deux cylindres fixes C_i et C_e. Le cylindre intérieur est fendu suivant une section droite qui permet à un faisceau lumineux amené par un système optique convenable d'éclairer une région de la bande ; la lumière diffusée est recueillie par le système optique AI animé d'un mouvement de rotation. Comme il serait difficile de courber la bande sur tout le pourtour du cylindre, on en profite pour amener en même temps deux bandes et transmettre simultanément deux images.

59. Exploration mécanique ou électrochimique. — Pour transmettre des dessins au trait ou de l'écriture, on peut les tracer avec une encre en relief ou conductrice et utiliser

le passage d'un stylet léger sur ces encres pour ouvrir ou fermer un circuit.

On obtient l'écriture en relief, système Belin, en écrivant sur une feuille de papier ordinaire avec une encre à dessiccation lente ; l'écriture est ensuite saupoudrée de gomme laque en poudre fine, qui s'attache aux parties encrées. On secoue la feuille pour enlever l'excès de poudre et on la passe sur une surface chauffée ; en une ou deux minutes la gomme laque fond. La feuille est alors écartée du chauffeur, la gomme laque reprend sa consistance et forme un relief de quelques dixièmes de millimètres.

L'encre en relief peut être remplacée par une encre conductrice formée d'un acide additionné d'eau et d'une matière colorante. Le cylindre étant métallique, le courant d'une source quelconque passera ou non suivant que le stylet, métallique lui aussi, se trouvera ou non sur une partie encrée, si l'on a compris cylindre et stylet dans le circuit de la source.

On peut enfin écrire avec une encre isolante sur un papier recouvert d'une mince feuille d'aluminium.

II. — *RÉCEPTION PHOTOGRAPHIQUE*

60. Commande directe de la source. — C'est le procédé indiqué au numéro 7 et qui se passe de tout commentaire après les indications données au chapitre 4 sur les lampes à gaz. Ce procédé est utilisé par la Westinghouse [51].

61. Emploi de l'oscillographe, procédé Belin. — Le courant reçu est envoyé après amplification et redressement dans un oscillographe (type Dubois) dont le miroir est représenté en M sur la figure 31 ; il s'agit de traduire en variations de lumière les variations d'inclinaison de ce miroir.

A cet effet, une source S envoie sur le miroir un faisceau

lumineux à travers une lentille L_1 qui forme l'image de S sur le miroir : un diaphragme D donne à ce faisceau la forme d'un rectangle allongé. Le faisceau réfléchi MP traverse une seconde lentille L_2 donnant une image de M dans le plan d'un nouveau diaphragme *d*, d'ouverture très petite et réglable. Enfin l'image du diaphragme vient

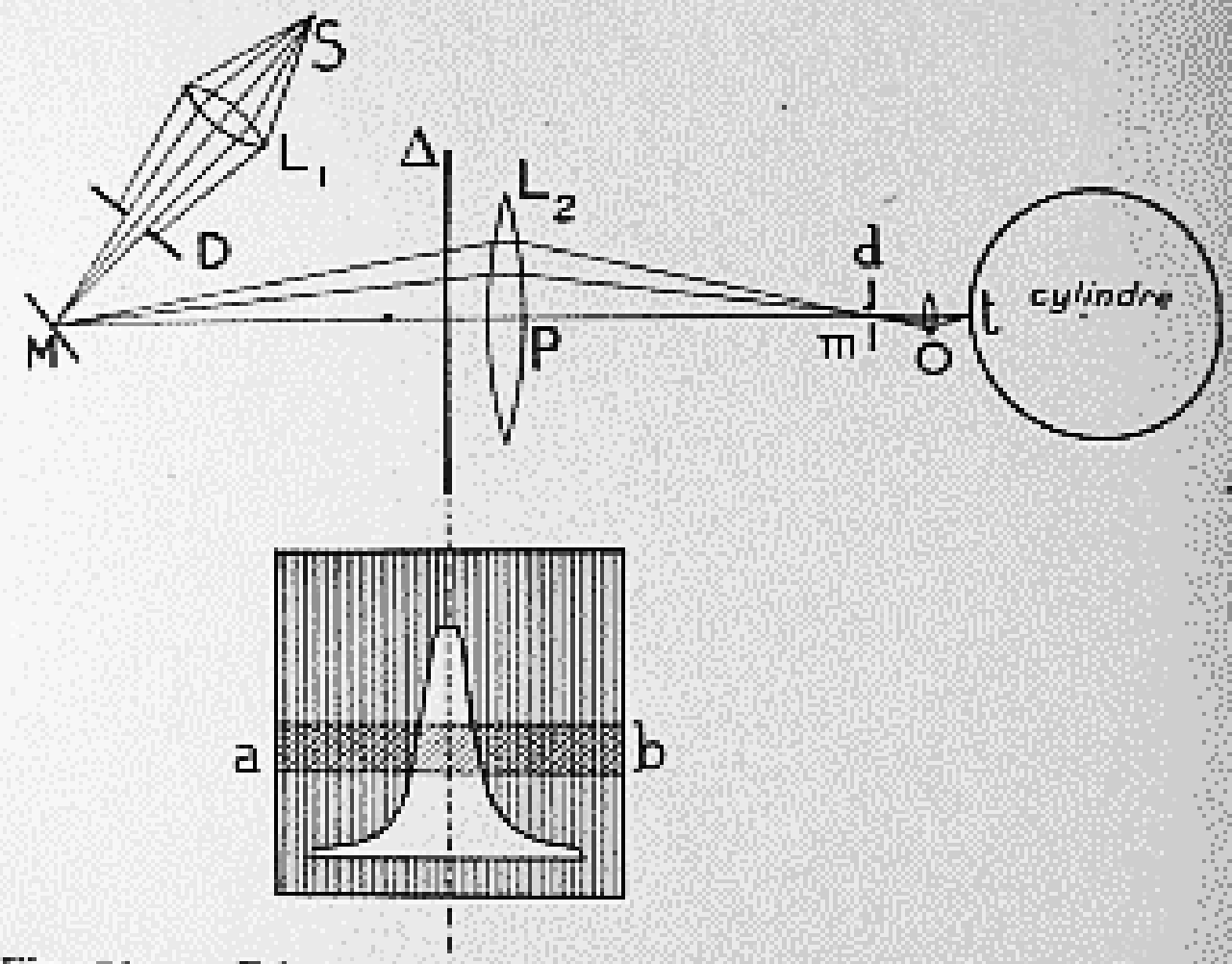

Fig. 31. — RÉCEPTION PHOTOTÉLÉGRAPHIQUE SYSTÈME BELIN.

se former, grâce au micro-objectif O, sur la surface du papier sensible en *t*.

Dans ces conditions, quelle que soit l'inclinaison du miroir, l'image de la source S se fera au point *t*. Pour en varier l'éclat suivant l'intensité du courant on place devant la lentille L_2 un troisième diaphragme Δ que nous avons rabattu en dessous de sa position pour montrer la forme de son ouverture. La section du faisceau est représentée sur ce rabattement en *ab* et l'on voit que la quan-

tité de lumière qui passera variera avec l'inclinaison du miroir. On détermine la courbe de ce diaphragme de façon à faire correspondre la lumière reçue en t à l'éclairement du point correspondant de l'original. Il y a là une facilité et une souplesse de modulation que ne possède aucun autre système et qui permet de fixer à volonté les tonalités des images reçues.

Le diaphragme d est réglé par une vis micrométrique pour que l'on puisse donner à la tache d'exploration une largeur exactement égale à l'intervalle entre les axes des deux bandes consécutives de la trame, ou une valeur très voisine.

On remarquera que ce procédé permet de réaliser l'inversion des images avec la plus grande facilité ; pour passer d'un positif à un négatif, il suffit de retourner le diaphragme Δ.

62. Emploi du galvanomètre à corde, procédé Korn [33]. — Le galvanomètre à corde comporte deux fortes masses

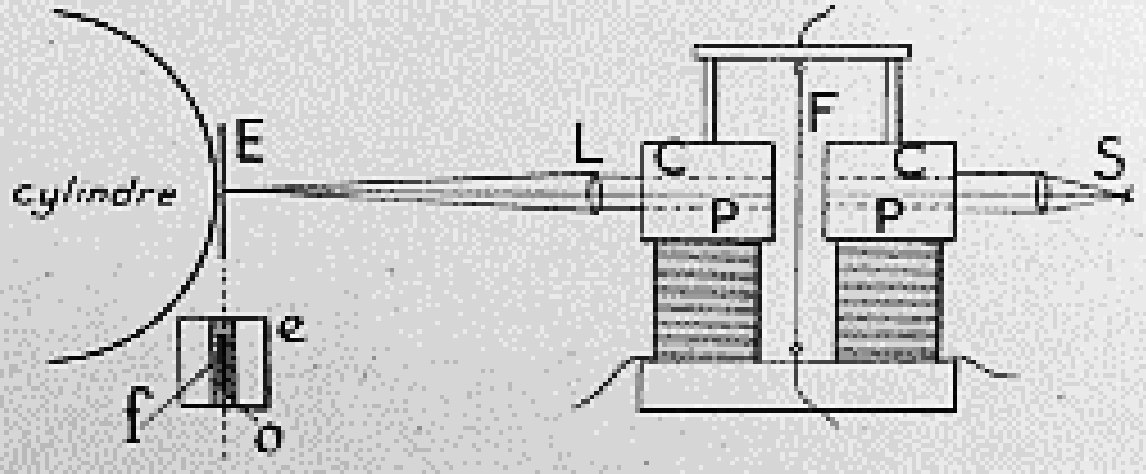

Fig. 32. — RÉCEPTION PHOTOTÉLÉGRAPHIQUE, SYSTÈME KORN, AVEC GALVANOMÈTRE A CORDE.

polaires P (fig. 32) entre lesquelles est tendu un fil très fin, en argent dans les appareils Korn. Se trouvant dans un champ magnétique puissant, ce fil se déplace perpendicu-

lairement au plan de la figure quand il est parcouru par un courant de quelques milliampères ; on y fait passer le courant reçu, amplifié et redressé. Les masses polaires sont percées d'un canal C au milieu duquel le fil se présente. Une source S éclaire fortement l'intérieur de ce canal et une lentille L projette l'ombre agrandie du fil sur un écran E, rabattu en *e* et percé d'une fente très étroite *f*. Quand aucun courant ne passe, l'ombre O du fil couvre la fente : le passage d'un courant dans F la découvre et le papier sensible, enroulé sur le cylindre, se trouve impressionné. L'ombre O est nettement plus large que la fente de façon à empêcher les signaux de synchronisme, superposés aux signaux d'image, d'impressionner le papier ; nous reviendrons sur cette question au numéro 110.

Les dispositions que nous venons de décrire donnent normalement des épreuves négatives ; mais on voit sans peine qu'on obtiendra des positifs en déplaçant l'ombre du fil de façon à démasquer la fente en l'absence de courant.

L'oscillographe du numéro précédent et le galvanomètre à corde doivent avoir une fréquence propre d'oscillation nettement plus élevée que la fréquence porteuse ou de rupture de la lumière pour éviter les petites oscillations qui se produiraient au moment des passages brusques du noir au blanc et inversement. Ils sont en outre amortis intentionnellement dans le même but : pour le galvanomètre à corde on installe une résistance en parallèle avec son fil, pour l'oscillographe on fait baigner dans une huile épaisse une palette liée à l'équipage mobile.

Les Bell Laboratories emploient un dispositif analogue à celui de Korn [12].

63. Différences dans la constitution élémentaire des images Belin et Korn. — La constitution élémentaire des images obtenues par le procédé Korn diffère essentiel-

lement de celle à laquelle donnent lieu le procédé Belin et le procédé Karolus que nous allons étudier au numéro suivant. Dans le premier cas les variations de teinte résultent de l'épaisseur plus ou moins grande des noirs produits par le déplacement du fil dans une même ligne d'exploration ; une bande blanche O de l'original (fig. 33) sera représentée comme en K, l'irrégularité des régions noircies provenant de la mise en train des oscillations du courant porteur et de leur arrêt progressif ; un gris donnerait lieu à l'apparence reproduite en K'.

Avec le procédé Belin au contraire, toute la largeur de la bande est éclairée au même instant et c'est l'intensité de la lumière sur toute cette largeur qui varie ; on aura les apparences B et B'[1].

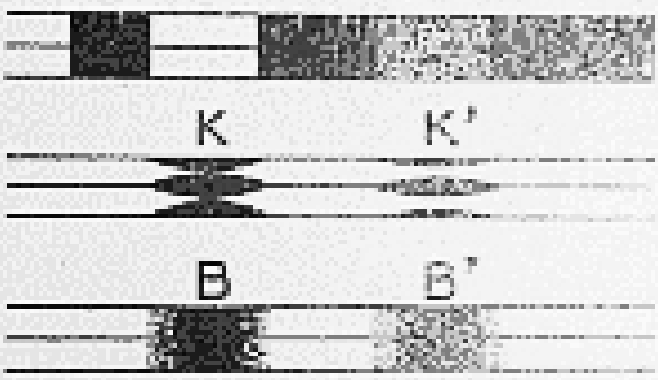

Fig. 33. — Inscriptions par le procédé Korn (K, K') et Belin (B, B').

Il résulte de ces considérations que les images reçues par le procédé Belin seront à teintes fondues comme une photographie ordinaire, à l'exception des lignes de démarcation entre les bandes voisines, généralement visibles à la loupe. Les réceptions Korn, au contraire, se présenteront sous un aspect analogue aux illustrations typographiques, formées de points discrets.

Cette constitution offre l'avantage de permettre une reproduction typographique directe sans l'intermédiaire de la trame utilisée pour les photographies ordinaires,

1. En réalité il existera le plus souvent un lignage apparent dans un très fort agrandissement et provenant de ce que l'impression photographique est un peu plus forte sur la ligne de séparation de deux bandes d'exploration consécutives, mais ce lignage sera uniforme.

mais elle rend l'agrandissement à peu près impossible. Les images à teinte fondue supportent au contraire des agrandissements importants.

64. Emploi de la cellule de Kerr, procédé Karolus. — On sait qu'un champ magnétique ou électrique provoque dans certaines conditions des modifications des vibrations lumineuses : rotation du plan de polarisation ou double réfraction ; l'un de ces effets s'est montré propre à la modulation de la lumière par des influences électriques, c'est celui connu sous le nom de phénomène de Kerr ; il

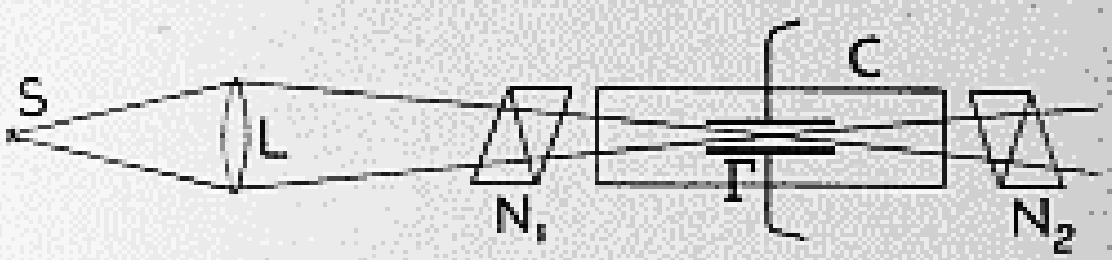

Fig. 34. — Cellule de Kerr.

consiste dans la double réfraction qui prend naissance dans certains liquides sous l'influence d'un champ électrique ; après plusieurs essais infructueux faits de divers côtés, Karolus est parvenu à utiliser régulièrement cet effet pour la photélégraphie.

Considérons une cuve C (fig. 34) remplie d'un liquide convenable et fermée sur ses côtés par des glaces ; introduisons-y un condensateur Γ entre les lames duquel nous ferons passer un faisceau lumineux. A l'entrée de ce faisceau plaçons un nicol qui polarise la lumière dans un plan faisant un angle de 45° avec la normale aux lames du condensateur, et à la sortie un autre nicol à 90° du précédent. Aucune lumière ne passe au delà de ce dernier nicol si le condensateur n'est pas chargé, mais dès que l'on applique une tension suffisamment élevée à ses bornes la lumière apparaît, d'autant plus intense que le champ produit est plus fort.

L'explication de ce phénomène est la suivante : le liquide étant devenu biréfringent, les vibrations lumineuses horizontales et verticales s'y propagent avec des vitesses différentes ; or la lumière qui sort du nicol N étant polarisée à 45° de la verticale, on peut décomposer ses vibrations en deux, les unes verticales, les autres horizontales. En quittant la région comprise entre les lames du condensateur, ces deux composantes ne seront plus en phase et la lumière sera polarisée elliptiquement ; une partie du faisceau pourra alors traverser le second nicol. Si l'on désigne par φ la différence de phase, par Φ_0 le flux lumineux provenant de la source et par Φ celui qui est reçu à la sortie de l'appareil, on a la relation :

$$\Phi = 1/4\ \Phi_0 (1 - \cos\varphi), \tag{1}$$

L'expérience montre que

$$\varphi = B\, l\, E^2,$$

E étant le champ électrique appliqué et l la longueur du chemin parcouru dans ce champ ; B est une constante qui dépend de la matière employée et qui est fonction de la longueur d'onde et de la température, elle diminue quand ces deux quantités augmentent. A la température normale d'une chambre, elle vaut environ $18 \cdot 10^{-5}$ pour le nitrobenzol quand on utilise les unités électrostatiques cgs. Pour les autres corps possédant la même propriété, elle n'atteint que quelques dixièmes d'unités du même ordre, aussi le nitrobenzol est-il le seul corps auquel on fasse appel dans la pratique.

L'isolement du liquide a une grande importance pour éviter les pertes par effet Joule ; la résistivité du nitrobenzol parfaitement pur peut atteindre 10^{-10} ohms par cm^3 ; avec les produits du commerce elle peut être facilement amenée à 10^{-8} ; il arrive en effet que la mise en service du liquide a pour premier effet de l'épurer, sans doute par électrolyse : au moment où on applique sur une cellule

une tension continue assez élevée, on constate qu'elle est traversée par un courant de l'ordre du milliampère, mais au bout de quelques minutes, le courant tombe au-dessous du centième de sa valeur initiale.

L'inertie de la cellule de Kerr est inappréciable pour les plus hautes fréquences de modulation. La perte de lumière dans le passage à travers la cellule et les nicols peut atteindre 80 p. 100 en tenant compte de ce que la polarisation produite par le premier nicol supprime 50 p. 100 de l'intensité lumineuse qui l'atteint.

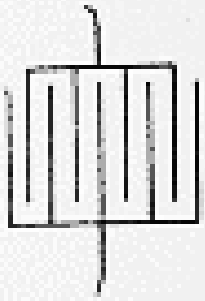

Fig. 35.

La disposition pratique la plus avantageuse pour la phototélégraphie est obtenue en constituant la cellule comme un condensateur à plusieurs lames (fig. 35) de façon à obtenir à la fois un champ intense avec une tension modérée et une section utile aussi grande que possible. Dans les appareils Siemens, la distance des lames est de 0,15 mm et leur longueur dans le sens des rayons lumineux de 4 mm, la section utile vaut environ 2 mm². La tension correspondant à l'éclairement maximum est de 970 volts et la caractéristique est linéaire entre 500 et 900 volts.

66. Variation du flux lumineux en fonction du champ. — La formule 1 montre que l'accroissement du champ électrique donne lieu à une série de maxima et de zéros du flux Φ ; on n'utilise naturellement que les variations qui précèdent le premier maximum. On peut représenter ces variations en fonction de la tension appliquée par une courbe qui convient à toutes les cellules, il suffit de prendre pour variable le quotient de cette tension V par la tension V_M qui correspond au premier maximum $\frac{\Phi_0}{2}$, c'est-à-dire à l'éclairement maximum, et pour fonction le rap-

port $\frac{\Phi}{1/2\,\Phi_0}$ des flux relatifs à V et V_M. En désignant par a la distance entre les plaques du condensateur, on a d'ailleurs immédiatement :

$$V_M = a\sqrt{\frac{\pi}{Bl}}.$$

Avec ces conventions, on obtient la caractéristique de la figure 36.

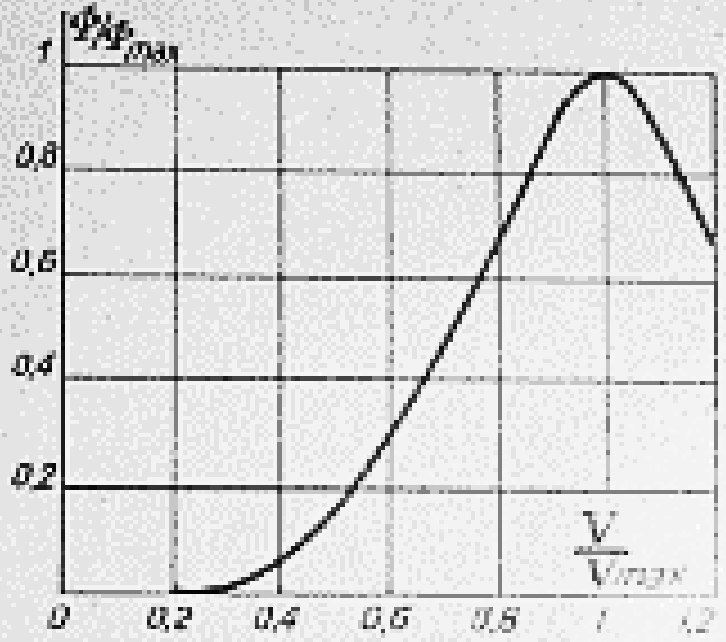

Fig. 36. — Variations du flux lumineux produites par une cellule de Kerr en fonction de la tension appliquée.

66. Montages de la cellule de Kerr. — Le montage le plus simple est celui représenté par la figure 37 ; le flux lumineux étant une quantité essentiellement positive a une valeur indépendante du sens du courant ; il est donc possible de monter la cellule sur la dernière lampe amplificatrice sans interposition de redresseur ; un transformateur de rapport convenable (1/5) élève la tension.

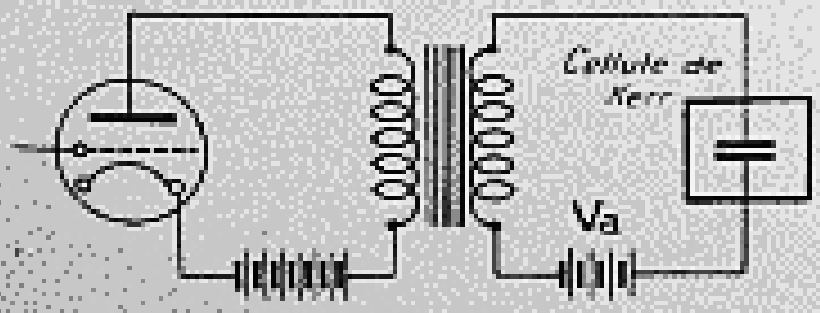

Fig. 37. — Montage d'une cellule de Kerr.

Pour tenir compte de ce que la cellule ne laisse passer de lumière que quand la tension atteint 30 p. 100 de celle qui correspond au flux maximum, on introduit une tension continue additionnelle V_a remplissant cette condition, cette tension a en outre

l'avantage de maintenir à une valeur élevée la résistivité de la cellule (n° 64).

Dans l'adaptation du circuit de la cellule à celui de la lampe amplificatrice, il ne faut pas oublier de tenir compte de la capacité de la cellule ; le nitrobenzol a en effet une constante diélectrique très élevée (36) et la petite cellule dont nous avons donné ci-dessus les dimensions représente une capacité de $165 \cdot 10^{-12}$ F.

En travaillant ainsi en alternatif, la caractéristique n'est plus celle de la figure 35 ; il faut prendre comme flux lumineux la moyenne $\frac{\omega}{2\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} \Phi \, dt$, expression dans laquelle Φ représente le flux correspondant à la tension $(V_0 + e_0 \sin \omega t)$ en désignant par e_0 l'amplitude de la tension alternative. La nouvelle caractéristique ainsi obtenue est suffisamment rectiligne dans la région utile.

On pourrait aussi travailler avec des tensions conservant toujours le même sens, il suffirait d'adopter un montage identique à celui représenté par la figure 25 pour les lampes à gaz.

Ce procédé de modulation de la lumière ne se prête pas aisément aux inversions d'images, c'est pourquoi les appareils Siemens réalisent cette inversion à l'émission (n° 57).

III. — *RÉCEPTIONS MÉCANIQUES ET ÉLECTROCHIMIQUES*

67. Procédés mécaniques. — Un premier procédé mécanique avait été imaginé par Dieckmann : en face du cylindre animé d'un mouvement hélicoïdal se trouvait un vaporisateur de très petite dimension qui projetait de l'encre sur le papier ; ce vaporisateur était commandé par une soupape mise en action par un électro-aimant. Ce procédé a aussi été employé par Ranger qui l'a rem-

placé depuis par une injection d'air chaud sur un papier spécialement préparé [27]. La température de l'air atteint 260° environ et le papier est rendu sensible à la température par immersion dans une solution aqueuse contenant 5 p. 100 de nitrate de nickel, 3 p. 100 de sulfate de soude, 3,6 p. 100 de nitrite de soude et un peu de gélatine.

68. Appareils à cylindre à réception électrochimique. — Dans ces appareils (fig. 38), le faisceau lumineux inscripteur est remplacé par un fil métallique de quelques dixièmes de millimètre de diamètre dont la pointe appuie

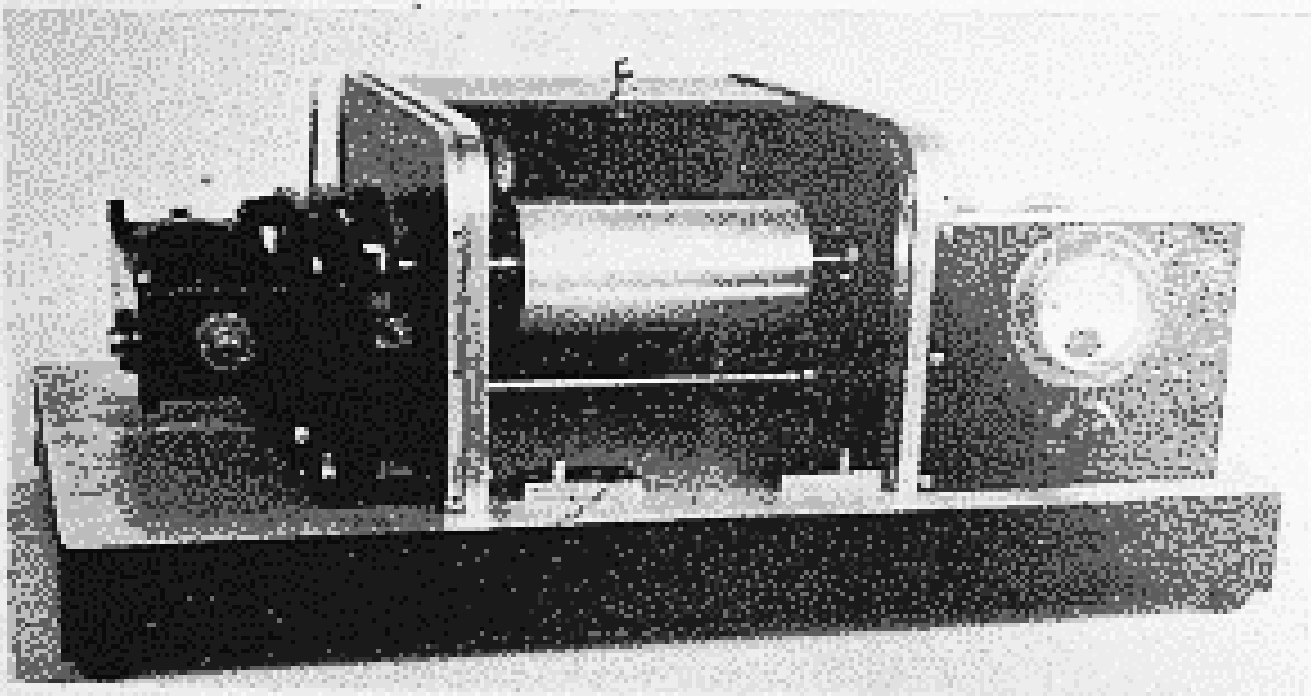

Fig. 38. — Récepteur électrochimique, système Belin.

A gauche moteur et embrayage de synchronisme ; à droite amplificateur détecteur ; à gauche et au-dessus du cylindre on voit la pièce supportant le fil explorateur.

sur la feuille enroulée sur le cylindre, préalablement trempée dans une solution susceptible d'être décomposée par le passage d'un courant. L'ensemble cylindre, papier imbibé et pointe est placé dans le circuit plaque d'une lampe détectrice faisant suite à l'amplificateur ; le courant provoque

alors des teintes d'autant plus foncées qu'il est plus intense.

69. Appareils continus à réception électrochimique. — Ce genre d'inscription, s'il est beaucoup moins précis que le procédé photographique, a l'avantage de pouvoir se faire en plein jour et de rendre les images immédiatement

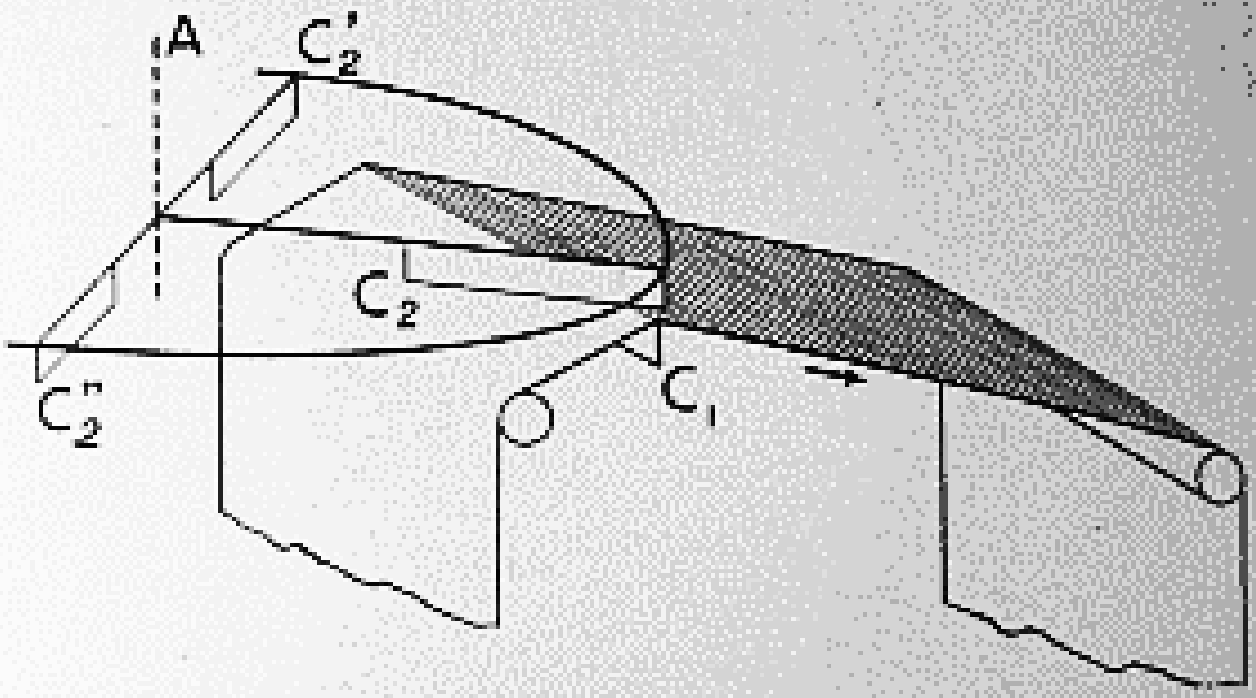

Fig. 39. — RÉCEPTEUR ÉLECTROCHIMIQUE A DÉROULEMENT CONTINU.

visibles au fur et à mesure de leur inscription. Il peut donc être utilisé pour l'inscription de nouvelles urgentes telles par exemple que les cours de bourse ; mais il devient alors indispensable d'assurer des réceptions d'assez longue durée et ininterrompues ; les appareils continus prennent une importance marquée. Voici quel est leur principe :

La bande de papier, guidée par des rouleaux et convenablement tendue, s'appuie sur un couteau métallique C_1 qui prend la place du cylindre du précédent dispositif (fig. 39). Un second couteau C_2, remplaçant le fil métallique, est posé sur l'angle formé par le papier et déplacé continûment par un mécanisme approprié. Le courant

passant de l'un des couteaux à l'autre à travers le papier, donne lieu à l'inscription.

L'entraînement du couteau C_2 a lieu de bien des manières : il peut par exemple être fixé au-dessous d'un plateau circulaire, tournant autour de l'axe A ; dans ce cas on en répartit plusieurs sur le pourtour du cercle et ils travaillent successivement. On peut encore lui donner la forme d'une hélice et le monter sur un cylindre tournant dont l'axe serait parallèle au couteau C_1 et placé exactement au-dessus ; on peut enfin, comme dans le système Belin, lui donner la forme d'une spirale tournant comme le cercle autour d'un axe vertical, placé cette fois dans le prolongement de C_1.

Naturellement les rouleaux guidant le papier l'entraînent lentement dans le sens de la flèche pour obtenir le tracé de lignes successives.

70. Produits employés pour l'inscription. — Le produit le plus anciennement employé a la composition suivante ou une composition voisine : eau 300 g, ferrocyanure de potassium 5 g, nitrate d'ammonium 100 g, glycérine 60 g ; le nitrate d'ammonium donne au papier imbibé une conductibilité convenable et le ferrocyanure produit par électrolyse la couleur du bleu de Prusse ; enfin la glycérine s'oppose à une dessiccation trop rapide. Après l'impression, un lavage à l'eau enlève la glycérine et les épreuves séchées se conservent indéfiniment. La pointe appuyant sur le papier est en fer.

En ajoutant à la solution précédente 10 grammes d'acide pyrogallique on peut obtenir des teintes variant du vert foncé à la sépia, suivant le temps pendant lequel on a laissé sécher l'épreuve avant lavage.

A côté des avantages que présente la solution précédente, il existe deux inconvénients : Tout d'abord la transformation chimique se produit aux dépens de la

pointe métallique qui s'use assez rapidement ; avec les pointes de 2 ou 3 dixièmes de millimètre que l'on doit employer pour des images comportant 4 traits au millimètre, il faut remplacer le fil après inscription d'une surface de 2 dm^2 et de teinte moyenne. Ce défaut rend le procédé difficilement applicable aux inscriptions continues ; en outre le courant doit être assez fort ; 8 à 10 mA pour une vitesse de déroulement de 15 cm/s, ce qui exige une forte amplification.

On utilise encore souvent des solutions à l'iodure de potassium donnant la teinte brune de l'iode à l'état sec ; un courant 6 à 8 fois plus faible que dans le cas précédent suffit, mais les épreuves s'effacent assez rapidement. On atténue ce défaut par une addition d'iodure de cadmium ; voici la solution qui convient : eau 100 g, iodure de zinc 10 g, iodure de cadmium 5 g, iodure de potassium 15 g.

Les papiers utilisés doivent être aussi purs que possible pour éviter des réactions qui les tacheraient. Une fois imbibés, leur résistance dans les conditions d'emploi est de l'ordre de 1 000 ohms.

Avec une solution au nitrate d'argent, on obtient des papiers sensibles à quelques centièmes de mA, ce qui peut rendre des services importants pour certaines applications, mais l'image n'apparaît pas directement et doit être développée comme les papiers photographiques.

CHAPITRE VI

APPAREILS D'ÉMISSION ET DE RÉCEPTION DE TÉLÉVISION

1. — *PROCÉDÉS MÉCANIQUES D'EXPLORATION A L'ÉMISSION*

71. Disque simple de Nipkow. — Nous avons donné au numéro 5 la description du disque simple ; ajoutons seulement que son diamètre est habituellement compris entre 25 et 50 centimètres, mais on va parfois jusqu'à 1 mètre ; le nombre de trous est généralement compris entre 30 et 60, il existe cependant des disques à 120 trous ; le diamètre de ces trous est de l'ordre du millimètre, son produit par le nombre des trous est très sensiblement égal à la différence entre les rayons vecteurs extrêmes de la spirale. Pour diminuer autant que possible les effets d'inertie, les disques sont souvent faits d'une tôle mince de quelques dixièmes de millimètres que la force centrifuge suffit à dresser convenablement.

72. Disques à lentilles. — On améliore beaucoup le rendement du disque de Nipkow en remplaçant les trous par des lentilles dont le fonctionnement est évident [5] ; mais cela ne va pas sans inconvénients ; la masse des lentilles donne lieu à des forces d'inertie qui obligent à les fixer très solidement et par conséquent à alourdir le disque lui-même et tous les organes qui l'entraînent, ce qui favorise le pompage (n° 104). En outre, il faut toujours alors

employer de grands diamètres pour avoir la place de loger les lentilles et le réglage de leur position est très minutieux. Les disques à lentilles sont cependant très employés en raison de leur rendement lumineux.

73. Disques de Nikpow multiples. — Pour augmenter le nombre de trous sans atteindre un diamètre prohibitif, on peut employer une spirale comportant plusieurs rangées de trous (fig. 40). Comme la lumière ne doit passer que par un seul trou au même instant, on ajoute un organe qui distribue successivement le faisceau sur les différentes rangées. Cet organe est un cylindre, représenté en traits ponctués sur la figure et qui tourne autour de l'axe XY parallèle au plan du disque ; la source lumineuse se trouve à l'intérieur de ce cylindre qui est percé de fentes horizontales dont l'une est dessinée ; l'intervalle entre deux fentes est égal à la distance qui sépare les deux rangées extrêmes de trous et une transmission convenable de mouvement fait tourner le cylindre de façon à éclairer successivement toutes les rangées.

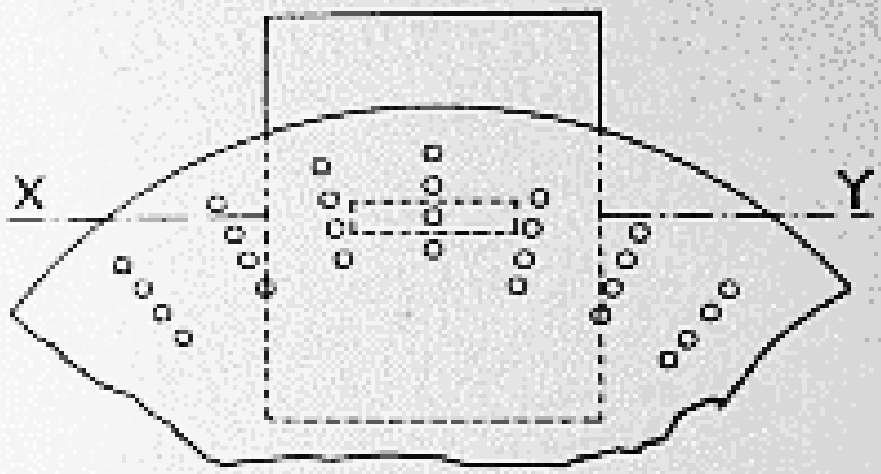

Fig. 40. — Disque de Nipkow à rangées multiples.

74. Emploi de plusieurs voies de communication. Disques de Nipkow à prismes. — On sait que, pour obtenir de bonnes images, une large bande de fréquence est indispensable (n° 31) ; comme dans les gammes actuellement exploitées il est impossible de trouver de telles bandes

disponibles, on a songé à utiliser simultanément plusieurs bandes centrées sur des fréquences différentes. Dans le système précédent on supprimerait alors le cylindre et l'on explorerait en même temps quatre lignes auxquelles correspondraient quatre cellules différentes et quatre voies de communication.

Une solution un peu différente a été donnée du même problème par Ives [16] ; il conserve la rangée unique de trous, mais il réduit les intervalles de façon à ce que

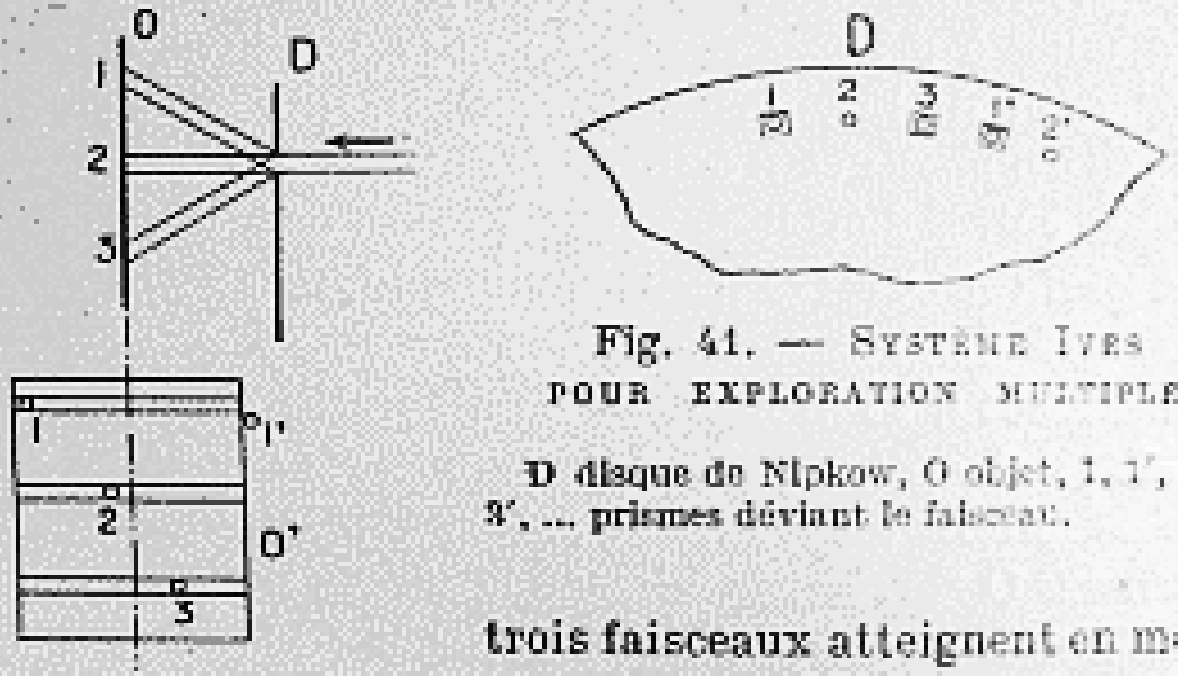

Fig. 41. — Système Ives pour exploration multiple.

D disque de Nipkow, O objet, 1, 1', ... 3, 3', ... prismes déviant le faisceau.

trois faisceaux atteignent en même temps l'objet à transmettre. Considérons dans ces conditions trois trous consécutifs 1, 2 et 3 (fig. 41) : le trou 2 laisse passer librement le faisceau, mais les trous 1 et 3 sont munis de petits prismes qui dévient leurs faisceaux, vers le haut pour le premier, vers le bas pour le second ; les taches lumineuses se répartissent alors sur l'objet comme il est indiqué sur son rabattement O'. Au moment où la tache 1 quittera l'objet, la tache 1' provenant du trou 1' viendra explorer une ligne consécutive et ainsi de suite. On voit que si l'exploration se faisait par le procédé normal l'intervalle des trous devrait être trois fois plus grand et le nombre de points d'image trois fois plus petit pour un même diamètre du disque.

On peut néanmoins se demander si de telles transmissions par plusieurs voies sont susceptibles d'entrer dans la pratique ; l'encombrement de l'éther limite non seulement la largeur d'une bande unique, mais l'ensemble des fréquences que l'on peut consacrer à un but déterminé. En outre les appareils de transmission d'images exigent une précision considérable dont les difficultés de réalisation sont fortement accrues par des dispositifs de cette sorte ; la construction et la fixation des prismes sont particulièrement délicates. On a proposé depuis longtemps des disques à prismes dont les angles variaient sur tout le pourtour de la circonférence, de façon à obtenir une exploration analogue à celle de la roue de Nipkow ; ils ne sont pas entrés dans la pratique à cause de ces difficultés et aussi du prix élevé d'une semblable installation.

75. Tambour de Weiller. — Ce dispositif est constitué par un tambour sur le pourtour duquel sont installés une série de miroirs plans PQ, QR,.. (fig. 42). Il tourne autour de son axe O et reçoit le faisceau lumineux d'une source S dont l'image vient former en T la tache d'exploration du sujet à transmettre AB. Quand le tambour tourne de l'angle α sous-tendu par l'un des miroirs, la tache décrit sur le sujet la ligne AB. Pour obtenir une suite de lignes consécutives assurant l'exploration de toute la surface, les miroirs ont des inclinaisons différentes sur l'axe du tambour, la différence d'inclinaison entre deux miroirs consécutifs correspondant à la largeur d'une ligne.

Les dimensions doivent naturellement être déterminées de telle façon que lorsque le rayon réfléchi par le miroir PQ quitte l'objet en A, le rayon réfléchi par QR se présente en B ; or quand le tambour tourne de l'angle α le miroir PQ a tourné du même angle et le rayon qu'il réfléchit a tourné de 2α. L'angle sous-tendu au point C par la largeur totale du sujet doit donc être égal à 2α ; cette

largeur l sera donc liée à la distance d du sujet au tambour par la relation :

$$l = a \operatorname{tg} 2\alpha \fallingdotseq 2\, a\, \alpha.$$

D'autre part, si p est le nombre de lignes d'exploration,

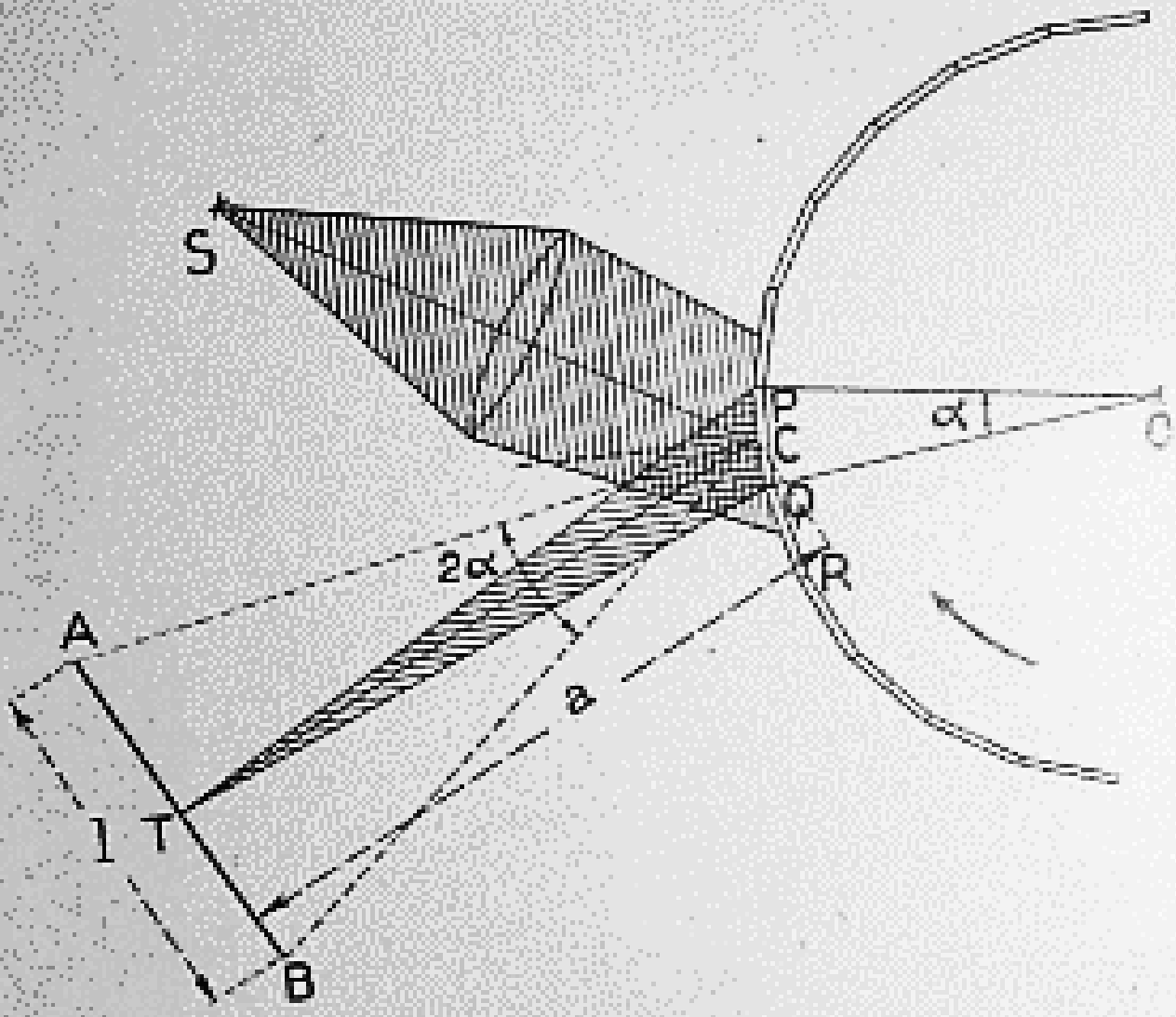

Fig. 42. — EXPLORATION DE L'OBJET AB PAR LE TAMBOUR DE WEILLER.

PQ, QR, ... sont des miroirs dont l'inclinaison sur l'axe O varie graduellement.

h la hauteur du sujet et β la différence entre les inclinaisons de deux miroirs voisins sur l'axe, on aura encore :

$$h = p a \beta.$$

Le nombre de miroirs étant évidemment égal à p, ces relations permettent de déterminer tous les éléments

nécessaires à une exploration de finesse donnée d'un sujet déterminé.

Pour que le faisceau d'éclairage ait toujours la même intensité, on reconnaît qu'il est nécessaire que celui qui est issu de la source recouvre complètement l'étendue correspondant à deux miroirs consécutifs.

Ce procédé apporte, relativement au disque de Nipkow à trous, un gain d'éclairement analogue à celui du disque à lentilles ; les tambours atteignent un diamètre de 50 cm et peuvent porter jusqu'à 50 miroirs, mais ils ont une inertie encore plus grande, ce qui les rend sujets aux mêmes inconvénients.

On a proposé de remplacer les miroirs plans par des miroirs concaves qui permettraient un gain de lumière par rapprochement de la source, mais en raison de la grande précision nécessaire, on se heurte encore à des difficultés de construction et de prix.

76. Miroirs oscillants. — On a encore utilisé le système schématisé sur la figure 43. Le rayon issu de la source S est réfléchi successivement par deux miroirs oscillants H et V dont les axes sont l'un horizontal et l'autre vertical. Le rayon *bc* est dirigé sur le sujet où il trace les lignes d'exploration ; le miroir V a des oscillations rapides dont la demi-période correspond à l'exploration d'une ligne et le miroir H oscille plus lentement pour déplacer les lignes d'exploration sur toute la hauteur de l'image.

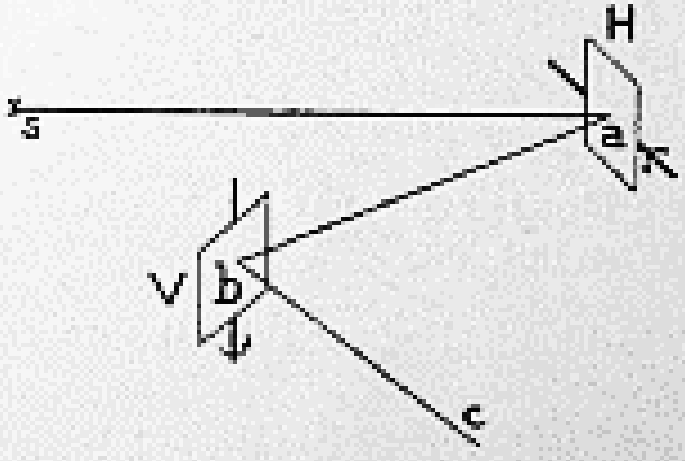

Fig. 43. — EXPLORATION PAR MIROIRS OSCILLANTS.

Les oscillations des miroirs sont obtenues en collant ces

derniers à l'extrémité d'une branche de diapason ou au moyen d'une commande mécanique à moteur. Ce procédé offre les deux inconvénients suivants : par suite des effets d'inertie il est impossible de leur donner des dimensions importantes, ce qui réduit beaucoup l'intensité lumineuse ; en outre le mouvement sinusoïdal des oscillations produit un balayage du sujet par le rayon, beaucoup plus lent dans le voisinage des marges que dans la partie centrale, et si l'on veut éliminer cette cause d'éclairement irrégulier il faut n'utiliser qu'une partie du champ balayé, ce qui occasionne de nouvelles pertes de lumière. Le procédé présente également un défaut au point de vue du synchronisme (nº 105).

77. Éclairage direct. — Dans tous les procédés que nous venons d'indiquer, le sujet n'est éclairé que dans la petite région correspondant à la tache d'exploration ; on obtient

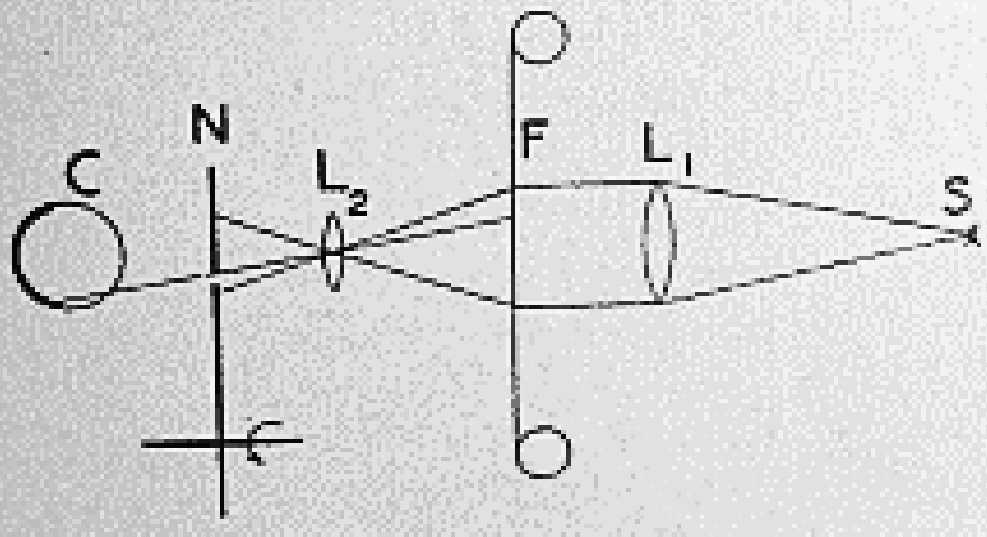

Fig. 44. — ÉMISSION DE TÉLÉCINÉMA.

F film, N disque de Nipkow.

ainsi une grande concentration de lumière, mais on conçoit que cette méthode ne convienne guère à une scène très étendue et soit inapplicable à une scène naturellement éclairée. Si l'on suppose le sujet placé dans une

vive lumière, on peut encore utiliser les mêmes systèmes en inversant la marche des rayons lumineux et en remplaçant la source dans toutes les figures précédentes par la cellule photoélectrique.

Cette remarque s'applique en particulier aux transmissions cinématographiques ; les dimensions du sujet sont alors tellement réduites qu'il est facile de l'éclairer très fortement dans son entier. La figure 44 montre la disposition employée dans le cas d'une roue de Nipkow. La source S éclaire le film et une lentille L_2 forme une image de ce dernier sur le plan de la roue derrière laquelle se trouve la cellule photoélectrique C.

Si le film avance par saccades, on ménage dans le disque de Nipkow un secteur sans trous, correspondant au passage d'une image à la suivante ; en donnant au film un mouvement continu on peut employer un disque sur lequel les trous sont rangés sur un cercle.

78. Emploi d'une fréquence auxiliaire. — Nous avons signalé au numéro 10 l'avantage qui résulte pour l'amplification de l'emploi d'une fréquence auxiliaire, modulée par les phénomènes lumineux ; cet artifice n'a pas la même importance pour la télévision que pour la phototélégraphie, car les plus basses fréquences à transmettre sont beaucoup plus élevées ; il devient cependant intéressant pour les transmissions à trame très fine qui exigent une bande de fréquence très étendue pour laquelle il serait difficile d'obtenir une amplification uniforme. Naturellement la fréquence choisie sera très élevée puisqu'elle dépend de la durée de passage de la tache d'exploration (n° 21).

On peut encore employer le disque rupteur de lumière qui sera pourvu de fentes radiales et placé de façon à faire défiler ces fentes devant les trous de la roue de Nipkow, ou en telle région du faisceau où celui-ci est très étroit.

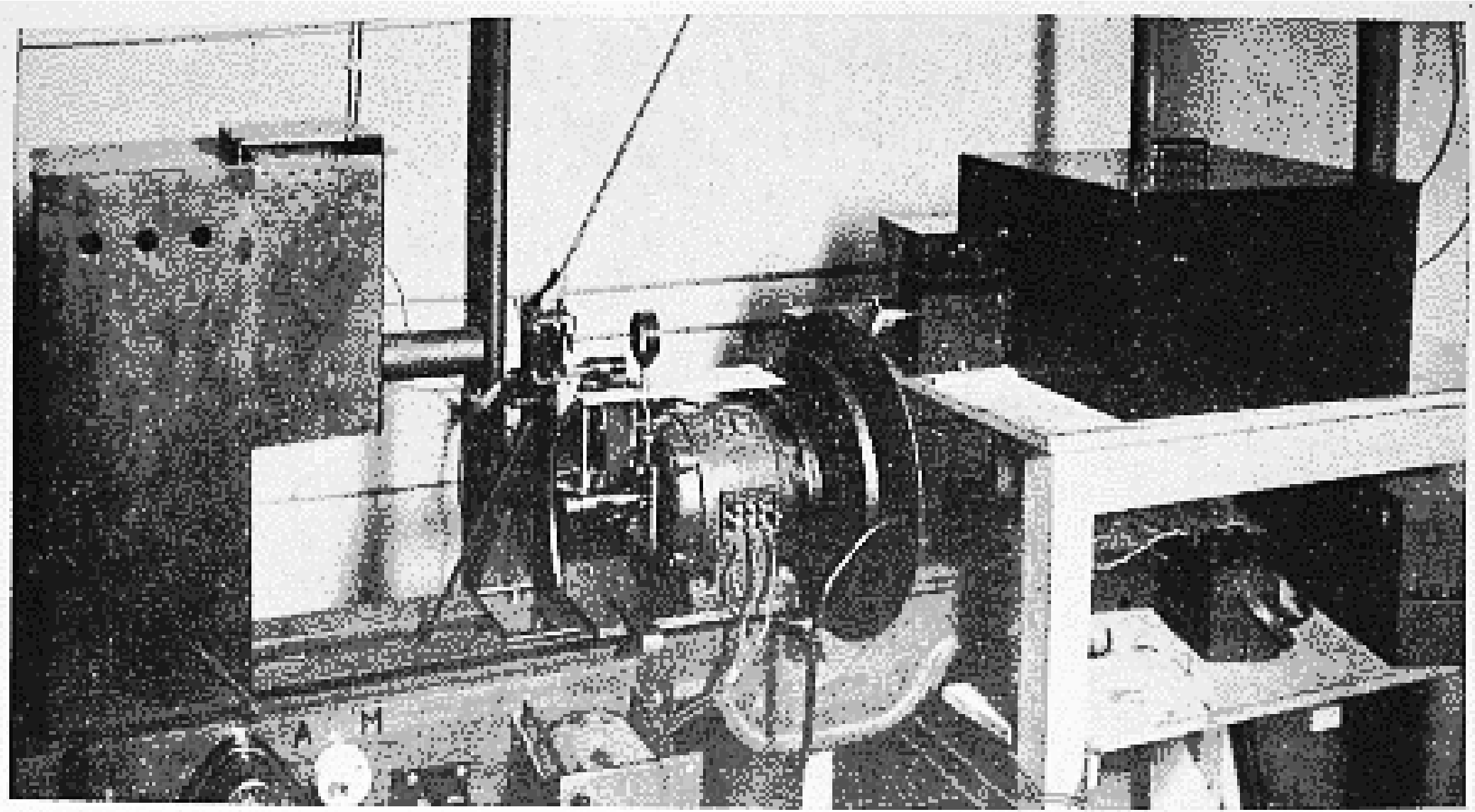

Fig. 45. — Émetteur de télécinéma, système Barthélémy.

Au centre la roue de Nipkow ; à gauche la lanterne de projection ; à droite le caisson contenant la cellule et les premières amplifications. Au milieu, on aperçoit le film, incliné de 30° environ sur la verticale, qui vient défiler devant la source.

Karolus a établi de tels disques pour des fréquences de rupture supérieures à 10^4 c/s.

On obtient plus aisément le même résultat en plaçant devant les trous de la roue de Nipkow une grille de lignes alternativement transparentes et opaques dont la direction est normale au déplacement des trous. La largeur d'une ligne transparente ou opaque est naturellement inférieure au diamètre des trous pour que la fréquence auxiliaire n'apparaisse pas à la réception ; il n'y a donc plus suppression complète du faisceau lumineux pour une des alternances de cette fréquence, mais l'éclairement continu qui en résulte s'élimine de lui-même dans les amplificateurs.

Les lampes ponctuelles à gaz (n° 45), alimentées en alternatif donnent encore un moyen de provoquer des variations d'intensité lumineuse à fréquence élevée.

79. **Exploration à lignes sautées.** — Comme on l'a vu, l'une des plus grosses difficultés de la télévision réside dans le grand nombre de points d'image $N \times n$ qu'il est nécessaire de transmettre en une seconde, nécessité qui conduit à des difficultés de réalisation des appareils mécaniques et à des difficultés de transmission, en raison de la largeur de la bande de modulation.

Si, pour réduire le produit $N \times n$, on cherche à diminuer le nombre n d'images transmises en une seconde, la persistance de l'impression lumineuse sur l'œil devient insuffisante et quand les dernières lignes sont balayées, les premières ont disparu ; l'écran paraît ainsi parcouru par des vagues lumineuses inadmissibles. On a alors proposé de faire le balayage en sautant une ligne sur deux de la façon suivante : le premier balayage se ferait sur les lignes 1, 3, 5, 7..., le second sur les lignes 2, 4, 6..., le troisième sur 1, 3, 5..., et ainsi de suite ; tout en conservant la même valeur de n, on diminue par ce procédé le pro-

duit N × a et l'expérience montre que les vagues lumineuses ont disparu et que l'impression devient acceptable ; un effet psychologique de mémoire visuelle intervient pour remplacer dans l'esprit les manques de chacune des images prise individuellement.

Belin et Toulon ont pensé pouvoir aller plus loin dans cette voie en remplaçant le balayage par lignes successivement paires et impaires par un balayage effectué par des sauts irréguliers et beaucoup plus importants, suivant une loi assujettie à la seule condition qu'après un cycle complet l'image entière aurait été recouverte [42].

Ces procédés ne paraissent pas avoir été mis en œuvre et d'aucuns estiment qu'ils donneront toujours lieu à des images tremblées [34]. Il faut en outre remarquer qu'ils ne se prêteraient pas à la transmission d'images en mouvement : deux points consécutifs d'une même ligne verticale de l'objet seraient en effet marqués sur l'image à des intervalles de temps relativement élevés et la reproduction inclinée que nous avons trouvée au numéro 32 pour une exploration par lignes consécutives serait remplacée par une ligne en zigzag, certainement inadmissible.

II. — *PROCÉDÉS MÉCANIQUES D'EXPLORATION A LA RÉCEPTION*

50. Roue de Nipkow. — Il y a peu de choses à ajouter à ce que nous avons dit sur ce sujet au numéro 8. On peut obtenir des éclairements plus intenses en remplaçant la lampe au néon qui y est indiquée par une lampe utilisant la colonne positive et décrite au numéro 44 ; un écran en verre dépoli est alors nécessaire pour uniformiser l'éclairement sur toute la surface correspondant à la lampe. Les images vues directement sur le disque ont en général de 2 à 6 cm de côté ; on les regarde souvent à travers une loupe.

L'usage des disques à spirales multiples se comprend

immédiatement d'après la description de ce système donnée au numéro 73. La lampe est alors placée à l'intérieur du tambour à fentes (fig. 40).

Fig. 46. — Récepteur de télévision, système Barthélémy.

A droite le disque de Nipkow derrière la partie haute duquel on aperçoit la lampe au néon ; à gauche la lentille à travers laquelle on regarde l'image.

81. Tambour de Jenkins. — Le principe du tambour de Jenkins se rapproche beaucoup de celui de la roue de Nipkow, mais on a cherché à réaliser un gain de lumière en

n'éclairant au même instant qu'une partie de la surface lumineuse nécessaire à la perception de l'image. Sa lampe L (fig. 47) comporte quatre cathodes 1, 2, 3, 4 et une anode A ; elle est placée dans un cylindre C rigidement lié à un tambour T qui tourne autour de son axe. Dans le cylindre et le tambour, tous deux opaques, sont percés des trous correspondants t, t' disposés sur des hélices à

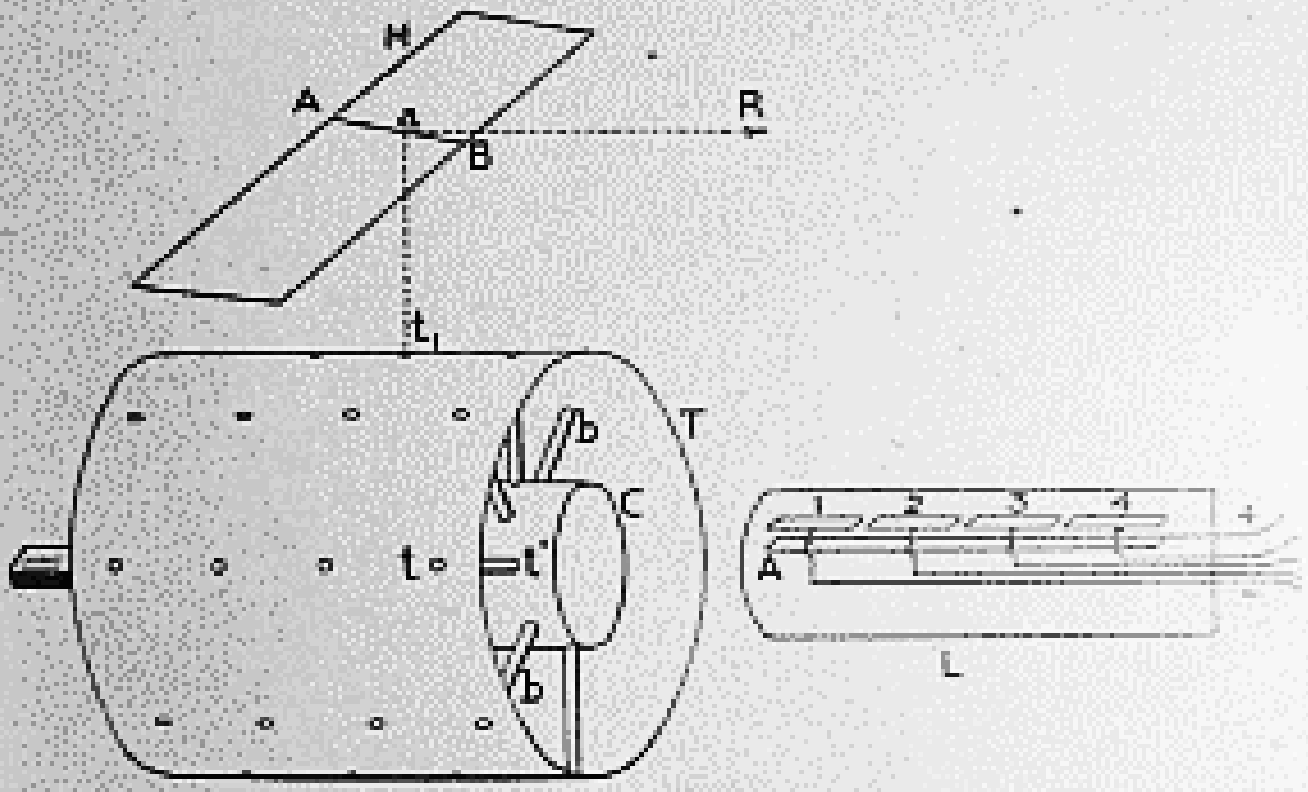

Fig. 47. — Tambour de Jenkins.

L lampe à plusieurs cathodes qui se trouve dans le tube C ; M miroir.

quatre spires. Chacune des cathodes de la lampe a une longueur égale au pas des hélices et peut, par conséquent, éclairer une spire de trous ; un commutateur tournant, entraîné par le mouvement du tambour grâce à une transmission convenable, allume successivement chacune des sources. La lumière passant par un des couples de trous situés dans la partie supérieure du tambour et du cylindre est réfléchie par un miroir M incliné à 45° et renvoyée dans la direction QR vers l'œil de l'observateur.

Pour diminuer les pertes de lumière, les parties lumi-

neuses de la lampe sont placées le plus près possible de la paroi du cylindre intérieur et deux trous correspondants sont réunis par des bâtonnets de quartz qui, en raison de la réflexion totale qui se produit à leur intérieur, conservent au faisceau lumineux une forme cylindrique jusqu'à leur sortie du tambour.

82. Miroirs en escalier tournant d'Okolicsanyi. — Ce dispositif est constitué par une série de miroirs allongés et de faible hauteur disposés autour d'un axe, que nous supposerons vertical, à la manière des faces verticales des marches d'un escalier en colimaçon (fig. 48) : deux miroirs consécutifs, projetés sur un plan normal à l'axe, se présenteraient comme les lignes aa' et bb' de la figure 49 ; si tous les miroirs étaient ainsi projetés, ils formeraient un ensemble de lignes recouvrant toute la surface du cercle, l'intervalle angulaire entre deux lignes consécutives étant égal à $360^\circ/p$, p étant le nombre des miroirs [26, 34].

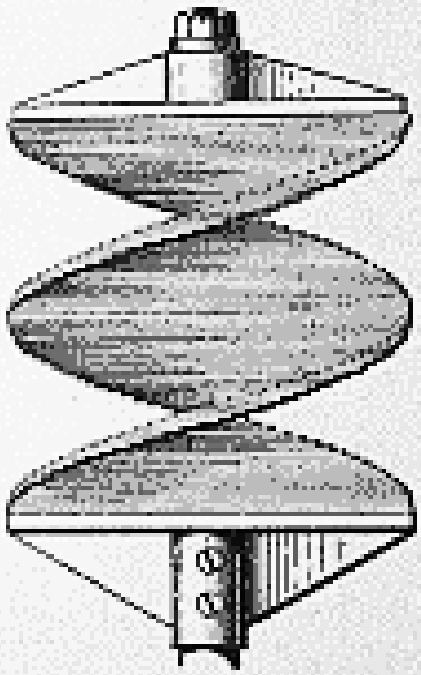

Fig. 48. — Récepteur d'Okolicsanyi.

La source lumineuse est une lampe à gaz modulée dont la partie brillante affecte la forme d'un filet vertical. Cette source étant projetée en S et l'œil en O, on voit que la rotation du système des miroirs fera défiler successivement devant l'observateur l'image des différents points de la source ; le passage de chaque miroir dans un angle déterminé tracera une ligne de l'image à reproduire. L'œil doit être placé de telle façon que, quand l'image de S disparaît en a' de l'un des miroirs, elle apparaisse en b sur le suivant ; mais il est clair

que plusieurs observateurs peuvent regarder en même temps.

Ces appareils ont l'avantage d'un faible encombrement et d'une construction relativement facile : les miroirs sont constitués par les faces latérales de plaques métalliques percées en leur centre et embrochées sur un axe parfaitement rigide ; la face réfléchissante est soigneusement polie et chromée. Au moment du montage il suffit de décaler d'un angle constant les différentes plaques les

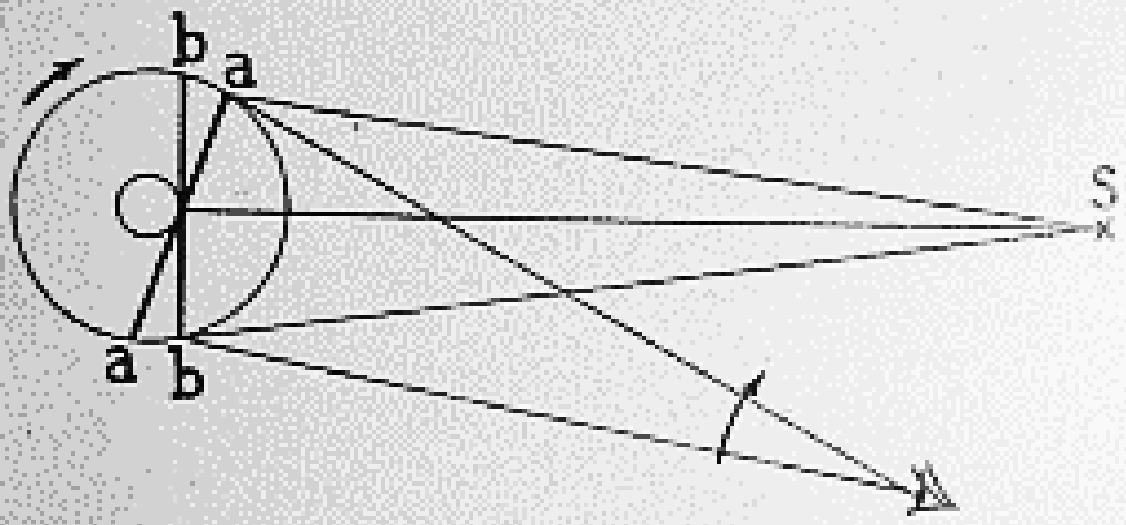

Fig. 49.

unes par rapport aux autres, alors que dans le tambour de Weiller par exemple, il faut pour chaque miroir régler deux inclinaisons ; il en résulte un prix de revient beaucoup plus faible.

On peut réaliser des appareils de ce type donnant des images de 180 lignes et 25 images à la seconde.

83. Tambour de Weiller et cellule de Kerr. — Le tambour de Weiller peut être employé avec une source ponctuelle à gaz, directement modulée ; la disposition est alors identique en principe à celle étudiée pour l'émission ; mais on peut aussi profiter de son rendement lumineux assez élevé pour obtenir de grandes images en l'associant à une source puissante comme un arc et à une cellule de

Kerr. La disposition est donnée par la figure 50 : D est un diaphragme, K la cellule de Kerr, E l'écran. La cellule est du même type que celle décrite pour la phototélégraphie, mais de dimensions un peu plus grandes, le dia-

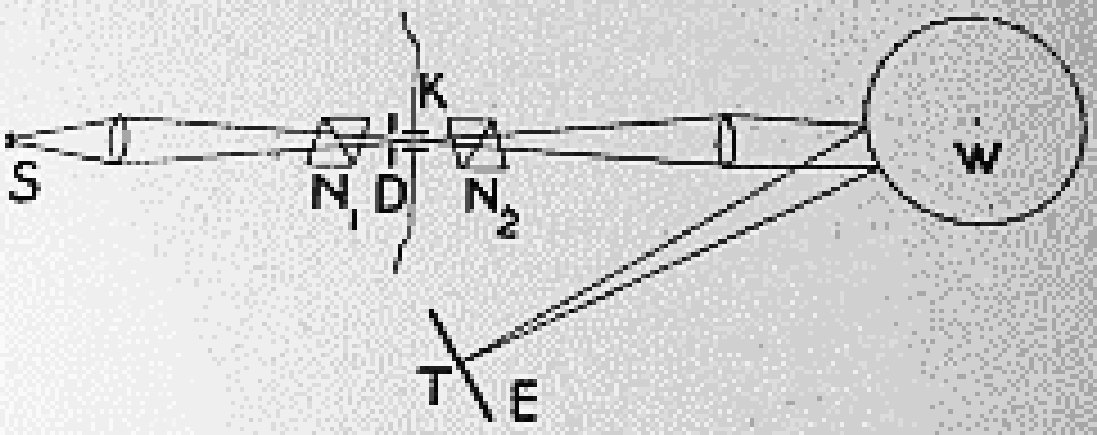

Fig. 50. — Réception par cellule de Kerr et tambour de Weiller.

phragme peut avoir une surface de 6 à 8 mm². Comme nous l'avons déjà fait remarquer, le passage du faisceau à travers les lames de la cellule réduit fortement l'angle d'ouverture disponible, ce qui diminue les avantages de lumière que l'on pourrait tirer du procédé.

84. Images de grandes dimensions. Procédé des Bell Laboratories. — La méthode précédente permet d'obtenir

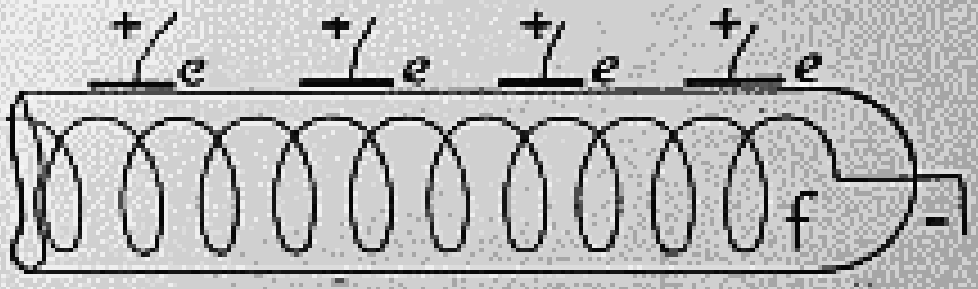

Fig. 51. — Tube a cat de Ives pour réception sur un grand écran.

avec une source lumineuse puissante des images de quelques décimètres de côté ; un résultat du même genre

peut être atteint en projetant sur un écran les images fournies par l'oscillographe que nous allons étudier au paragraphe suivant. Les Bell Laboratories ont employé une méthode toute différente [13] : un tube à gaz est replié en serpentin comme celui de la figure 23, p. 64, et le nombre de parties rectilignes du tube est égal à celui des lignes d'exploration. A l'intérieur, se trouve disposé un fil *f* enroulé en hélice (fig. 51) constituant une des électrodes du tube ; à l'extérieur on a placé sur la paroi du tube, et du côté opposé à celui où il sera regardé, un grand nombre d'électrodes *e* isolées les unes des autres ; le nombre de ces électrodes étant égal à celui des points d'image. Tous les conducteurs partant de ces électrodes s'en vont à un collecteur tournant qui permet de distribuer successivement la tension reçue et amplifiée aux différentes électrodes. Chaque fois que l'une d'elles est en circuit le tube s'illumine dans son voisinage, le courant passant par capacité, et si le synchronisme a été réalisé entre le déplacement de la tache d'exploration de l'émission et la mise en circuit des électrodes extérieures, on voit que l'illumination des différents points de l'image reçue reproduira l'objet à transmettre.

Dans l'appareil construit, il y avait 2 500 électrodes extérieures et l'on conçoit l'importance du collecteur chargé des mises en circuit et les difficultés de sa réalisation. Les résultats obtenus n'étaient d'ailleurs pas très brillants et il est peu probable que des systèmes basés sur ce principe fournissent une solution satisfaisante du problème d'illumination de grands écrans.

III. — *EMPLOI DE L'OSCILLOGRAPHE CATHODIQUE*

85. Principe de l'oscillographe cathodique. — Si dans un tube disposé comme celui du numéro 42, on augmente progressivement le vide, la lueur positive diminue et finit

par disparaître complètement ; un faisceau issu de la cathode occupe alors toute la longueur du tube.

Ce faisceau se prolonge au delà de l'anode dans les régions qu'elle n'abrite pas et, en atteignant la paroi du tube, elle la rend luminescente. En disposant les électrodes comme sur la figure 52, l'anode étant percée d'un petit trou[1], le faisceau cathodique prolongé prend la forme d'un mince filet rectiligne qui vient faire une tache sur la paroi E ; le dépôt d'une couche fluorescente

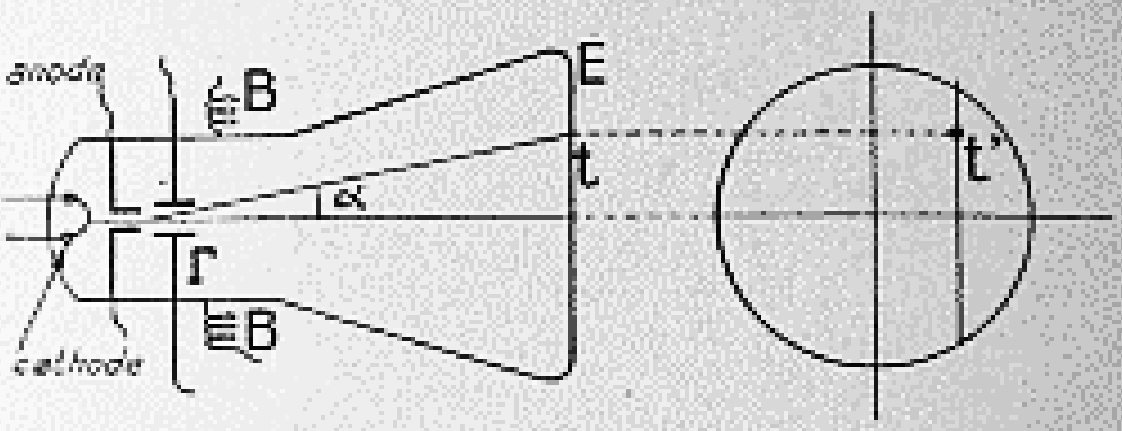

Fig. 52. — PRINCIPE DE L'OSCILLOGRAPHE CATHODIQUE.

sur cette paroi permet d'obtenir une tache très lumineuse (n° 47).

Le faisceau cathodique est constitué par des électrons, véritables projectiles qui se propagent en ligne droite tant qu'aucune cause ne vient modifier leur trajectoire ; mais il est clair qu'en les soumettant sur leur parcours à un champ transversal magnétique ou électrique, ils seront déviés et la tache viendra se former en un autre point de l'écran.

On réalise un champ électrique de déviation au moyen d'un petit condensateur Γ entre les lames duquel passe le faisceau ; en modifiant la tension aux bornes du condensateur, on fait décrire à la tache une ligne droite sur

1. Cette anode comporte le plus souvent un petit tube représenté sur la figure et qui fait donner au dispositif le nom de « canon à électrons ».

l'écran. En plaçant à la suite l'un de l'autre deux condensateurs dont les lames soient perpendiculaires entre elles, on pourra dévier le faisceau dans les deux directions perpendiculaires *ox* et *oy* et, par suite, amener la tache en tel point de l'écran que l'on voudra.

Le condensateur Γ de la figure produit une déviation dans le plan de celle-ci ; le champ magnétique de bobines telles que B produirait une déviation dans le sens perpendiculaire. On emploie l'un ou l'autre procédé suivant qu'il est plus commode d'utiliser une tension ou un courant.

Grâce à la très faible masse des électrons le faisceau cathodique constitue l'organe idéal pour un oscillographe destiné à l'observation de phénomènes très rapides ; Dufour a pu, par son moyen, enregistrer des oscillations de fréquence 10^{10}. Ce procédé préconisé pour la télévision dès 1907 par Rosing [30] a été tout d'abord effectivement mis en œuvre par Dauvillier, Valensi et Holweck [6, 43] ; il joue maintenant un rôle important dans les études et les réalisations.

Dans les oscillographes fonctionnant à des tensions relativement faibles de quelques centaines de volts et dans tous ceux employés en télévision, la cathode est toujours constituée par un fil chauffé qui fournit, par rapport aux cathodes froides, un nombre considérable d'électrons et permet ainsi de mettre en jeu des puissances importantes avec des différences de potentiel faciles à obtenir. Ce fil est de la même nature que ceux employés pour les filaments des lampes d'amplification, ceux recouverts d'oxydes sont le plus souvent utilisés.

Nous allons maintenant étudier avec quelques détails le fonctionnement de différents organes du tube.

86. Expression de la déviation produite par un champ donné. — Considérons d'abord la déviation produite par

le champ électrique que nous supposerons uniforme et égal à E dans tout l'intervalle compris entre les lames du condensateur ; soit d'autre part e et m la charge et la masse de l'électron, v sa vitesse au moment où il entre dans le champ et x la longueur du chemin qu'il y parcourt ; on calcule facilement que la déviation angulaire de la vitesse au sortir du champ est donnée par la formule :

$$\alpha = \frac{Ee}{m}\frac{x}{v^2}.$$

En supposant également le champ magnétique H des bobines B uniforme, et en désignant encore par x la longueur du chemin parcouru dans ce champ et par v la vitesse, on obtient un angle de déviation

$$\beta = \frac{He}{m}\frac{x}{v}.$$

Ces formules permettent de calculer facilement les divers éléments jouant un rôle dans les déviations ; remarquons seulement que les variations de la vitesse ont une influence importante sur les déviations α et β.

Il est également intéressant de relier la vitesse v à la différence de potentiel V appliquée entre la cathode et l'anode. La vitesse initiale des électrons étant négligeable, on a :

$$\frac{1}{2}mv^2 = Ve.$$

Cette relation montre que v dépend uniquement de V et cette remarque a introduit l'usage assez étrange, mais d'un emploi avantageux pour la brièveté du langage, d'exprimer les vitesses des électrons en volts. Quand on dit qu'un électron a une vitesse de V volts, cela veut dire qu'il a la vitesse que lui communiquerait un champ électrique pendant son passage entre deux points dont les potentiels diffèrent de V.

87. Commande du balayage. — Pour recevoir une image de télévision au moyen du tube de Braun, il faudra réaliser simultanément les deux opérations suivantes :

a. Commander la direction du faisceau lumineux de façon à déplacer la tache lumineuse suivant une série de lignes jointives et en synchronisme avec les déplacements de la tache d'exploration de l'émetteur ;

b. Moduler l'intensité du faisceau de façon à ce que la brillance de la tache reste à tout instant proportionnelle à l'éclairement du point correspondant de l'original.

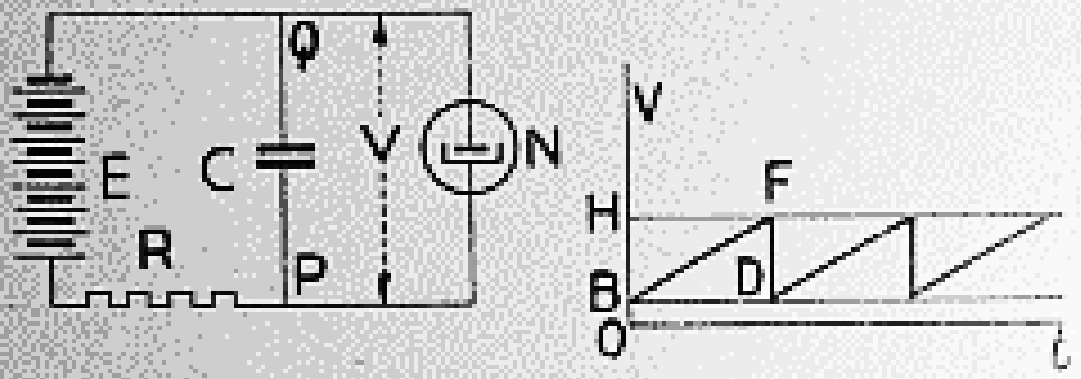

Fig. 53. — MONTAGE A RELAXATION POUR BALAYAGE.

Le balayage s'obtiendra en alimentant par des tensions ou des courants à variations périodiques un groupe de deux organes de déviation, condensateurs ou bobines, produisant des déplacements perpendiculaires l'un à l'autre. L'un d'eux agira très rapidement pour le tracé des lignes, l'autre plus lentement pour leur déplacement.

On peut évidemment utiliser dans ce but des appareils mécaniques, commutateurs ou alternateurs, mais il est préférable d'avoir recours à des organes statiques, plus souples et tout à fait silencieux. D'autre part, la forme des variations périodiques a une grande importance ; les variations sinusoïdales ont le défaut de donner lieu à un éclairement non uniforme du champ de l'image (n° 76), il faut donc chercher un procédé qui permette d'obtenir des variations proportionnelles du temps. Ce procédé est

fourni par les oscillations de relaxation étudiées par Van der Pol [44].

Montons, comme sur la figure 53, un condensateur en parallèle avec une lampe au néon N et cherchons à charger le condensateur au moyen d'une source continue E à travers une résistance R. Tant que la tension entre les points P et Q n'aura pas atteint celle qui correspond à l'allumage de la lampe (n° 42), le condensateur se chargera graduellement et, si E est assez élevée, la tension V croîtra presque proportionnellement au temps, conformément à la portion BF du diagramme ; mais dès que la tension d'allumage sera atteinte, la lampe débitera un fort courant et le condensateur se déchargera en un temps très court correspondant à l'arc FD. A ce moment le même processus se reproduira et l'on aura une série d'oscillations de période parfaitement définie et de forme convenant au but que nous avons en vue.

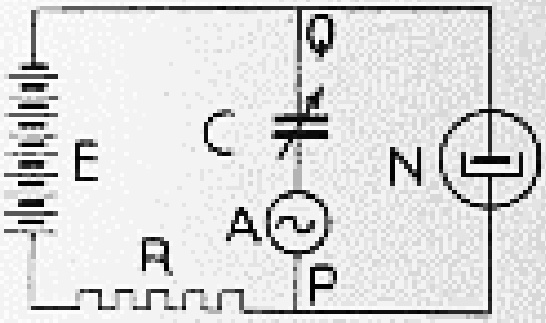

Fig. 54. — DÉMULTIPLICATION DE FRÉQUENCE.

Il est clair que l'arc BF sera d'autant plus long que la capacité à charger et la résistance s'opposant à la charge seront plus fortes ; la durée d'une oscillation sera sensiblement proportionnelle à la constante de temps CR du circuit de charge, il sera donc facile de l'amener à telle valeur qui conviendra.

Deux dispositifs de cette espèce pourront être employés simultanément pour le balayage des lignes et pour leur déplacement, mais comme il doit exister entre les périodes de ces deux mouvements un rapport déterminé et entier, il faudra introduire entre les deux appareils une liaison assurant ce résultat. Cette liaison s'obtient grâce à la propriété que possèdent ces systèmes de se prêter à la

synchronisation sur une fréquence donnée, ou sur une fréquence sous-multiple de cette dernière.

Introduisons dans la branche du condensateur (fig. 54) un alternateur A de fréquence f ; si, dans ces conditions, on modifie la capacité du condensateur d'une façon continue, on constate que la fréquence du système ne varie plus d'une façon continue comme en l'absence de l'alternateur, mais par bonds et que toutes les fréquences que l'on obtient ainsi sont la fréquence f et tous ses sous-multiples entiers. Il serait un peu long d'exposer ici le mécanisme de cette synchronisation, mais avec un peu de réflexion, en supposant la fréquence propre du système à relaxation assez voisine de l'une des fréquences précédentes, on se rendra compte que la tension additionnelle, introduite aux bornes de la lampe par la présence de l'alternateur, doit conduire à l'état de régime que nous avons signalé. On pourra donc commander les deux organes de déviation du faisceau par deux systèmes à relaxation convenablement couplés ; d'après le même principe, la synchronisation sur le poste émetteur s'obtiendra en amenant sur l'un d'eux, à la place de l'alternateur, la tension de fréquence convenable transmise depuis l'émetteur.

On remplace en général la résistance R des figures 53 et 54 par l'intervalle filament plaque d'une diode travaillant à saturation ; le courant de charge est alors constant et les arcs BF de la figure 53 deviennent rectilignes.

Ajoutons qu'on peut remplacer les montages précédents par d'autres montages équivalents employant des triodes fonctionnant, par exemple, en dynatron.

88. Concentration du faisceau. — Pour obtenir des images nettes et fines, il est indispensable d'obtenir une tache aussi régulière et aussi petite que possible ; il existe plusieurs procédés pour arriver à ce résultat.

Le premier, employé dans les oscillographes cathodiques

du type Western, consiste à introduire dans le tube une petite quantité d'un gaz lourd sous une pression de l'ordre d'un millième de millimètre de mercure ; on donne de l'action de ce gaz l'explication suivante : sur leur chemin, les électrons du faisceau ionisent le gaz, et les ions positifs ainsi formés, trop lourds pour s'écarter notablement de leur point de formation, constituent des centres d'attraction qui s'opposent à une diffusion importante du faisceau ; en même temps, les électrons d'ionisation projetés tout autour de ce dernier dans des directions quelconques forment autour de lui une sorte de gaine négative agissant dans le même sens. On emploie en général l'argon, Dauvillier s'est servi avec succès du xénon, plus lourd [6].

Une méthode toute différente permet d'obtenir la concentration en un point donné de tous les électrons qui sont émis par une source ponctuelle dans des directions assez voisines de celle de ce point, résultat analogue à celui que fournissent les lentilles en optique. On utilise pour cela le mouvement que prend une charge électrique libre dans un champ magnétique uniforme et pour donner l'explication du procédé, nous commencerons par étudier ce mouvement.

Considérons d'abord un champ magnétique uniforme et lançons-y un électron avec une vitesse normale à la direction du champ ; cet électron étant soumis, comme on sait, à une force normale au champ et à sa vitesse, va décrire un cercle. Le rayon de ce cercle dépendra de la vitesse initiale de l'électron, mais la durée de son parcours sera constante et égale à [1]

$$T = \frac{2\pi m}{He},$$

1. On obtient immédiatement ce résultat en écrivant que la force centrifuge $\frac{mv^2}{r}$ (v vitesse initiale, r rayon du cercle) est égale à la force électrique produite par le champ magnétique : $e\,[\vec{v}, \vec{H}]$.

H étant le champ magnétique, e et m la charge et la masse de l'électron.

Supposons maintenant que la vitesse initiale ait une composante parallèle à la direction du champ ; cette composante ne sera pas influencée et la trajectoire de l'électron deviendra une hélice dont une spire entière sera parcourue dans le même temps T.

Cela posé, imaginons une source S émettant des électrons dans un petit faisceau autour de la direction SA (fig. 55) ; créons dans la région occupée par le faisceau un champ magnétique uniforme parallèle à SA. Tous les électrons partis de S viendront au bout du temps T rencontrer la droite SA et, s'ils sont partis avec la même vitesse dans des directions peu inclinées sur SA, les pas de toutes les spires qu'ils décrivent seront sensiblement égaux et c'est *en un même point* qu'ils viendront tous au bout du temps T. Il est clair, d'autre part, qu'en modifiant l'intensité du champ H on pourra déplacer à volonté la position de ce point sur SA. Les faisceaux émis dans les conditions de la figure 52 remplissent précisément les conditions que nous venons d'imposer et il sera possible de les concentrer de cette manière. On peut obtenir par ces procédés des taches d'exploration d'un diamètre de 1 mm ; dans des expériences de laboratoire il a même été possible d'obtenir dans un tube contenant un gaz lourd un faisceau d'une longueur de 1m,50 dont le diamètre était compris entre 1/2 et 1 mm [45].

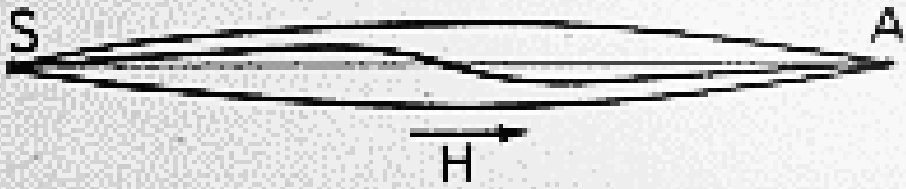

Fig. 55. — Concentration d'un faisceau d'électrons par un champ magnétique.

89. Commande de l'intensité du faisceau par une grille. — On ne peut pas songer à commander l'intensité du faisceau en modulant la tension d'anode : d'abord celle-ci doit avoir assez souvent une valeur trop élevée — elle ne descend pas au-dessous de 3 à 400 volts — ; ensuite on modifierait à la fois la densité des électrons et leur vitesse et nous avons vu au numéro 86 que les déviations produites par les organes de balayage dépendaient de la vitesse ; on troublerait donc la formation du réseau de l'image. Pour éviter cet inconvénient la tension d'anode est maintenue constante, sa seule fonction est de donner aux électrons une vitesse bien déterminée ; la modulation du faisceau ne porte plus que sur sa densité et est obtenue par une grille, à tension relativement faible, placée entre la cathode et l'anode ; cette grille travaille dans des conditions identiques à celles réalisées dans les triodes.

Divers modèles ont été essayés, mais il semble que l'on se soit rallié aujourd'hui au modèle dit « cylindre de Wehnelt ». C'est un cylindre W entourant le filament (fig. 56) et qui est percé d'un trou dans la direction de l'anode. A côté de son rôle de commande il joue celui de recevoir une partie des ions lourds positifs provenant de l'anode ou, éventuellement, de l'ionisation du gaz ; il protège ainsi le filament contre leur bombardement, particulièrement nuisible aux filaments à oxyde couramment employés.

90. Commande de l'intensité du faisceau par déviation de ce dernier. — L'emploi d'une grille ne paraît pas permettre l'obtention d'une vitesse parfaitement constante de *tous* les électrons émis, probablement à cause d'effets secondaires dans le gaz ou dans le champ, et von Ardenne a étudié une commande d'intensité d'un principe tout différent. Le cylindre de Wehnelt est conservé, mais il reste à un potentiel constant, négatif par rapport au fila-

ment, ce qui aide à la concentration du faisceau dès l'origine et constitue une protection meilleure contre le bombardement des ions positifs. L'électrode de modulation, représentée en M (fig. 56), provoque une déviation du faisceau, grâce à laquelle une partie plus ou moins dense de ce dernier se présente devant le trou de l'anode ; le résultat est le même que si l'on déplaçait un opercule mobile sur le passage du faisceau et une variation de tension de 10 volts appliquée à M suffit pour obtenir la

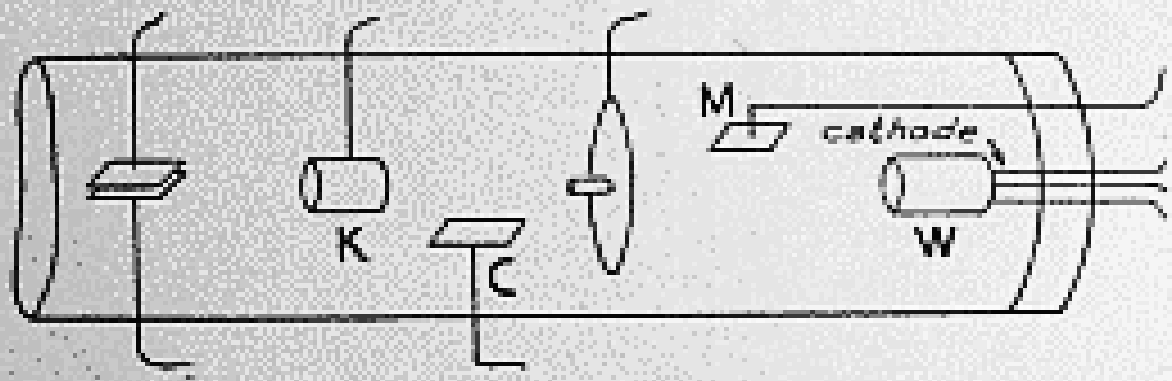

Fig. 56. — Modulation du faisceau cathodique par l'électrode M qui dévie le faisceau avant son passage dans le trou de l'anode située entre M et C.

modulation complète. Comme les électrons ayant subi l'action de M ont pris une vitesse légèrement inclinée sur l'axe, vitesse qui nuirait à la précision du balayage, une seconde électrode C sert à corriger cette déviation ; travaillant en phase avec M, elle ramène la vitesse des électrons dans la direction de l'axe. Un cylindre K maintenu à un potentiel fixe, inférieur à celui de l'anode, aide ensuite à la concentration du faisceau, puis viennent les condensateurs de balayage [47].

91. Emploi de deux électrodes d'accélération. — Le fonctionnement des tubes, en ce qui concerne la régularité de vitesse des électrons et la netteté consécutive du réseau, est aussi amélioré par l'emploi de deux anodes produisant

l'accélération des électrons en deux étages. Zworikin emploie le tube de réception représenté par la figure 57.

La première anode A occupe la place indiquée précédemment ; sa tension est de 400 volts ou même davantage ; la seconde est constituée par une argenture déposée en A' sur les parois du tube, elle est portée à 4 000 volts ; W est le cylindre de Wehnelt formant électrode de modulation en intensité, D et D' sont les organes de déviation, protégés l'un par rapport à l'autre par l'écran

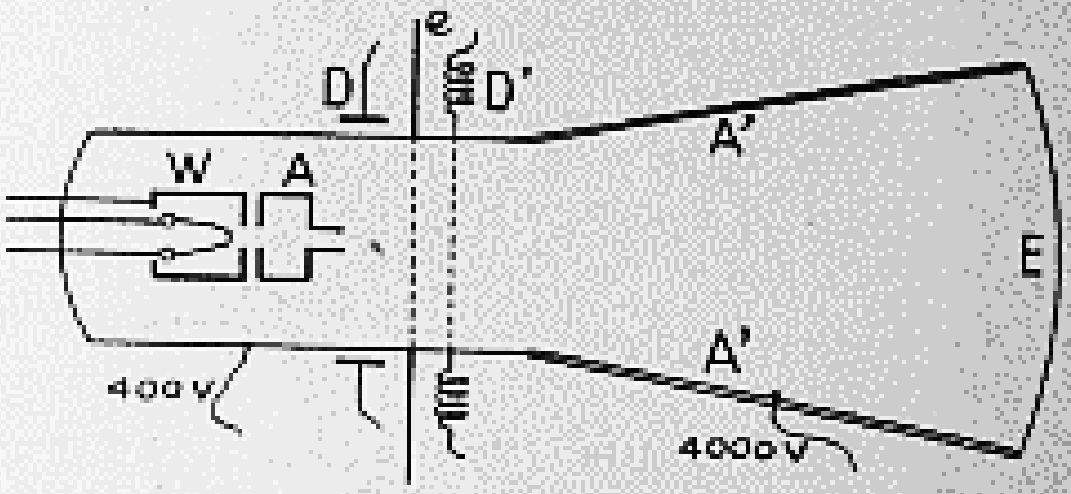

Fig. 57. — Oscillographe récepteur de Zworikin.

e ; l'écran de l'image E est fait d'une couche de silicate de zinc minéral rendu conducteur pour assurer l'évacuation des charges. Ce tube permet d'obtenir de bonnes images de 20 × 20 cm.

92. Émission par oscillographe cathodique pour le télécinéma. — Si l'oscillographe cathodique a déjà pris une place importante dans la réception de la télévision, il n'en est pas encore de même pour l'émission ; cependant divers systèmes ont été proposés que nous allons passer en revue. Tout d'abord, l'émission d'images reproduites sur film peut se faire sans aucune disposition particulière en utilisant la tache cathodique mobile comme source d'éclairage ; on place l'écran de l'oscillographe au contact du

film et on supprime la roue de Nipkow de la figure 44 ; le fonctionnement est évident. L'intensité du faisceau cathodique est maintenue constante et la modulation de la lumière envoyée sur la cellule est due aux variations de transparence du film.

93. Émission par oscillographe cathodique. Procédé de Campbell-Swinton. — Ce procédé est tout à fait distinct

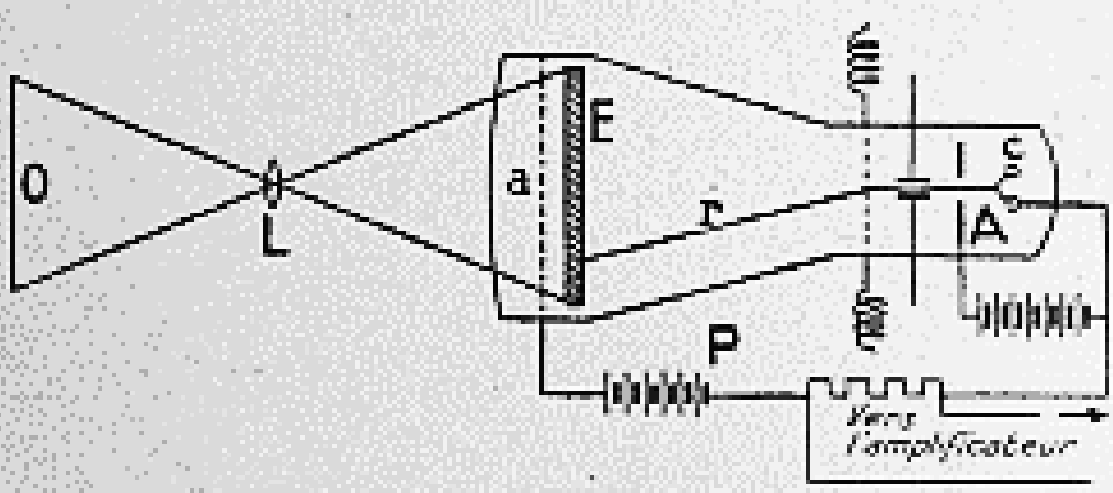

Fig. 58. — Oscillographe émetteur.

O objet, E écran photoélectrique multicellulaire, r faisceau cathodique apportant à une cellule de l'écran les électrons qui lui permettront d'émettre un courant photoélectrique.

des procédés mécaniques précédemment décrits, le rayon cathodique y est utilisé comme un fil conducteur mettant successivement en circuit toute une série de cellules photoélectriques disposées côte à côte sur un écran illuminé par l'image à transmettre. Cet écran est représenté en E sur la figure 58 ; il est fait en matière isolante comme un rayon de cellules d'abeilles et à l'intérieur de chaque cellule se trouve une matière photoélectrique susceptible de perdre des électrons sous l'influence de la lumière. En l'absence du faisceau cathodique, ces cellules sont isolées, de sorte que leur émission électronique est immédiatement arrêtée par la charge positive que produit le départ des électrons, mais si un rayon cathodique *r* tombe sur l'une

d'elles, il ferme le circuit comprenant la cathode C, la pile P et la grille positive *a* formant anode de la cellule. On conçoit alors que le balayage du rayon *r* mettra successivement en fonction toutes les cellules élémentaires éclairées par la projection sur elles de l'objet O [9].

Les difficultés de réalisation d'un pareil système sont considérables et il n'a donné jusqu'ici aucun résultat pratique.

94. Émission par oscillographe cathodique. Procédé Farnsworth. — Dans ce système, une grille à mailles très fines G_p est recouverte de matière photoélectrique (fig. 59) et éclairée comme dans le cas précédent par la projection

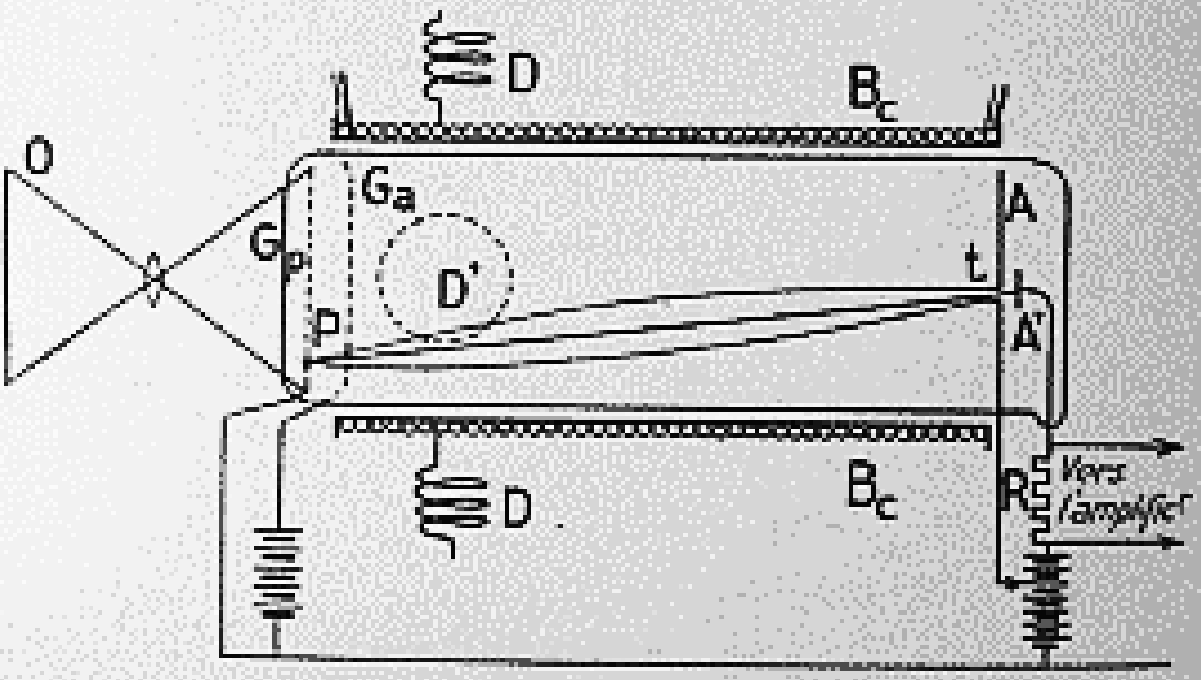

Fig. 59. — Oscillographe émetteur.

P grille photoélectrique ; Pt faisceau électronique concentré en t par le champ dû à la bobine B_c ; D, D' bobines de balayage.

de l'image de l'objet O ; devant elle, une autre grille G_a à mailles lâches sert d'anode d'accélération. Dans ces conditions tous les points de G_p émettent constamment, proportionnellement à leur éclairement, des électrons dont l'ensemble est dévié par les deux couples de bobines de balayage D et D'. A l'autre extrémité du tube se

trouve une plaque positive A percée en son centre d'un petit trou t derrière lequel est placée une petite anode A′ portée à un potentiel un peu plus élevé. Seuls les électrons issus d'un point P de G_p arrivent en t et atteignent A′ ; le courant correspondant passe dans la résistance R dont les bornes sont reliées à celles de l'amplificateur. Le point P est constamment déplacé par le balayage de telle sorte que l'image est explorée dans son entier. Pour faire parvenir en A′ tous les électrons issus de P, une bobine de concentration B_c (n° 88) crée dans le tube un champ magnétique sensiblement uniforme et parallèle à son axe [9].

Ce procédé développé par Zworikin concurremment avec le tube récepteur du numéro 90, a permis d'obtenir de très bonnes images de 20 × 20 cm, contenant 40 000 points d'image ; la grille photoélectrique G_p a quatre mailles au millimètre.

95. Exploration à vitesse variable. — L'idée de ce procédé, imaginé également par Rosing [30], découle des deux remarques suivantes :

La modulation des parties sombres d'une image ne joue qu'un rôle peu important dans la qualité de cette image, qui est surtout conditionnée par la netteté de reproduction des régions éclairées.

Dans la plupart des images à reproduire le rapport de l'ensemble des parties obscures à celui des régions claires est très supérieur à l'unité.

Dans ces conditions, il y aurait un grand avantage à balayer rapidement les régions sombres pour rester plus longtemps sur les régions claires et accroître ainsi la netteté de reproduction de ces dernières ; nous avons vu en effet au chapitre II que l'estompage des contours s'étend proportionnellement à la vitesse d'exploration. L'oscillographe, par son indépendance de toute liaison mécanique

et l'absence d'inertie qui en résulte, se prête à une solution de ce genre. Laissons pour le moment de côté la question de l'émission et occupons-nous seulement de la réception pour en examiner les conditions de fonctionnement [34].

Imaginons donc qu'avec les courants provenant de l'émetteur, nous soyons parvenus à commander la vitesse de balayage du pinceau cathodique, d'énergie maintenue constante, en raison inverse de l'intensité des teintes à reproduire. Si l'œil regarde un point particulier de l'image formée, l'impression lumineuse qu'il perçoit est, en vertu de la loi de Talbot, proportionnelle à $\frac{E\varepsilon}{v}$, en désignant par E l'éclairement produit par le faisceau au repos, par ε la largeur de la tache et par v sa vitesse; la reproduction sera donc conforme à l'original.

Cependant le résultat que nous venons d'obtenir ne s'applique rigoureusement qu'à une image invariable. Pour examiner un cas très simple où le procédé est en défaut, supposons que nous ayons à transmettre une surface de teinte uniforme dont l'éclairement devienne tout d'un coup quatre fois plus intense. Au moment du changement de teinte de l'original, la vitesse de balayage deviendra quatre fois plus faible; si donc le nombre d'images balayées à la seconde est n dans le premier cas, il sera $n/4$ dans le second. Dans ces conditions, la tache d'exploration est retenue quatre fois plus longtemps sur un même point par la réduction de vitesse du balayage, mais elle y passe quatre fois moins souvent, de sorte que les deux teintes observées seront équivalentes. En outre, si n est égal à 20 dans le premier cas, il ne vaudra plus que 5 dans le second et il en résultera une scintillation très accentuée de la deuxième image. Ce défaut ne doit cependant pas être considéré comme prohibitif, car la pratique montre que la teinte moyenne de la plupart des images ne varie pas dans de fortes proportions.

96. Gain de lumière provenant de l'exploration à vitesse variable. — A égalité du nombre d'images à la seconde ce procédé procure un gain très important en lumière. Pour le voir, partons des résultats expérimentaux suivants, déduits de l'observation des photographies [34] : le rapport entre l'intensité maxima et l'intensité minima dans une même image peut être pris égal à 20 ; l'intensité lumineuse moyenne d'une image ne vaut que le cinquième environ de l'intensité maxima.

Partant de ces données, considérons une image dont 1/6 de chaque ligne aurait l'intensité lumineuse maxima et 5/6 l'intensité minima, ce qui correspond aux conditions précédentes et soient v_m et v_M les vitesses d'exploration correspondantes dont le rapport sera $\frac{v_m}{v_M} = \frac{1}{20}$. La durée τ d'exploration d'une ligne de longueur l sera :

$$\tau = l\left(\frac{5}{6}\,\frac{1}{v_M} + \frac{1}{6}\,\frac{1}{v_m}\right) = \frac{5}{24}\,\frac{l}{v_m}.$$

Si la même image était explorée avec modulation de l'intensité de la tache, et à la vitesse constante v_e, la durée d'exploration d'une ligne serait :

$$\tau' = \frac{l}{v_e}.$$

En admettant dans les deux cas le même nombre d'images à la seconde, on aura $\tau = \tau'$ et

$$v_m = \frac{5}{24}\,v_e.$$

Comme l'intensité constante de la tache dans le premier cas peut être prise égale à son intensité maxima dans le second, l'éclairement sera environ cinq fois plus grand dans le système à vitesse variable, ce qui représente un bénéfice considérable si l'on tient compte de la faiblesse des sources actuellement disponibles et que nous avons étudiées au chapitre IV.

On pourrait faire une étude, analogue à celle du numéro

17, sur la largeur des zones de transition correspondant sur l'image reçue à un changement brusque d'intensité lumineuse entre deux régions de l'original ; on trouverait que cette zone est un peu plus étroite avec le système à vitesse variable [34].

Malgré ces avantages, ce procédé, en raison des difficultés d'application, n'a pas donné lieu jusqu'ici à des développements importants ; von Ardenne a cependant réalisé un ensemble de laboratoire qui a fourni des résultats équivalents à ceux obtenus par les autres méthodes ; nous donnons ci-dessous le schéma général de son installation.

97. Réalisation du système à vitesse variable. — Pour concevoir le fonctionnement du système, supposons que l'on ait monté à l'émission et à la réception deux oscillographes comme sur la figure 60, le faisceau cathodique *f* de l'émetteur éclairant successivement, dans son mou-

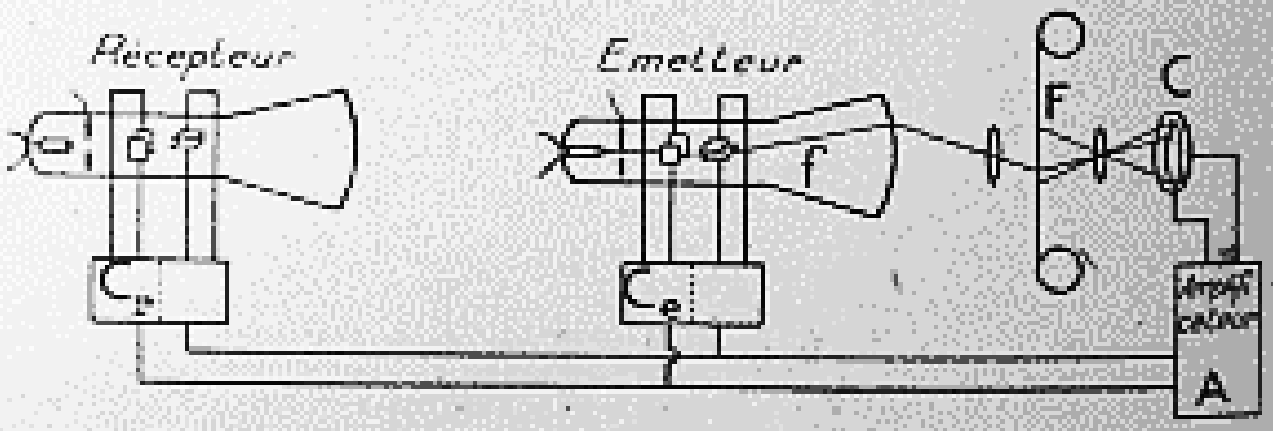

Fig. 60. — ÉMISSION ET RÉCEPTION PAR OSCILLOGRAPHE CATHODIQUE ET EXPLORATION A VITESSE VARIABLE.

vement de balayage, tous les points d'une image sur film F. Imaginons maintenant que l'on ait monté sur les oscillographes deux commandes de balayage identiques C_e et C_r, et que, par des lignes convenables ou des ondes radioélectriques, on les mette en parallèle sur une même source d'énergie fournissant les courants ou tensions nécessaires au fonctionnement. Les deux appareils fonc-

tionneront en synchronisme et les deux balayages seront identiques [48].

Cela fait, il suffira de faire gouverner cette source commune par l'intensité lumineuse des points d'image du film. Sans entrer dans aucun détail d'installation, on conçoit que ce but peut être atteint en utilisant le courant photoélectrique. Supposons par exemple que l'original soit un négatif, quand la tache d'exploration passera sur une région obscure elle provoquera un faible courant, ce sera l'inverse pour une région claire ; après amplification, on aura à sa disposition des tensions proportionnelles aux éclairements du négatif, c'est-à-dire inversement proportionnelles à ceux du positif.

Les appareils de commande sont des circuits à relaxation (n° 87) qui seront réglés pour provoquer, en dehors de toute action extérieure, des balayages à peu près synchrones et correspondant aux plus faibles vitesses. Si, à la place de l'alternateur de la figure 54, on introduit les tensions issues de l'amplificateur A après les avoir redressées, on conçoit que ces tensions modifieront la vitesse de charge du condensateur et par conséquent la vitesse instantanée du balayage. Avec un réglage convenable des circuits, on pourra également obtenir l'allumage simultané des lampes, c'est-à-dire le passage synchrone d'une ligne à la suivante.

On remarquera que des appareils de ce genre seraient automatiquement synchronisés par les courants d'images eux-mêmes, sans qu'il soit nécessaire de faire intervenir une onde ou un courant spécial comme il arrive dans la plupart des autres cas.

IV. — *TÉLÉVISION EN COULEUR ET EN RELIEF*

98. Télévision en couleurs. — Les procédés qui ont été proposés reposent sur l'emploi de trois couleurs fonda-

mentales : rouge, bleu et vert ou jaune : nous allons décrire l'ensemble réalisé par les Bell Laboratories [14].

A l'émission l'objet à transmettre est exploré comme il est indiqué au numéro 5 par un pinceau lumineux provenant d'un arc, mais les cellules photoélectriques impressionnées par la lumière diffusée sont placées derrière

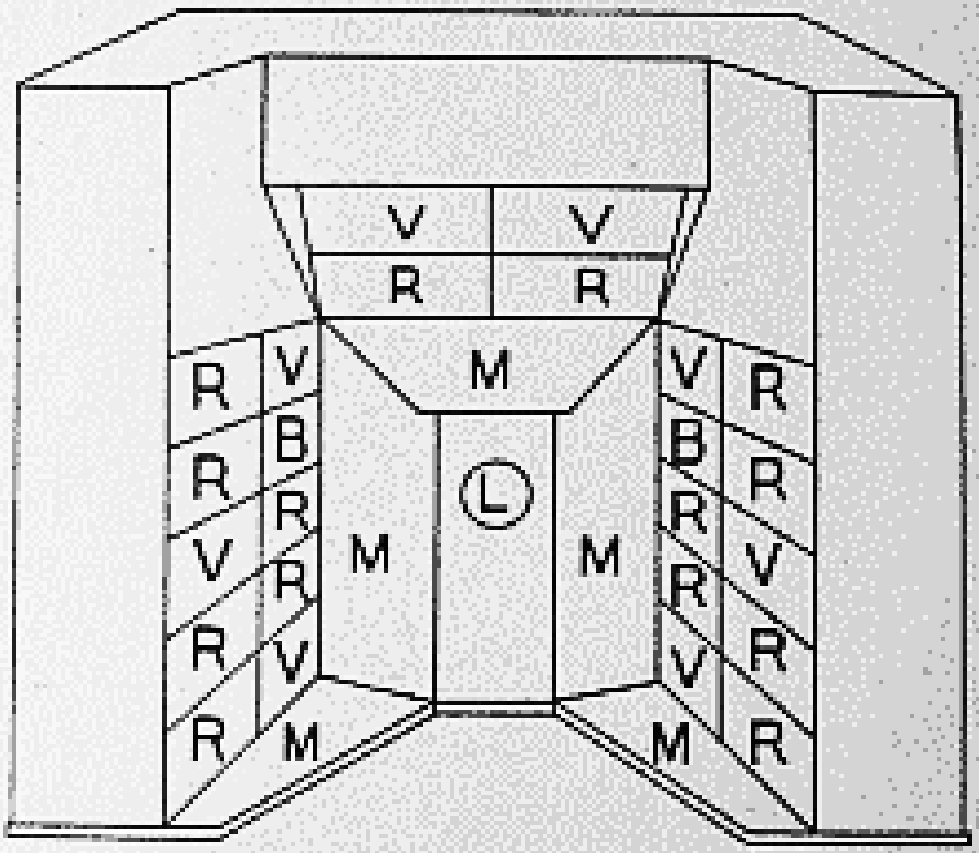

Fig. 61. — TÉLÉVISION EN COULEURS ; DISPOSITIONS DES CELLULES PLACÉES AUTOUR DE L'OBJET.

R, B, V filtres optiques rouges, bleus et verts. M miroirs récupérateurs.

des filtres de lumière ne laissant arriver sur chacune d'elles que la couleur fondamentale convenable. Les choses sont disposées comme sur la figure 61 que nous empruntons au mémoire de Ives et Johnsrud. Les différents filtres sont désignés par les lettres R, B et V ; les parties marquées M sont des miroirs qui renvoient la lumière diffusée sur les filtres, L est la lentille qui concentre sur l'objet le pinceau lumineux. Les cellules sont construites de façon à répondre dans les meilleures conditions aux couleurs des

filtres correspondants ; elles sont fabriquées avec du sodium ayant subi un traitement spécial au moyen de vapeur de soufre et d'oxygène.

Toutes les cellules excitées par une même couleur sont mises en parallèle et chacun des trois courants est transmis par une voie de communication distincte.

Ces trois voies de communication aboutissent à trois lampes à cathode creuse *s* (fig. 62), dont l'une au néon fournit les radiations rouges et les deux autres à l'argon

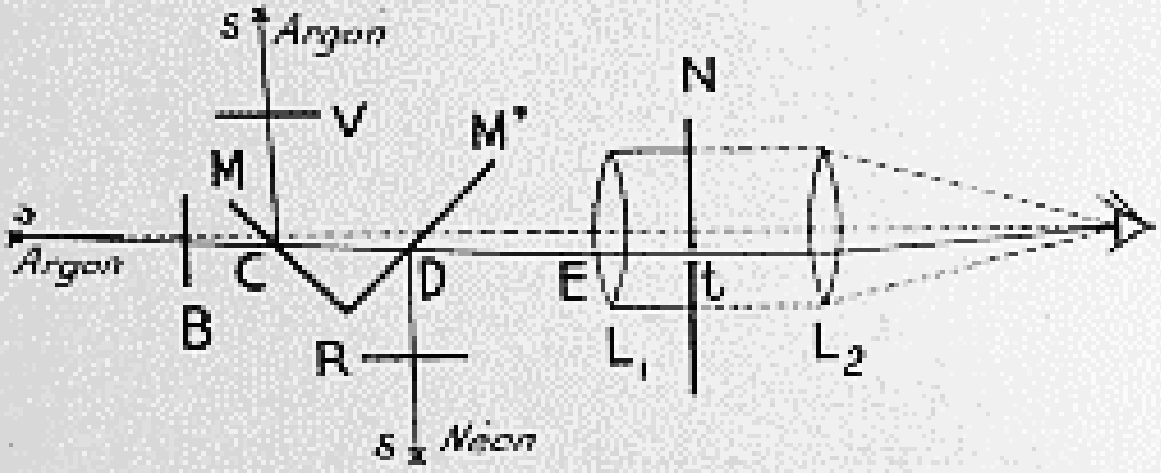

Fig. 62. — RÉCEPTION DE TÉLÉVISION EN COULEURS.

s sources à gaz ; R, B, V filtres optiques ; M et M' miroirs semi-transparents.

donnent les radiations bleues et vertes ; devant chacune d'elles est placé un filtre convenable représenté en R, B ou V. Deux miroirs semi-transparents M et M' sont traversés par les rayons bleus et réfléchissent les rayons rouges et verts qui se confondent sur la ligne CDE pour aller passer par le trou *t* du disque de Nipkow. La lentille L_1 concentre ce petit faisceau et la lentille L_2 condense la lumière dans l'œil de l'observateur. Les dernières lampes des amplificateurs alimentant les lampes à cratère ont une puissance de 250 watts ; pour la lumière verte deux lampes amplificatrices sont placées en parallèle pour compenser la pauvreté en rayons verts des tubes à argon.

Il va sans dire que l'emploi de trois voies de communication et les pertes de lumière provenant des systèmes optiques augmentent singulièrement la complication de ces installations qui ne paraissent pas près d'entrer dans la pratique.

99 Télévision en relief. — Rien ne coûte d'inventer, car tant qu'on n'arrive pas à l'ère des réalisations, une feuille de papier et un crayon suffisent pour bâtir les choses les plus merveilleuses ; aussi existe-t-il déjà des projets de télévision en relief. Le principe, d'ailleurs très simple, est celui des stéréoscopes. A l'émission on transmet simultanément ou successivement deux images de l'objet telles qu'elles seraient vues par les deux yeux et à la réception on dispose l'installation de façon que l'observateur, regardant avec ses deux yeux, voie l'une des images d'un œil et l'autre de l'autre œil.

A l'émission il suffira de placer deux sources correspondant à la distance des yeux ; on s'arrangera de façon que l'une d'elle éclaire l'objet à travers un disque de Nipkow pendant un tour de ce dernier et l'autre pendant le tour suivant ; à la réception un mécanisme convenable cachera la vue d'un œil pendant un tour et la vue de l'autre au tour suivant. Parmi les difficultés de réalisation, on notera qu'à netteté égale, le nombre des images passées en une seconde devrait être doublé et avec lui la largeur de la bande de fréquence nécessaire.

CHAPITRE VII

LA SYNCHRONISATION

I. — *PRÉCISION REQUISE*

100. Précision nécessaire en phototélégraphie. — Avant de décrire les procédés employés pour obtenir des vitesses presque rigoureusement égales des cylindres émetteurs et récepteurs, cherchons quelle est la précision nécessaire.

Supposons les vitesses des deux cylindres parfaitement constantes, mais légèrement différentes, et imaginons que l'on veuille transmettre une droite parallèle à l'axe du cylindre d'émission. Soit AX cette droite sur la figure 63 où nous plaçons en regard les feuilles développées d'émission et de réception, les déplacements des taches d'exploration se faisant de haut en bas.

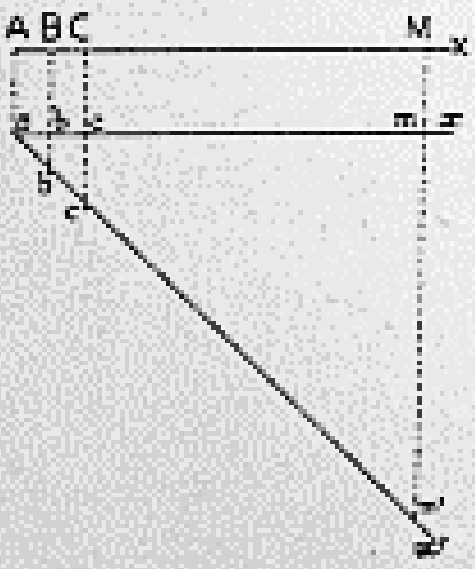

Fig. 63.

Le point A se reproduira d'abord en *a* puis, après un tour du cylindre d'émission, le point B devrait donner une image en *b* ; mais le cylindre de réception tournant un peu plus vite, l'inscription aura lieu en *b'* : les points suivants *c*, *d*, ... seront aussi déplacés et finalement AX sera représentée par une ligne Ax' dont la pente par rap-

port à Ax sera $\frac{bb'}{ab}$. Supposons cette pente égale à 1, c'est-à-dire $bb' = ab$ et cherchons quelle est la différence relative des deux vitesses ; si D est le diamètre des cylindres leurs vitesses sont proportionnelles à πD et $(\pi D + ab)$ et la différence relative est $\frac{ab}{\pi D}$ ou $\frac{1}{\pi v D}$, v étant le nombre de lignes au millimètre et D étant exprimé en millimètres.

Dans le cas normal d'une finesse de trame de 5,3 et de cylindres de diamètre D = 66 mm, cela fait $\frac{1}{1\,100}$. Une transmission de cette espèce serait évidemment inacceptable ; on admet une pente de 1 /100 qui est insensible dans la plupart des cas ; mais cela conduit à un écart relatif des vitesses de 10^{-6} environ.

Avec des cylindres de 50 mm, une finesse de trame de 2, et une pente de 1 /50 déjà nettement reconnaissable, même sur l'image grossière correspondant à cette trame, on trouve encore 1 /15 700.

Pour se faire une idée de la précision ci-dessus, on remarquera qu'un chronomètre dont la marche est de une seconde par jour donne lieu à un écart relatif de 1 /86 400.

101. Emploi des alternateurs synchrones. — La synchronisation est assurée par différents procédés : tantôt on transmet, en même temps que les signaux d'image, une fréquence auxiliaire qui, filtrée et amplifiée à la réception, est utilisée pour la commande des mouvements ; tantôt on installe aux deux postes des appareils susceptibles de fournir des mouvements identiques, sans aucune liaison ; tantôt enfin, on a recours à des procédés mixtes dans lesquels les appareils locaux sont corrigés à intervalles réguliers pour les empêcher de prendre un écart

sensible. Mais, le plus souvent, le moteur auquel s'appliquent les commandes est un moteur alternatif synchrone ; comme ces commandes proviennent d'un oscillateur ou d'un amplificateur à lampes dont il y a intérêt à ne pas exagérer la puissance, on prend des dispositions convenables pour ne demander à l'alternateur que le minimum possible de puissance.

Pour y arriver, on emploie l'artifice suivant : le rotor de l'alternateur est entraîné par un moteur indépendant, généralement à courant continu, dont on règle la vitesse à une valeur très voisine de celle que l'on désire obtenir ; la presque totalité de la puissance nécessaire à l'entretien du mouvement est alors fournie par ce moteur et on ne demande à l'alternateur que la faible énergie qui maintiendra constamment le système à la vitesse déterminée par la fréquence de son alimentation. Pour se rendre compte des particularités du fonctionnement de l'alternateur, il est nécessaire de l'étudier avec quelques détails.

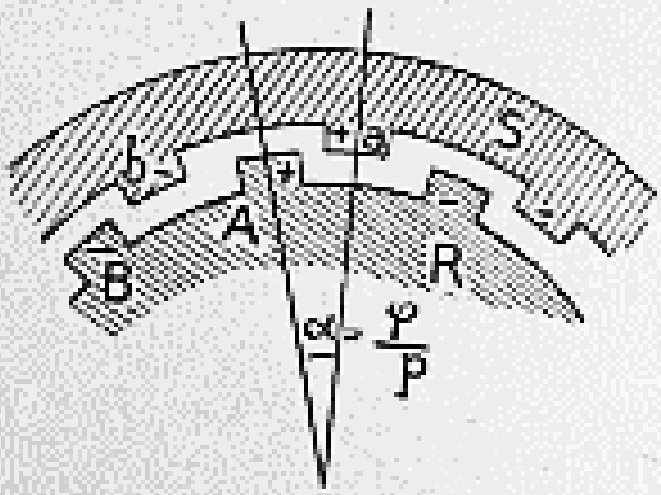

Fig. 64.

Considérons le schéma de la figure 64 et soient T et ω la période et la pulsation de l'alimentation du stator S : imaginons que, par un procédé quelconque, nous imposions au rotor une rotation en synchronisme ; un de ses points, le pôle A par exemple, parcourra l'angle aOb dans le temps T/2 et il sera soumis de la part du stator, à l'instant t, à un couple dont l'expression sera en négligeant les harmoniques :

$$C = K \sin \omega t \cdot \sin (\omega t + \varphi),$$

φ étant l'avance de phase du mouvement de rotation sur le champ inducteur ; cette avance sera nulle si A passe exactement devant α au moment où ce pôle change de signe ; dans le cas général, en appelant p le nombre de paires de pôles et α l'angle αOA à l'instant zéro, on a :

$$\varphi = p\alpha.$$

La puissance fournie par le stator sera :

$$w_a = \int_0^1 C\omega \, dt = W_a \cos \varphi,$$

W_a désignant une constante.

Cela posé, soit W_c la puissance du moteur à courant continu, la puissance totale disponible sur l'arbre sera $(W_c + W_a \cos \varphi)$ et, si W_T est celle qui est nécessaire à l'entraînement des mécanismes, on aura :

$$W_T = W_c + W_a \cos \varphi.$$

Il est alors clair que le mouvement en synchronisme ne pourra être réalisé que si

$$W_a > W_T - W_c.$$

On satisfait à cette condition, à la mise en marche, en augmentant progressivement la vitesse du moteur continu jusqu'au moment où $W_T - W_c$ étant devenu inférieur à W_a, l'accrochage se produit.

Il est facile de voir qu'un tel mouvement ne peut être stable que si φ est compris entre zéro et π. Supposons en effet $0 > \varphi > -\frac{\pi}{2}$, w_a sera positif et l'alternateur poussera avec le moteur ; si on augmente les résistances d'une quantité très faible, le rotor aura tendance à reculer, φ croîtra en valeur absolue, cos φ et w_a décroîtront ; le recul s'accentuera donc jusqu'à ce que cos φ reprenne une valeur positive et croissante ; à ce moment l'alternateur poussera à nouveau et comme cos φ augmentera d'autant plus que le recul sera grand, w_a finira par atteindre

une valeur suffisante pour rétablir l'équilibre. On obtiendrait des résultats du même genre en supposant que le travail résistant diminue ou en prenant un angle φ compris entre $-\frac{\pi}{2}$ et $-\pi$.

Au contraire, si φ est pris positif et inférieur à π on constate qu'une petite variation du travail résistant est immédiatement compensée par la variation de ω_0 dans le sens convenable.

Il résulte de là qu'au moment de l'accrochage, OA viendra se placer dans une position telle que φ soit compris entre 0 et π, à $2k\pi$ près. Par la suite, les variations de φ resteront inférieures à π, à moins qu'une cause quelconque ne donne accidentellement à $W_T - W_e$ une valeur supérieure à W_a, auquel cas l'alternateur décrocherait.

Les dispositions de l'ensemble sont naturellement prévues pour que cet événement ne puisse pas se produire et on voit qu'en cours de fonctionnement les variations de φ causées par les petites irrégularités de l'alimentation et du travail résistant resteront inférieures à π. Il en résulte que les petits déplacements angulaires du rotor autour de la position moyenne qu'il aurait en cas de fonctionnement parfait, seront toujours inférieurs à $\frac{\pi}{2p}$; pratiquement ils restent inférieurs au dixième de cette limite.

Ces déplacements angulaires sont généralement oscillatoires, car la masse en rotation ne peut atteindre immédiatement sa position d'équilibre ; comme l'inertie de cette masse est relativement élevée, ces oscillations sont naturellement peu amorties et leur période est assez longue, de l'ordre de la seconde. Dans le cas de la télévision où les vitesses sont très grandes, on établit parfois des dispositifs d'amortissement pour éviter ces oscillations ; on a recours soit à des courants de Foucault provoqués par les variations de vitesse, soit à des liaisons

élastiques amorties entre les différentes parties de l'ensemble en rotation ; c'est ainsi que l'on peut réunir le disque de Nipkow à son axe par un lien élastique avec frein hydraulique (15).

102. Pompage et fréquence des alternateurs pour la phototélégraphie. — On désigne sous le nom de pompage les petites oscillations que nous venons d'étudier ; nous allons rechercher l'influence que peut avoir ce phénomène sur la qualité des épreuves phototélégraphiques.

Pour cela reportons-nous à la figure 63, mais en supposant cette fois que les vitesses moyennes de rotation soient identiques à l'émission et à la réception. L'image de AX sera ax si l'on admet que, chaque fois que l'un des points a, b, c, s'inscrit, l'angle φ du numéro précédent possède exactement la même valeur. S'il n'en est pas ainsi, tous ces points pourront être décalés de petites quantités dans un sens ou dans l'autre, et la reproduction sera sinueuse ou irrégulière. On reconnaît tout de suite que, pour éviter ce défaut, il suffira de déterminer l'alternateur et les transmissions de façon que le plus fort décalage possible reste notablement inférieur à la dimension du point d'image, et nous allons voir que la condition à remplir pour obtenir ce résultat est des plus simples, elle porte exclusivement sur la fréquence d'alimentation de l'alternateur.

Nous avons vu que la variation maxima de φ était de π ; reportant cette variation dans le temps, nous pouvons dire que l'écart maximum sera d'une demi-période. Considérons maintenant le cas normal où les cylindres font un tour à la seconde ; si D est leur diamètre et f la fréquence d'alimentation de l'alternateur, le chemin que parcourt un point de leur surface en une demi-période est $\frac{\pi D}{2f}$; cette quantité doit être inférieure à la largeur du

point d'image. Dans le cas où D = 66 mm et $\nu = 5{,}3$, f doit donc être supérieur à 550. Nous avons fait remarquer que le décalage maximum était loin d'être atteint dans la pratique et on conçoit qu'il doive en être ainsi, sans quoi le système ne présenterait aucune sécurité, car il approcherait trop des conditions de décrochage ; il en résulte que l'on peut prendre pour f la valeur précédemment calculée, ou même une valeur un peu plus faible, sans aucun inconvénient. Dans les appareils Belin, $f = 600$, dans ceux des Bell Laboratories f est inférieur à 400 c/s.

103. Précision de la synchronisation en télévision. — Cette question se présente sous une forme assez différente de celle qu'elle affecte en phototélégraphie. Le nombre de lignes d'une image est en effet si faible qu'un synchronisme très grossier suffit à conserver la forme de l'objet transmis ; le défaut de synchronisme ne se traduit plus par une déformation, mais par un déplacement de l'image reçue.

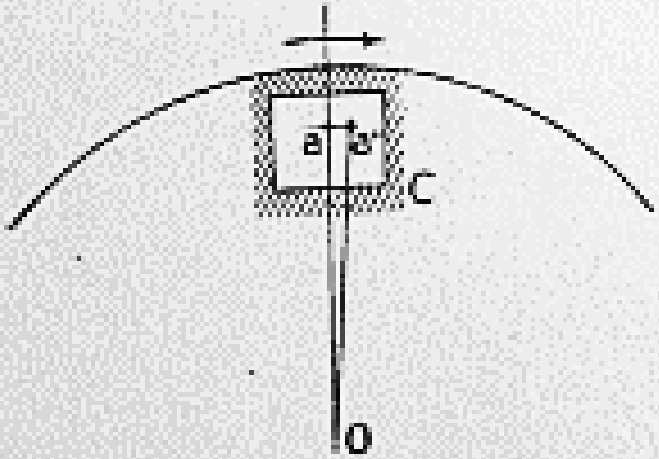

Fig. 65.

Considérons par exemple la roue de Nipkow de la figure 65 et soit C le cadre de l'image. Un point de l'objet qui se reproduit en a, au moment d'un passage déterminé d'un trou de la roue, se reproduira toujours en a si le synchronisme est parfait ; mais si la roue réceptrice tourne plus vite que l'émettrice, le point qui fait son image en a, à un tour donné, la fera en a' au tour suivant et l'image tout entière aura avancé vers la droite de la quantité

aa'. Soit n la fréquence de rotation de la roue émettrice (nombre d'images à la seconde) et $n + \delta n$ celle de la réceptrice, en désignant par ρ le rayon $O\alpha$ on aura pour un tour :

$$aa' = 2\pi\rho \frac{\delta n}{n}. \tag{1}$$

Comme le disque fait $60 \times n$ tours à la minute, le déplacement d de l'image pendant ce temps sera :

$$d = 120\pi\rho\,\delta n.$$

Un fonctionnement parfait exigerait un déplacement nul, mais on peut à la rigueur admettre un déplacement lent que l'on corrigerait de temps à autre ; des appareils sont basés sur ce principe, l'observateur a en mains un petit rhéostat sur lequel il agit pour maintenir l'image dans son cadre. Considérons le cas d'une image de 50 mm de côté avec $n = 16$ et $\rho = 200$ mm et admettons un déplacement de 1 mm par minute, cela exige une précision de synchronisme

$$\frac{\delta n}{n} = \frac{d}{120\pi\rho n} \fallingdotseq 10^{-4}.$$

Toutes les fréquences des différents organes d'un même mécanisme variant évidemment dans un même rapport, $\frac{\delta n}{n}$ peut être considéré comme se rapportant à deux organes homologues quelconques, par exemple les deux alternateurs entraînant les disques. La précision requise est donc considérable, mais on doit remarquer que l'image elle-même fournit un procédé de contrôle stroboscopique très précis et qu'on réaliserait aisément une correction automatique au moyen d'une cellule photoélectrique, qui serait illuminée dès que l'image sortirait des limites qui lui sont assignées ; cette solution aurait cependant l'inconvénient d'augmenter l'encombrement et le prix des appareils récepteurs, prix qui devront être modérés

dès que la télévision sera en état de fournir des résultats intéressants pour le public. Pour ces raisons, il semble que la synchronisation locale ne soit pas la solution d'avenir en télévision.

Nous avons fait remarquer au début de ce numéro que si la déformation de l'image était seule en jeu, un synchronisme très grossier suffirait ; en effet la longueur aa' calculée plus haut représente aussi la déviation bb' du pied de l'image ab' d'une droite verticale AB de l'objet (fig. 66) ; en admettant une pente à peu près inappréciable de 1/100 et une hauteur d'image de 50 mm, cela fait $bb' = 0{,}5$ mm et la formule 1 donne un écart relatif de fréquence

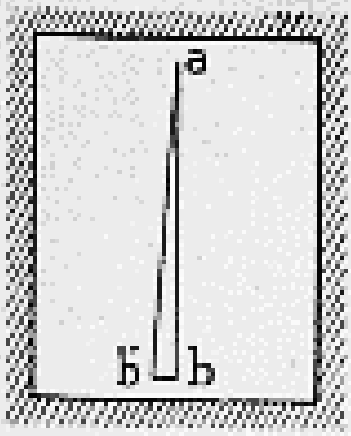

Fig. 66.

$$\frac{\delta n}{n} = \frac{0{,}5}{2\pi p} \doteq \frac{1}{2\,512}.$$

104. Pompage en télévision. — Nous avons étudié ce phénomène au numéro 102 pour la phototélégraphie ; il transformait une ligne régulière en ligne sinueuse ; ici, pour les raisons qu'on vient de développer, il donnerait lieu à un balancement de l'image entière. Ce balancement est particulièrement désagréable et produit sur l'observateur une impression de mal de mer.

Cherchons à nous rendre compte de l'amplitude de ce mouvement en raisonnant sur la roue de Nipkow ; soit f la fréquence d'alimentation de l'alternateur ; nous avons vu que l'on pouvait prendre comme limite extrême des variations de la phase l'angle $\frac{\pi}{10}$ (n° 101), ce qui correspond à un vingtième de période. Remarquons maintenant que l'angle dont tourne le disque dans un temps donné dépend uniquement du nombre q de périodes de la

fréquence f, écoulées dans ce temps ; cet angle est $2n\pi\frac{?}{f}$; si, dans le même temps, par suite du changement de phase, il se trouve un vingtième de période en plus ou en moins, la position du disque est décalée de l'angle

$$2n\pi\frac{1/20}{f}=\frac{\pi n}{10f}$$

et le déplacement linéaire d'un point de l'image est :

$$d'=\frac{\pi n\rho}{10f}.$$

Pour $n=16$, $\rho=125$ mm, et $f=50$, on trouve $d'=12{,}5$ mm, valeur considérable pour une image dont les dimensions seraient d'environ 50 mm. L'expérience montre que de tels écarts ne se produisent pas fréquemment, mais on voit quelle est l'importance de cette question et les précautions à prendre pour supprimer ce défaut. Dans leurs premiers essais les Bell Laboratories employaient une fréquence de 2 125 c/s pour un disque de 500 mm ; par la suite ils ont abaissé la fréquence, mais ont encore conservé 1 275 c/s.

105. **Remarque sur la nécessité du balayage unilatéral.** — En décrivant le procédé d'exploration par miroirs oscillants (n° 76) nous avons montré certains inconvénients de ce procédé ; il en présente un autre relativement au synchronisme : pour éviter des pertes de temps inadmissibles, il est en effet nécessaire d'utiliser les deux mouvements d'aller et de retour de la tache d'exploration, et l'on reconnaîtra facilement qu'une différence de phase entre les balayages à l'émission et à la réception dédoublerait une ligne verticale de l'objet, les lignes impaires étant décalées vers la droite, par exemple, et les lignes paires vers la gauche.

II. — *PROCÉDÉS DE SYNCHRONISATION LOCALE*

106. Emploi de diapasons entretenus. — La synchronisation locale n'est possible que pour la phototélégraphie ; nous avons vu en effet au numéro 103 que la précision requise en télévision pour un fonctionnement durable est incompatible avec les procédés dont on pourrait disposer ; on ne peut l'employer que pour des expériences en corrigeant de temps à autre les déviations de l'image.

Pour la phototélégraphie au contraire, ce procédé convient parfaitement et est employé par plusieurs constructeurs. Il est exclusivement basé sur l'alimentation d'alternateurs synchrones par un courant engendré par des diapasons et convenablement amplifié.

Les diapasons, d'une fréquence propre de 600 à 1 200 périodes, doivent être installés avec beaucoup de soin, à l'abri de toutes les perturbations extérieures. Leurs socles doivent être assez massifs pour supprimer l'influence des chocs, ou des vibrations du local où ils se trouvent, et aussi pour réduire leur amortissement.

Ce sont les variations de température qui donnent lieu aux plus fortes variations de la fréquence ; avec les aciers ordinaires, une élévation de température de 1° C produit une variation relative de la fréquence de $-1{,}5 \cdot 10^{-4}$ environ, mais on est parvenu à fabriquer des aciers spéciaux dont le coefficient de température peut descendre à 3 à $4 \cdot 10^{-6}$; c'est le cas de l'elinvar par exemple. Les différents échantillons de ce métal ne sont cependant pas identiques et on peut rencontrer des cas où le coefficient tombe à $5 \cdot 10^{-5}$, la valeur 10^{-5} est normale. Comme ce chiffre représente justement la précision requise, on voit qu'il est indispensable de placer le diapason dans un thermostat auquel on demandera une constance de tem-

pérature de 1°. Il y a lieu de noter que le coefficient de température peut changer très sensiblement pendant les premières semaines de fonctionnement ; il faut donc en contrôler la constance.

La pression atmosphérique agit aussi sur la fréquence, mais son influence est négligeable car, par millimètre de mercure, elle ne diminue la fréquence que de $3 \cdot 10^{-7}$; elle conduit néanmoins à des corrections d'un jour à l'autre.

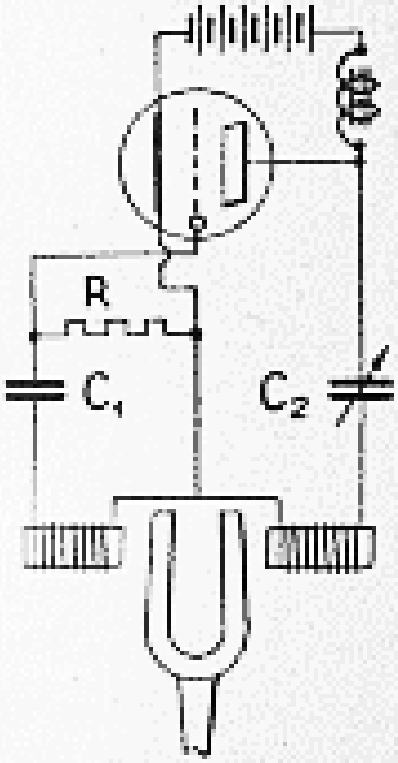

Fig. 67. — ENTRETIEN D'UN DIAPASON.

L'amplitude des oscillations modifie aussi la fréquence qui diminue quand l'amplitude augmente ; enfin l'aimantation du métal apporte aussi des troubles. C'est pourquoi les installations d'entretien doivent être faites de façon à assurer une amplitude constante et à éviter l'introduction d'une aimantation continue, dont l'existence est d'autant plus dangereuse qu'elle ne se fait parfois sentir qu'à la longue. Le montage de la figure 67 convient, car les condensateurs C_1 et C_2 protègent les électro-aimants contre le courant constant de plaque ou de grille. Les éléments du circuit d'entretien ont naturellement une influence sur la fréquence, ce sont eux que l'on utilise généralement pour obtenir les petites variations nécessaires pour la mise en synchronisme de deux appareils : la modification de la capacité C_2, par exemple, permet d'obtenir des variations de quelques dix-millièmes.

Les appareils Belin et Siemens sont synchronisés localement par des diapasons dont les dispositions générales sont celles qui viennent d'être décrites, ils utili-

sent respectivement des fréquences de 600 et 1 020 périodes[1].

107. Emploi de diapasons corrigés. — Signalons aussi le procédé de synchronisation locale employé par la Radio Corporation of America, système Ranger, dans lequel le maintien du synchronisme est demandé non pas au diapason, mais à un chronomètre. Le diapason est réglé approximativement et il reçoit toutes les cinq secondes une impulsion au moyen d'un électro-aimant, voisin de l'une de ses branches, et commandé par le chronomètre ; ces impulsions corrigent les petits changements de phase qui auraient pu se produire dans les intervalles.

En outre, il n'y a pas d'alternateur pour assurer le synchronisme de la rotation ; l'arbre n'est entraîné que par un moteur à dérivation à courant continu dont le diapason corrige la vitesse à chaque tour, la durée d'un tour étant d'une période. Ce résultat est obtenu au moyen d'un commutateur tournant qui introduit une résistance dans le circuit d'excitation ou la supprime, selon que le moteur tourne trop lentement ou trop vite ; les contacts nécessaires à la commutation sont fermés à chaque période par le diapason. Ce système est moins précis que celui décrit au précédent numéro.

108. Méthode stroboscopique de réglage. — Nous verrons que l'on arrive assez facilement à obtenir des appareils dont la fréquence peut être réglée avec la précision indiquée au numéro 100 (10^{-3}), et qui conservent cette fréquence pendant de longs intervalles. Mais il est naturellement nécessaire, au début d'une opération, d'accorder l'un sur l'autre les mouvements de rotation à l'émis-

1. On pourrait envisager le quartz piézo-électrique pour remplacer les diapasons dans le système que nous venons de décrire, mais il ne se prête pas très aisément à l'emploi des fréquences acoustiques et il ne paraît pas qu'il en existe actuellement des applications.

sion et à la réception. Cette opération se fait très rapidement par la méthode stroboscopique : imaginons que l'on veuille synchroniser le poste 2 sur le poste 1 ; au poste 2, on installera un disque à trous, analogue à celui de Nipkow, mais dont les trous seront sur un même cercle ; ce disque sera entraîné par l'arbre moteur de manière que, après réglage de la vitesse, le nombre des trous qui défileront en une seconde devant un point déterminé soit égal à la fréquence d'un courant transmis par le poste 1 où il sera engendré par le mouvement de son arbre moteur. Au poste 2 ce courant amplifié sera employé à allumer une lampe au néon placée derrière le disque ; comme cette lampe s'illuminera à chaque alternance positive de la tension, si on la regarde à travers les trous ceux-ci paraîtront immobiles quand la fréquence de passage des trous sera égale à la fréquence transmise. Cette fréquence peut être quelconque puisque l'on peut modifier à volonté le nombre de trous de la roue, mais elle remplit naturellement la condition qu'au moment où les trous paraissent immobiles, les vitesses de rotation des cylindres soient égales.

L'égalité absolue est évidemment irréalisable, mais on peut facilement apprécier la précision avec laquelle elle est obtenue en notant la durée d'un petit déplacement des trous. La fréquence de synchronisation employée en phototélégraphie est de l'ordre de 500 à 1 000 ; le temps nécessaire pour arriver à la précision de 10^{-5} ne dépasse pas une vingtaine de secondes.

III. — *PROCÉDÉS DE SYNCHRONISATION TRANSMISE*

109. Système des Bell Laboratories pour la phototélégraphie. — Dans ce système il n'existe qu'un seul diapason placé au poste d'émission et dont la fréquence est

d'environ 400 c/s ; son courant amplifié alimente un alternateur et est en même temps transmis au poste récepteur sur la même ligne que le courant d'image. Comme la fréquence 400 se trouve en dehors de la bande utile à la reproduction phototélégraphique (nº 26) on peut alors séparer les deux courants par filtrage et celui qui provient du diapason est employé, après amplification, à l'alimentation de l'alternateur de réception [12].

110. Système Lorenz-Korn pour la phototélégraphie. — Dans les appareils construits par la maison Lorenz, Korn emploie le procédé suivant [33] : il envoie, en même temps que les signaux d'image, ceux de synchronisme, mais ceux-ci sont des impulsions brèves et d'amplitude environ quatre fois plus faible que les premiers ; ils sont représentés par les rectangles ombrés de la figure 68 où les rectangles non hachurés figurent les signaux d'image ; l'intensité des signaux de synchronisme est insuffisante pour démasquer la fenêtre de l'oscillographe, comme on l'a signalé au numéro 62, de sorte qu'il suffit de filtrer ces derniers pour les utiliser sans se préoccuper des perturbations qu'ils pourraient apporter, dans d'autres circonstances, à l'image. Cette disposition procure un autre avantage : alors que, dans le système précédent, il est indispensable de placer la fréquence de synchronisation à l'extérieur de la bande utile à l'image, on peut ici la placer à l'intérieur ; Korn a choisi la fréquence de 1 000 c/s, plus favorable que 400 au but poursuivi.

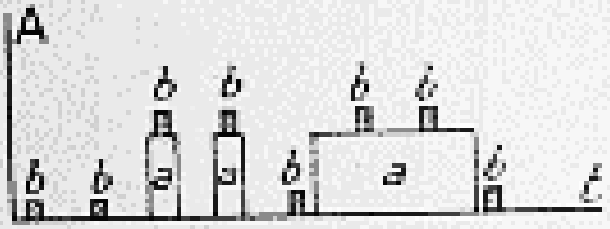

Fig. 68. — *a* SIGNAUX, *b* TOPS DE SYNCHRONISATION.

Du côté de la réception, un moteur continu M entraine, en même temps que le cylindre, un commutateur tour-

nant C et un frein magnétique F (fig. 69) ; un transformateur à trois enroulements T est excité d'une part par la fréquence de synchronisation f_s, d'autre part par la fréquence f_r provoquée par les ruptures du commutateur, et son secondaire transmet les impulsions qu'il reçoit à un système détecteur à lampes dont le courant plaque est envoyé dans les électro-aimants E agissant sur le frein.

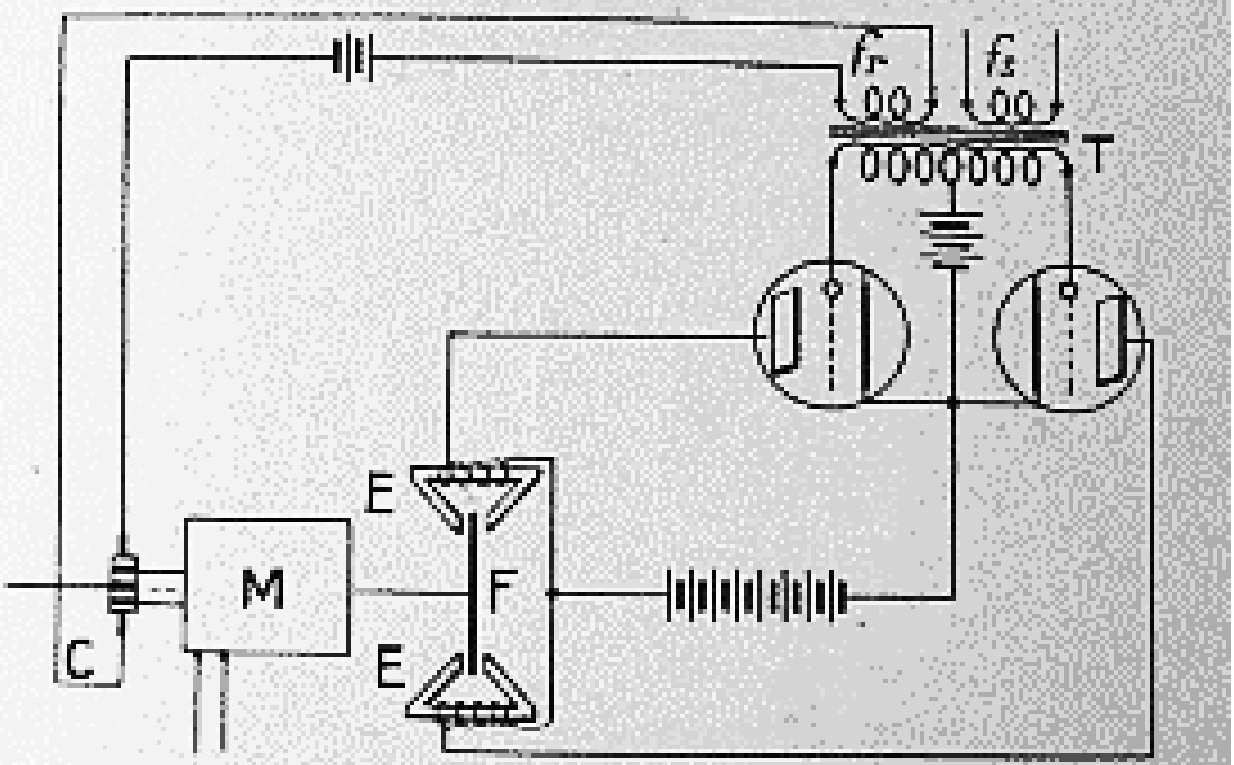

Fig. 69. — SYNCHRONISATION SYSTÈME KORN.

f_r fréquence produite par le moteur M et le commutateur C, f_s fréquence de synchronisation, F frein magnétique.

On règle d'abord la vitesse de façon que f_r soit très sensiblement égal à f_s et on donne aux deux impulsions des intensités égales. Supposons que f_r et f_s soient rigoureusement égales ; si leurs alternances sont en opposition les lampes ne fourniront aucun courant et le frein n'agira pas, il travaillera au contraire au maximum si elles sont en phase ; la différence de phase passant de zéro à 360°, l'action du frein variera et on peut la représenter par le diagramme de la figure 70. Dans ces conditions, on voit que si la différence $f_r - f_s$ tend à se modifier, le freinage pourra ralentir le mouvement du moteur ou, au contraire,

lui permettre une accélération ; on reconnaîtrait facilement que la partie du diagramme comprise entre 180 et 360° correspond seule à un équilibre stable, la précision du synchronisme est donc exactement la même que celle de la commande par alternateur (n° 102). On doit d'ailleurs remarquer que le procédé n'exclut pas l'emploi de la synchronisation locale ; il suffirait pour l'obtenir de produire au poste de réception la fréquence f_s.

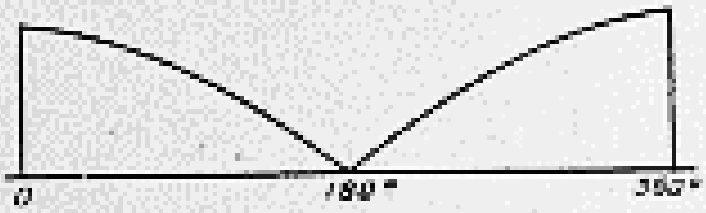

Fig. 70.

Le procédé conduit à une économie importante d'amplification, car la commande du frein prend moins de 1 p. 100 de la puissance totale d'entraînement, alors que l'alimentation des alternateurs de synchronisation en absorbe 10 à 15 p. 100.

111. Synchronisation de télévision transmise par voie spéciale. — Les Bell Laboratories, qui ont fait les premières expériences de télévision à grande distance, ont d'abord employé un système analogue à celui du numéro 109, avec cette différence que la fréquence de synchronisation tombant obligatoirement dans la bande des fréquences d'image, une ligne spéciale transmettait les signaux de synchronisation [13] ; les alternateurs avaient 120 paires de pôles et travaillaient sur une fréquence de 2.125 c/s. Depuis, le système a été modifié [15] : au poste de réception se trouve un oscillateur à lampes de 1 275 c/s environ, qui est piloté par la fréquence transmise ; l'arbre du moteur à courant continu entraîne un très petit alternateur fournissant du courant à la même fréquence quand le synchronisme est parfait. On utilise la différence de phase entre ce courant et celui de l'oscillateur pour freiner la rotation ou lui permettre une accélération. Ce système

présente des analogies avec celui de Korn, mais on agit sur l'excitation du moteur au lieu d'employer un freinage magnétique et la transmission est encore faite sur voie spéciale. Le pompage est combattu par une liaison élastique avec frein hydraulique entre l'arbre moteur et le disque de Nipkow.

112. Synchronisation de télévision par tops entre lignes. — L'utilisation d'une voie spéciale pour la synchronisation est peu économique ; on peut l'éviter en remplaçant l'envoi d'un courant sinusoïdal par celui d'une série de tops très brefs transmis « entre lignes » pendant le temps que met la tache d'exploration à passer d'une ligne à la suivante ; il suffit alors, comme dans le système Korn, de filtrer à l'arrivée la fréquence de ces tops et de l'amplifier pour alimenter l'alternateur. Ces tops peuvent être facilement obtenus en plaçant en marge du cadre de l'objet à transmettre une ligne très claire, normale à l'exploration.

Ce procédé n'est pas sans défauts : s'il existe dans l'objet une ligne brillante parallèle à la marge, celle-ci peut substituer son action à celle de la marge, sous l'influence d'une cause accidentelle, et décaler l'image ; il peut même s'introduire dans les mêmes conditions, par suite de l'inclinaison ou du mouvement de cette ligne brillante, une fréquence différente suivie d'un décrochage de l'alternateur. Pour supprimer ces inconvénients on peut installer à la réception un oscillateur à lampe ou un diapason que les tops ci-dessus ont seulement mission de corriger ; c'est ainsi que l'on opère dans la réception par oscillographe cathodique pour maintenir en synchronisme les montages à relaxation (n° 87).

113. Synchronisation par le secteur de distribution électrique. — On peut encore classer dans cette catégorie le procédé très simple et très économique qui con-

siste à entraîner les moteurs d'émission et de réception par le courant du secteur dans les régions où les secteurs sont interconnectés. La synchronisation est alors assurée automatiquement ; la question de la puissance d'alimentation n'intervient plus comme dans le cas des alternateurs pilotés par un diapason ou des signaux, et l'on peut supprimer le moteur continu. Mais le procédé n'est pas sans défaut : la fréquence des secteurs est trop faible pour que les variations de phase soient négligeables (nos 102 et 104), elles peuvent donner lieu à des déplacements importants et même faire sortir l'image de son cadre. Il faut d'ailleurs remarquer que ces variations ne dépendent pas des appareils en raison de la puissance élevée de synchronisation dont on dispose : elles proviennent des variations de charge de la ligne par suite du débit variable qui lui est demandé par les abonnés ; il est donc impossible de les prévenir et il devient nécessaire d'apporter à l'occasion des corrections de phase ; on emploie dans ce but un petit rhéostat placé sous la main de l'observateur.

Ces inconvénients sont cependant moins graves qu'ils ne paraissent à première vue et l'emploi étendu qui est fait actuellement de cette méthode donne des résultats assez satisfaisants.

IV. — *PROCÉDÉS DE SYNCHRONISATION CORRIGÉE PAR TOPS ESPACÉS*

114. Procédé Zworikin pour la phototélégraphie. — Les tambours sur lesquels sont enroulés l'original et l'épreuve reçue ne sont jamais entièrement recouverts par le papier ; une bande parallèle aux génératrices et dont la largeur vaut environ le dixième de la circonférence est employée pour la fixation des feuilles et elle peut servir à passer des signaux qui ne troublent pas les images ; il suffit d'y placer une bande blanche sur fond noir. Les

impulsions ainsi obtenues sont utilisées à la réception, au moyen d'un relais mis en circuit au bon moment, de la même façon que celles produites par le chronomètre dans le système décrit au numéro 107. C'est le procédé mis en œuvre par Zworikin dans les appareils Westinghouse [51].

115. Procédé Barthélémy pour la télévision. — Dans ce système l'alternateur entretient son mouvement de la façon suivante : l'alimentation est fournie par le courant plaque d'une triode et la rotation de la partie mobile provoque par des circuits appropriés des réactions de phase convenable sur la grille ; en modifiant cette phase, on modifie le couple moteur et l'on peut amener la vitesse de rotation à une valeur très voisine de celle qui correspond au synchronisme. Quand ce résultat est obtenu, il suffit de faire agir sur la grille de la triode les impulsions de correction pour parfaire le réglage de la vitesse et lui donner la constance nécessaire.

Les tops de synchronisation ne sont passés qu'une fois par image, soit 16 fois par seconde ; on obtient un procédé d'amplification avantageux en les faisant agir sur un système à relaxation (n° 87) dans lequel la tension continue est réglée à une valeur un peu inférieure à celle qui correspond à l'allumage du tube à gaz ; le top déclenche cet allumage et le brusque courant de décharge du condensateur est employé pour provoquer l'action de commande sur la grille [3] (voir aussi 118, *b*).

116. Synchronisation par « remise à l'heure » ou « start-and-stop » pour phototélégraphie. — Pour les appareils phototélégraphiques à inscription électrochimique (n° 68) dont les images sont relativement grossières on peut se contenter d'un synchronisme beaucoup moins précis ; d'autre part, ces appareils étant destinés à

des amateurs ou à des services devant les employer en grand nombre, il est indispensable de viser à la simplicité et au bon marché. On emploie alors la méthode suivante qui remplit ces conditions.

Le cylindre récepteur est entraîné par un moteur quelconque, électrique ou mécanique, auquel on donne une vitesse voisine de celle qui correspond au synchronisme ; un mécanisme spécial (fig. 71) permet d'arrêter le cylindre à chaque tour dans une position définie par une came qu'il porte sur son pourtour et il ne se remet en marche, au bout d'un temps très court, de l'ordre du trentième de seconde, que sous l'action d'un relais excité par un signal lancé par l'émetteur. Ce signal tombe au milieu d'une période correspondant à un huitième de tour environ, pendant laquelle le circuit d'inscription est automatiquement court-circuité, et celui du relais connecté à l'amplificateur. Dans ces conditions, les deux cylindres partent au même instant de deux positions homologues ; la ligne de départ au moins est correctement reproduite et, si les moteurs sont assez réguliers, la reproduction sera bonne.

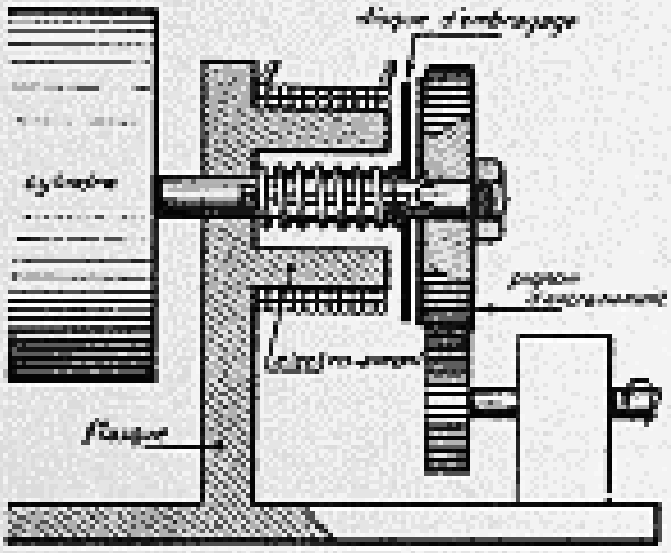

Fig. 71. — Embrayage de synchronisation par remise à l'heure.

Il est clair que le cylindre de réception s'arrêtant à chaque tour, sa vitesse de rotation devra être légèrement supérieure à celle du cylindre d'émission ; les images seront un peu allongées si l'on n'y porte pas remède par une déformation voulue en sens inverse, en donnant par exemple un diamètre un peu plus grand au cylindre d'émis-

sion ; cependant l'arrêt du récepteur peut être tellement réduit que l'allongement des images devient négligeable.

Il faut d'ailleurs remarquer que cet artifice de l'arrêt exige l'emploi de très bons moteurs et d'une mécanique soignée ; on voit en effet que, si la vitesse de rotation varie seulement de 1/300 dans les différents tours du cylindre, une ligne droite du bas de l'image pourra se traduire sur la reproduction par une ligne présentant des sinuosités de 1 mm sur un cylindre de 50 mm de diamètre. S'il s'agissait de vitesses moyennes une précision de 1/300 s'obtiendrait très facilement, elle correspond au cas d'une pendule qui varierait de cinq minutes par jour ; mais il s'agit ici des vitesses comparées des tours successifs, avec la circonstance aggravante des chocs subis par le moteur au moment des embrayages et débrayages.

Voici quelques indications sur un mécanisme de cette espèce, celui des appareils Belin : le cylindre est fixé sur son axe qui entraîne par des clavettes longitudinales C un disque d'embrayage en fer, ce disque peut glisser longitudinalement et est normalement appuyé sur le pignon d'entraînement par le ressort R ; quand l'électro-aimant est excité le disque vient se coller sur lui et le cylindre s'arrête.

Le schéma de la figure 72[1] permet de suivre les connexions et les phases successives du fonctionnement :

1° *Enregistrement de l'image :* le courant venant de l'amplificateur traverse le papier imprégné et passe au cylindre ; pendant ce temps l'électro-aimant est passif et le relais court-circuité.

2° *Arrêt :* la came appuyant sur le contacteur provoque un court-circuit entre le stylet et le cylindre puis, continuant sa route, elle ouvre le chemin au courant à travers

1. Pour la clarté du dessin on a reproduit le schéma du cylindre en trois positions différentes en séparant ainsi la came, le stylet et l'embrayage.

le relais ; enfin elle lance dans l'électro-aimant E le courant d'une batterie de 4 volts et bloque le cylindre. Le relais est maintenant prêt à recevoir le top de synchronisme.

3° *Départ du cylindre :* A partir du moment où la came a commencé son action, une came correspondante, montée sur l'émetteur, a arrêté toute émission et au moment où le cylindre de cette dernière arrive à une position

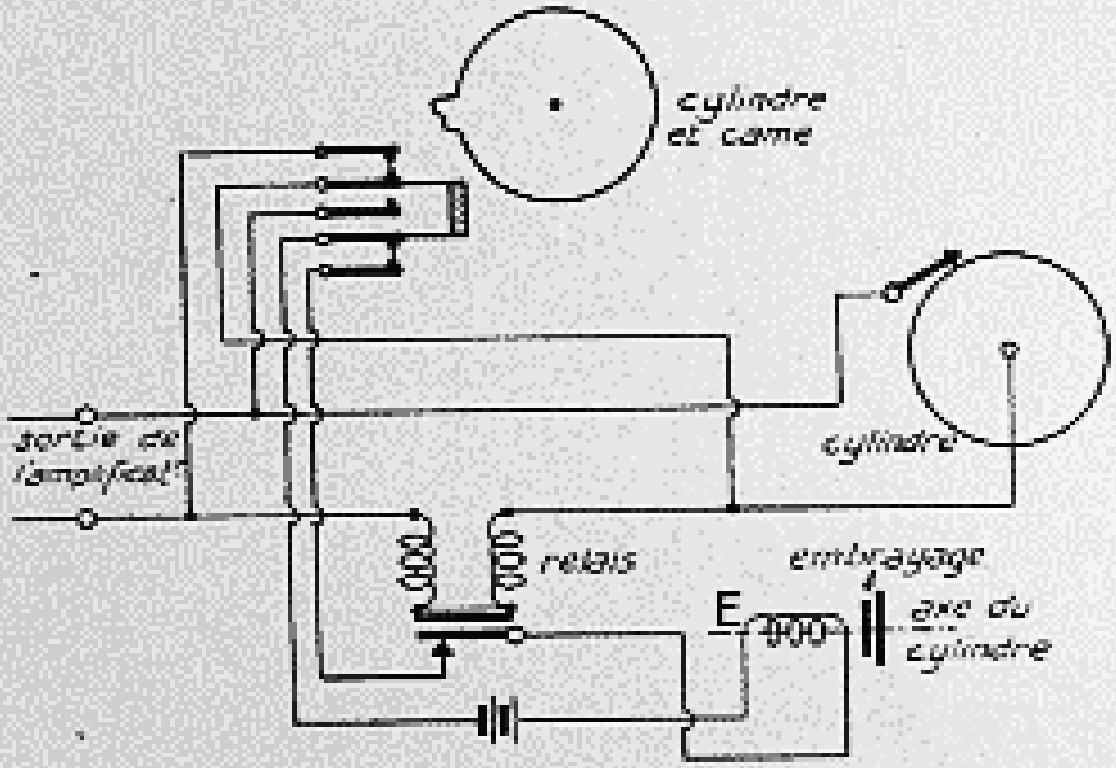

Fig. 72. — Connexions de synchronisation par remise a l'heure.

définie, elle provoque le signal du top. Le relais appelle alors sa palette, le circuit de l'électro-aimant est coupé et le cylindre récepteur repart pour un nouveau tour.

V. — *MISE EN PHASE DES IMAGES*

117. Cas de la phototélégraphie. — Il ne suffit pas d'assurer le synchronisme de la rotation des cylindres, il faut encore que ceux-ci occupent à tout instant des positions homologues, sans quoi l'image reçue pourrait se trouver à cheval sur la barrette fixant le papier sensible au cylindre ; sur l'épreuve développée il manquerait une

partie de l'image et sa partie inférieure se trouverait en dessus et vice-versa :

a) Le procédé le plus fréquemment employé pour assurer une transmission correcte consiste à faire partir le cylindre de réception sur un top envoyé par l'émetteur quelques instants avant le début de l'exploration effective de l'image. A cet effet le cylindre de réception est entraîné par l'intermédiaire d'un embrayage qu'un relais, excité par le top, met en prise ; le top est passé pour une position déterminée du cylindre émetteur et l'embrayage construit de telle sorte que le cylindre récepteur ne devienne solidaire de son axe que pour une orientation déterminée, qui corresponde précisément à celle de l'émetteur au moment du top ; dans ces conditions la mise en phase est automatique quelles que soient les orientations respectives des cylindres avant la mise en route. Ce système est utilisé dans les appareils Belin.

b) Le procédé Siemens est tout différent ; le stator de l'alternateur est établi de façon à pouvoir tourner pendant la marche autour de l'axe du moteur, cette rotation étant obtenue au moyen d'un engrenage et d'une manivelle à la portée de l'opérateur. En tournant, le stator entraîne avec lui le champ inducteur et, en se reportant au numéro 101, on voit que la phase du rotor par rapport à une droite fixe de l'espace change du même angle dont le stator a tourné ; un procédé stroboscopique permet alors d'amener les deux cylindres à des orientations homologues. A cet effet, l'arbre du cylindre récepteur entraîne une petite lampe au néon qui décrit un cercle autour de lui et dont la position constitue un repère de l'orientation du cylindre. Avant de transmettre l'image, l'émetteur envoie une série de tops correspondant à une position définie du cylindre émetteur et ces tops alimentent la lampe qui donne un éclat à chaque tour. Pour que les cylindres soient en phase il suffit que cet éclat se produise

en un point déterminé ; un petit écran placé en ce point cache la lampe aux yeux de l'opérateur et ce dernier, dès qu'il voit les éclats, n'a qu'à faire tourner le stator jusqu'au moment où ils disparaissent.

118. Cas de la télévision. — Le même problème se pose pour la télévision, mais dans ce cas l'image elle-même fournit un procédé permanent de contrôle stroboscopique ; on le résout par les procédés suivants :

a) Quand la synchronisation est transmise comme dans les cas examinés aux numéros 111 à 113, la rotation de l'alternateur est complètement déterminée par les signaux de synchronisme et il n'y a pas d'autre moyen de ramener les balayages d'émission et de réception en positions homologues que de changer la phase. On peut y arriver par le procédé *b* du numéro précédent en faisant tourner le stator ; pour éviter cette complication mécanique on peut aussi réaliser un changeur de phase statique en créant un champ tournant par des transformateurs appropriés ; c'est la méthode employée par les Bell Laboratories dans leurs dernières installations [15].

Barthélémy a établi un type d'alternateur convenant parfaitement à l'entraînement d'un disque par le secteur et avec lequel le changement de phase est réalisé d'une façon très simple et très économique. Le stator S (fig. 73) comporte trois paires de pôles et le rotor est un simple anneau en acier au cobalt, susceptible de prendre une aimantation permanente ; s'il est aimanté comme sur la figure et qu'on le lance à la vitesse convenable, il tournera en synchronisme. Mais l'aimantation permanente n'est pas un phénomène absolu, et si un champ tend à la changer elle se modifie plus ou moins rapidement.

Si le moteur tourne sans aucune charge, la phase φ du numéro 101 est égale à 90° et on reconnaît facilement que les actions magnétisantes des pôles du stator se com-

pensent parfaitement pendant la rotation ; les pôles du rotor conservent une position immuable et le synchronisme se conserve. Si au contraire la rotation a lieu sous une forte charge, φ est voisin de zéro et l'action des pôles du stator tend à déplacer ceux du rotor dans le sens de la marche ; dans ces conditions il y a glissement.

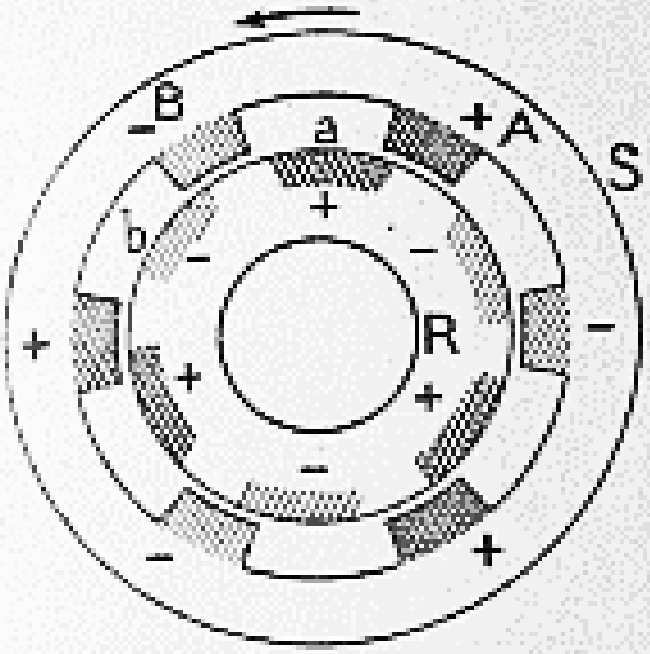

Fig. 23. — ALTERNATEUR DE SYNCHRONISATION SYSTÈME BARTHÉLÉMY.

R rotor constitué par un anneau d'acier au cobalt dont les pôles glissent en charge.

Le premier état est obtenu en plaçant sur l'arbre de ce moteur un alternateur asynchrone que l'on excite de façon qu'il produise à très peu près le couple moteur nécessaire à l'entraînement du disque, comme le moteur continu du numéro 101 ; en agissant sur son excitation, on diminuera son action et on chargera l'alternateur synchrone qui glissera lentement. Le fonctionnement de ce système est tout à fait satisfaisant.

b) Quand il existe au poste de réception un générateur auto-entretenu et simplement corrigé par impulsions espacées comme dans le système du numéro 115, on peut mettre l'image en phase en supprimant momentanément la correction et en modifiant très légèrement la fréquence de l'oscillateur pendant quelques instants ; on réintroduit la correction quand le résultat voulu est obtenu. Le même procédé peut s'appliquer aux récepteurs à oscillographe cathodique dont le balayage est commandé par des systèmes à relaxation.

Chapitre VIII

L'AMPLIFICATION

---

119. Conditions à remplir. — Les difficultés d'amplification spéciales à la transmission des images proviennent de la faiblesse de l'énergie disponible à l'entrée des amplificateurs et de la grande largeur des bandes de fréquence qui doivent être transmises sans distorsion.

En phototélégraphie le courant fourni par la cellule est de l'ordre de 10^{-7} à 10^{-9} A, mais en télévision il peut tomber à 10^{-9} et même plus bas ; comme dans ce dernier cas la résistance d'utilisation ne peut guère monter au delà de 10^5 ohms en raison des capacités parasites et de l'élévation des fréquences à transmettre (n° 40), cela conduit à des tensions d'entrée inférieures à 100 microvolts. Si l'on remarque qu'il faut obtenir à la sortie des tensions de quelques centaines de volts pour l'illumination des lampes à gaz ou la commande de la cellule de Kerr, on voit que le facteur d'amplification doit être considérable. En outre les circuits d'entrée et le premier étage d'amplification, au moins, devront être abrités avec beaucoup de soin contre les actions électriques extérieures (n° 39) ; les lampes utilisées pour les premiers étages devront être tout à fait exemptes de bruits microphoniques.

Quant aux largeurs de bandes nécessaires, elles ont été

déterminées aux numéros 22 et 25 : en phototélégraphie la bande passante doit contenir un nombre de cycles égal à celui de la fréquence de rupture de la lumière ; en télévision la fréquence de coupure est $\frac{n \cdot N}{2}$, soit environ 40 000 c/s pour une trame de 5 000 points d'image et cela correspond à une bande de 80 000 c/s dans une transmission radioélectrique.

Il est intéressant d'examiner l'importance des fréquences les plus basses qu'exige la télévision. Les considérations théoriques du numéro 14 montrent que les fréquences les plus basses, la fréquence zéro y comprise, devraient être transmises ; mais, de même que l'on peut sans trop de dommages supprimer les fréquences les plus élevées, il est possible d'admettre une fréquence de coupure inférieure. L'expérience montre en effet que les images ne sont pas sensiblement affectées par la suppression des fréquences inférieures à n ; mais si l'on dépasse cette limite, des ombres parasites viennent les brouiller. Ce résultat n'est pas surprenant, car, en dehors des considérations relatives à la netteté des contours, on reconnaît immédiatement que la fréquence n joue un rôle capital dans la transmission : dans le cas d'un objet immobile le courant photoélectrique est en effet un courant périodique de fréquence n. En raison des grosses difficultés d'amplification des très basses fréquences, on admettra donc comme fréquence de coupure inférieure le nombre n, ou mieux une valeur un peu inférieure.

Il sera cependant impossible de négliger la fréquence zéro dont il est facile d'apprécier l'importance : considérons pour cela deux originaux identiques comme dessin mais différant par leur éclairement moyen ; l'un d'eux par exemple sera plus clair que l'autre, mais dans les deux cas la différence des éclairements entre deux points homologues sera la même. Il est évident que les développe-

ments en série de Fourier des deux courants photoélectriques qui leur correspondent ne différeront que par leurs termes constants ; une reproduction correcte exigerait donc la transmission d'un courant constant ; nous verrons au numéro 122 les procédés qui permettent de vaincre cette difficulté ou de la tourner.

120. Amplification à l'émission. — Nous examinerons séparément le cas de l'émission et celui de la réception, car dans le second cas on se trouve en présence d'un courant de haute fréquence modulé, tandis que dans le premier il s'agit parfois de l'amplification directe des bandes de fréquence que nous venons d'étudier.

La solution complète du problème serait fournie par l'emploi des amplificateurs dits à courant continu, dont les liaisons sont réalisées par résistances et par piles ; mais on sait combien l'usage de ces appareils comporte de difficultés par suite de leur instabilité et il n'est guère possible de dépasser trois étages. Ils sont néanmoins utilisés dans les appareils phototélégraphiques Lorenz-Korn [33].

En laissant de côté l'artifice d'une fréquence auxiliaire sur lequel nous reviendrons plus loin, on ne peut arriver à une amplification suffisamment uniforme qu'avec les amplificateurs à liaison par résistances et condensateurs ; par leur moyen, il est possible d'obtenir des résultats corrects pour des bandes allant de 10 à 40 000 c/s ; les Bell Laboratories, par exemple, ont établi des appareils de cette espèce [15] dont l'amplification ne variait d'une façon sensible que dans le voisinage des frontières de la bande passante, le rapport entre les valeurs extrêmes des courants amplifiés ne dépassant pas 1,25. Il va sans dire que ces résultats sont difficiles à obtenir, et il est généralement nécessaire d'introduire un ou plusieurs étages dont les liaisons comportent des réactances faisant fonction

de correcteurs ; cette précaution est indispensable quand on utilise des cellules photoélectriques à gaz dont le rendement baisse avec la fréquence et dont il faut alors corriger les défauts.

121. Amplification à la réception. — Pour la phototélégraphie la solution du problème d'amplification est fournie à la réception, comme à l'émission, par l'emploi de la fréquence auxiliaire qui ramène à la technique de l'amplification des fréquences acoustiques.

Pour la télévision, en laissant de côté des cas exceptionnels [15], il ne s'agit que de radiotransmissions et la première amplification à assurer à la réception doit porter sur la haute fréquence ; quand on aura tiré de cette dernière tout le bénéfice possible, on fera un changement de fréquence et on pourra employer les méthodes du numéro précédent. Etudions donc les conditions de l'amplification haute fréquence.

Pour cela commençons par examiner la façon dont se comporte un circuit oscillant en présence d'une bande de fréquence ; soit R, L et F la résistance, la self-induction et la fréquence propre d'un tel circuit, son décrément sera $d = \frac{R}{2LF}$; excitons-le au moyen d'une force électromotrice d'intensité constante et de fréquence $F + \delta F$, le courant I variera avec δF et, en désignant par I_0 celui qui correspond à la résonance, on sait que l'on a sensiblement :

$$(1) \qquad \frac{I_0}{I} = \sqrt{1 + \left(\frac{2\pi}{d}\frac{\delta F}{F}\right)^2}.$$

Supposons que ce circuit doive être traversé par l'énergie reçue et, pour fixer les idées, admettons que dans le problème qui nous occupe la transmission soit convenable si I est supérieur ou égal à $I_0/\sqrt{2}$; la bande pas-

sante aura pour frontières $F \pm f_e$, f_e étant défini par la relation

$$\frac{2\pi}{d}\frac{f_e}{F} = 1 \quad \text{ou} \quad f_e = \frac{dF}{2\pi}. \tag{2}$$

Si le circuit ci-dessus est utilisé comme liaison entre deux étages d'amplification, il ne devra pas avoir un décrément trop grand sous peine de réduire d'une façon inadmissible le bénéfice de l'amplification ; $d = 1/30$ paraît être le maximum acceptable ; la formule 2 donne alors

$$f_e \fallingdotseq \frac{F}{200}. \tag{3}$$

S'il existe plusieurs étages d'amplification couplant en série q circuits identiques au précédent, on sait que leur ensemble est équivalent à un circuit unique de décrément $\sqrt{q}$ fois plus faible ; il faudrait donc diviser par $\sqrt{q}$ la valeur ci-dessus de f_e. Conservons néanmoins la formule 3, car on peut élargir la bande passante par des moyens assez simples ; c'est ainsi qu'en remplaçant la liaison de la figure 74 par celle de la figure 75 et en donnant au couplage une valeur convenable, supérieure à celle du couplage critique, on peut tripler la largeur de la bande passante sans que le courant y tombe nulle part à moins du produit de sa valeur maxima par $\sqrt{2}$.

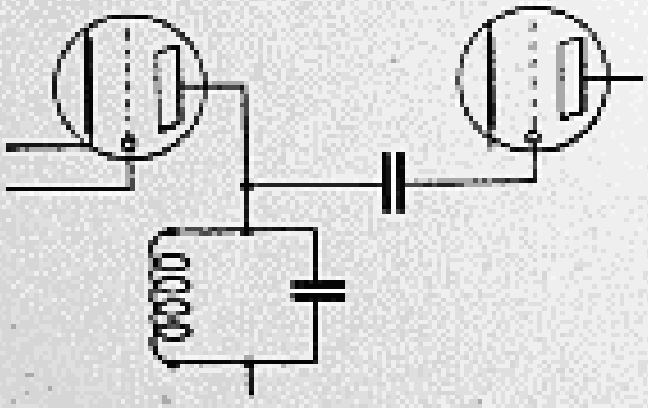

Fig. 74.

Si l'on prend alors pour F la fréquence la plus élevée de la gamme consacrée à la radiodiffusion, cela donne pour f_e la valeur 7 500 auquel doit être égal le produit $\frac{n : N}{2}$; en admettant pour le nombre n d'images à la

seconde la valeur minima 10, on obtient 1 500 comme nombre de points d'image, ce qui représente une image grossière. Pour transmettre des images de 2 500 points 16 fois par seconde, ce qui donne $f_e = 20\,000$, on devrait utiliser une fréquence de transmission de 4 000 kc/s, correspondant à une onde de 75 mètres ; pour les images de 40 000 points passées 20 fois à la seconde qui paraissent à peu près indispensables pour reproduire convenablement une petite scène comportant des personnages (n° 31), on aurait $f_e = 400\,000$ et $F = 8 \cdot 10^8$, ce qui correspond à une onde de 3,75 mètres.

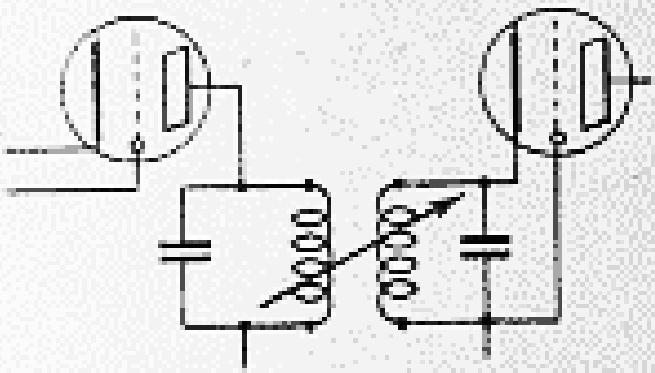

Fig. 75.

Même en admettant que nos appréciations soient exagérées et que nous n'ayons pas assez compté sur les facteurs physiologiques et psychologiques, il reste indiscutable que, du point de vue de l'amplification, comme de celui des gammes de fréquence disponibles, il faut se diriger vers l'utilisation des ondes courtes et même très courtes.

Un moyen de se débarrasser des difficultés que nous venons d'examiner consiste à supprimer complètement l'amplification haute fréquence ou plus exactement à la réduire à un seul étage après avoir fortement amorti le circuit du collecteur d'onde ; dès après la première lampe, on introduit le changement de fréquence et l'amplification se poursuit par les mêmes méthodes qu'à l'émission ; mais on se prive d'un bénéfice considérable qu'il faut rattraper par un accroissement notable du nombre des étages.

122. Rétablissement éventuel de la teinte moyenne de l'image reçue. — Considérons le cas où les transmissions

ge font sur lignes et sans fréquence auxiliaire [13] et représentons sur la figure 76, en fonction du temps, le courant fourni par la cellule photoélectrique ; les variations de ce courant par rapport à sa valeur moyenne seront seules transmises et les tensions appliquées à la lampe à gaz, à la sortie des amplificateurs, seront représentées par la courbe ABC rapportée à l'axe XY. Il sera donc nécessaire de rétablir localement la tension moyenne, ce qui se fera, comme il a été indiqué au numéro 64, en modifiant la polarisation de la grille de la triode qui précède immédiatement la lampe à gaz. Ce réglage pourra généralement être effectué à la station de réception en se guidant tout simplement sur l'aspect de la reproduction que l'on cherchera à rendre le plus agréable, mais la station d'émission peut donner des indications à ce sujet ; des difficultés s'introduiraient cependant si l'intensité lumineuse moyenne devait éprouver des changements importants au cours d'une même transmission.

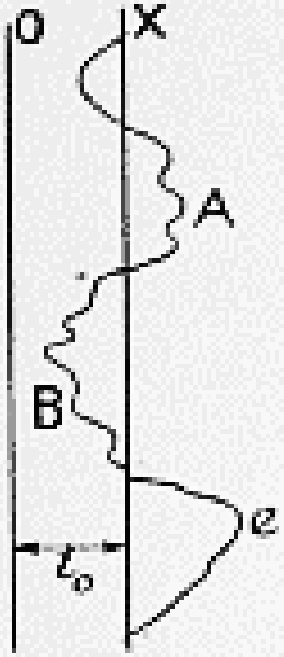

Fig. 76.

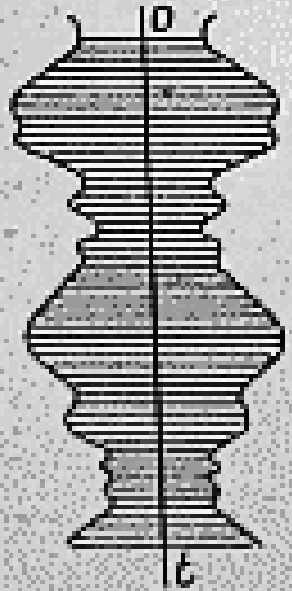

Fig. 77.

Si on emploie une fréquence auxiliaire, le courant reçu est représenté par la figure 77 et les ordonnées de l'une de ses courbes enveloppes représentent le courant photo-électrique. Le courant de fréquence auxiliaire est alors amplifié et amené jusqu'à la triode précédant la lampe à gaz ; on fait travailler cette dernière en détectrice et les tensions d'illumination sont cette fois proportionnelles au courant photoélectrique et non à ses variations. On se trouve en-

core dans ce dernier cas si, ayant transmis radio-électriquement sans fréquence auxiliaire, on utilise à la réception un changement de fréquence et qu'on amène la fréquence intermédiaire jusqu'à la dernière triode.

123. Traînage et Doublages. — L'amplification et la transmission correcte de tous les courants modulés, des courants téléphoniques par exemple, exige un certain nombre de précautions relatives aux constantes de temps et aux périodes propres des circuits utilisés ; mais ces exigences sont accrues dans la transmission des images où la netteté des contours joue un rôle très important. Supposons que nous ayons à transmettre un passage du noir au blanc et du blanc au noir comme celui figuré en A sur la figure 78 ; nous avons vu au chapitre II que les variations du courant transmis ne seront pas brutales à cause de la largeur de la tache d'exploration et de la fréquence de coupure des circuits ; si ces effets sont seuls en cause le courant pourra être représenté par le diagramme *a*.

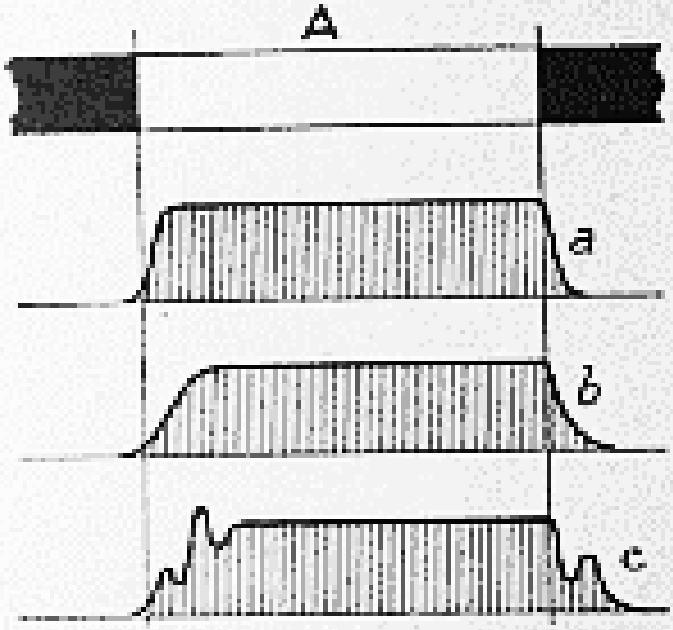

Fig. 78.

Mais la plupart des circuits qui constituent les amplificateurs comportent des résistances, des capacités et des inductances ou au moins deux de ces éléments, et l'on sait que sous l'influence d'une action instantanée les courants ne peuvent s'établir dans de tels circuits qu'avec un certain retard mesuré par leur constante de temps[1]

1. En désignant par I la valeur finale du courant dans le cas de l'établissement ou sa valeur initiale dans le cas de la cessation, le courant à l'ins-

que nous désignerons par τ. La présence de circuits à forte constante de temps donnera donc un diagramme tel que *b*, et l'estompage des contours de la reproduction sera nettement accentué : nous en avons vu un exemple important dans l'étude de la liaison de la cellule photoélectrique à la première lampe (n° 40). Quand il existe une fréquence auxiliaire, on doit s'efforcer d'atteindre pour τ la limite $1/f_a$ pour rendre son action à peu près insensible ; mais le plus souvent l'expérience peut seule servir de guide en la circonstance, car il est très difficile de connaître les valeurs des capacités, généralement très faibles et provenant en grande partie d'effets parasites.

Fig. 79. — Exemple de doublage sur le bord du revers droit de l'habit.

Un autre défaut, plus grave, peut encore se rencontrer, c'est celui qui provient des oscillations libres qui peuvent prendre naissance sous l'influence des variations brutales du courant ; si la période de ces oscillations est assez voisine de celle de la fréquence auxiliaire, il se produit des battements et le courant est déformé comme sur le diagramme *c* ; la reproduction de l'original comporte alors des bandes alter-

---

tant t est $i = I\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$ ou $i = Ie^{-\frac{t}{\tau}}$. Les constantes de temps des ensembles inductance-résistance ou capacité-résistance sont respectivement $\frac{L}{R}$ et CR ; celle d'un circuit oscillant comportant capacité, inductance et résistance est $\frac{2L}{R}$ pour une excitation faite sur sa fréquence propre.

nativement claires et obscures suivant les contours ; on dit qu'il y a doublage (fig. 79). En phototélégraphie, les oscillographes, s'ils ont une période propre trop faible et qu'ils sont insuffisamment amortis, peuvent donner, par oscillations mécaniques, de semblables effets.

On remarquera que les conditions auxquelles nous venons d'arriver sont toutes défavorables à l'amplification, car elles réduisent les tensions aux bornes des circuits.

424. **Amplification dans les cas des trames très fines.** — Nous avons vu que pour obtenir des trames très fines contenant plusieurs dizaines de milliers de points d'image, il serait indispensable d'avoir recours aux ondes très courtes (n° 121) ; mais même en admettant que l'on puisse, dans ce domaine, réaliser une amplification suffisamment uniforme de la très large bande de fréquence qui devient nécessaire, le problème n'est pas résolu. L'amplification haute fréquence n'est jamais suffisante, elle l'est d'autant moins ici que les difficultés d'établissement de plusieurs étages deviennent considérables. Aucune indication un peu précise ne paraît avoir été donnée par les constructeurs qui se sont occupés de ce problème ; ils font seulement connaître qu'ils utilisent des étages à haute fréquence suivis d'un changement de fréquence, comportant encore quelques étages, et enfin une amplification basse fréquence ; ce dernier terme est assez énigmatique. Von Ardenne a cependant exposé la question avec quelques détails [49].

Chapitre IX

LA TRANSMISSION

---

125. Transmission sur lignes. — Ce genre de transmission n'offre d'intérêt général que pour la phototélégraphie, car les câbles souterrains existant actuellement pour les communications à grande distance ont une fréquence de coupure trop faible — 2 000 et 5 000 c/s environ — pour les larges bandes exigées par la télévision ; complètement à l'abri des influences extérieures, ils ont des caractéristiques parfaitement constantes et les images transmises par leur moyen diffèrent à peine de celles que l'on obtient en laboratoire où il n'existe entre l'émetteur et le récepteur aucun intermédiaire. Les conditions qu'ils imposent ont été étudiées aux numéros 14, 19, 23, et 26 ; rappelons seulement que la vitesse de transmission des images fines, de 5 traits au millimètre, est limitée à 0,25 dm^2 par minute.

Dans un but d'études et de démonstrations les Bell Laboratories ont équipé à New-York une installation de télévision à deux voies qui fonctionne régulièrement, parallèlement avec une ligne téléphonique. Les câbles, à fréquence de coupure élevée, ont une longueur de 3,2 km ; la distorsion d'amplitude qu'ils produisent est représentée sur la figure 80 [1] ; cette distorsion est corrigée

---

1. L'atténuation due au câble est représentée sur la figure 80 en décibels. Si I_0 est l'intensité du courant à l'entrée du câble et I son intensité à la sortie, le nombre de décibels correspondant est $N = 20 \log_{10} \frac{I_0}{I}$.

par des égaliseurs constitués par des filtres produisant des déformations inverses de celles du câble. Deux lignes servent à la transmission des images dans les deux sens et deux autres sont employés pour la synchronisation et

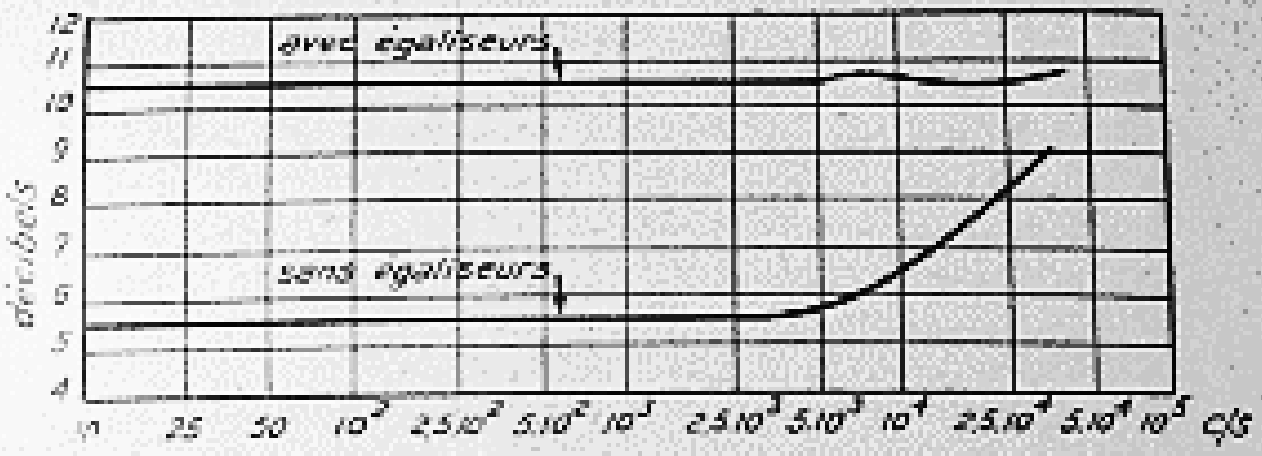

Fig. 80. — ATTÉNUATION SUR CABLE POUR TÉLÉVISION.

la conversation. Le fonctionnement est loin d'avoir encore la simplicité requise d'appareils destinés au public, et exige le concours d'ingénieurs expérimentés ; il est également dispendieux quant aux voies de communications qu'il absorbe, car celles-ci pourraient alimenter 15 conversations téléphoniques ordinaires [15].

1. — *PROPAGATION IRRÉGULIÈRE DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES*

126. Rôle de la haute atmosphère dans la propagation. — La transmission radioélectrique des images présente de très grosses difficultés ; mais avant de les étudier et de décrire les procédés que l'on a imaginés pour essayer de les éluder, il est indispensable d'examiner tout d'abord les conditions dans lesquelles a lieu la propagation des ondes [23].

La propagation le long du sol ne se fait qu'à des distances relativement très faibles, tant en raison de la

courbure de la terre que de l'absorption par le sol et les obstacles qui le recouvrent de l'énergie rayonnée ; pour rendre compte des grandes portées, il faut avoir recours aux phénomènes qui se produisent dans la haute atmosphère où les rayons émis dans des directions inclinées sur l'horizon se réfractent ou se réfléchissent et sont renvoyés sur la terre ; ces phénomènes sont la conséquence de l'ionisation des gaz qui se trouvent à une centaine ou quelques centaines de kilomètres au-dessus du sol et qui constituent la couche dite de Kennelly-Heaviside.

Ces gaz, très raréfiés, sont en effet soumis à l'action ionisante des corpuscules constamment émis par le soleil et à celle de ses rayons ultra-violets ; leurs molécules sont dissociées en même temps que l'énergie des rayons est absorbée. La basse atmosphère est alors protégée contre l'action ionisante et l'on conçoit que les couches ionisées ne descendent pas au-dessous d'une certaine hauteur. Sans faire aucune hypothèse précise sur la constitution de ces couches, on doit admettre que la densité des ions augmente, à mesure que l'on s'élève au-dessus du sol, depuis zéro ou une valeur très faible jusqu'à un maximum, à partir duquel elle diminue pour s'annuler à nouveau.

Or la présence d'ions libres dans un gaz a pour effet de diminuer sa constante diélectrique et, par conséquent, son indice de réfraction ; on voit alors que les rayons émis à la surface du sol subiront en entrant dans les couches de Kennelly-Heaviside une réfraction de même nature que celle d'un rayon passant de l'eau ou du verre dans l'air ; ces rayons s'écarteront de la normale. Si l'inclinaison sur la verticale est trop faible, comme celle des rayons 1 et 2 (fig. 81), la courbure due à la réfraction sera insuffisante pour ramener les rayons vers le sol et ils se perdront dans l'espace ; mais à partir d'une certaine

inclinaison ils reviendront vers la terre, comme par réflexion totale.

Les rayons horizontaux, dits rayons directs ou de surface, s'éteindront de bonne heure comme nous l'avons déjà mentionné, d'autant plus vite que l'onde sera courte, et entre le point A et le point B il y aura une « zone de silence ».

Il va de soi que la couche ionisée ne saurait être considérée comme homogène et limitée par des sphères géo-

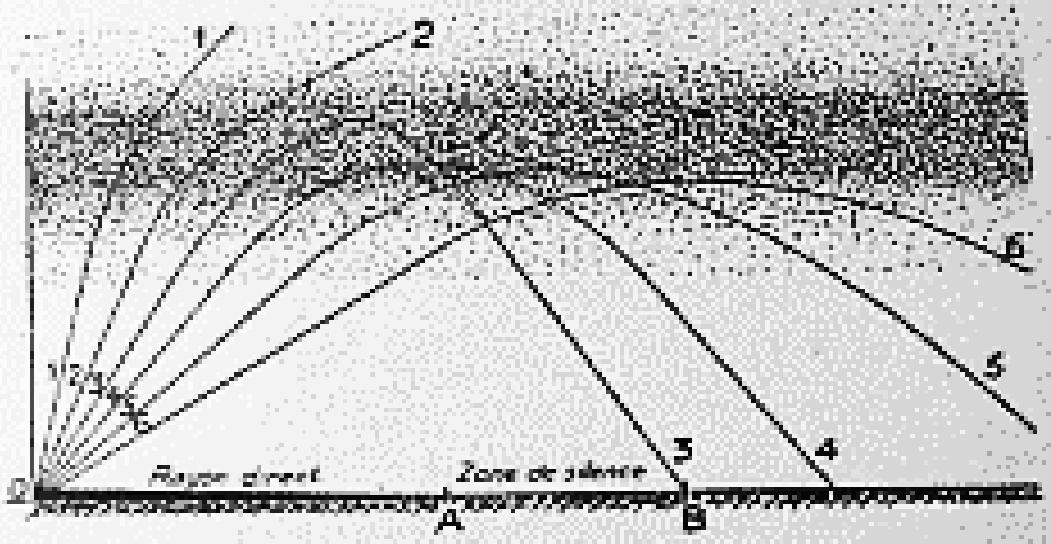

Fig. 81. — RENVOI DES ONDES PAR LA HAUTE ATMOSPHÈRE.

métriques, concentriques à la terre ; tant à cause de leur origine que de la masse gazeuse qui les constitue, elle présentera de nombreuses irrégularités de forme et de densité et on ne saurait mieux la comparer qu'aux couches de nuages de la basse atmosphère.

Ajoutons enfin que ces phénomènes subissent des variations diurnes et saisonnières très marquées, comme il est naturel puisque l'ionisation résulte d'actions solaires.

Quand l'onde est assez courte, inférieure à 70 m environ, les rayons directs OA longeant le sol s'éteignent par absorption avant d'atteindre le point B où le premier rayon réfléchi revient au sol ; il existe alors une « zone de silence » AB.

127. Évanouissements. — On désigne sous ce nom, ou sous le nom de « fading », des disparitions ou des affaiblissements de signaux dont la durée et l'amplitude sont extrêmement variables et dont l'importance est fonction de la fréquence. Peu accentués sur les ondes longues, les évanouissements sont surtout sensibles dans la gamme de la radiodiffusion — 150 à 600 mètres environ — mais ils jouent encore un rôle important dans la réception des ondes courtes. Les variations de l'énergie reçue peuvent être considérables ; des rapports de 1 à 100 entre le minimum et le maximum ne sont pas rares, on peut observer des rapports de 1 à 1 000. La durée des évanouissements est aussi très variable ; elle peut être de l'ordre de la minute ou de la seconde et même du dixième de seconde.

On a souvent l'occasion de constater que les évanouissements se produisent avec des intensités très différentes, au même instant, sur des ondes très voisines telles que celles qui se trouvent groupées dans les bandes de modulation des émissions téléphoniques ; l'évanouissement est alors dit *sélectif*, par opposition à l'évanouissement spectral qui affecte une bande entière ; l'évanouissement sélectif est l'origine de distorsions profondes.

Les causes des évanouissements sont multiples : quand l'onde n'est pas trop courte — supérieure à 70 mètres environ —, les rayons directs ne s'éteignent pas avant le point B de la figure 81 et leur interférence avec les rayons d'espace tels que 3 donne naturellement lieu à des variations de l'intensité résultante, variations irrégulières comme la couche ionisée elle-même. A des distances où les rayons directs sont éteints, il faut mettre en cause l'inclinaison du champ de l'onde dont la polarisation est inconstante par suite de la constitution accidentée du milieu ionisé et aussi à cause de l'action du champ magnétique terrestre.

Fig. 82. — Photographie transmise du Vatican a Paris (Original de Felici).

Exemple très caractéristique d'évanouissements quasi périodiques. Le récepteur comportait un correcteur d'évanouissement pour radiophonie.

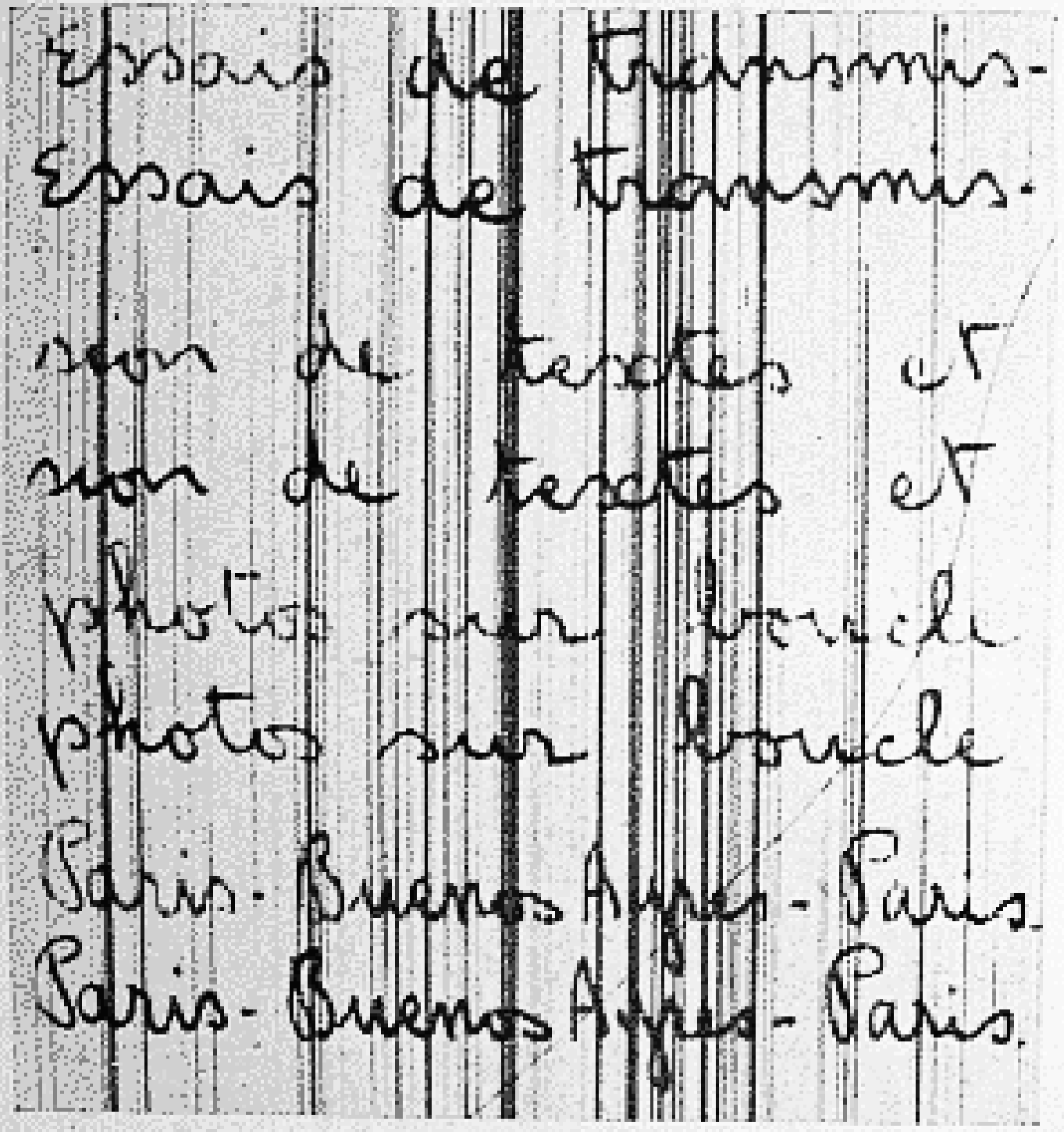

Fig. 83. — Émission faite a Paris vers Buenos-Ayres et retransmise automatiquement vers Paris en connectant le récepteur de ce dernier lieu a son émetteur.

Exemple d'évanouissements ; les dispositifs de réception à Paris et Buenos-Ayres comportaient les correcteurs habituellement employés pour la radiophonie. Les lignes impaires correspondent seules au trajet précédent ; les lignes paires ont été inscrites en reliant directement l'émetteur phototélégraphique et le récepteur dans la salle même d'opération ; la distance entre les lignes paires et impaires mesure donc la durée de propagation des signaux sur le trajet Paris Buenos-Ayres et retour, aux retards près dans les amplificateurs.

128. Effet Doppler-Fizeau. — On sait que cet effet se produit quand la source d'un rayonnement lumineux est animée d'un mouvement ayant une composante dans la direction où on le regarde, et qu'il donne lieu à une variation de la fréquence reçue. Quoique les sources radioélectriques soient fixes, il se produit un phénomène analogue pour les ondes hertziennes. Certaines mesures montrent que la hauteur de la couche de Kennely-Heaviside et sa teneur en ions peuvent varier assez rapidement, comme sous l'influence de radiations cosmiques arrivant par bouffées. Le déplacement de la couche réfléchissante équivaut à un déplacement de la source ; quant au changement de la densité ionique, elle a pour conséquence une variation de la vitesse de propagation et le résultat est le même. Il s'agit évidemment là de phénomènes passagers dont la durée est relativement faible, car leur cause ne peut agir dans le même sens que pendant peu de temps ; la valeur moyenne de la fréquence doit évidemment rester constante.

En transmission d'images, l'effet Doppler-Fizeau donne lieu à un déplacement de la tache d'exploration à la réception, car le signal arrive plus tôt ou plus tard que si le phénomène n'existait pas ; ce sont d'ailleurs des expériences de phototélégraphie qui ont mis ce dernier en évidence : une ligne parallèle à l'axe du cylindre d'émission était reçue très correctement sur presque toute sa longueur, mais présentait sur de très faibles étendues des crochets accentués [32].

129. Chemins multiples. — Une autre conséquence des irrégularités de la couche ionisée est l'existence de plusieurs chemins électromagnétiques entre l'émetteur et le récepteur, auquel arrivent plusieurs signaux discrets quand un seul signal très bref a été émis. Des enregistrements ont permis de constater que pour les transmissions à grande distance, l'intervalle extrême entre les

signaux multiples était de l'ordre du milli-seconde : cela n'est pas gênant pour les longs signaux de la télégraphie, ni même le plus souvent pour la téléphonie, mais la vitesse des transmissions phototélégraphiques s'en trouve limitée, afin d'éviter la reproduction multiple de certains points d'image ou des traînages inadmissibles ; cette multiplication des images est facile à constater expérimentalement, principalement en télévision où il n'est pas rare de voir apparaître deux images nettement distinctes sur l'écran, même à de courtes distances.

Signalons enfin que les ondes courtes de 15 à 30 mètres se propagent tantôt sur le plus petit arc de grand cercle joignant l'émetteur et le récepteur, tantôt sur le plus long ; à certaines heures du jour les deux chemins sont également favorables et la réception serait impossible ; mais les inconvénients de ce phénomène sont évités par l'emploi des émissions et des réceptions dirigées.

On donne souvent le nom impropre d'« échos » aux types de signaux multiples que nous venons d'examiner.

II. — *ÉMISSION RADIOÉLECTRIQUE*

130. Difficultés propres aux transmissions d'images. — Les transmissions radioélectriques des images sont beaucoup plus difficiles à réaliser que les transmissions sur câbles. C'est d'abord pour les mêmes raisons qui, pour tous les genres de communications, donnent aux ondes de l'espace une infériorité sur celles qui se propagent sur câbles souterrains. Ceux-ci constituent en effet une voie parfaitement protégée contre les actions extérieures, une voie homogène et stable.

Mais ce n'est pas tout, les difficultés provenant de la voie radioélectrique, ouverte à toutes les perturbations, sont beaucoup plus importantes pour les images que pour la télégraphie et la téléphonie. En laissant de côté les

méthodes spéciales que nous allons examiner tout à l'heure, on fait évidemment appel à la même méthode générale pour transmettre des sons ou des images. Dans un cas le microphone produit les oscillations de basse fréquence qui, amplifiées, modulent l'émission ; dans l'autre cas, la cellule photoélectrique remplace le microphone ; mais ces modulations doivent reproduire des phénomènes très dissemblables par leur nature et par leurs réactions sur nos sens.

La réception des sons agit directement sur ces derniers et ne laisse de trace que dans la mémoire de l'auditeur ; si l'ensemble d'une réception téléphonique a été correcte, les quelques syllabes ou les quelques mots estropiés ont été facilement reconstitués, le but a été atteint, complètement atteint ; la communication sera considérée comme très bonne. Il en sera encore de même si des parasites sont venus se superposer à la parole, sans avoir une intensité ou une fréquence suffisante pour la couvrir d'une façon gênante.

Ce n'est plus la mémoire qui entre en jeu dans l'appréciation d'une réception phototélégraphique ; celle-ci est un enregistrement rigoureux de tout ce qui a passé par le récepteur ; aux syllabes estropiées correspondront des taches, aux parasites légers qui ne nuisaient pas à la compréhension, correspondra un pointillé plus ou moins serré et quand l'œil examinera l'image, il ne pourra plus oublier les défauts qui, tout au contraire, attireront son attention. Il dira mauvais là où l'oreille disait très bon.

Si, d'autre part, l'oreille peut atteindre à un très haut degré de perfection dans l'appréciation des hauteurs et des timbres, elle se rend très mal compte de l'intensité des sons reçus. Dans une conversation téléphonique, l'énergie moyenne peut varier de 30 à 50 p. 100 et même de 100 p. 100 sans que l'auditeur s'en aperçoive ; aussi les correcteurs employés dans le trafic radiotéléphonique commer-

cial se contentent-ils de maintenir un niveau constant à 20 p. 100 près environ.

Dans la reproduction télégraphique d'une photographie une variation de 1 p. 100 est déjà parfaitement sensible ; il faudrait donc corriger les évanouissements avec une précision supérieure à cette limite et ce résultat est extrêmement difficile à obtenir, on peut même dire qu'il est généralement impossible de l'atteindre. Dans ces conditions, on ne peut même pas songer à employer les ondes moyennes de 1 000 à 2 000 mètres par exemple pour un service commercial régulier ; car, quoique les évanouissements y soient très atténués, elles sont constamment sujettes à des variations d'amplitude de quelques centièmes au moins, principalement la nuit. Ces observations permettent de mesurer les difficultés de la tâche à accomplir.

Il semble que quelques-uns des arguments ci-dessus perdent de leur importance quand on passe de la phototélégraphie à la télévision. Celle-ci ne laisse pas de trace durable et se rapproche par plus d'un point de la téléphonie dans la question qui nous occupe ; mais cette technique est encore trop jeune et ses résultats trop incertains pour permettre un jugement sûr. Deux difficultés cependant méritent une mention spéciale : celle de la grande largeur des bandes de fréquence, qui oblige à se tourner vers les ondes courtes, et celle des chemins multiples dont ces ondes sont coutumières ; en raison de la grande vitesse d'exploration, les variations de durée dans le parcours de ces chemins provoquent le brouillage ou même le dédoublement très net des images.

Nous allons examiner quelques-uns des procédés qui ont été imaginés pour éviter les difficultés provenant des évanouissements ; mais auparavant nous dirons quelques mots sur les particularités d'application à la transmission des images des procédés habituels de la transmission de sons.

131. Modulation en amplitude. — La modulation en amplitude est à peu près universellement employée pour la téléphonie et cette circonstance lui donne ici un intérêt particulier, si l'on fait abstraction des difficultés provenant des évanouissements ; les modifications à y apporter pour l'émission d'images sont peu importantes et même, en ce qui concerne la phototélégraphie, il est généralement possible de l'employer immédiatement en remplaçant tout simplement les signaux téléphoniques par ceux d'image.

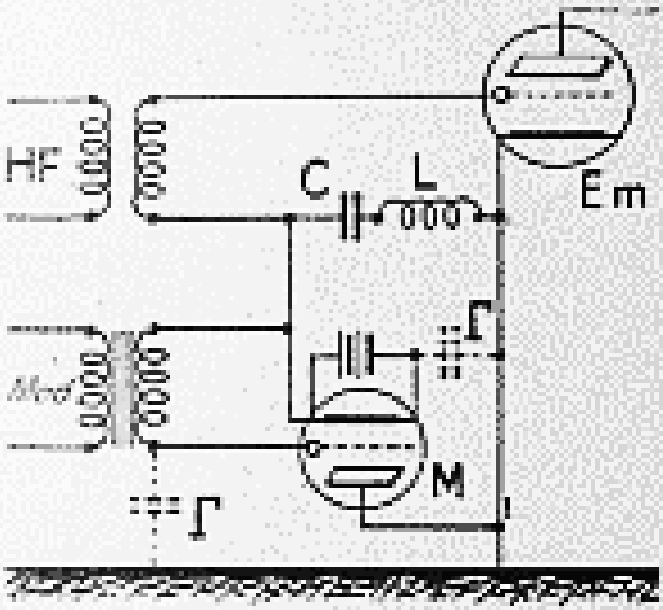

Fig. 84. — MODULATION PAR LA GRILLE, SYSTÈME HABITUEL.

Pour les grandes bandes de la télévision, il convient de réduire dans la mesure du possible les capacités parasites qui shuntent la commande de la grille de modulation. Considérons par exemple la modulation par la grille, du type Beauvais, schématisée sur la figure 84 ; les capacités parasites sont constituées par les capacités Γ et Γ', représentées en pointillé, de la source de chauffage et du transformateur de modulation par rapport au filament de la lampe d'émission ; la capacité C qui sert au passage de la haute fréquence est nuisible dans les mêmes conditions. On cherchera à réduire les deux premières par les dispositions locales ; quant à la troisième on pourra lui donner une valeur relativement très faible en mettant en série avec elle une inductance L formant circuit résonant pour la haute fréquence.

Le montage de la figure 85 offre sur le précédent de

nombreux avantages. Une dynamo D fait circuler dans la résistance R_g et l'intervalle filament-plaque de la lampe de modulation M, un courant modulé par la grille de cette dernière et c'est la tension aux bornes de R_g qui module l'émission. Les capacités Γ et Γ′ disparaissent, ainsi que les difficultés d'isolement de la batterie de chauffage de M ; en outre la grille de cette lampe peut être commandée par une résistance R_m, ce qui était évidemment impossible dans le cas précédent.

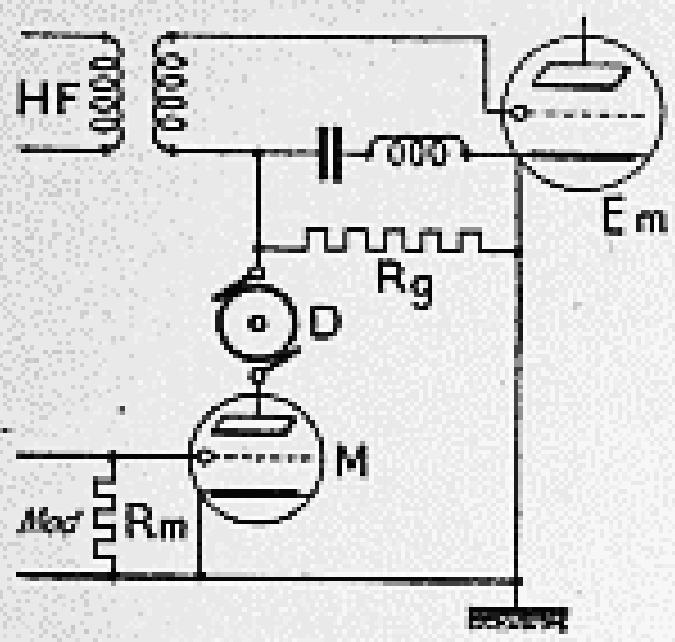

Fig. 85. — PROCÉDÉ SUPPRIMANT L'INFLUENCE DES CAPACITÉS PARASITES.

132. Transmissions phototélégraphiques de noir et blanc. — Avant de passer à l'étude des procédés spéciaux de modulation des demi-teintes, arrêtons-nous un moment sur la transmission des documents ne comportant que des traits noirs sur fond blanc, tels que des dessins à la plume ou de l'écriture. Le problème est très différent, il n'y a plus de modulation proprement dite et la transmission devient en quelque sorte télégraphique ; les courants émis ont tous la même amplitude et ne diffèrent que par leur durée. Il est alors facile de supprimer l'influence des évanouissements, au moins dans la mesure où ceux-ci ne font pas tomber le niveau des signaux reçus au-dessous d'un seuil trop bas ; il suffit en effet d'employer à la réception une amplification telle que les signaux les plus faibles atteignent une intensité conve-

nable pour impressionner au maximum le papier photographique.

Pour la transmission du noir et blanc, on pourrait même se passer complètement de toute espèce de modulation par lampes et utiliser les courants d'image pour actionner directement un manipulateur télégraphique ; on est cependant bientôt limité dans cette voie par la lenteur relative des relais mécaniques et elle ne peut être utilisée que pour des transmissions lentes.

133. **Vitesse limite de transmission du noir et blanc.** — Les considérations précédentes montrent que la transmission du noir et blanc est beaucoup plus facile que celle des demi-teintes ; néanmoins la vitesse en est limitée par le phénomène de traînage ou de doublage provenant des chemins multiples de propagation (n° 129), quand il s'agit de transmissions à grande distance.

Comme nous l'avons vu au numéro 27, la durée θ du passage de la tache d'exploration sur un point est alors limitée pour les distances transocéaniques à la valeur approximative de $6 \cdot 10^{-4}$; on doit alors avoir :

$$v < \frac{\varepsilon}{6 \cdot 10^{-4}},$$

D'autre part, la vitesse de transmission V en dm^2/min est

$$V = \frac{v\varepsilon \cdot 60}{10^4},$$

v étant exprimé en mm/s et ε en mm.

On déduit de ces deux relations

$$V < 10\,\varepsilon^2,$$

ce qui donne 0,35 dm^2/min. pour une finesse de trame de 5,3. Nous verrons au paragraphe suivant que l'on a imaginé des récepteurs destinés à atténuer le traînage.

134. Modulation en temps. — Le procédé théoriquement le plus simple pour éviter les inconvénients des évanouissements dans la transmission des demi-teintes, consiste à préparer tout d'abord une reproduction de l'image, au moyen d'une grille, comme pour les illustrations typographiques ; en utilisant une tache d'exploration de dimension inférieure à celle des plus petits points de la trame, on provoquera des émissions successives d'intensité constante, on sera en somme ramené au cas du noir et blanc. Mais cette méthode a l'inconvénient d'exiger la fabrication d'une épreuve spéciale avant la transmission ; c'est une perte de temps que l'on a cherché à éviter ; les procédés employés constituent ce que l'on a appelé la modulation en temps.

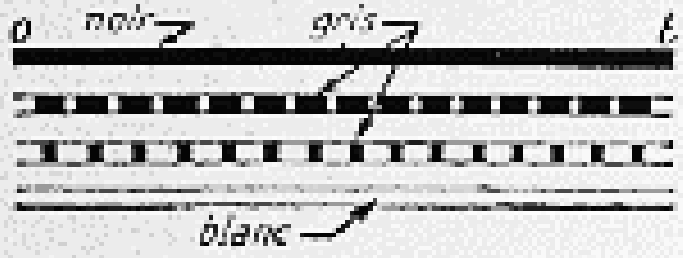

Fig. 86. — Schéma de la modulation en temps.

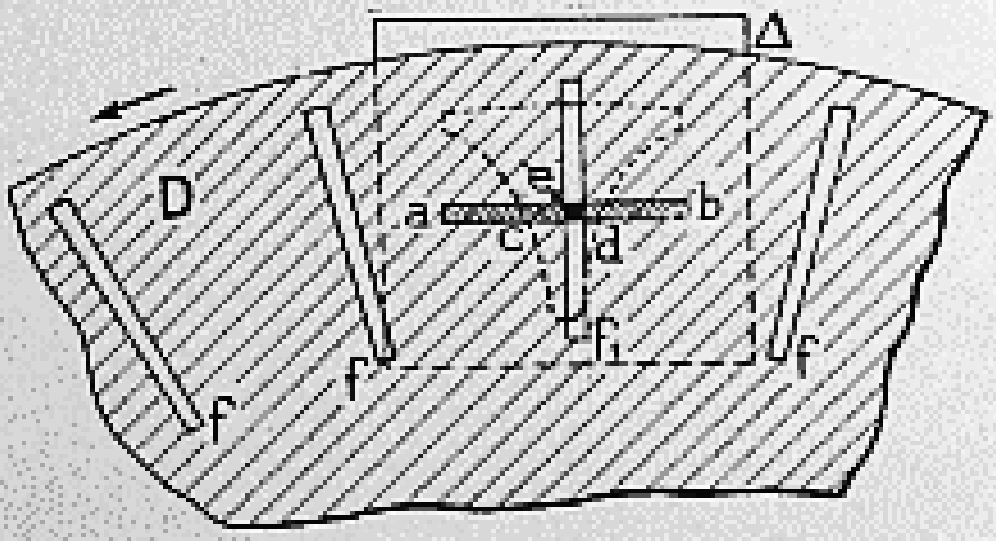

Fig. 87. — Modulation en temps système Belin.

Cette modulation est obtenue par une émission intermittente de points dont la durée est d'autant moins longue

par rapport à leurs intervalles que la teinte de l'original est plus claire, ou inversement (fig. 86).

Fig. 88. — Modulation en temps, système Belin.

Sa trame est celle réalisée par le mode d'émission ; on verra, en l'observant à la loupe, qu'elle diffère de la trame typographique des autres photographies.

Voici, par exemple, le principe du procédé Belin de modulation en temps. A la station d'émission, on emploie tout d'abord l'émetteur habituel (n° 4), et le courant

photoélectrique amplifié est utilisé dans un récepteur identique à celui décrit au numéro 61, mais limité à ses premiers éléments, jusqu'au diaphragme Δ y compris. Un disque percé de fenêtres radiales (fig. 87) défile devant ce diaphragme avec une vitesse déterminée par la finesse de la trame que l'on veut obtenir ; si le faisceau lumineux aplati arrive en *ab* à un instant déterminé, il ne peut passer au delà du disque que par la région *e* commune à la bande *ab* et à la fente f_1 ; la lumière qui traverse est envoyée sur une cellule photoélectrique qui commande l'émission radioélectrique pendant la durée correspondant à la largeur *cd* ; *ab* se déplaçant verticalement suivant l'intensité de la teinte à transmettre, on voit que la durée des émissions variera avec cette teinte. L'emploi du diaphragme Δ présente encore ici l'avantage déjà signalé d'introduire une très grande souplesse dans la détermination de la modulation la plus favorable. La dimension d'un point d'image est naturellement fixée par la durée de passage de l'intervalle de deux fentes devant un point donné de l'original.

135. Vitesse limite de transmission en cas de modulation en temps. — La méthode précédente est avantageuse quand les photographies transmises sont destinées à des reproductions typographiques ; elles possèdent en effet une trame qui convient parfaitement à cet usage et peuvent être utilisées directement ; elle a malheureusement l'inconvénient de conduire à des vitesses de transmission assez faibles.

Désignons encore par η la largeur d'une bande d'exploration ; pour les mêmes raisons que celles exposées au numéro 20 la dimension du point d'image dans le sens de l'exploration sera aussi η. Pour que les teintes claires soient convenablement reproduites, il faudra que la largeur des traits noirs qui leur correspondent puisse deve-

nir assez petite par rapport à η : soit $\alpha\eta$ la plus petite largeur acceptable, on aura comme au numéro 133 :

$$e < \frac{\alpha\eta}{6 \cdot 10^{-4}}$$

et la vitesse de transmission sera, avec les mêmes unités :

$$V < \frac{\alpha\eta\, 60}{16^4} = 10\,\alpha\eta^2.$$

Pour une trame de 5,3, $\eta = 0{,}19$ mm ; avec $\alpha = 1/5$, cela donne $V = 0{,}072$ dm²/min ; en prenant $\eta = 0{,}3$ mm et $\alpha = 1/4$, $V = 0{,}225$. On remarquera que ces faibles vitesses sont la conséquence de l'introduction du facteur α, caractéristique du procédé et dont il est impossible d'augmenter la valeur sans nuire à la finesse des reproductions.

136. **Modulation par changement de voie.** — Pour atteindre des vitesses plus grandes, Schröter a imaginé

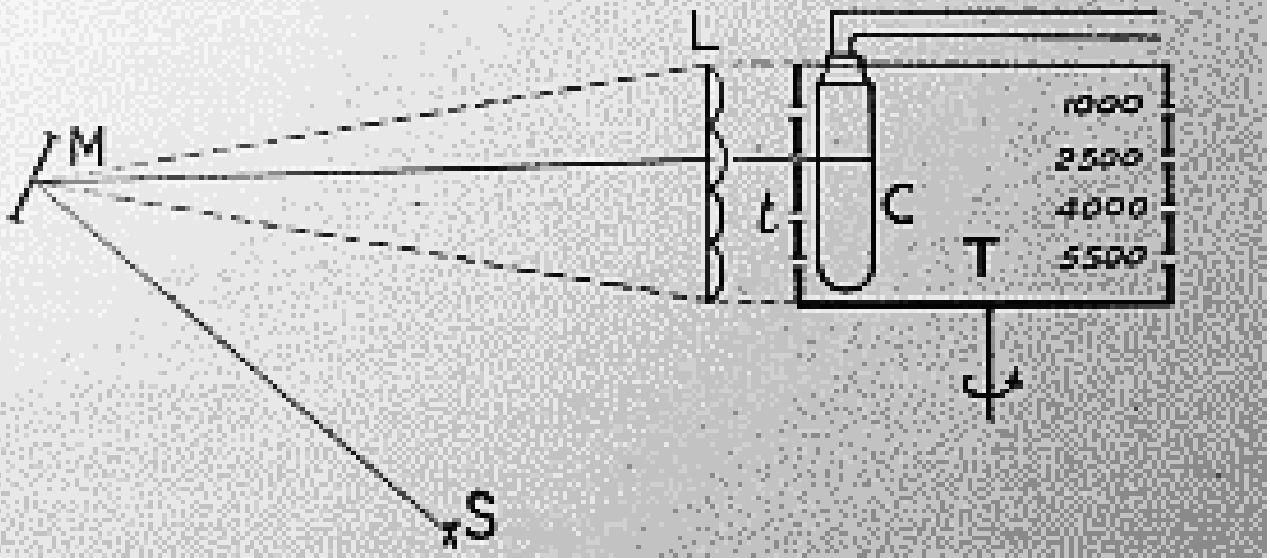

Fig. 89. — Modulation par changement de voie, système Schröter.

récemment un procédé tout différent dont voici le principe : on choisit entre le blanc et le noir une échelle discontinue de gris et chacun d'eux est transmis par une voie différente ; les ondes correspondant à ces voies sont

séparées à la réception, amplifiées au-dessus d'un seuil déterminé et utilisées pour reproduire les tonalités correspondantes de l'original [38].

Pour cela, l'image est explorée comme à l'habitude et le courant photoélectrique amplifié est envoyé à un oscillographe dont il déplace le miroir M (fig. 89) ; ce miroir renvoie le faisceau issu d'une source S sur une des lentilles d'un système optique L et ce faisceau concentré vient exciter une cellule photoélectrique C à travers l'une des rangées de trous du tambour T animé d'un mouvement de rotation. Les trous des différentes rangées sont inégalement espacés de façon à produire des interruptions de lumière de fréquences différentes ; dans les essais effectués avec ce système, ces fréquences étaient de 1 000, 2 500, 4 000 et 5 500. Suivant la teinte de la partie explorée de l'original, la cellule C fournit donc un courant alternatif ayant l'une de ces fréquences ; ce courant est amplifié et les quatre fréquences sont séparées par quatre filtres ; les courants obtenus sont redressés et servent à commander quatre oscillateurs à quartz qui servent de pilotes pour l'émission de quatre ondes dont les fréquences diffèrent entre elles des nombres de cycles précédents.

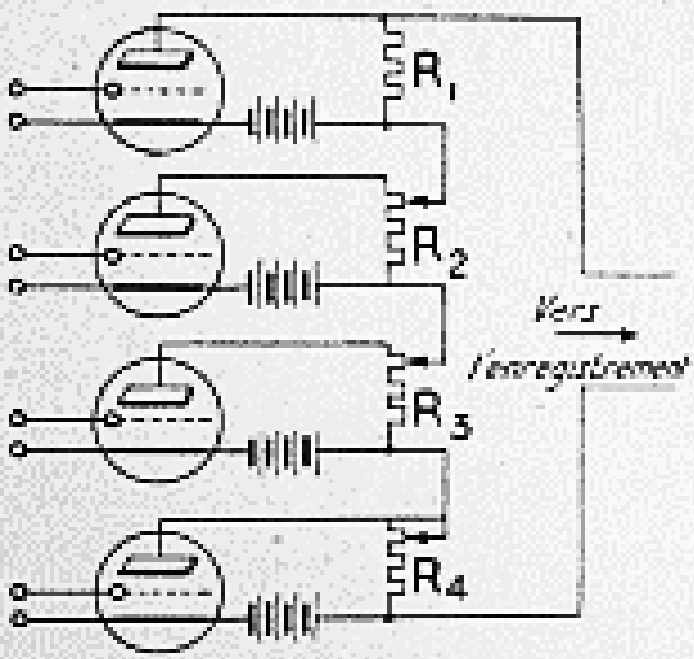

Fig. 90. — RÉCEPTION DE LA MODULATION PAR CHANGEMENT DE VOIE.

A la réception, les quatre ondes reçues simultanément sont encore filtrées et, par battement avec une onde auxi-

laire, les fréquences ci-dessus sont reconstituées. Les courants correspondants sont alors redressés et envoyés dans quatre résistances conformément au schéma de la figure 90 ; la tension résultante est enfin utilisée pour la commande de l'enregistrement.

On peut améliorer la qualité des images et doubler, pour ainsi dire, le nombre de gris de l'échelle des teintes par le procédé suivant : on s'arrange de façon que les gris choisis dans l'échelle primitive ne jouent leur rôle que toutes les deux lignes de l'exploration ; pour les lignes intermédiaires, on modifie légèrement l'amplification des courants arrivant à l'oscillographe de façon que le faisceau lumineux soit dirigé sur les différentes couronnes de trous pour des gris intermédiaires aux précédents ; les teintes fondues que l'œil perçoit dans les reproductions correspondent bien alors à l'emploi de teintes distinctes plus nombreuses.

137. **Émission sans fréquence auxiliaire.** — L'emploi d'une fréquence auxiliaire est indispensable pour les transmissions sur câbles, mais on peut s'en passer pour les transmissions radioélectriques ; l'emploi d'un amplificateur à courant continu à l'émission est en effet admissible en raison de la qualité du personnel qui en est chargé, et à la réception une fréquence acoustique peut être obtenue par hétérodynation. La limitation de la vitesse de transmission établie au numéro 27 n'en subsiste pas moins ; il suffit pour le voir de reprendre le raisonnement du numéro 135 en y remplaçant la quantité $\alpha\eta$ par la largeur de la tache d'exploration $\varepsilon = \eta$; on trouve alors :

$$V = 10\,\eta^2,$$

soit, pour une trame de 5,3 lignes au millimètre, $V = 0{,}36$ dm²/min.

La suppression de la fréquence auxiliaire à l'émission

à l'avantage de diminuer très notablement la largeur de la bande de fréquence transmise qui devient trois fois plus étroite.

III. — *RÉCEPTION RADIOÉLECTRIQUE*

138. Limitation de l'intensité des signaux reçus. — Au sujet de la réception proprement dite, nous n'avons rien

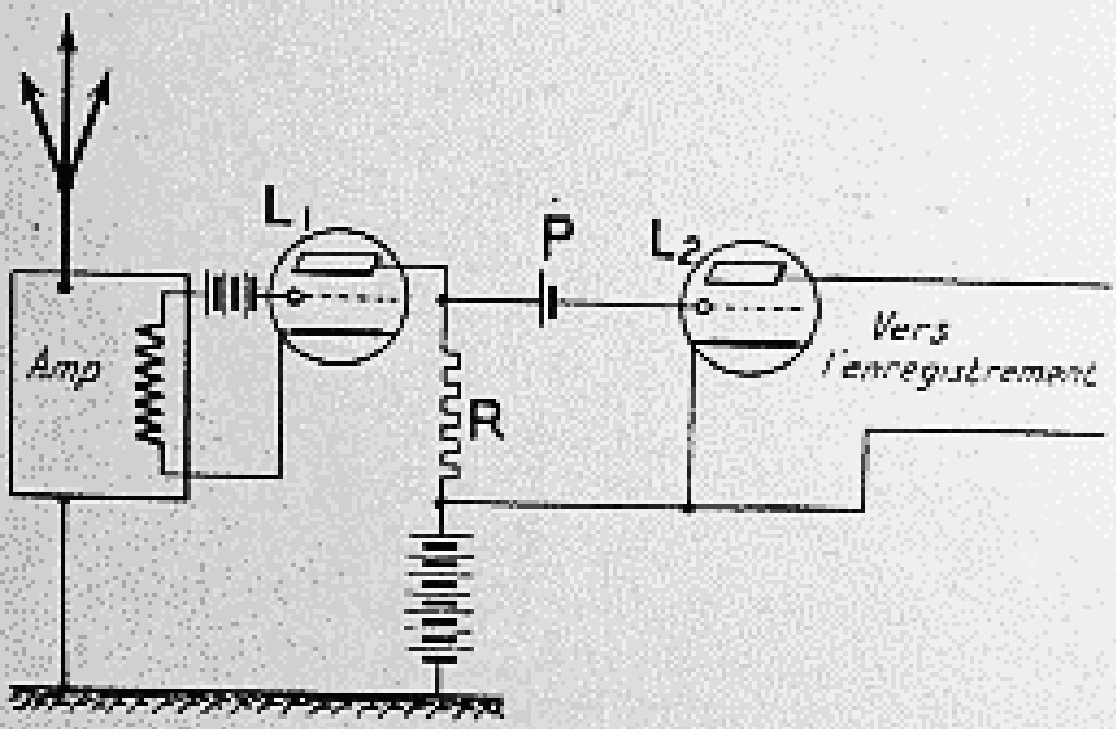

Fig. 91.

à ajouter à ce qui a été dit au Chapitre VIII sur l'amplification et nous nous bornerons à quelques indications sur les procédés qu'on a appliqués ou cherché à appliquer pour atténuer les effets des évanouissements.

Nous avons vu que pour obtenir des reproductions correctes des documents noir et blanc, on commençait par amplifier suffisamment les signaux pour obtenir un seuil suffisant au noircissement du papier photographique ; il y a avantage à ne pas dépasser notablement ce seuil. Le schéma de la figure 91 permet de commander l'enregistreur par une tension ou un courant de valeur

déterminée. L'émission est d'abord amplifiée en haute et éventuellement en moyenne fréquence, puis détectée par la lampe L_1 ; la pile P est choisie de manière que L_2 débite en l'absence d'émission et l'amplification préalable est assez poussée pour que la chute de tension dans R, pendant l'émission, verrouille cette dernière lampe ; le courant de L_2 est utilisé directement ou transformé en tension par une résistance.

139. **Réception antiparasite du noir et blanc.** — La phototélégraphie fournit un procédé assez efficace pour l'atténuation des parasites ; il suffit d'écrire le texte à transmettre sur une feuille de papier et de passer ce document noir et blanc en s'arrangeant de façon que l'émission ait lieu pendant les blancs ; les parasites arrivant pendant ces derniers auront pour effet, sauf de très rares exceptions, d'augmenter l'intensité des signaux reçus ; ils ne seront donc pas enregistrés et le fond du document restera parfaitement net ; s'ils arrivent pendant un noir ils pourront supprimer l'inscription, mais comme une lettre est à cheval sur plusieurs lignes d'exploration, il n'y a qu'une très faible probabilité qu'il manque un nombre de ses éléments assez grand pour la rendre illisible.

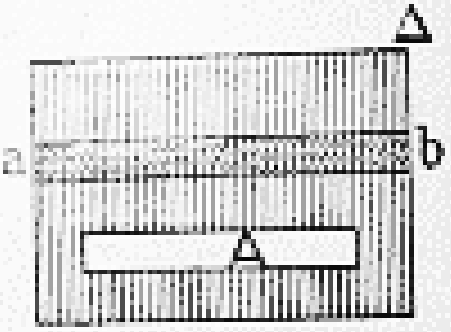

Fig. 92.

Dans le procédé Belin, par exemple, on remplace le diaphragme du numéro 61 par celui de la figure 92 et la section *ab* du faisceau lumineux ne peut occuper que deux positions correspondant aux signaux ou à leur absence ; on règle l'oscillographe de façon que l'une de ces positions coïncide avec celle de l'ouverture A. On peut même se passer du limiteur décrit au numéro précédent en pre-

nant cette dernière position comme position de repos du spot.

En vue d'améliorer la protection contre les parasites et les évanouissements, Schröter a imaginé un dispositif d'exploration à lignes sautées ; on transmet d'abord les lignes 1, 4, 7, ... puis 2, 5, 8, ... et enfin 3, 6, 9 ..., l'intervalle entre ces transmissions successives étant distinct de la durée la plus fréquente des évanouissements [34] ; ce procédé ne paraît pas avoir reçu d'applications commerciales.

140. Atténuation des évanouissements. — Pour obtenir des reproductions phototélégraphiques convenables en demi-teinte, on a cherché à utiliser les atténuateurs d'évanouissements employés en radiophonie ; le principe de ces appareils repose sur les deux faits suivants : les variations de l'intensité des signaux sont relativement lentes par rapport à la durée des périodes de la modulation et l'amplitude de l'onde porteuse au départ est constante quelle que soit la modulation.

Grâce à cette dernière circonstance, la valeur moyenne du courant reçu pendant quelques périodes de la modulation serait constante s'il n'y avait pas d'évanouissements ; si donc on peut disposer un système qui fournisse cette valeur moyenne, le problème sera ramené à celui d'un asservissement de l'amplification, qui assure à cette moyenne un niveau constant.

Or, on peut obtenir un effet proportionnel au courant moyen pendant un petit nombre de périodes de modulation en redressant le courant reçu avant son amplification en basse fréquence, et en accumulant la quantité d'électricité correspondante dans une capacité assez forte pour que les variations de son potentiel dans la durée d'une période soient négligeables ; en introduisant cette capacité dans le circuit grille de la première lampe

de l'amplificateur — ou dans ceux des premières lampes — on pourra faire varier la polarisation de ces grilles pour modifier l'amplification dans le sens voulu.

La figure 93 montre une disposition de ce genre : sur la résistance R traversée par le courant amplifié, on fait une prise de potentiel qui commande la grille de la lampe redresseuse L_3 et le condensateur C est alimenté par la

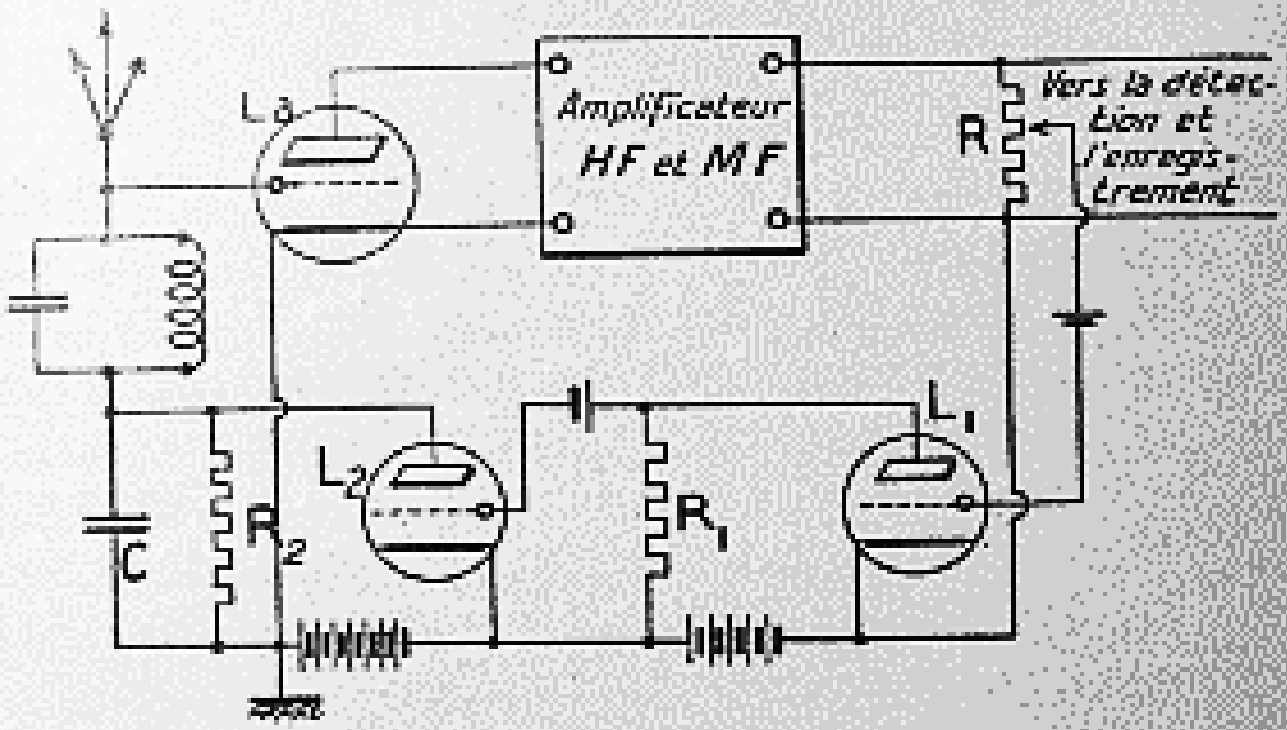

Fig. 93.

lampe L_2 montée en amplificateur à courant continu. Supposons alors qu'un évanouissement se produise, le courant dans R diminue et la grille de L_1 devient moins négative ; cette lampe débite dans R_1, ce qui entraîne une diminution du courant dans R_2 et par suite une décroissance du potentiel négatif de la lampe d'amplification L_2 ; le déplacement du point de fonctionnement de cette lampe donne alors lieu à un accroissement de l'amplification.

Ce procédé suppose l'emploi d'une fréquence auxiliaire comme celle qui résulte de l'usage de lumière ruptée ; les valeurs moyennes dont il est question ci-dessus doivent

en effet porter sur des intervalles dont la durée soit courte par rapport à la modulation de l'image, qui peut être très lente quand l'exploration rencontre des plages de teinte uniforme.

On a aussi cherché à faire des corrections discontinues en utilisant le temps laissé libre par le passage de la tache d'exploration devant la barrette qui fixe le papier sur le cylindre : en plaçant dans cette région une bande bien blanche, on peut obtenir à chaque tour un signal qui doit toujours conserver la même intensité. Un système de contacts manœuvrés par des cames entraînées par les cylindres met le correcteur en service à l'instant convenable ; la capacité C est déchargée immédiatement avant l'arrivée du signal puis chargée de nouveau par ce dernier à la valeur correspondant à l'importance de l'évanouissement à ce moment ; on donne à cette capacité une grandeur telle que sa décharge dans la résistance R_2 soit peu sensible pendant la durée d'un tour de cylindre [34].

Quels que soient les procédés employés, les résultats sont tout à fait insuffisants, au moins pour les grandes distances qui sont à peu près les seules intéressantes du point de vue de l'exploitation. La cause en est due pour une part à la nature fréquemment sélective des évanouissements (n° 127), pour une autre à la précision requise de la correction (n° 130).

141. Atténuation du traînage. — Comme on l'a vu au numéro 135 la transmission rapide du blanc et noir n'est limitée que par le traînage ; des expériences ont été faites par la Telefunken pour chercher à le supprimer. Le système employé est basé sur l'emploi simultané des méthodes décrites aux numéros 138 et 150 pour limiter l'amplitude des signaux et atténuer les évanouissements.

L'enregistrement des signaux provenant par chemins

multiples montre que le premier signal est toujours le plus fort ; si donc il n'y avait pas d'évanouissement, on pourrait employer le dispositif du numéro 138 en réglant l'intensité de réception de telle façon que le premier des signaux multiples soit seul assez intense pour verrouiller la lampe L_2 de la figure 91. Pour tenir compte des évanouissements, il suffira de connecter les deux lampes de la figure 91 à la sortie du système de la figure 93, et c'est en réglant la résistance R de ce dernier système que l'on obtiendra le verrouillage convenable [34].

Ce procédé procure une amélioration très nette des signaux ; il n'en est pas moins encore insuffisant pour une exploitation régulière et, actuellement, la vitesse de transmission transocéanique du noir et blanc reste limitée, comme il a été indiqué au numéro 137, à environ un tiers de décimètre carré par minute.

IV. — *TRANSMISSIONS RADIOÉLECTRIQUES DE TÉLÉVISION*

142. Emploi des ondes très courtes. — La télévision ne pouvant être pratiquement transmise que par des procédés radioélectriques, tout ce que nous en avons dit dans le cours de ce livre se rapporte à ces procédés, sur lesquels nous n'avons rien à ajouter. Mais nous avons vu à plusieurs reprises que pour donner à cette technique nouvelle tout son développement et un degré de perfection qui lui mérite vraiment l'intérêt du public, il paraissait nécessaire de se tourner vers l'emploi des fréquences les plus élevées que nous ayons aujourd'hui à notre disposition, c'est-à-dire aux ondes de quelques mètres [25, 37].

Or ces ondes ont des propriétés très différentes de celles que l'on utilise couramment ; il est donc nécessaire de donner quelques indications sur leur propagation.

Alors que les ondes de 13 ou 14 mètres sont celles qui

permettent les plus grandes portées, les ondes plus courtes ne sont reçues à grande distance qu'exceptionnellement et l'on ne connaît pas d'exemple sûr de la réception lointaine d'ondes de 5 mètres ou plus courtes. Ces dernières se comportent à peu près comme la lumière ; elles ne sont généralement pas perceptibles au delà de l'horizon géométrique de l'émetteur, et quand on peut dépasser cette limite par l'emploi de fortes puissances, ce n'est que dans une faible proportion. Comme la distance en kilomètres de l'horizon d'un point situé à une hauteur h au-dessus de la terre est à peu près égale à $3{,}6\sqrt{h}$, la portée d'une station située au sommet de la tour Eiffel ne dépasserait guère 100 km. Avec ces ondes, il ne saurait donc être question de radiodiffusion au sens où l'entendent beaucoup de personnes, pour lesquelles l'intérêt des programmes pourrait se mesurer par la distance kilométrique de l'émetteur ; on ne pourrait songer qu'à couvrir la superficie d'une grande ville et de ses faubourgs.

Mais une autre difficulté se présente ; ces ondes subissent une absorption considérable au voisinage du sol et l'accès de nos habitations leur est à peu près interdit. Il faut donc installer des antennes sur les toits des maisons et descendre l'énergie captée jusqu'à l'usager par des canalisations dont l'installation demande beaucoup de soins.

Ces circonstances sont de nature à ralentir le développement des transmissions sur ondes très courtes, mais on peut envisager pour un avenir plus ou moins lointain l'établissement d'un service de distribution d'énergie radioélectrique comme il en existe pour l'eau, le gaz et l'électricité ; les immeubles comporteraient alors une antenne commune sur leur toit et un réseau qui desservirait tous les locataires.

Chapitre X

EXPLOITATION

---

143. Transmissions phototélégraphiques sur câbles. — La qualité des photographies transmises sur câbles est aujourd'hui tout à fait comparable à celle des originaux, aussi la phototélégraphie s'est-elle beaucoup développée depuis quelques années. L'exploitation des appareils demande quelque soin, mais n'est pas plus délicate que celle du matériel habituel de télégraphie.

Actuellement c'est surtout la presse qui fait usage de cette nouvelle technique ; le reportage use largement des possibilités qui lui sont offertes et des journaux anglais, par exemple, échangent plusieurs milliers de photographies par an avec leurs éditions de province.

En Allemagne, la phototélégraphie est introduite depuis plusieurs années dans les services de police et son usage vient d'être décidé en France dans les mêmes conditions.

Des services publics existent aujourd'hui pour la transmission d'autographes que l'on dépose dans les bureaux de poste comme les télégrammes ordinaires. Les villes pouvant assurer ces services sont en France : Paris, Bordeaux, Lyon, Marseille et Nice, et à l'étranger : Londres, Berlin, Francfort, Munich, Vienne, Copenhague et Stockholm. Toutes ces stations, ainsi que les stations

privées des journaux, sont équipées d'appareils Belin ou Siemens.

Pour faciliter les communications internationales, le Comité Consultatif International des Communications

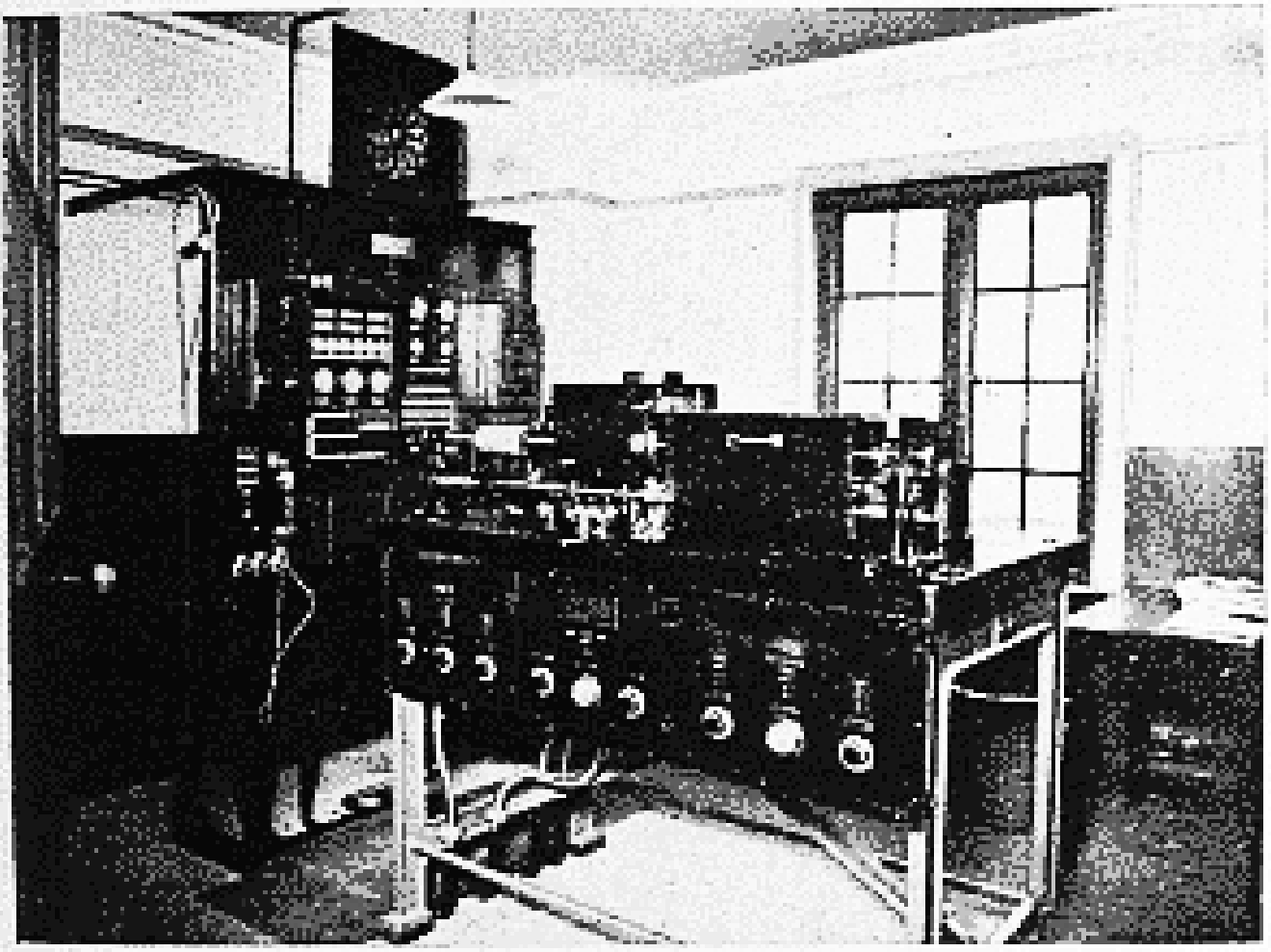

Fig. 94. — Émetteur et récepteur phototélégraphiques, système Belin, a trame fine ($\nu = 5{,}33$).

Sur le bâti central, l'émetteur est à gauche, le récepteur à droite dans le châssis à poignée. Les amplificateurs sont derrière le panneau de gauche.

Téléphoniques à Grande Distance a recommandé la normalisation des éléments dont l'identité est indispensable à la coopération d'appareils de types différents ; elle s'est arrêtée aux chiffres suivants : diamètre des cylindres : 66 mm ; nombre de lignes au millimètre : 5,33 ; vitesse de rotation : 1 tour par seconde ; fréquence porteuse : 1 300 c/s environ ; fréquence de contrôle de la synchro-

nisation : 1 020 c/s. Les appareils Siemens et Belin récents sont établis d'après ces données.

144. Transmissions phototélégraphiques radioélectriques. — Les transmissions sans fil sont loin d'être aussi avancées que celles sur câbles pour les raisons que nous avons indiquées (n° 130). Non seulement les résultats obtenus sont insuffisants, mais les vitesses de transmission permettant de transmettre éventuellement des documents acceptables sont trop faibles pour être commerciales ; aussi n'est-ce que tout à fait exceptionnellement que l'on trouve dans les journaux la reproduction d'un événement d'outre Atlantique, reproduction dans laquelle la retouche a souvent joué un rôle aussi important que la transmission.

Avant de l'avoir expérimenté, on avait fondé de grands espoirs sur l'utilisation des transmissions de textes par phototélégraphie ; on pensait obtenir un rendement extrêmement avantageux ; mais la vitesse limite imposée aux transmissions de noir et blanc (n° 133) ne correspond qu'à un rendement de 30 à 50 mots par minute[1], ce qui est bien au-dessous des possibilités des procédés ordinaires télégraphiques.

On rencontre un peu moins de difficultés pour les transmissions relativement grossières utilisant la réception électrochimique, qui paraît susceptible de rendre des services importants à la météorologie et à l'aéronautique. Les cartes météorologiques sont en effet transmises plus rapidement et plus sûrement que les textes pouvant servir à leur construction, elles sont moins affectées par les parasites et offrent l'avantage d'être

1. Nous avons parlé au n° 24 d'une vitesse possible de 220 mots/minute, mais le phénomène de traînage n'était pas en jeu et on pouvait réduire les dimensions des lettres dans des proportions impossibles dans le cas actuel.

Fig. 95. — Épreuve transmise par l'appareil représenté sur la figure 94. A gauche l'original.

immédiatement utilisables : les services météorologiques français utilisent actuellement ce procédé entre leurs stations (fig. 96). L'avantage que tirerait l'aviation de la réception directe des cartes météorologiques est malheureusement contrebalancé par les difficultés d'installation à bord des avions où la place et le poids sont si mesurés.

Des essais de radiodiffusion des images ont été entrepris voici quelques années, mais ils n'ont pas rencontré une grande faveur auprès du public en raison des difficultés propres aux transmissions et peut-être aussi à cause de l'intérêt médiocre que présente la réception d'une photographie que l'on trouvera le lendemain dans son journal.

Si tous les obstacles que créent les perturbations atmosphériques et surtout les fantaisies de la propagation pouvaient être surmontés, il n'est pas douteux que la radiophototélégraphie prendrait un grand essor. Non seulement elle permettrait la transmission à grande distance des photographies, dessins et autographes, mais encore elle fournirait, grâce aux ondes courtes, la solution des transmissions ultra-rapides des messages. Lors des essais de communication sur ondes de 18 centimètres entre Calais et Douvres, effectués voici deux ans par les laboratoires du Matériel Téléphonique, on a pu réaliser de bonnes reproductions radiophototélégraphiques de textes, à la vitesse de 1 000 mots/minute environ. Assurément la fréquence considérable de l'onde porteuse jouait un rôle capital dans la netteté des transitoires, mais avec les fréquences notablement inférieures des ondes courtes commerciales, on pourrait encore obtenir des résultats d'un ordre voisin, si leur propagation était régulière.

145. Radiodiffusions de télévision. — On a commencé depuis quelques années à radiodiffuser la télévision en

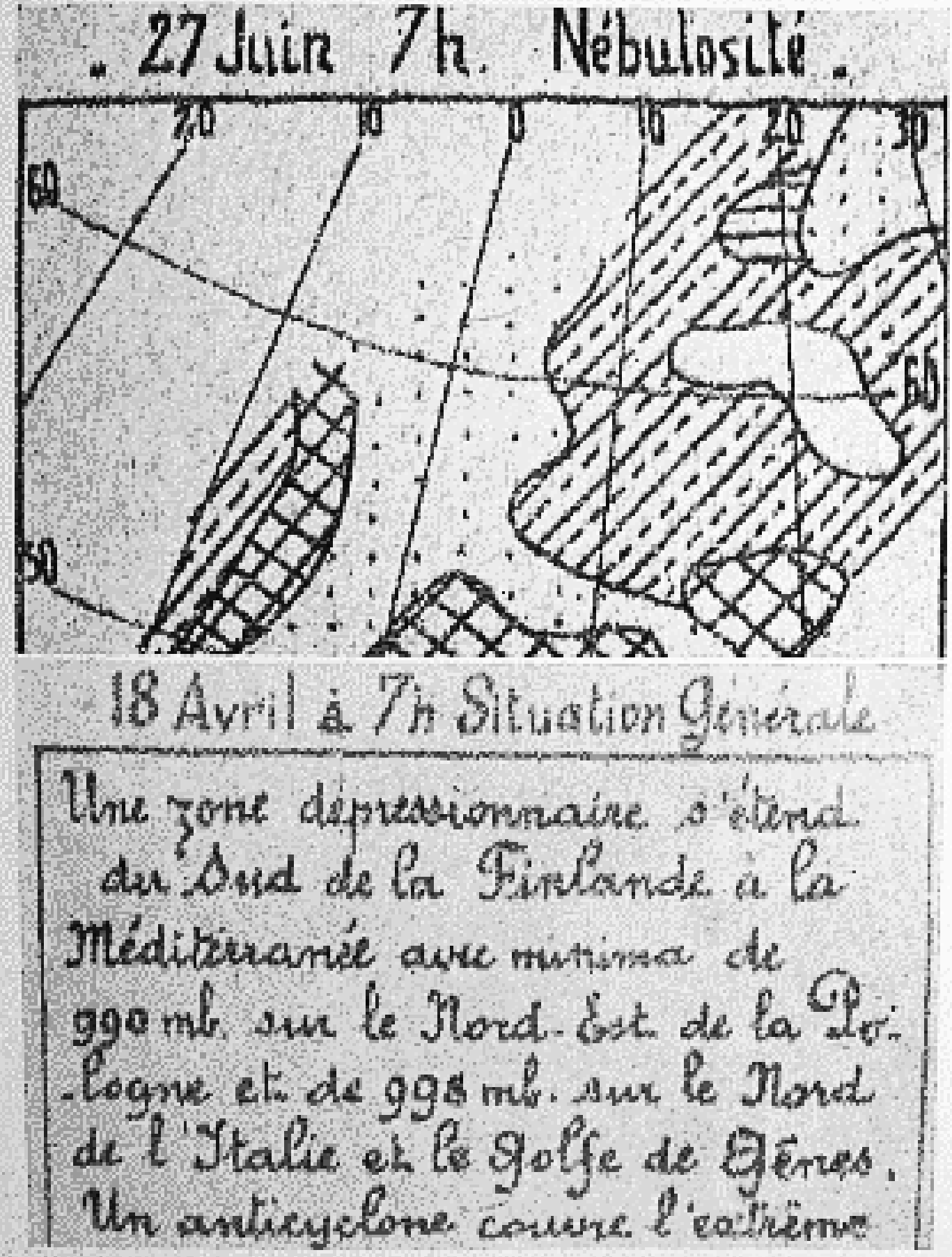

Fig. 96. — Carte et renseignements transmis par le Service météorologique, avec les appareils des figures 4 et 38.

Angleterre, en Allemagne et aux États-Unis ; des émissions auront également lieu en France prochainement.

La plupart de ces émissions se font sur des ondes de 100 à 200 mètres avec une exploration de 30 à 50 lignes ; cependant à Berlin et à New York, il existe des émetteurs travaillant sur des ondes très courtes de 5 à 7 mètres ; à Berlin, on explore à 90 lignes et à New York à 120, le nombre d'images à la seconde étant de 25 et les puissances respectives de 1 et 5 kW. Il est probable que des images à 200 lignes seront bientôt diffusées aux États-Unis. La synchronisation est généralement réalisée par les secteurs de distribution électrique partout où ces secteurs sont interconnectés.

ANNEXE

Représentation d'une fonction par l'intégrale de Fourier. — *1. Fonction constante.* — *a*) On sait que l'on peut représenter une fonction quelconque d'une variable t définie entre deux limites a et b de cette dernière par l'intégrale de Fourier

$$(1) \qquad f(t) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} d\omega \int_a^b f(x) \cos \omega (t - x)\, dx.$$

Appliquons cette formule à la fonction suivante :

$$\begin{aligned} f(t) &= 0 \quad \text{pour} \quad -\infty < t < 0 \\ f(t) &= 1 \quad \text{pour} \quad 0 < t < T \\ f(t) &= 0 \quad \text{pour} \quad T < t < \infty. \end{aligned}$$

On a immédiatement :

$$(2) \qquad f(t) = \frac{1}{\pi} \left[\int_0^{\infty} \frac{\sin \omega t}{\omega} d\omega + \int_0^{T} \frac{\sin \omega (T - t)}{\omega} d\omega \right].$$

Si l'on écrit l'identité

$$\int_0^{T} \frac{\sin (n y)}{y} dy = \int_0^{nT} \frac{\sin x}{x} dx$$

et que l'on remarque que

$$\int_0^{\pm \infty} \frac{\sin x}{x} dx = \pm \frac{\pi}{2},$$

on reconnaît facilement que la relation 2 représente bien la fonction $f(t)$.

Quand T devient infini, c'est-à-dire que la fonction est nulle pour tous les temps négatifs et égale à 1 pour tous les temps positifs, la formule 2 devient évidemment :

$$f(t) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi}\int_0^{+\infty} \frac{\sin \omega t}{\omega}\, d\omega. \qquad (3)$$

b) Utilisées pour des phénomènes concrets, les formules 2 et 3 sont susceptibles d'une interprétation physique fort importante. Supposons que l'on applique brusquement à un système de circuits une force électromotrice de valeur unité, qui lui restera indéfiniment appliquée par la suite, sans changements dans sa valeur : la formule 3 montre que cela est équivalent à l'application au même système depuis $t = -\infty$ jusqu'à $t = +\infty$, d'une force électromotrice constante, égale à 1/2, et d'une infinité de forces électromotrices alternatives dont les fréquences varieraient de zéro à l'infini et dont les amplitudes respectives seraient $d\omega/\omega$.

Les problèmes d'oscillations entretenues étant en général faciles à traiter, on pourra étudier l'effet d'une action alternative entretenue sur le système et faire l'intégrale des solutions obtenues sur toutes les fréquences. Mais ce n'est pas cette propriété que nous comptons utiliser, c'en est une autre qui va nous montrer l'influence des filtres sur les variations brusques des actions imposées à leur entrée.

c) Supposons maintenant que le système de circuits considéré ne soit sensible qu'à l'action de forces électromotrices contenues dans un domaine de fréquence limité : soit par exemple un filtre passe-bas, arrêtant toutes les fréquences correspondant à des pulsations supérieures à la limite $\omega_c = 2\pi f_c$[1].

1. N'ayant en vue que l'établissement de principes généraux, nous supposons ici le filtre parfait ; il laisse passer sans distorsion toutes les pulsations inférieures à ω_c et il arrête complètement toutes les autres.

S'il en est ainsi, nous devrons retrancher de l'intégrale de la formule 3 tous les éléments de pulsation supérieurs à ω_c ; nous obtenons ainsi la fonction

$$\psi(t) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi}\int_0^{\omega_c} \frac{\sin \omega t}{\omega}\, d\omega = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi}\,\mathrm{Si}(\omega_c t).$$

On voit immédiatement que cette fonction ne convient certainement pas à notre problème, car elle n'est pas nulle pour les temps négatifs. C'est que le filtre ne peut être considéré comme arrêtant les fréquences supérieures à f_c qu'à partir de l'instant zéro. Auparavant, les forces électromotrices qui correspondent à ces fréquences donnent avec l'ensemble des autres un ensemble équivalent à zéro ; le filtre ne subit aucune action, c'est comme s'il n'existait pas. Pour se remettre d'accord avec la réalité il faut donc rétablir la portion d'intégrale $\int_{\omega_c}^{+\infty} \frac{\sin \omega t}{\omega}\, d\omega$ de $-\infty$ à zéro et supposer qu'à cet instant on supprime brusquement les forces électromotrices qui lui correspondent. Le système de circuits pourra donc être considéré comme soumis de $-\infty$ à $+\infty$ aux actions de la fonction $\psi(t)$ auxquelles on superposerait de $-\infty$ à zéro celles de l'intégrale $\int_{\omega_c}^{+\infty} \frac{\sin \omega t}{\omega}\, d\omega$, que l'on supprimerait brusquement à l'instant zéro.

Ce qui nous intéresse pour les applications, c'est le courant que l'on recueillera à la sortie du filtre. D'après les considérations précédentes, il résultera de l'action depuis un temps infini des éléments de la fonction $\psi(t)$ et des oscillations libres qui auront pris naissance au moment de la suppression des actions des éléments de l'intégrale $\int_{\omega_c}^{+\infty}$. Or, qu'il s'agisse d'un véritable filtre ou d'une ligne, qui produit des effets équivalents, les cou-

rants arrivent à la sortie décalés dans le temps, par rapport à la cause imprimée à l'entrée, d'un intervalle t_0 : si la force électromotrice à l'entrée est sin ωt le courant à la sortie est proportionnel à sin $\omega(t - t_0)$; cet intervalle représente le temps de propagation dans le système.

Dans les systèmes usuels, t_0 est indépendant de la fréquence au moins dans certaines limites et à condition que la chaîne de circuits ou le câble ne soient pas trop

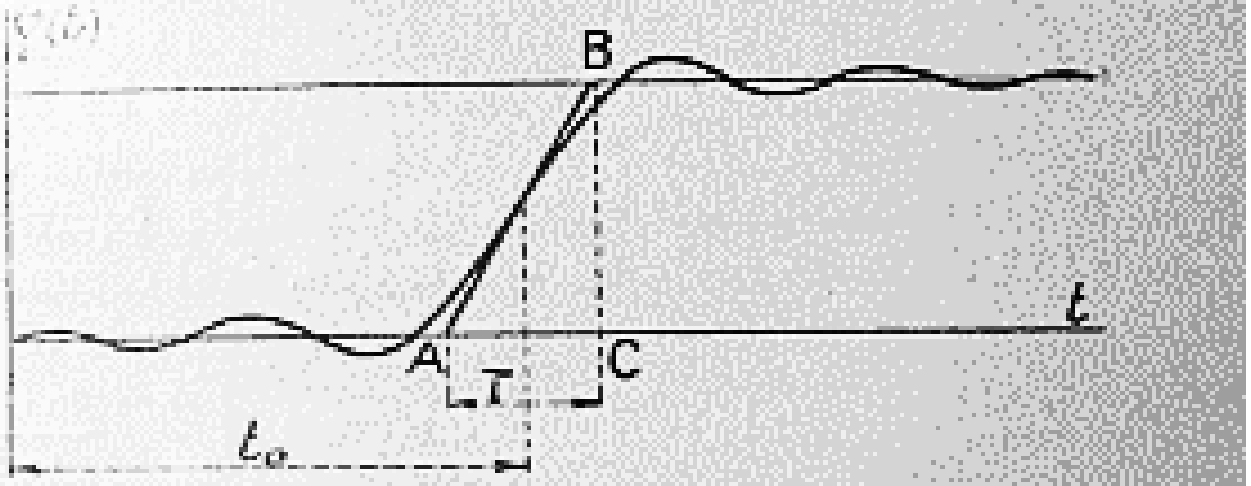

Fig. 97.

longs. Dans ces conditions, si t_0 est assez grand, les oscillations libres se seront éteintes à la sortie et on pourra écrire que le courant est proportionnel à :

$$(5) \qquad \varphi(t) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \mathrm{Si}\,\omega(t - t_0).$$

Cette fonction est représentée par la courbe de la figure 97 qui conduit au principe suivant :

Quand un système, insensible à l'action de forces électromotrices de fréquences supérieures à une limite donnée f_0, est soumis brusquement à l'action d'une force électromotrice constante, celle-ci ne produit son effet que progressivement. Le courant à la sortie part de zéro, croît presque linéairement et n'atteint sa valeur finale qu'au bout d'un certain temps.

d) La *durée d'établissement* du courant a une impor-

tance considérable dans tous les problèmes de transmission. Pour en obtenir une expression facilement maniable et qui supprime la petite complication des oscillations de la courbe, on la définit comme étant la quantité τ représentée sur la figure, où AB est la tangente au milieu de la partie montante de la courbe [19].

Un calcul très simple donne

$$\tau = \frac{\pi}{\omega_0} = \frac{1}{2f_0}. \tag{5}$$

L'expérience confirme les vues et les formules précédentes dans tous les cas de la pratique.

2. Fonction harmonique. — *a*) Cherchons maintenant la représentation de la fonction suivante :

$$f_a(t) = 0 \qquad -\infty < t < 0$$
$$f_a(t) = \cos(\omega_r t) \qquad 0 < t < +\infty$$

Utilisant encore la relation 1, on trouve par un calcul du même genre :

$$f_a(t) = \frac{1}{2}\cos(\omega_r t) + \frac{1}{2\pi}\int_0^\infty \left(\frac{1}{\omega - \omega_r} + \frac{1}{\omega + \omega_r}\right)\sin \omega t \, d\omega, \tag{6}$$

formule susceptible d'une interprétation identique à celle de la formule 2.

b) Imaginons encore que le système auquel on applique une force électromotrice représentée par 6 ne soit sensible qu'aux pulsations comprises entre $\omega_r - \omega_0$ et $\omega_r + \omega_0$. Avec les mêmes réserves que précédemment (1,c), l'action sera représentée par

$$\psi_a(t) = \frac{1}{2}\cos(\omega_r t) + \frac{1}{2\pi}\int_{\omega_r - \omega_0}^{\omega_r + \omega_0} \left(\frac{1}{\omega - \omega_r} + \frac{1}{\omega + \omega_r}\right)\sin \omega t \, d\omega.$$

Pour donner à cette fonction la même forme que celle de la relation 4, décomposons l'intégrale en deux parties,

en posant dans la première : $\omega = u + \omega_r$ et dans la seconde : $\omega = v - \omega_r$; il vient :

$$\int_{\omega_r-\omega_0}^{\omega_r+\omega_0} \frac{\sin \omega t}{\omega - \omega_r}\, d\omega = \int_{-\omega_0}^{+\omega_0} \frac{\sin (u + \omega_r)}{u}\, du$$

$$= 2 \cos \omega_r t \int_0^{\omega_0} \frac{\sin ut}{u}\, du$$

$$\int_{\omega_r-\omega_0}^{\omega_r+\omega_0} \frac{\sin \omega t}{\omega + \omega_r}\, d\omega = \int_{2\omega_r-\omega_0}^{2\omega_r+\omega_0} \frac{\sin (v - \omega_r)}{v}\, dv$$

$$= \cos \omega_r t \int_{2\omega_r-\omega_0}^{2\omega_r+\omega_0} \frac{\sin vt}{v}\, dv - \sin \omega t \int_{2\omega_r-\omega_0}^{2\omega_r+\omega_0} \frac{\cos vt}{v}\, dv$$

et en désignant par $Ci(x)$ la fonction $\int_0^x \frac{\cos z}{z}\, dz$, l'intégrale complète peut s'écrire :

$$\int_{\omega_r-\omega_0}^{\omega_r+\omega_0} \left(\frac{1}{\omega - \omega_r} + \frac{1}{\omega + \omega_r}\right) \sin \omega t\, d\omega = 2 \cos \omega_r t\, Si(\omega_0 t)$$

$$+ \Big[\cos \omega_r t \left(Si(2\omega_r + \omega_0)t - Si(2\omega_r - \omega_0)t\right)$$

$$- \sin \omega_r t \left(Ci(2\omega_r + \omega_0)t - Ci(2\omega_r - \omega_0)t\right)\Big].$$

Comme les variations de $Si(x)$ et $Ci(x)$ sont faibles quand x est supérieur à π, les termes entre crochets sont négligeables quand ω_0 est petit par rapport à ω_r, inférieur à $\omega_r/10$ par exemple ; dans les cas de la pratique ils ont, en tous cas, peu d'influence et les formules ci-dessous sont applicables avec une approximation suffisante.

On peut alors écrire

$$\psi_0(t) = \cos \omega_r t \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} Si(\omega_0 t)\right]$$

et par des considérations identiques à celles du numéro 1, c, le courant à l'instant t sera proportionnel à :

$$(7) \qquad \varphi_0(t) = \cos \omega_r (t - t_0) \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} Si\, \omega_0 (t - t_0)\right].$$

Les courbes de la figure 13 représentent l'enveloppe des oscillations du courant.

c) La durée d'établissement sera déterminée comme en 1, *d* ; on aura encore :

$$\tau = \frac{\pi}{\omega_s} = \frac{1}{2f_s}.$$

En général on rapporte plutôt cette durée à la largeur de la bande passante $2f_s$; en désignant la largeur de cette bande par Δf on aurait

$$\tau = \frac{1}{\Delta f}. \tag{8}$$

En tenant compte de ce que Δf est en général supérieur à $2\omega_s/10$, on obtiendrait une valeur de τ un peu inférieure pouvant aller jusqu'à $\frac{0,8}{\Delta f}$.

3. Fonction à variation continue. — Examinons encore la fonction suivante :

$$F(t) = 0 \qquad -\infty < t < 0$$
$$F(t) = \frac{t}{\theta} \qquad 0 < t < 0$$
$$F(t) = 1 \qquad T < t < +\infty.$$

En partant encore de la formule 1, on trouverait facilement qu'une force électromotrice $F(t)$ agissant à l'entrée d'un filtre passe-bas dont la fréquence de coupure est f_s, produit un courant proportionnel à

$$\Phi(t) = \frac{1}{\pi\omega_s\theta}\Big\{\cos\omega_s(t-t_0) - \cos\omega_s(t-t_0-\theta) + \omega_s(t-t_0)\left[\mathrm{Si}\,\omega_s(t-t_0) - \mathrm{Si}\,\omega_s(t-t_0-\theta)\right]\Big\} + \frac{1}{\pi}\left[\frac{\pi}{2} + \mathrm{Si}\,\omega_s(t-t_0-\theta)\right], \tag{9}$$

t_0 étant le décalage du courant sur la force électromotrice.

Si l'on remarque que Φ ne dépend que des produits $x = \omega_s(t - t_0)$ et $y = \omega_s\theta$, on peut écrire

$$(10)\quad \pi \cdot \Phi(t) = \frac{1}{y}\left\{\cos x - \cos(x-y) + x[\mathrm{Si}\, x - \mathrm{Si}(x-y)]\right\} + \frac{\pi}{2} + \mathrm{Si}(x-y).$$

Sur la figure 11 (p. 25), on a dessiné les courbes représentant les variations de $\pi \cdot \Phi$ en fonction de x pour diverses valeurs de y.

BIBLIOGRAPHIE

1. Aisberg (E.) et Aschen (R.). *Théorie et pratique de la télévision*, 236 pages 18×23 cm. Chiron éditeur, Paris, 1932.
2. Arendt (P.). *Influence de la finesse de trame en phototélégraphie.* Electrisch Nachrichten Technik, 7, 1930, 72-78.
3. Barthélémy (R.). *La réception en télévision.* Onde Électrique, *10*, juillet-août 1931, 281-302, 338-355.
4. Belin (E.). *Radiotélégraphie transatlantique de textes et de dessin.* Ond. Él., *1*, 1922, 271-284.
5. Brillouin (M.). *Revue Gén. des Sciences*, 30 janv. 1891, 33.
6. Dauvillier (A.). *La télévision électrique*, Rev. Gén. de l'Élec., *23*, 7, 14 et 21 janvier, 41 pages.
7. Dunoyer (L.). *Émission électronique des couches minces.* Mémorial des Sciences Physiques, 60 p. 17×25 cm. Gauthier-Villars, éditeur, Paris, 1932.
8. Friedel (W). *Le tube de Braun comme émetteur de télévision.* Fernsehen, *1*, 1930, 296-302.
9. Hewel (H.). *Détails sur les systèmes américains de télévision par rayons cathodiques.* Fernsehen, *2*, 1931, 123-128.
10. Hudec (E.). *Physiologie de la Télévision.* Elek. Nachr. Tech., *8*, déc. 1931, 544-554.
11. Hudec (E.). *Commande de la clarté dans le tube de Braun.* Elek. Nachr. Tech., *9*, juin 1932, 213-221.
12. Ives (H.), Horton (J. W.), Parker (R. D.) et Clark (A. B.). *Transmission des images sur lignes téléphoniques.* Bell Syst. Tech. Jour., *4*, avril 1925, 187-214.

13. Ives (H.) et divers. *Exposé complet de la télévision système Bell.* Bell. Syst. Tech. Jour., 6, oct. 1927, 551-652.

14. Ives (H.) et Johnsrud (A. L.). *Télévision en couleur.* Jour. of Optical Society of America, 20, janv. 1930, 11-22.

15. Ives (H.) et divers. *Télévision bilatérale.* Bell Sys. Tech. Jour., 9, juil. 1930, 448-482.

16. Ives (H.). *Télévision à plusieurs voies.* Bell. Sys. Tech. Jour., 10, janv. 1931, 33-45.

17. Jenkins (C. F.). *L'exploration à tambour pour les récepteurs de télécinéma.* Proceedings of the Institute of Radio Engineers, 17, sept. 1929, 1576-1584.

18. Jouaust (R.). *Les cellules photoélectriques.* Bull. Soc. Fr. Elect., oct. 1932, 1024-1071.

19. Kupfmuller (K.). *Relations entre les caractéristiques de fréquence et l'établissement des courants dans les systèmes linéaires.* Elek. Nachr. Techn., 5, janv. 1928, 18-33.

20. Kirschtein (F.). *Sur l'amplification en télévision.* Fernsehen, 1930, 289.

21. Lane (H. M.). *Amplification par résistance et capacité en télévision.* Proc. Inst. Rad. Eng., 20, avr. 1932, 722-733.

22. Lubcke (H. R.). *Réception de télévision en avion.* Proc. Inst. Rad. Eng., 20, nov. 1932, 1732-1740.

23. Mesny (R.). *Propagation des ondes électromagnétiques.* Ond. El., 5, 1926, 434-460, 7, 1928, 129-154.

24. Metcalf (C. F.). *Caractéristiques de fonctionnement des cellules photoélectriques.* Proc. Inst. Rad. Eng., 17, nov. 1929, 2064-2072.

25. Nordlohne (P. J.). *Radiodiffusion expérimentale sur onde de 7 mètres 85 à Amsterdam.* Ond. El., 12, janv. 1933, 5-27.

26. Okolicsanyi. *Les miroirs en hélice, nouvel explorateur.* Fernsehen, 1, 1930, 448-452.

27. Ranger (R. H.). *Brevet américain* 158.406, 31 déc. 1926, 1.765 448 et 1.770.493, 12 août 1926.

28. Ranger (R. H.). *Développements mécaniques pour appareils phototélégraphiques.* Proc. Inst. Rad. Eng., 17, sept. 1929, 1564-1576.

29. Robert (M.). *Nouveaux procédés d'étude et de réglage d'une transmission de télévision.* Comptes-rendus, 194, 14 mars 1932, 965-967.

30. Rosing (B.). *La participation de savants russes au développement de la télévision électrique.* Rev. Gén. Elec., *31*, 16 avril 1932, 507-516.

31. Roy-Pochon (C.). *Les cellules photoélectriques*, 74 p. 13×22 cm. Chiron, éditeur, Paris, 1932.

32. Rukop (H.). *La phototélégraphie utilisée pour l'étude de la propagation.* Elek. Nachr. Tech., *3*, 1926, 316-318.

33. Scheppmann (W.) et Eulenhofer A.). *Phototélégraphie système Lorenz-Korn.* Elek. Nachr. Tech., *5*, oct. 1928, 373-382.

34. Schröter (F.). *Manuel de phototélégraphie et de télévision*, 1932, 487 p., 16×27 cm. Julius Springer, Berlin.

35. Schröter (F.). *Progrès en phototélégraphie.* Elek. Nachr. Tech., *5*, 1928, 449-459.

36. Schröter (F.). *Télévision sur ondes très courtes.* Telefunken Zeitung, *12*, juillet 1931, 5-12.

37. Schröter (F.). *Radiodiffusion sur ondes très courtes.* Elek. Nachr. Tech., *10*, 1931, 431-437.

38. Schröter (F.). *La transmission des demi-teintes par ondes courtes.* Elek. Nachr. Tech., *9*, 1932, 49-57.

39. Siemens (Revue). *Nouveau câble Berlin-Nauen Beelitz pour radiodiffusion d'images*, mai, 1930.

40. Teves (M. C.). *Cellules photoélectriques à vide à haute sensibilité.* Zeits. f. Techn. Phy., *12*, 1931, 556-558.

41. Thun (R.). Les limites physiques de la qualité des images de télévision. *Fernsehen*, *1*, 1930, 452.

42. Toulon (P.). *Nouvelle méthode d'exploration des images en télévision.* La Télévision, *2*, 1932, nos 22-23, p. 131-139, 157-161.

43. Valensi (G.). *État actuel du problème de la télévision.* Ann. des P. T. T., *16*, nov. 1927, 1047-1067.

44. Van der Pol (B.). *Oscillations de relaxation.* Ond. El., *6*, 1928, 461-464, *7*, 1928, 365-393.

45. Von Ardenne (M.). *Le tube de Braun récepteur.* Fernsehen, *1*, 1930, 193-202.

46. Von Ardenne (M.). *Sur un nouvel émetteur et récepteur par rayons cathodiques.* Fernsehen, *2*, 1931, 66-80.

47. Von Ardenne (M.). *Nouvelle méthode de commande de l'intensité dans un tube à rayons cathodiques.* Fernsehen, *3*, 1932, 18-29.

48. Von Ardenne (M.). *Réalisation de l'exploration à vitesse variable de Thun.* Fernsehen, 3, 1932, 210-221.

49. Von Ardenne (M.). *Amplification apériodique des ondes très courtes.* Hochfrequenz-technik und Elektroakustik, 40, 1932, 65-67.

50. White (E. L.). *Fréquence de modulation en télévision.* Proc. Ins. Rad. Eng., 21, janv. 1933, 51-55.

51. Zworikin (V.). *Transmission des fac-similés.* Proc. Inst. Rad. Eng., 17, 1929, 536-551.

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE 1

INTRODUCTION 3

CHAPITRE PREMIER : Principe de la transmission des images 7

CHAPITRE II : Conditions imposées par l'exploration et la transmission 18

I. Considérations théoriques, 18. — II. Caractéristiques de transmission, 33. — III. Détermination des caractéristiques de transmission, 36.

CHAPITRE III : Les cellules photoélectriques 47

CHAPITRE IV : Les sources lumineuses 59

I. Nature des sources, 59. — II. Eclairements et brillances, 68.

CHAPITRE V : Appareils d'émission et de réception phototélégraphiques 76

I. Emission, 76. — II. Réception photographique, 81. — III. Réceptions mécaniques et électrochimiques, 90.

CHAPITRE VI : Appareils d'émission et de réception de télévision 95

I. Procédés mécaniques d'exploration à l'émission, 95. — Procédés mécaniques d'exploration à la réception, 105. — III. Emploi de l'oscillographe cathodique, 111. — IV. Télévision en couleur et en relief, 129.

CHAPITRE VII : La synchronisation 133

I. Précision requise, 133. — II. Procédés de synchronisation locale, 143. — III. Procédés de synchronisation transmise, 146. — IV. Procédés de synchronisation corrigée par tops espacés, 151. — V. Mise en phase des images, 155.

CHAPITRE VIII : L'amplification 159

CHAPITRE IX : La transmission 169

I. Propagation irrégulière des ondes électromagnétiques, 170. — II. Emission radioélectrique, 177. — III. Réception radioélectrique, 189. — IV. Transmissions radioélectriques de télévision, 194.

CHAPITRE X : Exploitation 196

Annexe 203

Bibliographie 211

ORLÉANS, IMP. H. TESSIER. — 6-33.