

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1- Le Conservatoire numérique communément appelé le Cnum constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par Eclydre (www.eclydre.fr).

2- Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d'œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam.

Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 :

- la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue ([Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - http://cnum.cnam.fr](http://cnum.cnam.fr))
- la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

3- Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :

- les reproductions de documents protégés par le droit d'auteur, uniquement consultables dans l'enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

4- Pour obtenir la reproduction numérique d'un document du Cnum en haute définition, contacter [cnum\(at\)cnam.fr](mailto:cnum(at)cnam.fr)

5- L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment possible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

6- Les présentes conditions d'utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

Auteur(s)	Vellard, Roger (1....-19..)
Titre	Le cinéma sonore et sa technique
Adresse	Paris : Etienne Chiron, éditeur, [1933]
Collation	1 vol. (226 p.-[2] f. de pl.) : ill. ; 26 cm
Nombre d'images	232
Cote	CNAM-BIB 8 Ca 721
Sujet(s)	Cinéma -- Son Films Son -- Appareils et matériel
Thématique(s)	Technologies de l'information et de la communication
Typologie	Ouvrage
Langue	Français
Date de mise en ligne	21/01/2021
Date de génération du PDF	20/01/2021
Permalien	http://cnum.cnam.fr/redir?8CA721

LE
CINÉMA SONORE
ET SA TECHNIQUE

185. 8

En vente à la même Librairie :

AISBERG. — J'ai compris la T. S. F.....	15
Le même volume relié (rouge), fers spéciaux.....	20
VALLIER. — La T. S. F. expliquée.....	4
HEMARDINQUER. — Le poste de l'amateur de T. S. F.....	50
Tous les montages de T. S. F. (Nouvelle édition entièrement remise à jour)	20
ADAM. — Encyclopédie de la Radio.....	12
ANSELME (d'). — La T. S. F. et les phénomènes radio-électriques expliqués sans formules.....	50
LESCLIN. — Précis de T. S. F.....	16
La réception sur galène des radio-concerts.....	>
MICHEL. — La construction des appareils de T. S. F.....	7
BOURSIN. — Les montages puissants en T. S. F.....	2
Un montage simple et puissant : le T. P. T. 8.....	40
AISBERG. — La Télévision et la Phototélégraphie.....	6
BOURSIN. — Mon superhétérodyne.....	10
Le merveilleux poste de T. S. F. à 4 lampes A B 4.....	>
LAROCHE. — L'alphabet Morse en dix minutes.....	4
AISBERG. — Les postes de T. S. F. alimentés par le secteur..	6
BOURSIN. — Radio-Guide. — Comment installer et régler un poste de T. S. F.....	10
HEMARDINQUER. — Le superhétérodyne et la superréaction..	3
Les solutions modernes du problème de l'alimentation des postes de T. S. F. par le secteur.....	50
Fiches techniques de T. S. F.....	21
La Télévision. — Tome I.....	60
— Tome II	>
HEMARDINQUER et DUMESNIL. — Le livre du disque et du phonographe	15
GÉRARD. (H.). — Nouveau manuel pratique de téléphonie sans fil	>
HEMARDINQUER. — Comment perfectionner un poste de T.S.F.	12
BELLESCLIZE (de). — Le superhétérodyne ; Principe, Invention, Evolution	5
HEMARDINQUER. — Les montages modernes en radiophonie	15
Tome I..	>
Tome II..	24
Les deux volumes reliés en un seul, reliure pleine toile	24
TEYSSIER. — Les lampes à plusieurs électrodes.....	50
Roy POCHON. — Les cellules photo-électriques.....	>
AISBERG-ASCHEN. — Théorie et pratique de la Télévision....	40
P. BAIZE. — Les parasites en T. S. F.....	8
Dr CORRET. — Principes de bonne construction en T. S. F.	30
L'hôpitodyne	>
	8
	12

8°Ca.721

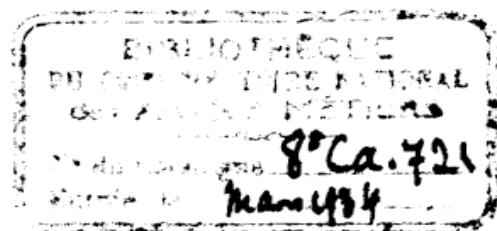
R. VELLARD

Ingénieur E. S. E.
Licencié-ès-Sciences

LE

CINÉMA SONORE

ET SA TECHNIQUE



Etienne CHIRON, Editeur
40, Rue de Seine, PARIS (VI^e)

PRÉFACE

Parmi les inventions qui ont joué un grand rôle et ont transformé la vie dans ces dernières années, le cinéma sonore occupe une des premières places, bien qu'il ne constitue pas à proprement parler une invention nouvelle. L'idée en était déjà ancienne et aucune découverte vraiment extraordinaire n'a contribué à le faire entrer dans la vie publique. Il représente plutôt une synthèse. Tous les perfectionnements apportés successivement au phonographe, à la téléphonie, à la radiotélégraphie et à la photographie ont permis de le rendre pratiquement utilisable. Il a exigé de la part des constructeurs de longues et patientes mises au point, précisément du fait qu'il devait réunir les résultats déjà acquis dans plusieurs industries différentes.

La difficulté était encore augmentée par le fait qu'il n'arrivait pas le premier sur la place, puisque le cinéma muet existait déjà depuis longtemps et possédait sa technique, ses procédés et ses amateurs. Le cinéma sonore avait donc deux victoires à remporter. D'abord une victoire d'ordre pratique et financier car il allait falloir transformer complètement les studios, les ateliers de tirage et aussi les salles de projection. Ensuite il lui fallait conquérir le goût du public qui, fatallement, allait se montrer lors des premiers essais à la fois curieux et sceptique.

A cause de tous ces obstacles, l'entreprise n'était possible que pour de grosses sociétés possédant des capitaux suffisants pour pouvoir également transformer tout le matériel existant. D'autre part, il fallait présenter au public, du premier coup, des résultats suffisamment bons, car sur ce terrain toute médiocrité aurait ruiné d'avance toute chance de succès.

On peut dire qu'à l'heure actuelle le cinéma sonore est définitivement installé dans la place et le cinéma muet perd pied de plus en plus. Il fait actuellement entièrement partie de la vie publique, il permet un reportage intégral des actualités et rend possibles des effets de scène jusqu'alors inconnus. Un grand nombre de personnes, même en dehors des techniciens spécialistes, s'intéressent à son développement.

Dans le présent ouvrage nous avons essayé de réunir tous les éléments essentiels qui sont en relation avec cette jeune industrie. Il est facilement accessible à tous. Cependant, nous nous sommes efforcés de ne pas écrire un ouvrage de vulgarisation, au sens péjoratif du mot, mais plutôt un ouvrage de technique simplifiée. Laissant

de côté les questions très délicates qui intéressent seulement les spécialistes préoccupés de perfectionnements nouveaux, nous n'avons cependant pas voulu écrire un feuilleton. Le présent livre peut être lu et compris par tous. Les détails difficiles, quand il y en a, sont seulement mentionnés. Pour les théories compliquées, nous avons seulement énoncé les résultats, laissant au lecteur désireux d'approfondir le sujet le soin de se reporter aux ouvrages spéciaux énumérés.

Nous espérons qu'il intéressera toutes les personnes aux idées modernes, les amateurs de littérature scientifique, les directeurs ou opérateurs de cinémas. Nous souhaitons même qu'il intéresse les techniciens non initiés à cette spécialité. Ils y trouveront réunis tous les points principaux. Il leur permettra d'acquérir un premier aperçu de ce genre de technique, de puiser sur cette question des connaissances élémentaires qu'il leur est ensuite loisible d'élargir.

Nous espérons donc avoir pu donner satisfaction au plus grand nombre, en leur apportant avant tout un bon résumé sérieux d'où la légende et le roman ont été éliminés.

LE CINÉMA SONORE ET SA TECHNIQUE

PREMIÈRE PARTIE

CHAPITRE I

LA LUMIÈRE ET LE SON — L'ŒIL ET L'OREILLE

Il n'est pas inutile de consacrer une première étude à une question à la fois physique et physiologique. Le cinéma sonore doit essayer de satisfaire simultanément l'œil et l'oreille. Ce sont, si l'on peut dire, ses deux clients. Il importe donc d'examiner le résultat à obtenir, avant de se préoccuper des moyens. Ces deux organes sont extrêmement différents comme constitution. On peut néanmoins arriver à établir un certain parallèle entre eux, au point de vue de leur fonctionnement pratique.

Nous rappellerons d'abord brièvement la nature du son et de la lumière. Ce sont tous deux des mouvements vibratoires. Une source sonore ou lumineuse est constituée d'éléments mobiles qui transmettent leurs oscillations au milieu voisin et ce qui se propage dans le milieu n'est autre que du mouvement. La vitesse de propagation est constante dans un milieu homogène. On appelle longueur d'onde la distance séparant deux points de l'espace qui, à un moment donné, sont animés du même mouvement. C'est évidemment la distance parcourue pendant le temps où la source du mouvement effectue elle-même une oscillation complète. Il en résulte que la vitesse de propagation est égale au produit de la longueur d'onde par le nombre de vibrations à la seconde. C'est ce que l'on écrit : $V = N \lambda$. N étant la fréquence et λ la longueur d'onde ; cette formule est bien connue de la plupart des sans-filistes. On l'écrit aussi : $V = \lambda / T$ ou $\lambda = VT$, où on a remplacé la fréquence N par l'inverse de la période $1/T$.

Toutefois, malgré cette parenté de principe, le son et la lumière diffèrent par trois points :

1) Le milieu de propagation peut différer. Le son ne propage que dans les corps matériels : liquides, solides ou gaz. Une expérience classique en physique consiste à faire retentir une sonnerie électrique

sous une cloche vide d'air, et l'on constate que les vibrations de la source ne peuvent être entendues par l'oreille. L'espace vide est donc infranchissable pour le son.

La lumière, elle, se transmet dans un milieu élastique appelé éther (qui n'a aucun rapport avec les éthers chimiques) qui existe dans tout espace, même dans le vide complet. S'il en était autrement la lumière du soleil et des étoiles ne pourrait nous parvenir. On n'a pu encore déterminer parfaitement si ce milieu est constitué par un fluide continu, ou si c'est un gaz à l'état d'extrême raréfaction. Il semble bien, en tout cas, qu'il soit pesant, et certaines expériences ont permis d'essayer de mesurer sa masse.

2) Les vibrations sonores sont longitudinales. Elles se transmettent comme le fait une déformation le long d'un ressort à boudin en acier dont on a, par exemple, comprimé ensemble quelques spires qu'on lâche ensuite brusquement. Lors de la propagation d'un son dans l'air, les tranches se compriment successivement à mesure que le son avance. Les vibrations lumineuses, au contraire, sont transversales. Elles se propagent de la même manière que les ondulations le long d'une corde tendue, dont on agiterait une extrémité dans tous les sens.

3) Enfin les vitesses de propagation et les fréquences sont d'ordres de grandeur extrêmement différents. Le son se propage avec une vitesse qui peut varier de 150 m. à la seconde dans les gaz ou vapeurs très lourds jusqu'à 6.000 m. à la seconde dans les aciers trempés. Sa vitesse dans l'air à la température normale est d'environ 340 m. à la seconde. La lumière, elle, se propage à l'énorme vitesse de 300.000 km. à la seconde dans le vide. Dans les liquides ou les corps transparents, elle est moins grande mais reste encore considérable. Les longueurs d'onde, au contraire, sont extrêmement plus petites. La lumière bleue, par exemple, a, comme longueur d'onde, environ $0,5 \mu$ (On désigne par la lettre grecque μ le micron ou millième de millimètre). Il résulte de la formule fondamentale $V = N\lambda$, rappelée ci-dessus, que la fréquence de vibration de la lumière bleue

$$\text{est de : } N = V/\lambda = \frac{300.000 \times 10^9}{0,5} \text{ soit 600 trillions de vibrations}$$

à la seconde. On a peine à concevoir une telle rapidité. Ce n'est pourtant encore que peu de chose, puisque les rayons X, les radiations du radium et les rayons cosmiques ont encore une fréquence de 1.000 à 1.000.000 fois plus grande. On voit en tout cas que ces ordres de grandeur sont tout autres que ceux des vibrations sonores, qui sont au maximum de quelques milliers à la seconde.

Passons maintenant à l'examen de l'œil et de l'oreille. L'œil est construit comme un appareil photographique. Le cristallin est une lentille qui forme les images sur la membrane du fond de l'œil. Cette membrane est tapissée de cellules sensibles, qui秘ètent un liquide spécial destiné à être précisément décomposé par la lumière. Les cellules sensibles recueillent ainsi l'impression lumineuse qui ensuite est transmise par le nerf optique.

Dans l'oreille, le son exerce une action mécanique sur la membrane appelée tympan. Les mouvements de cette membrane sont transmis par une chaîne d'osselets mobiles à une chambre remplie d'un liquide tenant en suspension de petits corpuscules. Il est vraisemblable que ces corpuscules, en s'agitant, viennent choquer les épanouissements du nerf acoustique, d'où la sensation sonore.

De tous les phénomènes vibratoires, le son a été le premier étudié, particulièrement du fait que la musique était un art déjà ancien. On a pris l'habitude, bien entendu, de caractériser chaque note de musique par le nombre de vibrations à la seconde qu'elle représente. De plus, on a appelé « intervalle » entre deux notes, non pas la différence entre leurs nombres de vibrations, mais le **rapport** de ces nombres. Cette idée est venue naturellement à l'esprit des premiers physiciens en se reportant simplement aux instruments de musique. Par exemple, sur un piano, l'**ut** (2) a une fréquence double de l'**ut** (1). L'intervalle qui les sépare est donc 2.

On peut, de la même manière, écrire comme suit la gamme d'**ut**

$$\begin{array}{ccccccccc} & 9 & 10 & 16 & 9 & 10 & 9 & 16 \\ \textbf{majeur} \text{ ut } & — & ré & — & mi & — & fa & — & sol & — & la & — & si & — & ut \\ & 8 & 9 & 15 & 8 & 9 & 8 & 15 \end{array}$$

Chaque fraction représente le rapport entre les fréquences de la note qui suit et la note qui précède. Par exemple, la fréquence du **la** est les 10/9^e de celle du **sol**, ou celle du **ré** les 9/8^e de celle de l'**ut**.

On appelle octave cet ensemble compris entre deux notes, dont l'intervalle est 2. Enfin, on ajoute encore en musique des notes diézées et bémolisées qui viennent s'intercaler entre les notes écrites ci-dessus, et s'en diffèrentent par des intervalles plus petits.

Telle est la notation utilisée à la fois par les musiciens et les physiciens.

Par analogie avec le son, on donne parfois aussi le nom d'octave à tout espace séparant deux fréquences de rapport 2, pour un phénomène vibratoire quelconque. Pour ce qui concerne les valeurs des différentes notes, un décret datant de 1859 a fixé, pour la France, la fréquence du **la** (3) à 435 vibrations à la seconde. Toutes les autres notes s'en déduisent.

Ces premiers principes étant posés, examinons un peu les

échelles de sensibilité, et les différentes propriétés, de l'œil et de l'oreille. Les radiations qui ont une action sur notre rétine se placent depuis le violet jusqu'au rouge foncé, soit une échelle de fréquences d'environ $0,4 \mu$ à $0,8 \mu$ au maximum. On peut donc dire, en adoptant le même langage que pour le son, que notre vue perçoit une octave de lumière. Il est à peine nécessaire de dire que c'est seulement une infime partie des radiations existantes. Les seules radiations ultra-violettes, invisibles à notre œil, mais auxquelles les plaques photographiques sont très sensibles, couvrent à elles seules environ quatre

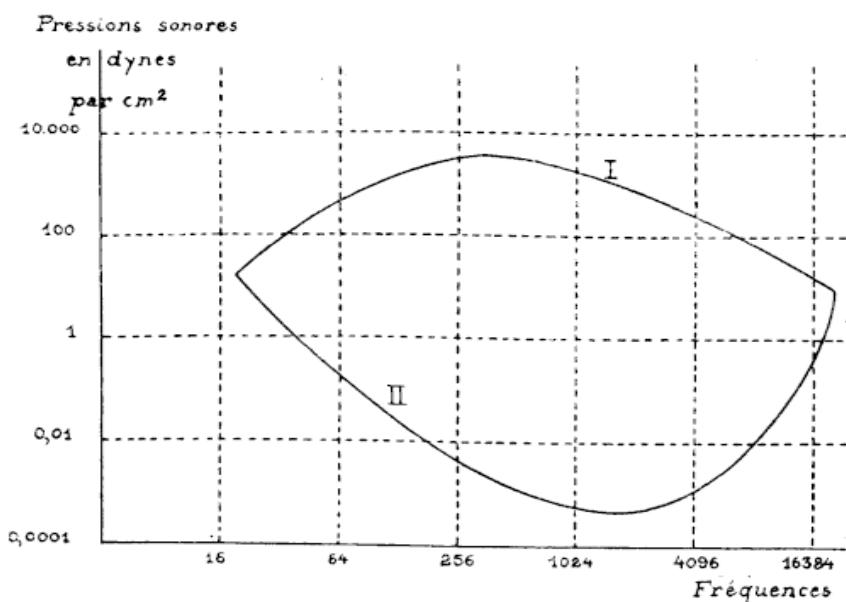


Fig. 1 — Courbe de sensibilité d'une oreille normale

octaves, et ne représentent pourtant encore elles-mêmes qu'une mince région de l'échelle totale.

L'échelle de sensibilité de l'oreille est donnée par la courbe (Fig. 1) établie par Wegel, et qui est maintenant devenue classique pour tous les techniciens du film sonore. Les abscisses de la courbe représentent les fréquences du son. Les ordonnées représentent les pressions exercées sur le tympan par le son, et mesurées en dynes par cm^2 (Nous rappelons que la dyne est une unité de force utilisée en physique ; elle vaut à Paris la 981^e partie d'un gramme-poids). Si l'on examine cette courbe, on constate qu'elle est essentiellement formée de deux branches, I et II. Pour tous les sons se trouvant au-dessous de la branche II, la pression exercée sur le tympan est trop faible, et l'oreille n'entend rien. Pour tous les sons se trouvant au-

dessus de la branche I, le son est au contraire trop fort. Cette branche est appelée « limite de souffrance », c'est-à-dire que toute onde sonore produisant une pression supérieure à celle qui est limitée par cette branche donne à l'oreille une impression de douleur. Dans le cas où le tympan est exposé à un ébranlement violent la chaîne d'osselets se tend fortement ; il en résulte que, jusqu'à un certain point, un son très puissant peut parvenir à l'oreille sans produire d'effets nuisibles.

Pour ce qui concerne les fréquences, on voit que tout son possédant une fréquence inférieure à 16 ou supérieure à 16.000 environ est inaudible. On remarquera que l'échelle horizontale est graduée en intervalles musicaux (2 par 2) et l'échelle verticale en puissances de 10.

Cette courbe est, bien entendu, une courbe moyenne qui se rapporte à l'oreille normale d'une personne bien portante. En cas de surdité partielles, elle peut se trouver alt r e e fortement. Elle s'applique, d'autre part, spécialement à l'homme. Certains animaux, les chiens par exemple, peuvent entendre des sons très aigus pour lesquels nous sommes sourds. Enfin, cette courbe se rapporte essentiellement à des sons **vibrants** continus, par exemple, produits par une corde d'instrument de musique, par un tuyau sonore, par une sirène ou par une cloche. Tous ces sons sont toujours formés, soit d'une seule vibration simple, soit de plusieurs superposées. Un théorème célèbre, dit théorème de Fourier, dit que toute vibration complexe, pourvu qu'elle ait une période bien définie peut toujours se décomposer en vibrations simples. Le type d'un son simple est celui donné par un diapason qui ne peut vibrer qu'à une fréquence. Le son donné par une cloche est au contraire très complexe. On y discerne facilement une note fondamentale bien déterminée qui domine les autres, mais elle est néanmoins accompagnée d'un nombre considérable d'harmoniques.

Enfin, lorsqu'un son n'a plus de période définie, c'est un bruit. C'est le cas, par exemple, si on laisse tomber un objet à terre. Dans ce cas, il y a toujours impression sonore sur l'oreille, sous la seule réserve que l'onde sonore ne soit ni trop faible, ni trop violente. Le tympan reçoit en effet un choc, sans être astreint à vibrer.

Revenons maintenant au but essentiel de ce chapitre : la comparaison entre l' eil et l'oreille :

1) Au point de vue de la sensibilité, nous avons dit que l' eil percevait à peine une octave de fréquences lumineuses. L'oreille, par contre, peut entendre les fréquences comprises entre 16 et 16.384. Le rapport de ces deux nombres est : $16.384/16 = 1.024$ soit 2^{10} . L'oreille de l'homme peut donc percevoir 10 octaves de son, qui sont

les suivantes : 16-32, 32-64, 64-128, 128-256, 256-512, 512-1024, 1024-2048, 2048-4096, 4096-8192, 8192-16384. L'oreille a donc pour le son une sensibilité dix fois supérieure à celle que possède l'œil pour la lumière.

2) Une des propriétés remarquables de l'oreille est de pouvoir effectuer toute seule l'analyse des sons, c'est-à-dire d'en apprécier le timbre. En d'autres termes : si plusieurs sons simples parviennent à la fois à notre oreille, il n'en résulte pas simplement pour nous une impression d'ensemble. Nous sommes encore capables de discerner qu'il s'agit d'un son complexe, et de plus d'en faire l'analyse. Nous distinguons instantanément, à la seule audition, une note donnée par un diapason de la même note donnée par un tuyau d'orgue. C'est parce que dans le premier cas le son est simple, dans le second il est accompagné d'harmoniques. Nous sommes parfaitement capables, dans la complexité d'un grand nombre de sensations sonores nous parvenant à la fois, de fixer spécialement notre attention sur l'une d'elles. Par exemple, dans le brouhaha de plusieurs groupes de personnes discutant entre elles, nous pouvons très facilement écouter particulièrement une conversation qui nous intéresse. L'œil, lui, est absolument incapable de faire une telle analyse. Si plusieurs radiations lui parviennent à la fois, il ne perçoit qu'une sensation d'ensemble sans pouvoir en discerner les détails. Si, par exemple, on présente à une personne deux poudres vertes très fines, l'une formée d'une poudre unique, l'autre d'un mélange d'une poudre bleue et d'une poudre jaune, cette personne est incapable de les différencier. Il ne viendrait jamais à l'idée d'une personne n'ayant jamais étudié la physique que la lumière blanche du jour puisse être formée d'une infinité de couleurs simples. Pour nous en convaincre, nous sommes obligés de décomposer cette lumière avec un prisme.

3) Enfin, l'oreille est capable de discerner deux sons successifs extrêmement rapprochés. On en a une preuve dans la sensation de **direction**. Si un son nous parvient de notre droite, par exemple, nous le distinguons sans peine. Cela pour deux raisons : D'abord notre oreille droite est dirigée du côté de la source sonore. Elle reçoit donc une énergie plus grande que l'oreille gauche, et en outre, comme elle est un peu plus rapprochée, le son lui parvient un peu plus tôt. Or des expériences précises faites par des physiologistes, au moyen d'appareils de laboratoires, ont prouvé que la seconde cause est prépondérante. C'est surtout de ce petit retard avec lequel le son atteint notre oreille gauche que nous vient la sensation de direction. La distance entre les deux tympans étant d'environ 15 cm. au maximum et le son parcourant, dans l'air à 15° C., environ 340 m. à la seconde, la sensation de direction joue donc sur un espace de temps

inférieur à 1/2000^e de seconde. Dans l'œil, au contraire, la persistance de l'image lumineuse sur la rétine rend impossible des appréciations aussi précises. Lors de la projection d'un film sonore les images se succèdent à la vitesse de 24 à la seconde. La projection de chaque image est encore coupée en deux temps par le volet rotatif du projecteur. Ce volet est destiné précisément à doubler la fréquence des jets lumineux, de manière à éviter un scintillement désagréable à l'œil. La lumière arrive donc sur l'écran à la fréquence de 48 fois à la seconde. Or une telle projection donne une excellente sensation de fixité. La lumière diffuse dissipée dans la salle par l'écran illuminé donne elle-même une impression de continuité. Pour mettre en évidence sa nature saccadée, on est obligé d'employer un artifice. Par exemple, on agite un mouchoir blanc qui produit alors dans l'espace des taches blanches discontinues alors qu'il donnerait une bande blanche continue si la lumière était fixe. Lors de la projection de films muets, où il n'y a plus une vitesse de déroulement bien définie à respecter, on descend facilement à 18 ou 20 images à la seconde, sans apporter à la vue aucune sensation désagréable. En adoptant par exemple le chiffre 20 qui correspond à 40 jets lumineux à la seconde, on voit que notre œil ne peut guère discerner deux éclairs lumineux séparés par 1/40^e de seconde. Comme nous avons vu ci-dessus, l'oreille peut, au contraire, discerner le 1/2000^e de seconde. Elle possède un pouvoir d'analyse 25 fois supérieur à celui de l'œil.

Résumé : De toute cette rapide étude, où nous avons essayé de mettre en relief les propriétés principales de notre vue et de notre ouïe, il résulte ceci : l'oreille est un organe extrêmement supérieur à notre œil et c'est de beaucoup le sens le plus parfait que nous possédions. La plus ordinaire plaque photographique peut enregistrer des rayons X ou UV pour lesquels notre œil est aveugle. Notre peau étant sensible aux radiations infra-rouges nous avertit de la présence d'un poêle chaud dans l'obscurité alors que nous ne le voyons pas. Il s'ensuit qu'il est extrêmement difficile de construire un microphone, ou un récepteur sonore quelconque, de sensibilité supérieure à celle de l'oreille, alors que l'on peut facilement illusionner l'œil qui, en langage vulgaire, se contente de peu. Le simple fait qu'il a une sensation continue dans le cas de la projection cinématographique ou de l'éclairage sur courant alternatif en est une preuve. Il serait radicalement impossible de hacher de la même manière une audition musicale sans aboutir à un résultat insupportable pour l'oreille. Etant donnée son énorme supériorité, l'oreille analyse ce qu'elle entend beaucoup plus finement que l'œil n'analyse ce qu'il voit. On arrive donc à cette conclusion que la reproduction satisfaisante

des sons par voie phonographique est une question très difficile à résoudre.

Le cinématographe muet, qui intéressait uniquement la vue, a été mis au point pour ainsi dire instantanément. Les projecteurs modernes ne sont pas essentiellement différents de ceux d'il y a 30 ans. La Croix de Malte qui entraîne le film par saccades est toujours la même. Si on passait, dans une salle de cinématographe muet, la moitié du programme sur un vieux projecteur et l'autre moitié sur un projecteur moderne, la plupart des spectateurs ne remarqueraient aucune différence. Les principaux perfectionnements apportés à ces machines étaient d'ordre secondaire : faciliter le travail des opérateurs, diminuer l'usure des perforations du film et surtout se garantir contre la redoutable inflammabilité du celluloïd. Les principales améliorations apportées au cinématographe muet dans ces dernières années visaient plutôt la partie artistique (mise en scène, scénario, jeu et mimique des acteurs) que la partie technique.

La reproduction des sons, au contraire, a exigé de coûteuses et pénibles mises au point. On peut aujourd'hui mesurer la distance parcourue depuis les premiers phonographes grinçants dérivés de celui d'Edison. Cette industrie nouvelle avait de grosses difficultés à vaincre et certains perfectionnements restent encore à y apporter, principalement dans le soin de l'enregistrement et du tirage des films.

CHAPITRE II

LE FILM SONORE — SON HISTORIQUE

Le cinéma sonore se propose donc de reproduire simultanément les images et les sons de telle sorte que le spectateur se trouve avoir l'illusion d'être devant des acteurs vivants. Accessoirement, il se contente de produire de la musique ou des bruits synchronisés pour accompagner certains tableaux.

Nous allons examiner son développement historique bien qu'il soit particulièrement difficile de retrouver les origines exactes d'une invention. C'était déjà très ardu pour les anciennes découvertes qui, pourtant, au début de la science et de l'industrie, comportaient seulement des éléments simples susceptibles d'être conçus intégralement par un seul individu. Aujourd'hui la plupart des inventions vraiment dignes d'avenir comportent un grand nombre de détails différents ; aussi sont-elles rarement imaginées, étudiées et mises au point par un seul chercheur. Même si l'on veut en rester au principe et considérer la première idée théorique comme seule valable, on se trouve encore embarrassé. Souvent, en effet, plusieurs inventeurs découvrent le même principe en le destinant simplement à des usages différents. D'autres enfin ne font que transformer un principe ancien en lui donnant une autre forme susceptible de servir à des fins nouvelles. Cela n'implique pas bien entendu que leur mérite en soit moindre. Ainsi l'invention de l'hélice a été considérée comme une invention géniale, il y a un siècle, et pourtant les moulins à vent, qui sont des hélices marchant en récepteurs de force motrice, existaient depuis fort longtemps déjà.

Si on ajoute encore, dans le cas du film parlant, les rivalités commerciales entre constructeurs, on arrive bientôt à des discussions interminables où la vérité se trouve ensevelie. Comme nous l'avons fait remarquer, le cinéma sonore n'est pas une invention, au sens propre du terme. Il a été précédé de l'invention du cinéma muet, du phonographe et des amplificateurs radiophoniques. Il y a lieu également de distinguer les deux procédés dits « par disque » et « par film » qui sont encore concurremment employés et sont très différents comme principe. Il serait donc en somme illusoire de vouloir établir un historique rigoureusement chronologique pour le film sonore comme on pourrait le faire pour l'automobile ou l'avion. .

Il nous faut donc examiner séparément :

- 1) Le cinéma muet.
- 2) Le phonographe à cylindre et à disque (Enregistrement par voie mécanique ou électro-mécanique).
- 3) L'enregistrement du son par voie lumineuse.
- 4) Enfin les combinaisons de ces inventions entre elles.

LE CINÉMA MUET

Le cinématographe muet est basé essentiellement sur la persistance des impressions lumineuses sur la rétine. Ce phénomène fut observé il y a longtemps. Des philosophes grecs et égyptiens en parlaient déjà dans l'antiquité. C'est en partie grâce à lui que l'œil peut être facilement trompé, comme nous l'avons exposé au chapitre I. Ainsi un diapason en vibration apparaît avec ses extrémités estompées et l'éclairage sur courant alternatif, même par lampe à arc, nous donne une impression de fixité. Une des premières applications de ce principe fut un jouet baptisé « Thaumatrope » que l'on trouve encore parfois dans le commerce. Il est constitué par un petit disque de carton portant sur chaque face un dessin : par exemple sur l'une un aquarium vide et sur l'autre un poisson. Grâce à deux ficelles fixées sur les bords, que l'on roule entre ses doigts, on fait tourner rapidement le disque autour d'un diamètre. Chaque face se présente alors à l'œil pendant un temps très court. Les deux impressions se fusionnent sur la rétine et on a l'illusion de ne voir qu'une seule image représentant le poisson dans l'aquarium. Ce jouet fut, paraît-il, inventé en 1825 par le Dr Paris. Il n'aboutissait, il est vrai, qu'à la reproduction d'une image fixe synthétique.

D'autres systèmes, des jouets également, firent leur apparition ensuite. Plateau, de Gand, réalisa en 1833 un instrument appelé « Phénakistope » dans lequel, cette fois, un mouvement primitive décomposé était reproduit ensuite. D'autres appareils identiques furent ensuite lancés sous les noms de « Zootrope », « Anorthoscope », etc... Tous reposaient sur le même principe : des images dessinées successives représentaient les phases d'un mouvement. On les faisait défiler derrière des disques perforés ou dans des cylindres rotatifs. Du fait des apparitions et éclipses des images l'une après l'autre, une illusion de mouvement en résultait pour l'œil. Tous ces instruments furent considérés comme de simples amusements parce que le nombre des images était très restreint. Seule la photographie allait pouvoir apporter un élément nouveau et pratique : le film sensible. Différentes applications du film sensible à l'étude du mouvement furent faites : par Muybridge en Amérique vers 1880 ; quelques

années plus tard par Marey en France, mais leurs dispositifs ne réalisaien guère que l'**analyse** du mouvement. Il semble que le premier appareil permettant la **synthèse** d'un mouvement préalablement décomposé par voie photographique fut le « phonoscope » de Demeny, ancien collaborateur de Marey. Cet appareil breveté en 1892

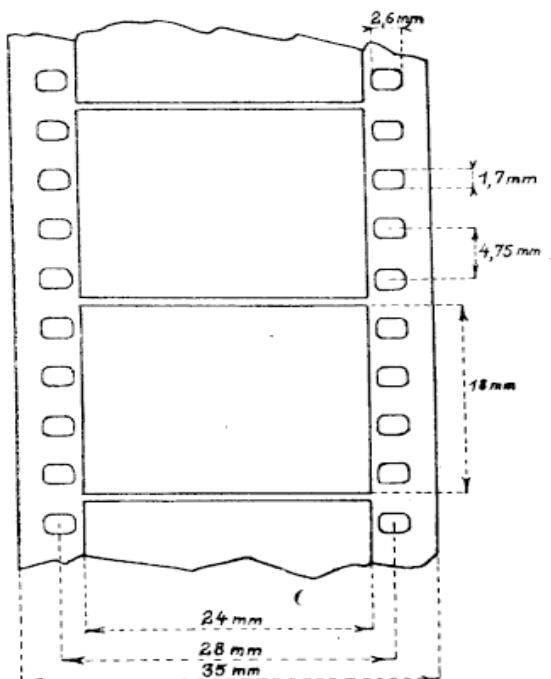


Fig. 2. — Caractéristiques du film cinématographique dit « standard ».

par ce remarquable inventeur est vraisemblablement le véritable ancêtre des projecteurs actuels. Il breveta du reste l'année suivante un autre appareil plus perfectionné qu'il baptisa « Chronophotographe ». Enfin, en 1895, les frères Lumière présentèrent le premier appareil vraiment industriel.

Actuellement presque tous les projecteurs reposent sur le même principe et tous utilisent le film « Standard » dont les dimensions principales sont données dans la figure 2.

Les perforations placées sur les côtés servent à l' entraînement du film dans le projecteur. Quatre perforations correspondent à la hauteur d'une image. Les deux pièces essentielles du projecteur sont la Croix de Malte et l'Obturateur rotatif (ou volet tournant).

2

La Croix de Malte (Fig. 3) sert à produire l'entraînement saccadé du film. Dans la position représentée sur la figure 3, le tenon A va s'engager entre deux branches de la croix et la faire tourner de $1/4$ de tour. Le pourtour circulaire de la pièce B intervient ensuite

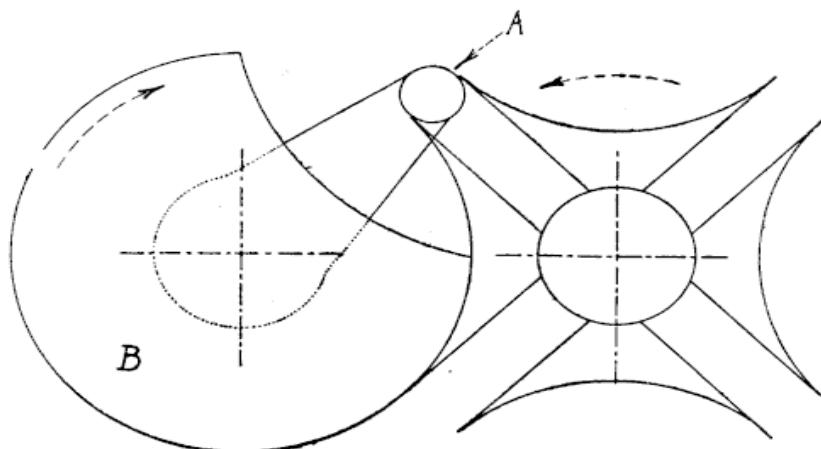


Fig. 3. — Schéma d'une « Croix de Malte » d'un projecteur cinématographique.

pour verrouiller la croix de Malte et la maintenir immobile pendant que l'image est projetée sur l'écran. L'obturateur rotatif (Fig. 4) tourne à la même vitesse que la pièce B de la croix. Il possède deux pales. L'une sert à masquer la lumière pendant que la croix de Malte tourne, l'autre sert à produire une seconde interruption de la lumière pendant que le film est immobile. La fréquence des jets lumineux sur l'écran est ainsi doublée et l'impression de continuité pour l'œil se trouve augmentée. Toutes les autres pièces des projecteurs ont des rôles purement accessoires.

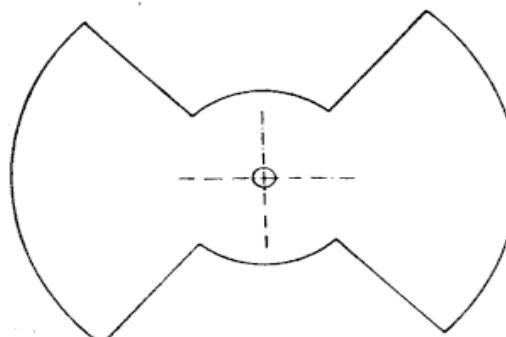


Fig. 4. — Volet tournant d'un projecteur cinématographique.

Pour supprimer l'avancement saccadé du film, divers systèmes ont été proposés. Ils reposent en général sur le principe des miroirs tournants. Une firme a même lancé un appareil de ce genre sur le marché. Toutefois, malgré ses avantages incontestables, il est en-

core peu répandu. D'une part, le prix en est assez élevé et, d'autre part, sa forme ne se prête guère à l'adaptation sur les appareils sonores qui ont été prévus jusqu'à présent pour les appareils à croix de Malte. Il serait pourtant très possible que dans l'avenir l'usage s'en généralise.

LE PHONOGRAPHHE

L'idée de l'enregistrement du son pouvant permettre ultérieurement sa reproduction est peut-être assez ancienne. Le fait que le son est un phénomène purement mécanique a été observé il y a déjà longtemps. On pouvait donc être amené assez naturellement, en somme, à l'idée de l'enregistrer. Certains auteurs qui ont effectué des recherches historiques sur ce terrain mentionnent les expériences de Léon Scott, en France, vers 1850. Tous ces essais n'eurent pas de suite. Aussi, tout le monde est-il d'accord pour attribuer l'invention du phonographe, au moins dans sa forme pratique, à Edison qui réalisa cette sensationnelle découverte en 1878.

Au début, l'enregistrement fut fait sur des cylindres et non sur des disques comme aujourd'hui. On se servit d'une feuille d'étain roulée sur un cylindre (Fig. 5). Sur ce cylindre venait s'appuyer une pointe très acérée portée par un diaphragme qui, autant que pos-

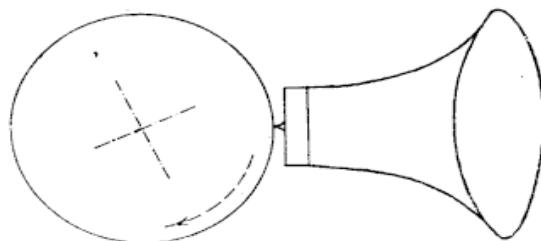


Fig. 5. — Schéma de principe de l'enregistrement sonore d'un phonographe primitif.

sible, n'avait pas de fréquence propre et était constitué soit par un mica, soit par du métal très mince. Le son collecté dans un cornet, venait mettre en vibration le diaphragme, et par conséquent aussi la pointe. Celle-ci venait donc s'enfoncer plus ou moins dans l'étain, à la demande du son reçu, et découpaient dans le cylindre animé d'un mouvement régulier des petits copeaux. Elle traçait donc un sillon en profondeur. Bien entendu, pour que la longueur totale du sillon ne soit pas limitée à la circonférence du cylindre, le diaphragme était

porté par une longue vis parallèle à l'axe du cylindre. Cette vis en tournant régulièrement faisait avancer le diaphragme de sorte que le sillon avait finalement la forme d'une hélice. L'ensemble travaillait en somme comme un tour. Si, une fois l'enregistrement terminé, on remettait la pointe au début du sillon, la pointe effectuait de nouveau les mêmes mouvements qu'à l'enregistrement et reproduisait ainsi le son. L'appareil ainsi conçu était évidemment très imparfait. Il permit néanmoins, par les résultats assez satisfaisants obtenus, de prévoir tout le parti qu'il y avait à tirer de cette invention.

Un premier perfectionnement important fut le suivant : employer, pour l'enregistrement et pour la reproduction, des cylindres de matières différentes. On pouvait par exemple utiliser pour l'enregistrement un cylindre en cire molle n'opposant plus qu'une très faible

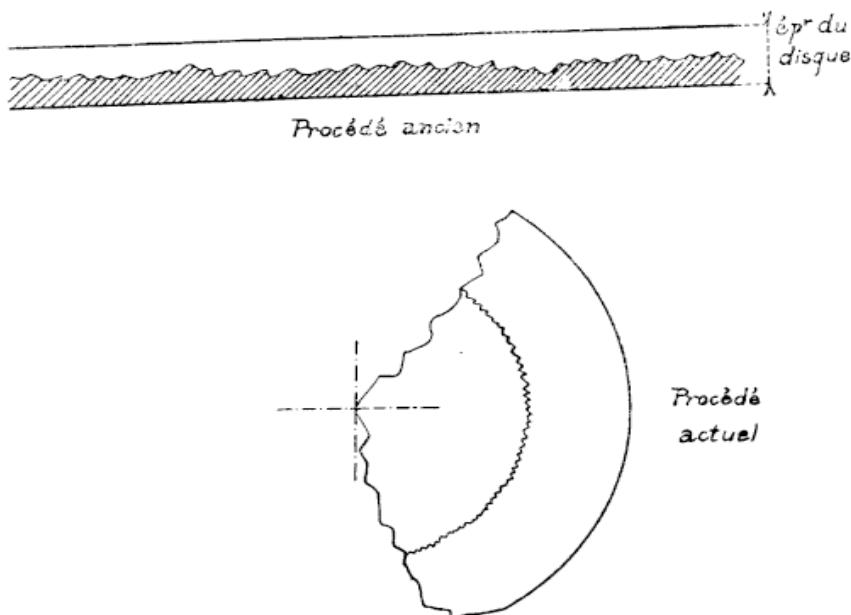


Fig. 6. — Schémas des enregistrements phonographiques à profondeur variable et à profondeur constante.

résistance à la pointe traçante. L'effet produit était donc beaucoup plus **fidèle**. On en faisait ensuite un moulage avec une matière reproduisant bien les détails les plus fins. Dans ce moule on coulait ensuite d'autres cylindres d'un mélange dur de certaines résines et de cire. Ce nouveau procédé présentait deux gros avantages. D'abord les cylindres obtenus duraient longtemps et permettaient un plus grand nombre de reproductions que le cylindre d'étain. Ensuite on

pouvait, avec un seul moule, couler autant de cylindres qu'on le désirait comme on tire des positifs d'un cliché photographique. C'est alors que ces cylindres purent être vendus bon marché et lancés dans le commerce.

Pendant de longues années, le phonographe ne subit aucun perfectionnement vraiment sérieux. Il n'y eut que des modifications de détail. D'abord le cylindre fut abandonné, parce que trop encombrant, et remplacé par le disque. Le phonographe devient alors le « Gramophone ». La pointe dure employée pour la reproduction était alors en saphir mais rien du principe fondamental ne fut changé. La solution actuelle du phonographe ne vit le jour que grâce à l'invention retentissante de la lampe à trois électrodes imaginée par le savant américain Lee de Forest et qui commença à être utilisée pratiquement en 1917. Actuellement l'enregistrement se fait par voie purement électrique. Nous l'étudierons plus tard en détail. Le système du disque a été maintenu mais la forme du sillon a été modifiée : au lieu d'être de profondeur variable il est de profondeur constante mais il a une forme sinuuse sur la surface du disque (fig. 6). Le saphir a été remplacé par une aiguille. Enfin la reproduction peut se faire par voie mécanique (diaphragme) ou par voie électrique (Pick-up). Ce dernier procédé est évidemment bien supérieur car il permet de demander au disque seulement une puissance infime qui est renforcée par le montage électrique. De cette façon, l'usure du disque et les déformations du son sont réduites au minimum.

ENREGISTREMENT PAR VOIE LUMINEUSE

Cet autre mode d'enregistrement phonographique est beaucoup plus récent que le précédent et se résume à ceci : d'abord arriver à obtenir un courant électrique assez puissant qui soit, à chaque instant, proportionnel à l'intensité du son à enregistrer et en possède donc toutes les caractéristiques de fréquence, intensité et timbre, ensuite on inscrit par un procédé lumineux et photographique ces variations de courant. Une telle méthode avait déjà été mise au point pour d'autres fins dans les appareils appelés oscilloscopes. Ces appareils permettent d'obtenir une courbe représentant fidèlement la variation d'un courant. On peut ainsi étudier le courant dans un circuit en régime variable, vérifier si la tension fournie par un alternateur est bien sinusoïdale, etc... Ils sont d'une grande utilité dans les laboratoires électrotechniques et furent mis au point il y a longtemps déjà. L'industrie du film sonore n'avait sur ce chapitre qu'à utiliser les résultats déjà obtenus, en effectuant seulement quelques perfectionnements de détail. Cette question sera étudiée plus profondément avec l'enregistrement.

HISTORIQUE DU FILM SONORE PROPREMENT DIT

L'idée d'accompagner une représentation cinématographique avec des bruits synchronisés est très ancienne. Dès que les salles de projection publiques furent ouvertes, toutes furent d'abord pourvues d'un orchestre ou au moins d'un pianiste. La musique jouée était toujours étudiée à l'avance et soigneusement adaptée aux scènes qui se déroulaient sur l'écran. C'était donc déjà un essai de synchronisation. Ensuite un des musiciens fut pourvu d'un attirail lui permettant de produire certains bruits dans des scènes particulièrement angoissantes : coups de grosse caisse pour imiter le canon, feuilles métalliques secouées pour imiter l'orage, etc...

En 1892, Demeny présenta à Paris un système de projection constitué par une lanterne magique dont les vues successives étaient accompagnées par un disque de phonographe. Il n'obtint guère de succès.

En 1901, un ingénieur allemand, Ernst Ruhmer, tenta d'utiliser une combinaison d'une cellule au sélénium et d'un arc électrique qui recevait le courant d'un microphone. L'arc électrique est en effet très sensible aux variations de courant et il les traduit assez fidèlement en variations d'intensité lumineuse. Ces expériences très imprécises n'eurent pas de suite, malgré l'ingéniosité de l'inventeur.

Les seules expériences ayant donné quelques résultats pratiques furent faites avec des disques de phonographe ordinaires. Il semble d'ailleurs qu'Edison lui-même, et aussi un de ses collaborateurs, Dickson, en aient eu l'idée. Il y a lieu toutefois de signaler les essais remarquables faits par Gaumont de 1900 à 1902. Quelques années plus tard, c'est-à-dire peu avant la guerre, ce constructeur présenta un appareil appelé « Chronophone ». Il semble bien que ce soit le seul qui ait fonctionné assez régulièrement et ait obtenu un certain succès.

D'autres inventeurs tels que Lauste, C. E. Fritts et E. Ries poursuivaient leurs efforts dans l'enregistrement photographique et déposaient un brevet dès 1906. En fait tous ces résultats étaient nécessairement limités et pour deux raisons. D'abord la puissance des anciens phonographes était très réduite et était beaucoup trop faible

pour une salle de spectacle. Ensuite, pour obtenir une certaine vraisemblance dans la reproduction des scènes sonores, il était indispensable de placer le phonographe à proximité de l'écran et le synchronisme était alors très difficile à réaliser. L'opérateur devait en effet régler séparément la vitesse de son projecteur et du phonographe placé sur la scène. Il était bien entendu impossible d'établir une liaison mécanique entre eux, la cabine étant trop éloignée de l'écran. Il fallait absolument l'intervention des amplificateurs de courants téléphoniques qui firent leur apparition à la fin de la guerre.

Les progrès furent alors rapides d'autant plus que l'intérêt de cette nouvelle industrie était alors apparu nettement et les puissants groupes financiers y investirent des capitaux.

Les mises au point définitives furent presque toutes accomplies par des constructeurs américains ou allemands. Citons, entre autres, les brevets pris en juin 1921 par Joseph Engl à Berlin pour la reproduction du son enregistré photographiquement ; par J. Tykocinsky Tykociner en juin 1922 ; par Theodor W. Case en 1923 et enfin, de nouveau, par Josef Engl en 1924.

Dans son état actuel le cinéma sonore utilise concurremment les deux systèmes dits « par disque » et « par film ». Ils donnent sensiblement le même rendement. La plupart des installations sont d'ailleurs établies pour marcher avec l'un et l'autre. Les mêmes amplificateurs servent aux deux fins. Toutefois pour le procédé film, une amplification supplémentaire est nécessaire car la reproduction se fait à l'aide de cellules photoélectriques qui fournissent un courant excessivement faible. Nous étudierons, au cours de cet ouvrage, tous les détails relatifs, tant à l'enregistrement qu'à la reproduction, pour chacun de ces systèmes.

Nous avons insisté à dessein sur le rôle capital joué dans l'industrie du film sonore par le tube à trois électrodes. Cette remarquable invention a provoqué une véritable révolution dans plusieurs branches importantes de l'électrotechnique : Téléphonie, radiotélégraphie et radiotéléphonie, applications médicales de l'électricité, fours électriques à haute fréquence, etc... Un autre élément essentiel dans l'industrie qui nous occupe est la cellule photoélectrique.

Pour bien comprendre le fonctionnement de ces deux instruments du film sonore, nous allons exposer dans le chapitre suivant quelques éléments de la physique moderne.

A l'heure actuelle on parle beaucoup de la lampe ou de la cellule dans un grand nombre d'ouvrages et de revues. Toutes les études sur ce sujet sont généralement des articles de vulgarisation ordinaire, souvent rédigés d'ailleurs par des auteurs peu qualifiés, ou

bien ce sont des ouvrages sérieux mais alors trop mathématiques et accessibles seulement à des spécialistes.

Nous pensons donc qu'il n'est pas inutile de consacrer un chapitre pour exposer cette question essentielle. Nous essayerons de le faire aussi simplement que possible, en apportant de la précision sans enfoncer le lecteur dans des calculs profonds et compliqués.

Nous estimons qu'il est possible de faire bénéficier le grand public des résultats déjà acquis, de faire en sorte qu'il s'y intéresse. Ce que nous exposerons est tout à fait à l'ordre du jour, a préoccupé et préoccupe encore nombre de grands mathématiciens. Pour être de son temps, il n'est plus possible de l'ignorer, d'autant plus que ces faits touchent de très près beaucoup de questions pratiques d'ordre industriel. Pour un technicien, c'est faire œuvre utile que de mettre à la portée de toute personne désireuse de s'instruire des choses vraiment scientifiques mais présentées de manière à ne pas rebouter d'avance ceux qui redoutent les études passionnantes mais, il faut en convenir, assez ardues des sciences exactes.

CHAPITRE III

EXPOSÉ DES IDÉES MODERNES SUR LA CONSTITUTION DE LA MATIÈRE LEURS APPLICATIONS PRATIQUES

La matière est extrêmement divisible. Par exemple : Une fraction de milligramme de fluorescéine suffit à colorer un litre d'eau ; on conçoit que chaque millimètre cube de cette solution contient une quantité infime de fluorescéine. Certaines substances pulvérulentes, la féculle de pomme de terre par exemple, sont extrêmement fines, et chaque grain ne peut être vu qu'au microscope ; chacun d'eux, d'ailleurs, pourrait encore, si on s'en donnait la peine, être écrasé et scindé en un grand nombre de morceaux. Pourtant, la matière n'est pas divisible à l'infini. Il arrive un moment où les morceaux ne seraient plus identiques entre eux, si l'on poussait davantage leur séparation. On est alors arrivé à la molécule, ou à l'atome, suivant que l'on a affaire à un corps composé ou simple. La matière n'est donc pas **continue**, mais formée d'un assemblage de très petits éléments qui sont, si l'on peut dire, indivisibles.

Cette notion de molécule peut paraître extraordinaire à première vue. En réalité, il n'en est rien et, si l'on y réfléchit, elle se présente au contraire tout naturellement à l'esprit. D'abord la nature n'offre aucun exemple d'infini, au moins pour ce qui concerne les choses qui touchent nos sens. L'infini du temps et de l'espace que nous admettons se rapporte en somme à des choses immatérielles, à des concepts a priori de la sensibilité. On peut donc, déjà, en tablant sur cette simple remarque, induire que le fractionnement de la matière doit s'arrêter à un moment donné. Aussi l'existence des molécules a-t-elle déjà été soupçonnée depuis longtemps. Les philosophes grecs en parlaient déjà ; Descartes et Pascal en ont également fait mention dans leurs œuvres.

D'autre part, cette théorie intervient pour éclaircir un grand nombre de faits d'expérience qui, sans elle, seraient inexplicables. Il en est ainsi, par exemple, pour les phénomènes chimiques. Une des lois essentielles de la chimie, appelée loi de Proust, ou des proportions définies, s'énonce comme suit : « Les proportions suivant lesquelles un corps simple se combine à un autre ne sont pas susceptibles de variations continues ».

Si nous mélangeons dans un ballon deux grammes d'hydrogène et seize grammes d'oxygène, et que nous allumons ce mélange, une combustion se produit et nous obtenons 18 grammes de vapeur d'eau. Mais nous ne sommes pas maîtres de changer cette proportion. Si nous mélangeons nos 2 grammes d'hydrogène avec 20 grammes d'oxygène, 16 grammes seulement de ce dernier gaz se trouvent utilisés et on obtient finalement 18 grammes d'eau et les 4 grammes d'oxygène restant demeurent à l'état libre. Les deux grammes d'hydrogène peuvent bien, il est vrai, se combiner avec 32 grammes d'oxygène pour donner un nouveau composé, l'eau oxygénée. Ce corps, quoique assez instable, est pourtant chimiquement défini. Mais précisément, le chiffre 32 se trouve être un multiple simple de 16, et une observation identique peut être faite pour tous les corps où l'oxygène entre en composition.

Si chaque corps simple était formé d'une masse continue, on ne comprendrait pas, tout d'abord, par quel mécanisme une combinaison serait possible. On ne pourrait faire une distinction nette entre un mélange et une combinaison, ni expliquer pourquoi un corps composé a toujours des propriétés chimiques et physiques extrêmement différentes de celles des corps simples qui le constituent.

Avec la théorie moléculaire et atomique, tous ces phénomènes prennent au contraire une forme rationnelle. Dans l'exemple, choisi ci-dessus, de la combinaison de l'oxygène et l'hydrogène, chaque atome d'oxygène s'associe avec deux atomes d'hydrogène pour former une molécule d'eau. Pour chacun de ces gaz, un atome a toujours la même masse bien définie. Donc la combinaison ne peut s'effectuer que par parties proportionnelles aux masses respectives de ces atomes. On a donc ainsi l'explication de la loi des proportions définies. Ensuite, une fois la combinaison réalisée, chaque atome d'oxygène se trouve accroché à deux atomes d'hydrogène ; il n'aura donc plus, pour d'autres corps, la même affinité que s'il était encore libre. Les propriétés de l'eau seront donc très différentes de celles de chacun de ses constituants. Dans le cas de l'eau oxygénée, deux atomes d'oxygène, au lieu d'un, se trouvent combinés à deux atomes d'hydrogène. Ce nouveau corps aura donc encore des propriétés différentes de l'eau ordinaire ; ce que l'expérience confirme sans peine.

Les forces de cohésion qui maintiennent les atomes ou molécules accrochés ensemble sont encore mal connues. Elles peuvent être différentes de l'attraction qu'exercent l'un sur l'autre deux corps quelconques, et à laquelle est due la pesanteur. Très grandes dans les corps solides, elles sont presque nulles dans les liquides, où les molécules peuvent rouler les unes sur les autres. Dans les gaz les

molécules sont complètement séparées. Une théorie très féconde en conséquence, dite théorie cinétique, présente les molécules gazeuses, comme étant en perpétuel état d'agitation. Ce sont les chocs qu'elles produisent contre les parois qui causent la pression.

Ces éléments essentiels étant exposés, il convient avant tout de préciser un point très important. Il faut fixer l'ordre de grandeur des atomes. Dans la physique, qui est une science pratique, il ne suffit pas de voir les choses à travers des phrases ou même des formules mathématiques. Il faut encore en avoir une intuition aussi exacte que possible. Ce serait une pure utopie, par exemple, de penser que l'on puisse apercevoir les atomes d'un corps avec un microscope, si puissant soit-il.

Un calcul très simple va nous fixer définitivement sur ce point. Un microscope donnant un grossissement de 500 fois est déjà un bon appareil. Or on ne peut guère apercevoir, à l'œil nu, un fragment de matière dont la plus grande dimension soit inférieure à $1/20^{\circ}$ de mm. Le plus petit fragment de matière que l'on pourra observer avec l'appareil ci-dessus sera donc un fragment, cubique par exemple, de $1/10.000^{\circ}$ de mm. de côté. Supposons pour fixer les idées que ce soit un petit morceau de cuivre rouge dont la masse spécifique est 8,89 gr. et la masse moléculaire 63,57 gr. Le côté du cube étant $1/10^3$ cm., son volume est $1/10^{15}$ cm.³ et la masse du morceau de cuivre : $8,89/10^{15}$ gr. Or il résulte d'un certain nombre d'expériences que chaque masse moléculaire-gramme contient $6,062 \times 10^{23}$ molécules. Notre fragment doit donc finalement contenir :

$$6,062 \times 10^{23} \times 8,89$$

$$\frac{6,062 \times 10^{23}}{63,57 \times 10^{15}} \text{ molécules, soit env. } 0,85 \times 10^8 \text{ ou 85 millions.}$$

On se rend aisément compte que pour arriver à faire l'étude de la matière par vision directe, il faudrait faire subir aux appareils d'optique des perfectionnements que l'état actuel de la science permet à peine de prévoir.

L'existence des atomes et molécules ayant donc été soupçonnée depuis longtemps, il restait à étudier leur structure. Cette étude a été conduite en s'appuyant sur l'observation des radiations. La lumière est en effet un phénomène d'origine atomique. On s'en était déjà rendu compte primitivement grâce au spectroscope. Cet appareil permet simplement de décomposer avec un prisme la radiation à étudier, et de l'observer sur une échelle graduée. Ce dispositif est très précieux dans un grand nombre d'analyses. On a pu ainsi observer que les radiations émises par des corps incandescents dépendent essentiellement de leur constitution atomique. Par exemple, un sel de sodium vaporisé dans une flamme de gaz donne une lumière

jaune bien caractéristique. Toutefois la structure de l'atome a été décelée surtout par l'observation des décharges dans les tubes à vide ou à gaz raréfiés. C'est principalement lorsque furent découverts les rayons cathodiques par le physicien Crookes, et plus tard les Rayons X par le physicien Röntgen, que l'étude de la structure de l'atome fut entreprise sérieusement.

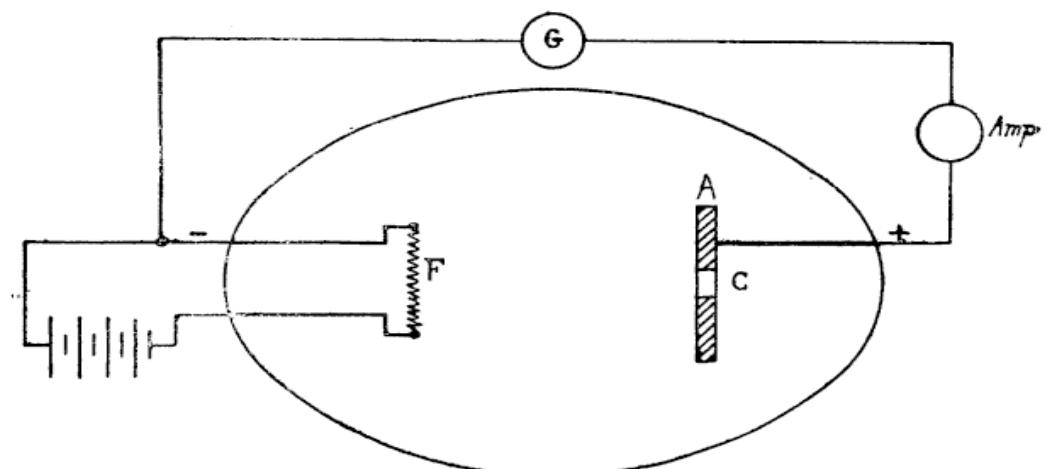


Fig. 7. — Tube à vide élémentaire à cathode chaude et à deux électrodes.

Ces phénomènes furent d'abord observés dans des tubes contenant un gaz très raréfié, ce qui constitue une des formes les plus compliquées de décharge dans les gaz. Nous allons essayer de donner une idée simplifiée de la manière dont on peut conduire l'étude de l'atome avec un tube à cathode incandescente où est réalisé un vide très élevé. Les vides les plus élevés qu'on sache produire actuellement s'obtiennent au moyen de pompes spéciales dites moléculaires et sont de l'ordre du 1/100^e de Barye. Nous rappelons que la Barye est l'unité de pression du système C. G. S. (Centimètre-Gramme-Seconde), utilisé en physique. Elle correspond à 0,75/1000^e de mm. de mercure, la pression atmosphérique normale étant de 760 mm.

Supposons que nous construisons un tube (Fig. 7) à vide très élevé. Nous y plaçons un filament F chauffé par exemple avec une batterie d'accumulateurs. En face, nous plaçons une plaque anodique A. Entre le filament et la plaque nous appliquons une différence de potentiel V à l'aide d'un générateur G ; cette tension pourra varier dans de très grandes limites. Nous complétons le montage par un ampèremètre sensible placé dans le circuit. Supposons d'abord que la tension V soit nulle. On constate déjà qu'un courant circule de A.

vers **F** mais si faible qu'il ne peut être décelé qu'au moyen d'un galvanomètre ultra-sensible. Dès que **V** atteint quelques volts, ce courant prend au contraire une valeur notable qui atteint aisément plusieurs milliampères. Puisque l'espace **A-F** ne comporte aucun conducteur, le courant circule nécessairement dans le vide. C'est l'effet Edison découvert par ce savant en 1884 et étudié ensuite plus profondément par Langmuir. On constate d'ailleurs que, si le filament **F** est froid, ce courant cesse totalement, s'il est chaud, le courant est d'autant plus grand que la température est plus élevée et augmente énormément avec cette température.

On a donc là, en somme, un mode de conduire l'électricité complètement différent de celui qui est normalement utilisé avec les fils métalliques. Quelle peut être l'interprétation de ce phénomène ? Puisque tout phénomène physique contient toujours en lui-même son explication, nous sommes amenés à admettre que des corpuscules matériels se chargent du transport de l'électricité dans l'espace **A-F**. On peut ensuite confirmer cette hypothèse et trouver le sens dans lequel circulent ces corpuscules. Si la tension **V** est assez élevée (quelques centaines de volts par exemple) on peut percer un petit trou **C** dans la plaque. Si l'on place dans la région **D** une substance fluorescente, on y voit une tache lumineuse. Donc les corpuscules circulent dans le sens filament-anode. C'est parce qu'ils sont emportés par leur élan qu'ils traversent le trou **C** et viennent produire un effet lumineux sur **D**. On pourrait encore mettre le fait en évidence en plaçant dans le tube un petit moulinet très léger entre **A-F**. Le choc des corpuscules le ferait tourner. Ces résultats sont, d'autre part, d'accord avec la logique. En effet, puisque ce flux de corpuscules dépend de la température du filament, c'est lui qui doit les produire, et, par conséquent, ils ne peuvent circuler que dans le sens **F** vers **A**. Donc, puisqu'ils remontent le sens du courant ils transportent de l'électricité négative.

Notre expérience nous a déjà ainsi donné plusieurs enseignements. Il reste pourtant un point très important à fixer : ces corpuscules sont-ils des atomes de matière ? S'il en était ainsi, la matière du filament **F** devrait se désagréger peu à peu et se transporter sur **A**. En constituant le filament et la plaque de deux matières différentes, par exemple, le filament en tungstène et la plaque en nickel, on devrait pouvoir constater, à l'aide de réactifs chimiques, le transport du tungstène sur le nickel, si l'on examine la plaque après avoir cassé le tube. Or il n'en est rien. Un tel tube peut fonctionner pendant des milliers d'heures sans qu'on constate le moindre transport de matière. Le champ électrostatique existant dans l'espace **A-F** ne produit aucune destruction du filament, à moins qu'il ne devienne

tellement grand qu'il n'en produise l'arrachement mécanique. On admet donc finalement que les corpuscules en question sont des parties intérieures à l'atome, et on les a appelés Electrons.

En appliquant des champs magnétiques ou électriques le long de leur trajectoire, on peut leur faire subir des déviations. On a pu ainsi déterminer leur masse, leur charge électrique et leur vitesse. Leur masse est environ 1850 fois plus petite que celle de l'atome d'hydrogène, qui pourtant est déjà le plus léger de tous les corps simples. Nous reparlerons plus loin de la manière dont les atomes sont constitués. Pour terminer cette étude brève du tube à filament chaud, c'est donc du fait de l'élévation de la température qu'un certain nombre d'électrons, chargés d'électricité négative sont libérés. Si la tension de la plaque est nulle, ces électrons s'amassent autour du filament et y forment une sorte de brouillard, totalement invisible à l'œil, bien entendu. Ce brouillard de petits corpuscules forme alors un champ électrique négatif qui empêche les autres de sortir. Le phénomène est un peu analogue à celui de l'évaporation d'un liquide. Si on abandonne une assiette pleine d'eau à l'air, l'eau s'évapore. Mais si l'atmosphère est calme, l'espace situé au-dessus de la surface du liquide se sature rapidement de vapeur et protège le liquide

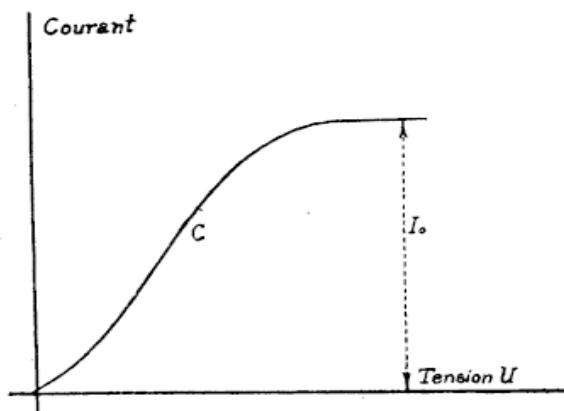


Fig. 8. — Caractéristique de courant plaque d'un tube à deux électrodes.

contre toute évaporation. C'est pourquoi les courants d'air activent beaucoup la dessiccation des corps mouillés en balayant constamment cet air saturé.

De même dans notre tube à vide, bien que les électrons sortent déjà du filament avec une certaine vitesse, leur émission s'arrête bientôt et si la tension V est nulle, le courant obtenu est extrêmement faible. Si la tension V commence à agir, les électrons sont balayés

au fur et à mesure qu'ils sortent de l'atome et un courant anodique notable apparaît, comme nous l'avons déjà dit. Ce courant augmente tout d'abord très peu avec la tension **V** puis ensuite proportionnellement à elle puis de nouveau moins vite. Enfin il arrive un moment où le courant n'augmente plus si grande que soit la tension **V**. Ces résultats peuvent être traduits par un courbe **c** (fig. 8) qui a été mise en équation par Langmuir. Ce courant maximum **I_o** est obtenu lorsque tous les électrons produits par le filament sont aspirés par la plaque. A ce moment bien entendu aucune augmentation de courant n'est plus possible.

Pour bien fixer les idées des personnes qui ont peu étudié ces questions, nous insistons en passant sur un point capital. C'est que **seule** l'élévation de température du filament **F** produit ce flux d'électrons. Il n'est donc aucunement indispensable qu'il soit chauffé par l'effet électrique de Joule comme nous l'avons supposé. On obtiendrait exactement le même résultat si on le chauffait à la même température d'une autre manière, par exemple en concentrant sur lui les rayons du soleil avec un grand miroir sphérique. Si le chauffage par voie électrique est le seul pratiquement utilisé, c'est seulement en raison de sa grande commodité et de son réglage facile.

Ce flux d'électrons, que nous appellerons aussi rayons cathodiques, peut produire d'autres effets en dehors du passage de ce courant de la plaque vers le filament. Nous avons déjà dit que si la tension **V** part de la valeur 0 et augmente, le courant anodique augmente d'abord. Des expériences précises, comme par exemple l'application d'un champ électrique qui fait dévier le faisceau, montrent que la vitesse des électrons augmente aussi.

Cette vitesse n'est d'abord que de quelques milliers de kilomètres à la seconde. La tension **V** augmentant, on observe que la plaque **A** s'échauffe. On a là la confirmation du fait que les électrons ont une masse. C'est l'énergie appelée cinétique de ces masses en mouvement qui se transforme en chaleur. De même une balle de revolver qui vient s'écraser contre un mur devient brûlante. Si la tension **V** atteint par exemple 10.000 volts, le bombardement électronique sur la plaque devient très violent et il devient alors nécessaire, pour éviter une destruction rapide, de constituer la plaque d'une matière résistante et peu fusible, le tungstène entre autres.

A ce moment on constate un phénomène nouveau : le bombardement d'électrons sur la plaque produit un ébranlement de ses atomes et ceux-ci commencent à émettre des radiations que l'on a appelées Rayons X. Pour des valeurs de **V** encore relativement basses, ces rayons sont d'abord très « mous », c'est-à-dire peu pénétrants ; ils sont arrêtés facilement par beaucoup de corps surtout

ceux qui ont une grande densité comme le plomb et ses composés. La tension **V** augmentant, les rayons X deviennent de plus en plus « durs » et traversent de plus en plus facilement les corps opaques. Pour **V** = 30.000 v., ils sont déjà très pénétrants, la vitesse des électrons qui les produisent est alors environ le tiers de celle de la lumière, soit environ 100.000 km. à la seconde. Pour des tensions **V** plus grandes encore, les rayons X deviennent encore plus durs, et leur longueur d'onde diminue de plus en plus. On a pu construire des tubes générateurs de rayons X fonctionnant jusqu'à 300.000 volts. Sous cette tension, les rayons X produits sont si pénétrants qu'on arrive à radiographier une masse de fer épaisse de 10 cm. Leur fréquence est alors environ 10.000 fois plus grande que celle de la lumière violette visible à notre œil.

Comme nous avons déjà dit au chapitre I, les rayons X sont de la même nature que la lumière ordinaire. La gamme des vibrations de l'éther s'étend ainsi à peu près sans discontinuité depuis les faibles fréquences (champs alternatifs) jusqu'aux rayons cosmiques émis par certains astres, et dont les fréquences seraient environ 100 millions de fois plus grandes que celle des radiations visibles à notre œil.

LA CONSTITUTION DES ATOMES THÉORIE DES QUANTA

Lorsque les physiciens eurent établi que la lumière était bien un mouvement vibratoire d'origine atomique, ils cherchèrent à établir une relation entre l'énergie transportée par chaque radiation et la longueur d'onde de cette radiation. Plusieurs formules furent calculées généralement par voie empirique pour représenter cette relation. On s'aperçut alors que chacune des relations proposées n'était jamais satisfaisante que dans une certaine plage de longueurs d'onde et devenait systématiquement fausse dans les plages voisines.

C'est alors que Max Planck, physicien allemand, produisit une nouvelle théorie dite « Théorie des Quanta ». Elle fut reprise et perfectionnée par Albert Einstein et Niels Bohr qui édifièrent finalement une théorie tout à fait cohérente de la structure de l'atome. Chaque atome est constitué à peu près comme notre système solaire. Un noyau central appelé Proton porte une charge positive. Sa masse est environ $1,67 \cdot 10^{-24}$ gr. Autour de lui gravitent un ou plusieurs électrons de masse $8,999 \cdot 10^{-28}$ gr., soit environ 1.850 fois moins pesants. Pourtant malgré cette énorme différence de masse, le proton et l'élec-

tron ont la même charge électrique qui est de $1,59 \cdot 10^{-20}$ unités électromagnétiques, soit $1,59 \cdot 10^{-19}$ coulomb.

Eu égard à la fabuleuse petitesse de ces chiffres, il n'est pas inutile de les rendre concrets par un exemple, sinon l'esprit ne peut guère les saisir. Une année comprend environ $3,15 \cdot 10^7$ secondes. Supposons que nous puissions faire tomber des protons sur le plateau d'une balance à raison de un milliard à la seconde. Pour arriver à en faire un gramme il faudrait continuer environ pendant 19 millions d'années. On se rend compte ainsi que les quantités atomiques représentent, en infiniment petit, ce que les distances interplanétaires en astronomie représentent en infiniment grand.

Prenons donc comme exemple l'atome d'hydrogène qui, d'après ces théories, est le plus simple. Il est en effet constitué par un seul proton et un seul électron. Comme la charge positive du proton exerce sur la charge négative de l'électron une forte attraction, il faut que l'électron décrive autour du proton une trajectoire circulaire ou elliptique. L'étude de la mécanique rationnelle le démontre aisément, et le mouvement des planètes en est une vérification expérimentale. En principe, une infinité de trajectoires devraient pouvoir être suivies par l'électron. Si, en effet, la terre décrit toujours la même courbe en tournant autour du soleil, c'est parce qu'aucune force extérieure ne vient jamais la troubler. Il suffirait qu'une comète assez pesante vienne la choquer pour qu'aussitôt elle suive un autre chemin.

Si nous admettons, par exemple, que l'électron décrive des cercles autour du proton, ces cercles pourraient avoir un rayon quelconque. La vitesse angulaire doit être seulement d'autant plus grande que le rayon est plus petit, et cela pour deux raisons : D'abord, si l'électron se rapproche du noyau attirant, il en reçoit une attraction plus forte ; ensuite, le rayon étant plus petit, la force centrifuge pour une même vitesse angulaire est plus faible comme on le vérifie aisément avec une fronde. Donc, pour deux raisons, la vitesse de rotation augmente mais sous cette seule réserve n'importe quel cercle devrait pouvoir être suivi. En pratique, il n'en est pas ainsi pour l'électron. Bohr, dans sa théorie, a précisément supposé que seules certaines trajectoires correspondent à un régime stable. Chacune d'elles, d'autre part, correspond à une certaine quantité d'énergie. L'atome ne peut donc admettre des échanges d'énergie que par valeurs discontinues ou, autrement dit, par **Quanta**, d'où le nom de la théorie. Cette nouvelle conception de la structure de l'atome a permis d'expliquer une quantité de faits d'expérience. On admet, par exemple, que si un gaz devient lumineux, c'est parce que les électrons changent de trajectoire et sautent d'une orbite à l'autre. C'est

ce qui arrive dans les tubes luminescents (tubes de Gessler) où le gaz est excité par voie électrique. On comprend alors pourquoi un même gaz ainsi excité émet toujours les mêmes radiations, comme l'analyse au spectroscope le montre aisément. Des lois du même genre régissent l'émission des rayons X que nous avons brièvement exposée. Les rayons cathodiques viennent frapper les atomes de l'anode et une partie de leur énergie engendre des rayons X de longueur d'onde d'autant plus courte, c'est-à-dire de fréquence d'autant plus grande, que leur quantum d'énergie est plus grand. C'est général pour toutes les radiations.

Un exposé plus profond de la théorie des Quanta sortirait beaucoup des limites de cet ouvrage, car elle nécessite des développements mathématiques considérables. Ajoutons seulement que, pour élucider certains points assez obscurs, le physicien Louis de Broglie a inventé une nouvelle mécanique, dite mécanique ondulatoire. Elle vient compléter certains détails où la mécanique rationnelle classique se trouvait en défaut. Les atomes des corps autres que l'hydrogène sont plus compliqués comme constitution. Celui de l'Hélium entre autres, le plus simple après celui de l'hydrogène, comprend quatre protons avec deux premiers électrons décrivant des trajectoires rapprochées du noyau et deux autres électrons décrivant des trajectoires circulaires extérieures. On a ainsi classé tous les corps simples connus en un tableau où les masses atomiques vont en croissant et chaque fois la complication de l'atome va en augmentant. L'atome le plus compliqué et aussi le plus pesant serait celui de l'Uranium.

IONISATION DES GAZ

Une autre question importante dont nous parlerons à propos des cellules photoélectriques est celle de l'ionisation des gaz. Reprenons notre tube de la figure 7. Nous avons vu que, pour obtenir le passage d'un courant dans un tube à vide, il était nécessaire que la cathode libère des électrons. Cette libération peut être obtenue de plusieurs manières. Dans notre tube, la manière choisie est l'élévation de température du filament. Supposons maintenant que nous introduisons un peu de gaz dans notre tube, sous la pression d'un Barye par exemple, ($0,75/1000^{\circ}$ de mm. de mercure). Bien entendu, nous devrons choisir un gaz parfaitement inactif chimiquement vis-à-vis des électrodes, de l'argon par exemple qui est un gaz rare de l'atmosphère. Supposons alors que, laissant fixe la température du filament, nous augmentions petit à petit notre tension **V**. Tout d'abord, on ne constate rien de spécial, les choses se passent comme lorsque le tube était bien vidé, mais au-dessus d'une certaine valeur **VI** de la tension **V** on constate que le courant anodique commence à croître beaucoup

plus vite. Voici ce qui se produit : les atomes du gaz n'étant plus aussi rares qu'avant dans l'espace **F-A**, il arrive que certains électrons rencontrent un atome du gaz. Ils peuvent alors en arracher un électron qu'ils emportent avec eux. En même temps l'atome qui était neutre précédemment, est transformé en ion positif qui ira lui-même faire neutraliser sa charge sur la filament. Il en résulte un courant plus grand : aussi appelle-t-on **Vi le potentiel d'ionisation** du gaz.

Si la pression devient encore plus grande, soit 60 baryes, le courant dû à l'ionisation commence à devenir important. Pour une valeur assez grande de la tension **V** le courant croît énormément et on dit que la décharge « s'emballe ». On a donc là un moyen pratique d'augmenter le courant anodique, mais ce nouveau type de décharge présente les inconvénients suivants :

1) D'abord l'irrégularité de la décharge ; non seulement elle peut s'emballer, mais elle peut devenir capricieuse si la pression du gaz varie. S'il est par exemple absorbé par les parois du tube ou les électrodes.

2) Le courant suit beaucoup moins fidèlement les variations de la tension.

On dit que le phénomène présente de l'« Inertie » ou de l'« Hystérésis ». Nous avons déjà dit que, dans le tube à vide complet, la vitesse des électrons, même pour des valeurs relativement basses de la tension appliquée, était déjà de plusieurs milliers de kilomètres à la seconde. La distance entre le filament et la plaque étant généralement de l'ordre du centimètre, est donc parcourue par ces électrons en un temps excessivement court. On peut pratiquement considérer ce temps comme négligeable, même vis-à-vis des périodes pourtant déjà très courtes utilisées dans les mouvements oscillants de la Radiotélégraphie ou de la Radiotéléphonie. Il n'en est plus de même dans les tubes à gaz. Les durées d'excitation, la faible mobilité des ions positifs, introduisent des retards.

Aussi les tubes à trois électrodes utilisés dans les amplificateurs sont-ils toujours complètement vides. Les tubes à gaz sont par contre utilisés couramment pour le redressement du courant alternatif (Lampes Tungar). Ici les retards et déformations des caractéristiques n'ont pratiquement aucune importance.

LA LAMPE A TROIS ÉLECTRODES ET LA CELLULE PHOTOÉLECTRIQUE

Dans tout l'exposé qui précède nous avons essayé d'expliquer, aussi brièvement que possible, la nature des phénomènes de décharge dans le vide et dans les gaz. Nous allons maintenant examiner les

réalisations pratiques auxquelles conduisent ces théories. En particulier, deux organes essentiels de l'industrie du film sonore, la lampe à trois électrodes et la cellule photoélectrique en dérivent directement.

Lampe à trois électrodes (appelée aussi tube à vide, tube thermionique ou triode). Le tube à vide de la figure 7 à filament chaud est donc conducteur de l'électricité. On remarquera toutefois que le courant ne peut absolument circuler que dans un sens. Seul, en effet, le filament chaud peut émettre les électrons et par conséquent le courant ne peut aller à l'intérieur que de la plaque vers le filament. Cette précieuse propriété peut être mise à profit dans le redresse-

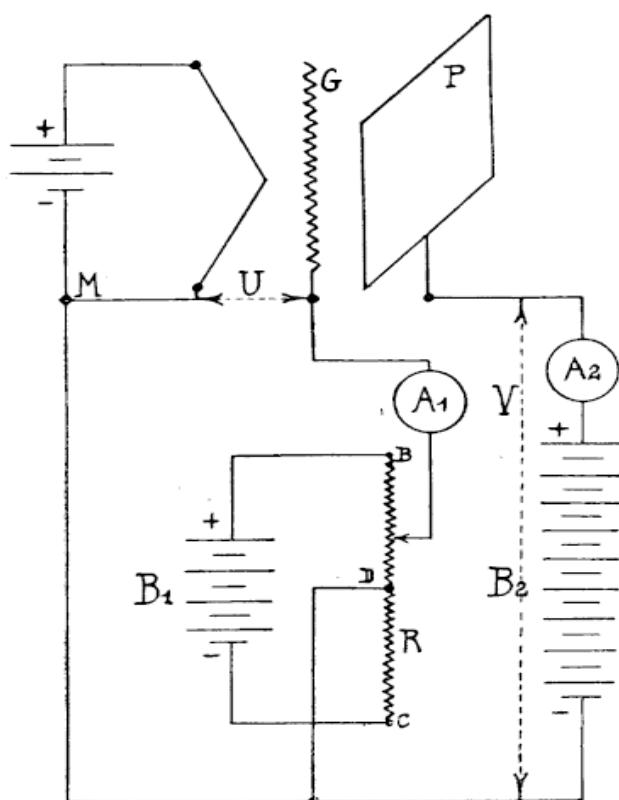


Fig. 9. — Schéma de montage pour l'étude d'un tube à trois électrodes.

ment du courant alternatif comme nous verrons lorsque nous étudierons les amplificateurs. On peut même d'ailleurs avec de tels tubes à deux électrodes redresser des tensions considérables de l'ordre de 100.000 volts par exemple, sous la seule réserve qu'ils soient très bien vidés. De tels tubes, appelés Kénotrons, sont utilisés pour obte-

nir de très hautes tensions continues pour l'alimentation des tubes Coolidge générateurs de rayons X, entre autres.

Supposons maintenant le montage intérieur de ce tube modifié comme suit : Nous continuons comme avant, à chauffer le filament avec une batterie d'accumulateurs. Mais nous avons placé, entre le filament et la plaque (Fig. 9) un troisième élément appelé grille. Cette grille est un réseau métallique à mailles lâches. C'est le montage de cette grille dans le tube qui constitua l'invention de l'américain Louis de Forest, car le tube à deux électrodes était connu et utilisé depuis longtemps. Il prit ce brevet en 1907.

Nous montons ensuite des circuits de plaque et de grille comme indiqué sur la figure. Nous choisissons le pôle — du filament comme zéro de potentiel. Dans le circuit de grille nous plaçons un circuit potentiométrique formé d'une batterie de pile débitant sur une résistance **R**. Le milieu **D** de cette résistance est mis au potentiel du point **M**. A l'aide d'un curseur frottant sur cette résistance, nous pouvons ainsi donner à la grille des potentiels soit positifs, soit négatifs, par rapport au point **M**. Nous complétons le montage par une batterie de piles dans le circuit plaque, (avec le pôle + sur la plaque) et enfin des milliampères **A₁** et **A₂**, mis respectivement dans les circuits grille et plaque. Nous appellerons **U** la tension grille et **V** la tension plaque. Dans ces conditions nous observons immédiatement que le potentiel donné à la grille a une influence considérable sur la valeur du courant de plaque. L'explication du phénomène est la suivante : Si la grille a un potentiel positif, elle attire les électrons libérés par le filament chaud, mais elle n'en recueille elle-même que très peu. Ces électrons acquièrent en effet très rapidement une grande vitesse ; emportés par leur élan, ils traversent les mailles de la grille, quelques-uns seulement restant accrochés, et vont ensuite frapper la plaque où ils déchargent leur électricité négative en créant le courant plaque. La grille étant plus près du filament que la plaque les variations de son potentiel ont relativement beaucoup plus d'importance, pour l'attraction de ces électrons, que des variations identiques du potentiel de plaque.

Supposons, par exemple, qu'une augmentation de 4 volts du potentiel de **G** par rapport à **M** produise un accroissement du courant plaque de 1 milliampère. Supprimons cette augmentation de 4 volts sur **G** et mettons-la dans le circuit plaque en ajoutant des éléments de pile dans la batterie **B₂**. Nous ne constaterons alors qu'un accroissement du courant plaque de 0,1 milliampère, par exemple. Donc une variation du potentiel de grille produit : $1/0,1 = 10$ fois plus d'effet que la même variation du potentiel de plaque. Ce chiffre 10, dans notre exemple, est un nombre très important qui est appelé

coefficient d'amplification en volts. Cette expression est d'ailleurs singulièrement incorrecte, mais néanmoins consacrée par l'usage.

Si l'on réunit les résultats pour diverses valeurs de la tension grille en laissant la tension plaque constante, on obtient la courbe I de la figure 10. Sur cette courbe nous remarquons :

1) que pour obtenir un courant de plaque nul il faut une tension de grille notablement négative.

2) que la courbe comprend une partie **ab** qui est sensiblement rectiligne, résultat très important.

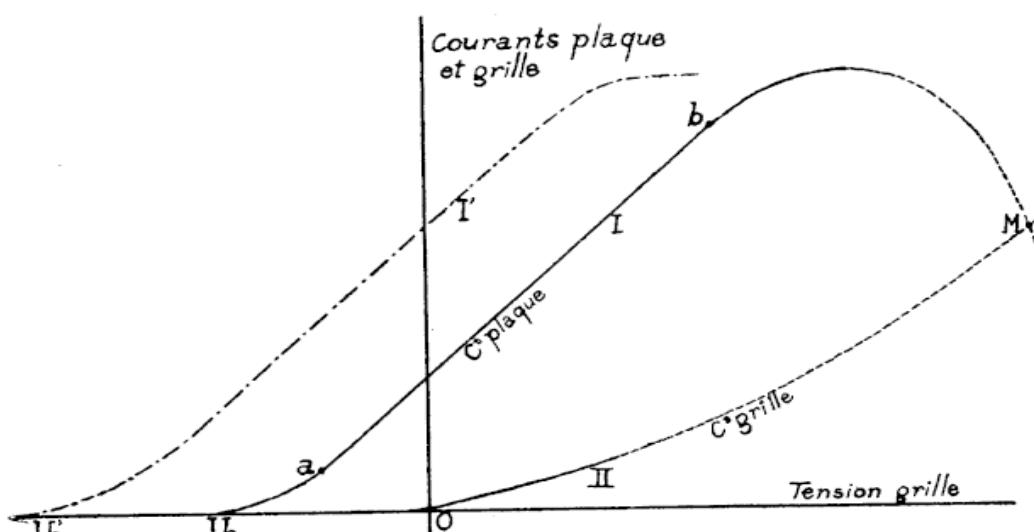


Fig. 10. — Caractéristiques d'un tube à trois électrodes.

Le courant de grille, figuré sur la courbe II, est beaucoup plus faible. Donc, même pour des valeurs positives de la tension grille, seule une fraction négligeable du nombre d'électrons libérés s'arrête sur la grille. On remarque que même pour une tension grille nulle, le courant de grille a déjà une valeur, très faible il est vrai, mais pourtant mesurable.

Pour une certaine valeur **U_o** négative de la tension grille le courant plaque devient nul. A ce moment, en effet, la répulsion exercée sur les électrons par la grille négative devient plus forte que l'attraction exercée par la plaque positive. Aussi les électrons restent-ils concentrés autour du filament et aucun d'eux n'atteint la plaque. Au contraire, pour des valeurs positives importantes de la tension grille (courbe prolongée en pointillé) le courant grille commence à prendre une valeur relative importante. Pour un certain point **M**, il

serait aussi grand que le courant plaque. Enfin, si on augmentait encore la tension grille positive, le courant plaque finirait par retomber à zéro parce que l'attraction exercée sur les électrons par la grille serait si grande qu'elle les capterait tous pour son propre compte. Bien entendu, dans tous les cas, la somme du courant grille et du courant plaque est strictement limitée par le nombre d'électrons émis par le filament, et ce nombre est d'autant plus grand que la température de ce filament est plus élevée.

Pratiquement, seule la partie rectiligne **ab** est utilisée, au moins dans les lampes équipant les amplificateurs. Dans les lampes marchant en détectrices (radiotélégraphie et radiotéléphonie) on utilise au contraire les parties courbes de la caractéristique. Pour établir ces courbes I et II nous avons toujours laissé la tension plaque **V** constante. Que va-t-il se passer si nous la faisons varier ? Essayons de l'augmenter en ajoutant des piles à la batterie **B₂** (Fig. 9). On relève alors une nouvelle courbe I' de la figure 10. La caractéristique de la lampe s'est déplacée vers la gauche. Cela signifie que, pour une même valeur de la tension grille, le courant de plaque est plus grand que sur la courbe I. Il faudra donc, alors, pour se trouver dans la partie rectiligne de cette caractéristique donner à la grille une tension assez fortement négative. Ces nouvelles conditions de fonctionnement sont précieuses pratiquement pour la raison suivante : puisque l'on doit donner une tension permanente négative assez considérable à la grille, les variations de tension grille utilisées lors de l'amplification resteront dans cette plage négative. Donc le courant de grille sera toujours nul et nous verrons, en étudiant les amplificateurs, que cette condition est importante pour éviter des déformations. Aussi dans les amplificateurs, les lampes sont-elles toujours montées avec une forte tension plaque et une tension permanente de grille négative. Donc, en définitive, on utilise pour l'amplification la partie droite de la caractéristique de la lampe.

On peut voir aisément, dans toute cette théorie de la lampe à trois électrodes, que tous les faits d'expérience faciles à constater au laboratoire avec des appareils de mesure sont absolument d'accord avec la théorie. Chaque fois que l'on exécute un nouveau montage comprenant une telle lampe, ou que l'on y fait varier les valeurs des tensions appliquées on peut prévoir à l'avance ce qui va se passer simplement en partant des électrons chargés d'électricité négative et émis par le filament. On a donc là un exemple d'une théorie bien cohérente et bien d'accord avec elle-même.

Nous compléterons cette étude sommaire de la lampe à trois électrodes en mentionnant son équation mathématique qui est citée dans beaucoup d'ouvrages. Nous appelons :

- r la résistance intérieure de la lampe,
- i la variation du courant de plaque,
- v la variation du potentiel de plaque,
- u la variation du potentiel de grille,
- k son coefficient d'amplification en volts.

L'équation de la lampe est alors : $ri = v + ku$

Nous insistons bien sur ce fait que ces quantités se rapportent uniquement à des **variations** de tensions et de courants. Seules, en effet, les variations de courant interviennent dans les amplificateurs, les courants permanents n'y ont pratiquement aucun intérêt. Si certains amplificateurs portent des milliampèremètres qui mesurent les courants permanents de plaque, c'est uniquement à titre d'indication, pour montrer que tout se passe normalement dans les circuits. Il serait absolument faux de définir la résistance r de la lampe comme étant le quotient de la tension plaque par le courant anodique de plaque. C'est simplement le quotient d'une **variation** de la tension plaque par la **variation** du courant plaque qui en résulte.

Pour fixer les idées, nous allons illustrer cette petite équation par un exemple. Nous achetons dans le commerce une lampe dont le bulletin de garantie porte les indications suivantes :

- Tension plaque normale : 160 volts
- Coefficient d'amplification : $20 = k$**
- Résistance intérieure : 20.000 ohms = r**
- Tension négative de grille : — 10 volts
- Courant de plaque normal : 10 Milliampères
- Courant de saturation : 20 Milliampères
- Tension de chauffage : 4 volts
- Courant de chauffage : 1 Ampère.

Pour vérifier si la lampe remplit bien ces conditions garanties, nous allons réaliser un montage comme celui de la figure 9. Nous donnerons la valeur 160 volts à la tension **V** produite par la batterie **B₂**. Sur le potentiomètre **R** nous nous placerons de telle manière que la tension de grille **U** ait la valeur négative — 10 v. Enfin nous chaufferons le filament avec une batterie **B** de quatre volts. Dans ces conditions, l'ampérémètre **A₂** marquera la valeur 0,010 A., soit 10 milliampères. Voici maintenant comment il faut interpréter

l'équation de la lampe. De : $ri = v + ku$ on tire $i = \frac{v + ku}{r}$

Supposons que nous augmentions la tension plaque de 10 volts, en ajoutant des piles à **B₂**, et que nous augmentions la tension grille de 0,5 volts en la portant à — 9,5 v. Donc la variation **v** = 10 volts

et la variation $u = 0,5$ volts. Dans ces conditions, notre ampérémètre A_2 nous accusera une augmentation de courant de :

$$i = \frac{10 + 0,5 \times 20}{20.000} = \frac{20}{20.000} = 0.001$$

Soit un milliampère. Il marquera donc 11 milliampères.

Si nous augmentons V de 10 volts et que la variation de 0,5 volts sur U soit au contraire négative, en portant U à — 10,5 v. au lieu de — 10, notre ampérémètre A_2 accuserait une augmentation de :

$$i = \frac{10 + (-0,5 \times 20)}{20.000} = \frac{10 - 10}{20.000} = 0$$

Donc A_2 marquerait la même valeur qu'avant. De toute façon, ces valeurs données par les constructeurs ne restent valables, bien entendu, qu'au voisinage des valeurs de fonctionnement normal, c'est-à-dire si l'on reste dans les parties droites des caractéristiques.

Nous aurons d'ailleurs l'occasion, dans cet ouvrage, d'insister fréquemment sur les caractéristiques rectilignes. D'une manière générale, tant pour l'enregistrement que pour la reproduction, il faut toujours conserver la **proportionnalité de l'effet à la cause**.

Examinons maintenant la construction des lampes à trois électrodes. Dans les débuts, les lampes furent construites avec les mêmes matériaux que les lampes d'éclairage. Le filament était en tungstène, la grille et la plaque en nickel, ferro-nickel ou tungstène. A l'heure actuelle, les valves à deux électrodes pour le redressement des courants à haute tension (Kénotrons) sont encore construites d'après ces principes. Pour les lampes d'amplificateurs de T. S. F. ou de phonographe, de gros perfectionnements y ont été apportés pour des raisons, d'ailleurs, tout à fait indirectes. On voulait, en effet, arriver à créer des lampes pour T. S. F. ne demandant qu'une faible énergie pour le chauffage des filaments. La raison de cette recherche était principalement un but commercial. Pour répandre la T. S. F. et rendre facile l'écoulement des appareils, il fallait simplifier l'alimentation des lampes. Les lampes à filament de tungstène ordinaire réclamaient beaucoup de courant pour leur chauffage. Leur utilisation était donc possible seulement pour de rares amateurs pouvant supporter les frais de batteries d'accumulateurs importantes, et surtout possédant les installations (redresseurs ou groupes tournants) nécessaires pour leur recharge. Les appareils de T. S. F. étant déjà assez coûteux par eux-mêmes, cela conduisait finalement à des frais prohibitifs pour la majorité des amateurs. Il fallait donc trouver une autre solution. Elle s'est présentée sous la forme des lampes dites à faible consommation, qui déchargeaient très peu les batteries et pouvaient même à

l'occasion être alimentées par de grosses piles. Ensuite, on leur a reconnu de telles qualités qu'elles sont aujourd'hui pratiquement les seules employées pour les amplificateurs de T.S.F. et de phonographes, même quand on dispose de sources suffisantes pour alimenter les lampes à filament de tungstène ordinaire.

Pour construire ces lampes à faible consommation, on recouvre le filament de tungstène d'une pellicule extrêmement mince d'un métal dont les atomes perdent facilement leurs électrons, ou, comme on dit, d'un métal très « électro-positif ». Cette couche devrait théoriquement se réduire, pour arriver au maximum de rendement, à l'épaisseur d'un atome. On cherche, au moins, à se rapprocher beaucoup de cette condition. Les matériaux employés dans ce but sont généralement l'oxyde de thorium, de caesium, ou les oxydes de métaux alcalino-terreux comme le calcium, le strontium ou le baryum. On arrive ainsi à recouvrir le filament d'une couche mince en perpétuel état d'évaporation et de recondensation, et on peut accroître ainsi l'émission des électrons, à température égale, dans la proportion de 1 à 100.000.

Aussi le filament de ces lampes ne réclame-t-il qu'une température de rouge sombre, au lieu du rouge blanc des filaments de tungstène simple. Comme, d'autre part, un corps perd d'autant moins de chaleur par rayonnement qu'il est moins chaud, ces filaments sont beaucoup moins sensibles aux variations de courant, et on réalise beaucoup plus facilement le chauffage sur courant alternatif.

Nous terminerons cette étude de la lampe en signalant son emploi en T.S.F. comme détectrice ou comme génératrice d'oscillations. La théorie en est alors beaucoup plus difficile que celle de l'amplification comme nous l'avons exposée. Elle ne peut être conduite qu'en introduisant des quantités trigonométriques et en résolvant des équations différentielles.

La cellule photoélectrique (1). — Nous avons dit, à propos de notre étude sommaire de l'atome, qu'un atome émettait une radiation si on lui communiquait un **quantum** d'énergie assez grand, soit par voie calorifique, soit par bombardement par des rayons cathodiques. Si ce quantum est faible, l'atome émettra des rayons de longueurs d'ondes relativement grandes, de la lumière visible par exemple. S'il est au contraire très grand, il pourra émettre des radiations de longueurs d'ondes excessivement courtes ; c'est le cas des tubes génératrices de rayons X.

Or, le phénomène inverse peut aussi exister. Si une substance

(1) On consultera avec fruit : *Les cellules photoélectriques, caractéristiques et applications* par C. Roy-Pochon (.....).

reçoit un éclairage, et si cette lumière lui apporte un quantum d'énergie suffisant, il pourra en résulter un arrachement de quelques électrons de ses atomes. C'est l'effet photoélectrique. Supposons que nous construisons un petit ballon bien vidé d'air, argenté intérieurement. Sur la couche d'argent, nous déposons une couche très mince d'un métal alcalin, du potassium, par exemple, (Fig. 11). Le montage est complété par une anode, généralement en forme d'anneau, cette anode est reliée au pôle positif d'une batterie (une centaine de volts par exemple), le pôle négatif étant relié à la couche intérieur). En face de la couche un fragment circulaire de la surface du verre a été laissé transparent, afin de permettre à la lumière de venir frapper la couche. Enfin, un microampèremètre est placé dans le circuit électrique. Dans ces conditions, nous constatons que moyennant un éclairage suffisant un courant circule dans l'ampoule. Il provient d'électrons arrachés à la couche et, par conséquent, il circule dans le sens indiqué par la flèche, de l'anneau vers la couche.

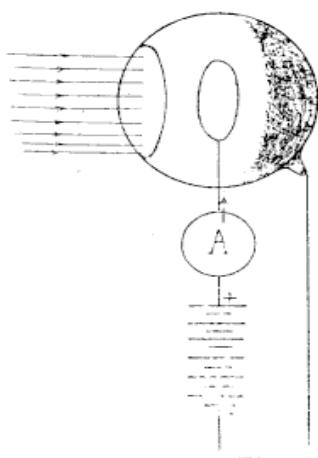


Fig. 11. — Montage élémentaire d'une cellule photoélectrique.

les radiations, une radiation possède un quantum d'énergie d'autant plus grand que sa longueur d'onde est plus courte. Par conséquent, pour pouvoir extraire des électrons de la couche, la lumière devra avoir une longueur d'onde maximum, autrement dit une fréquence minimum. Au-dessous de cette fréquence, aucun courant ne circulera dans l'ampoule, si intense que soit l'éclairage. L'existence de cette fréquence minimum, appelée **fréquence de seuil**, est pleinement confirmée par l'expérience.

Supposons que la lumière employée ait une fréquence largement suffisante pour produire cet arrachement des électrons. Ils vont quitter l'atome avec un excès d'énergie, donc une certaine vitesse, et un courant circulera déjà dans l'ampoule, même sans la batterie de pile de la figure II. Ce courant, très faible il est vrai, mais mesurable, est facilement constaté avec un galvanomètre sensible. Pour l'annuler, il faut donner au contraire à l'anneau un potentiel négatif, c'est-à-dire connecter la batterie à l'envers, mais une tension assez faible est suffisante, de l'ordre de 1 à 3 volts avec la lumière visible. Il est

à remarquer, d'ailleurs, que seule la fréquence de la lumière incidente intervient dans la valeur de ce « potentiel retardateur ». L'intensité de la lumière n'a aucune influence sur lui, dès l'instant que cette lumière reste toujours de la même couleur. Un éclairage plus ou moins fort n'a d'effet que sur l'intensité du courant. On doit donc considérer que la vitesse de l'électron, après son extraction, dépend uniquement de la **longueur d'onde** de la lumière. Un éclairement plus ou moins fort a seulement pour résultat d'agir sur plus ou moins d'éléments, donc d'arracher plus ou moins d'électrons aux atomes, donc finalement d'augmenter ou de diminuer le courant. Ces résultats avaient déjà été mis en équation par Albert Einstein et furent vérifiés expérimentalement ensuite par plusieurs chercheurs. Aussi l'étude des phénomènes photoélectriques fut-elle une éclatante confirmation de la théorie des quanta.

Quels sont maintenant les résultats pratiques de ces observations ? D'abord, l'intensité dans la cellule étant proportionnelle à l'éclairage, on a avec elle un relais excellent n'introduisant pas de déformations. Ce relais est d'ailleurs très fidèle, et n'a pratiquement aucune inertie, à cause de la vitesse considérable avec laquelle les électrons parcourrent l'espace de la couche à l'anneau. Enfin il existera une radiation pour laquelle la cellule aura une sensibilité maximum. Sa fréquence dépendra essentiellement de la structure atomique de la couche sensible.

On sait que les sources lumineuses couramment utilisées (lampes à incandescence ou arcs électriques) rayonnent leur maximum d'énergie en rayons infra-rouges. On cherchera donc à construire les cellules, autant que possible, avec une sensibilité maximum pour ces rayons. La figure 12, courbe 1, représente la variation du courant en fonction de l'éclairage, relevée avec une cellule à vide très élevé. On voit que le courant anodique obtenu est toujours extrêmement faible. C'est évidemment un défaut pour les appareils de film sonore, car le moindre courant de fuite par défaut d'isolation, dépôt de vapeur d'eau, etc..., prend une importance relative très grande, il en résulte des crachements dans le son donné par les hauts-parleurs.

Aussi essaye-t-on fréquemment d'augmenter le courant en introduisant un peu de gaz inerte, pour mettre à profit les phénomènes d'ionisation dont nous avons parlé. L'ionisation ne peut se produire dans les cellules à vide très poussé bien que, dans le meilleur que l'on sache produire, il y ait encore plusieurs milliards de molécules de gaz par centimètre cube. Malgré lénormité de ce chiffre, les électrons sont si petits que la probabilité de rencontre de l'un d'entre eux avec une molécule de gaz reste très faible.

Pour que l'ionisation devienne normalement possible, il faut

done augmenter le nombre des molécules de gaz. On choisit un gaz parfaitement inactif chimiquement vis-à-vis de la couche sensible. Or cette couche est presque toujours constituée par du sodium ou du potassium, et ces métaux se combinent directement avec presque tous les gaz ordinaires. On a donc recours aux gaz appelés « Gaz Rares » et c'est généralement l'Argon qui est choisi. Il est, en effet, relativement facile de se le procurer et, d'autre part, son potentiel d'ionisation est assez faible (15 volts environ). L'argon est donc introduit dans la cellule sous la pression de quelques milliers de Baryes (quelques millimètres de mercure). Dans ces conditions, le courant anodique de la cellule peut être centuplé. Mais par contre la caractéristique n'est plus aussi bien droite (courbe II, fig. 12). A

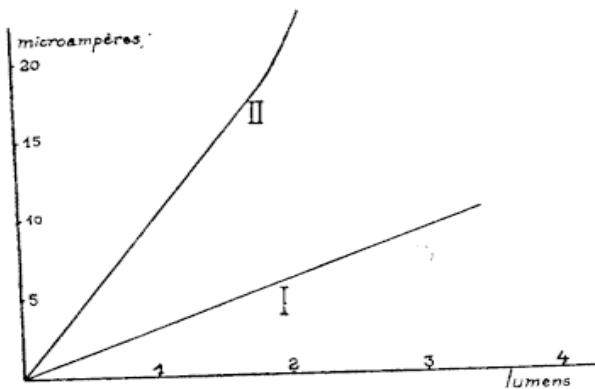


Fig. 12. — Caractéristiques de courant anodique de cellulés photoélectriques.

un certain moment, elle s'incurve fortement. D'autre part, le courant n'est plus aussi « instantané » qu'avec la cellule à vide. Cela tient à ce que les atomes de gaz, transformés en ions positifs par choc, sont de masse beaucoup plus grande que les électrons. De plus, la décharge dans le gaz aurait tendance à s'embalier.

En fait, pour les fréquences utilisées dans le film sonore, la cellule à gaz est assez rapide. L'emballement de la décharge est facilement évité en mettant dans le circuit de l'anneau une très grande résistance, de l'ordre du mégohm, qui sert précisément au couplage avec la première lampe de l'amplificateur. Dans ces conditions, et en restant dans la partie droite de la caractéristique, la cellule à gaz sous très basse pression donne de très bons résultats. Aussi est-elle adoptée par beaucoup de bons constructeurs d'appareils de cinéma sonore.

La forme des cellules est généralement un petit ballon d'allure sphérique comme celle de la figure 11. Une disposition avantageuse

consiste à faire sortir le fil relié à la couche par le haut, de manière à augmenter la distance entre les deux fils de sortie, et d'augmenter leur isolement. D'autres enfin ont la forme d'une lampe de T. S. F. ordinaire et la couche sensible est déposée sur une plaque fixée sur un support. La composition de la couche comprend généralement du sodium, du potassium ou un alliage caesium-magnésium. Une théorie plus approfondie montre que le rendement maximum serait obtenu si le métal sensible n'était déposé que sous l'épaisseur d'un atome. Pour essayer de se rapprocher de cette condition, on a d'abord utilisé la distillation du métal dans le vide, puis l'électrolyse, le métal étant alors introduit par filtration entre les molécules du verre, puis enfin en volatilisant un fragment par chauffage dans un champ à haute fréquence.

Les cellules photoélectriques actuelles sont très coûteuses et se détériorent assez facilement. Une élévation de température trop grande, par exemple, peut les rendre sourdes. Néanmoins, elles sont très fidèles et n'apportent généralement aucune déformation dans la reproduction du son.

On a cherché aussi à utiliser la cellule au sélénium. Le sélénium, métalloïde de la même famille que le soufre et l'oxygène, peut se présenter sous plusieurs formes. L'une d'elles, la variété cristalline grise, possède la propriété remarquable, découverte il y a déjà soixante ans, d'être beaucoup plus conductrice à la lumière que dans l'obscurité. De plus, cette variation est beaucoup plus importante que dans les cellules photoélectriques. Celles-ci, nous l'avons dit, ne peuvent guère donner que quelques microampères. Pourtant le sélénium est presque complètement délaissé. On lui reproche en effet de ne transmettre les variations de lumière qu'avec un retard. Ce retard est facile à mettre en évidence. Cependant certains auteurs qualifiés affirment que ce retard est négligeable en régime variable. D'après eux, les insuccès proviendraient surtout d'une construction défectueuse des cellules au sélénium. De fait, elles ont été laissées de côté et peu travaillées. Nous n'avons pas eu personnellement l'occasion de les expérimenter sérieusement. Il est certain, néanmoins, que l'idée mériterait d'être creusée davantage, puisque le courant obtenu, plus puissant qu'avec les cellules aux métaux alcalins, permettrait de supprimer un étage d'amplification et par conséquent de simplifier la construction des appareils sonores.

Enfin, nous ne citerons que pour mémoire les cellules photovoltaïques. Elles utilisent un phénomène appelé **effet Becquerel**. Si l'on éclaire l'une des électrodes lors de l'électrolyse de certaines substances, une force électromotrice mesurable apparaît. Ces cellules, intéressantes scientifiquement, n'ont reçu aucune application pratique au film sonore.

CHAPITRE IV

L'ENREGISTREMENT DES FILMS SONORES

Tout le monde sait que la vitesse du disque de Gramophone ordinaire doit être rigoureusement constante. Si on freine un disque avec le doigt pendant une audition le diapason descend et pendant ce changement la musique est fausse. De plus il est préférable que cette vitesse soit, non seulement constante, mais strictement égale à celle de l'enregistrement. Si cette condition n'est pas remplie, les voix sont déformées. Si, par exemple, un disque tourne trop vite, une voix d'homme pourra ressembler, assez mal d'ailleurs, à une voix de femme. La hauteur d'une voix de femme est en moyenne, environ, un octave au-dessus d'une voix d'homme (fréquences doublées). Aussi la vitesse des disques de gramophone ordinaire a-t-elle été depuis longtemps fixée à 78 tours à la minute ; elle est universellement adoptée par tous les éditeurs.

Pour les films sonores, on a adopté de même des « vitesses standard ». Rappelons tout d'abord que les appareils actuels peuvent fonctionner avec disque ou avec le système « film ».

Dans le premier système on utilise des disques beaucoup plus grands que ceux des gramophones ordinaires. Ils ont 40 centimètres de diamètre environ, mais par contre ils tournent beaucoup plus lentement, seulement à 100 tours en trois minutes, soit 33 tours 1/3 à la minute. En matière de reproduction sonore, seule, bien entendu, la vitesse linéaire du sillon sonore a une importance. La vitesse angulaire plus faible que celle des disques de gramophone est compensée par le diamètre plus grand, et finalement le résultat obtenu est le même. Mais on peut aussi mettre sur le disque une longueur totale de sillon quatre fois plus grande (environ) que sur un disque ordinaire. Aussi un tel disque peut-il jouer pendant 12 à 13 minutes environ. En 12 minutes, l'opérateur a le temps de mettre le disque et la bobine de film suivants sur l'autre projecteur, et on peut ainsi jouer sans interruption.

Nous signalons, en passant, que toutes les cabines bien installées ont deux projecteurs. On peut ainsi, en alternant les deux machines, jouer sans arrêt aussi longtemps qu'on le désire. Avec un bon opérateur, le passage d'une machine à l'autre peut se faire sans que le

public s'en aperçoive. On évite ainsi les interruptions continues énervantes pour le spectateur. D'autre part, presque toutes les machines sonores de bonne marque sont constituées pour marcher indifféremment avec le système « disque » ou avec le système « film ».

Dans le système « film », on a sacrifié sur le côté du film une certaine largeur de l'image (3 mm. environ) pour y imprimer une « bande sonore ». Sur cette bande, une ondulation de noir et de blanc copiée par la voie photographique a été faite à la demande du courant sonore qui était produit par le microphone, lors de l'enregistrement. Un rayon lumineux, spécialement produit à cet effet, traverse cette bande et pénètre ensuite dans une cellule photoélectrique. Cette cellule laisse donc finalement passer un courant qui se trouve être le même que celui du microphone enregistreur. La vitesse de déroulement du film, qui est d'ailleurs la même dans la reproduction par disque a été choisie égale à 24 images à la seconde. Cela correspond à 1.640 mètres de film à l'heure, soit 456 mm. à la seconde. Nous verrons, lorsque nous étudierons en détail la reproduction, les mérites respectifs des deux systèmes.

INSTALLATION DES SYSTÈMES ENREGISTREURS

Dans ce chapitre, nous nous occupons seulement de la question **technique** de l'enregistrement. Les détails pratiques et artistiques seront examinés ultérieurement.

La figure 13 représente un schéma très simplifié d'un studio d'enregistrement. Les acteurs parlent et agissent dans un décor préparé. Leurs mouvements sont enregistrés par un appareil de prise de vues analogue à ceux qui furent utilisés longtemps pour le cinéma muet mais qui, toutefois, est entraîné par un moteur synchrone branché sur le réseau de courant alternatif alimentant le studio. En même temps, leurs voix et les bruits divers qu'ils peuvent produire (bruit de pas, chocs des objets maniés, etc...) sont captés par un microphone **M**. Le courant de ce microphone va dans une chambre spéciale, isolée du studio au point de vue sonore, et où des opérateurs spécialisés s'occupent de l'enregistrement du son.

Cet enregistrement est réalisé par une machine entraînée par un moteur synchrone branché sur le même réseau que celui de l'appareil de prise de vues. On sait qu'un moteur synchrone, une fois accroché sur un réseau, tourne à une vitesse rigoureusement constante, dépendant uniquement de la fréquence du réseau. L'enregistrement du son et l'enregistrement de l'image sont donc ainsi conduits simultanément et absolument à la même vitesse. Bien entendu, les moteurs employés sont de puissance notablement supérieure à celle qui est

nécessaire. De plus, les appareils portent encore des volants et amortisseurs. De cette manière on obtient non seulement un synchronisme moyen, mais un synchronisme complet même dans un espace de temps très court parce que l'on évite les oscillations de chacune des machines autour d'une vitesse moyenne. Le moteur **A** entraînera donc un film ordinaire alors que le moteur **B** peut entraîner un ou plusieurs disques, ou un film, ou les deux ensemble.

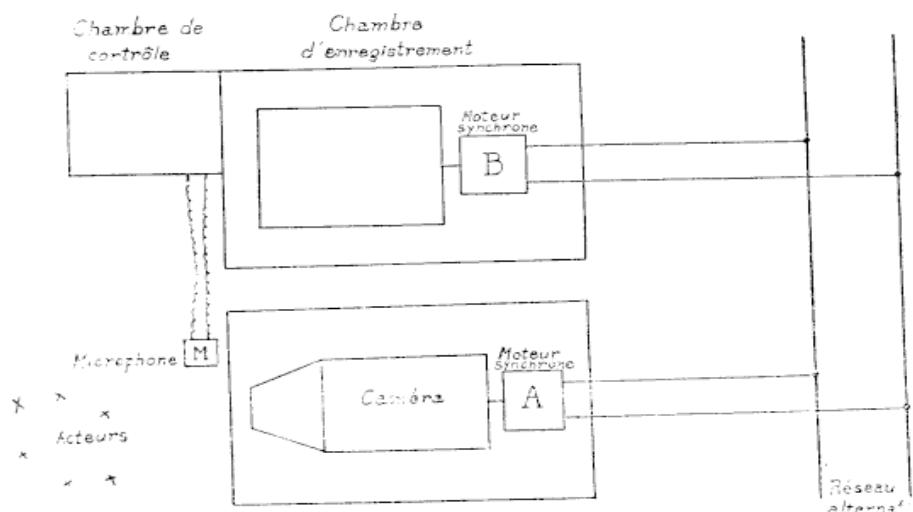


Fig. 13. — Schéma de principe général d'une installation d'enregistrement cinématographique sonore.

En général, le courant venant du ou des microphones passe d'abord par une chambre de contrôle où se trouve un opérateur. Ce dernier se charge de la répartition et du réglage du courant microphonique. Il s'occupe de passer d'un microphone à l'autre, s'il y en a plusieurs. Il observe la scène à travers plusieurs fenêtres successives car son local est bien fermé et isolé au point de vue sonore. Presque toujours un petit haut-parleur lui répète les sons pour lui donner ainsi une idée exacte de la puissance de l'enregistrement.

Le microphone joue, bien entendu, un rôle capital dans l'enregistrement. Aussi étudierons-nous cette question un peu en détail. Nous rappellerons brièvement le principe du premier microphone à charbon, imaginé par Bell, et réalisé ensuite par Edison en 1877. On utilise la variation de résistance du contact d'un ou plusieurs fragments de charbon. La figure 14 représente le schéma du microphone à grenade, tel qu'il est encore employé aujourd'hui pour le téléphone. Une plaque de charbon **A** communique électriquement avec un bloc

de charbon **B** par les contacts de petits fragments de coke ou de graphite contenus dans de petites cuvettes. Sous l'influence des pressions sonores arrivant suivant la flèche, les résistances de contact varient et il en résulte dans le circuit, alimenté par une pile, un courant variable qui peut être recueilli entre les bornes **a** et **b**. Une étude mathématique de la question prouve que ce courant représentera fidèlement le son sous les deux conditions suivantes :

1) La variation de cette résistance de contact devra être très faible vis-à-vis de la résistance totale du circuit. Par exemple, elle sera de 0,01 à 0,1 au maximum de cette résistance.

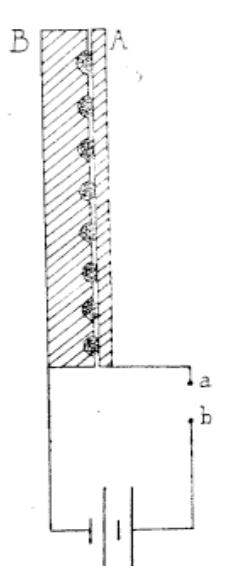


Fig. 14. — Principe du microphone à grenille de charbon ordinaire.

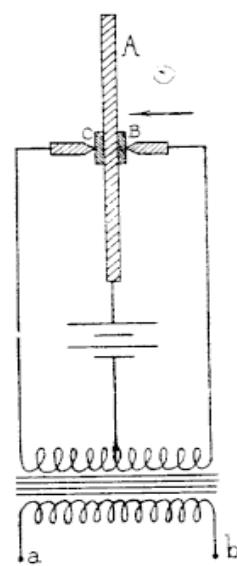


Fig. 15. — Microphone à montage à contre-temps de la Western Electric et Cie.



Fig. 16. — Principe du microphone à condensateur.

II) La plaque vibrante **A** ne devra pas avoir de fréquence propre, ou si elle en a une, cette fréquence sera en dehors de l'échelle des fréquences reçues sur cette plaque. On entend par fréquence propre la fréquence des vibrations du son rendu par la plaque si elle subit un choc. La solution généralement adoptée est de sertir la plaque **A** de telle manière que sa fréquence propre soit au-dessus des fréquences intéressantes. Pour les films sonores on peut la rendre égale à 6.000 ou 7.000 périodes à la seconde. On se trouve ainsi au-dessus de la plage habituelle de la voix, de la musique et des bruits.

Dans la suite les microphones ont été perfectionnés surtout dans les débuts de la radiophonie. A ce moment, en effet, la question se posait de la même manière que pour le cinéma sonore. Un grand nombre de solutions différentes ont été proposées pour éviter les fréquences propres dans l'émission en radiotéléphonie. Par exemple, on a construit des microphones formés d'un bloc de marbre où le charbon granulé était logé dans des trous et le tout était recouvert d'une mince membrane de caoutchouc.

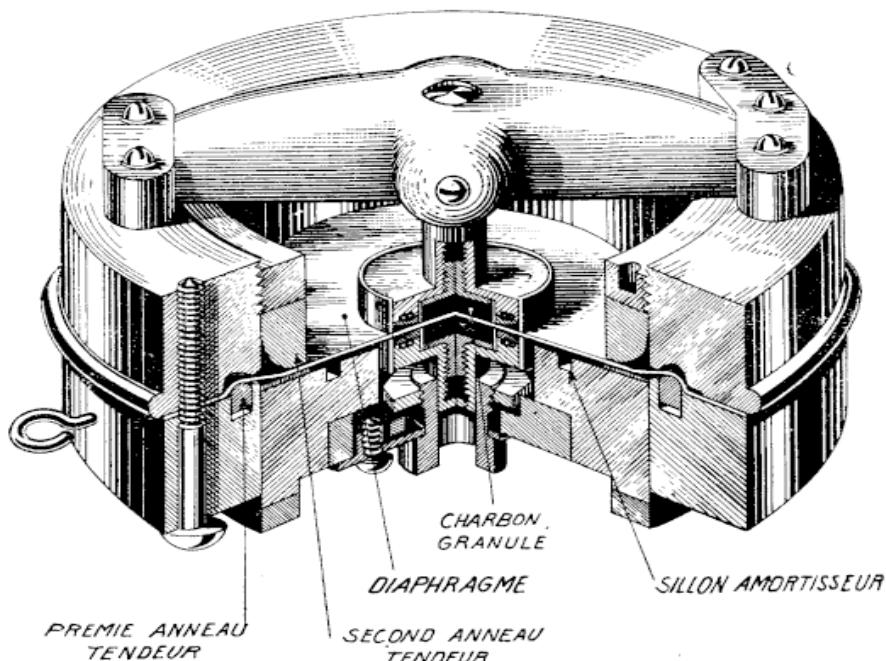


Fig. 17. — Microphone au charbon Western electric.

Toutefois un des meilleurs systèmes a été réalisé, il y a déjà un certain temps, par la Western Electric C° qui la première a adopté le montage à double circuit ou à contre-temps (montage push-pull) dont le principe est représenté dans la figure 15. Le courant de la pile se divise en deux parties égales dans un transformateur à point milieu. La plaque vibrante de charbon A travaille électriquement des deux côtés à la fois avec les contacts B et C où appuient deux pointes de charbon. Supposons qu'une onde sonore arrive dans le sens de la flèche. La plaque A se déforme vers la gauche. La résistance de contact va augmenter en B et diminuer en C. Il est donc facile de voir que, dans le primaire du transformateur,

les deux effets produits s'ajoutent. De plus, si on examine mathématiquement la question, on trouve un meilleur résultat que dans le montage simple de la fig. 14. Les plus importants des harmoniques de déformation s'y trouvent en effet supprimés. Aussi ce principe est-il généralement adopté. La plaque vibrante en charbon est remplacée par une feuille de duralumin de 4/100^e de mm. d'épaisseur environ. De chaque côté, pour augmenter le nombre des contacts, on place une grenaille d'anthracite spécial préalablement traité chimiquement pour réduire sa teneur en cendres. Le diaphragme en duralumin est bien tendu et fixé par un dispositif mécanique convenable (fig. 17).

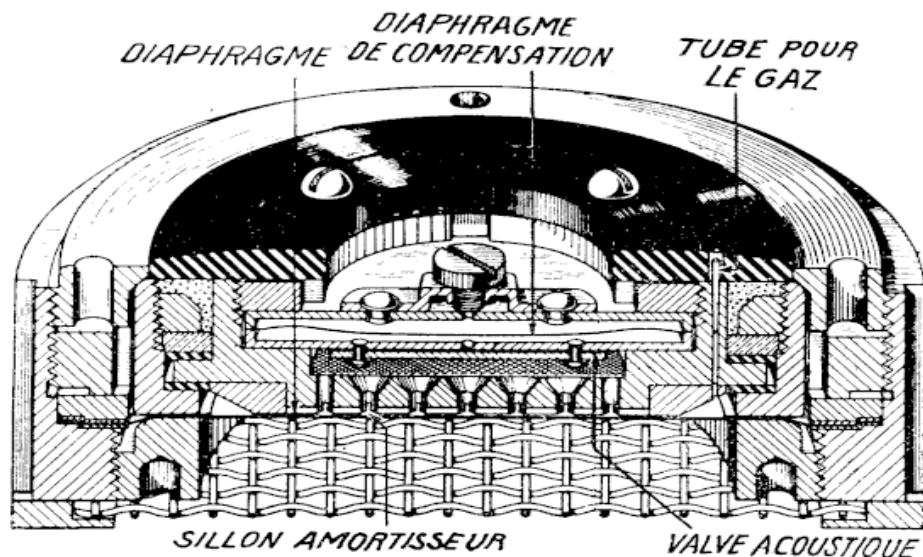


Fig. 18. — Microphone à condensateur Western Electric.

Un autre système de microphone couramment utilisé dans les studios est le microphone à condensateur représenté schématiquement dans la figure 16. Une plaque épaisse **B** est considérée comme indéformable. En face d'elle, et à une très faible distance, se trouve une feuille métallique mince **A**. L'ensemble forme donc un condensateur à diélectrique d'air. La plaque et la feuille sont placées dans un circuit comprenant une pile. Si des sons arrivent sur la feuille **A**, elle se déforme et se rapproche ou s'éloigne de **B**. La capacité du condensateur se trouve modifiée et un courant circule qui est d'autant plus grand que la tension de la pile est plus forte. La variation de l'espace entre **B** et **A** sous la pression du son doit rester faible vis-à-vis de cet espace lui-même. Bien entendu, les courants micro-

phoniques ainsi produits sont excessivement faibles, de beaucoup inférieurs à ceux fournis par les microphones au charbon. La réactance du condensateur est toujours beaucoup plus grande que la résistance ohmique du reste du circuit. Le calcul prouve que cette condition est favorable à une traduction fidèle des ondes sonores en ondes électriques.

Le principe du microphone à condensateur fut indiqué par Dolbear en 1881 mais, vu l'extrême faiblesse des courants produits, il ne peut être utilisé pendant longtemps parce qu'on ne connaissait pas encore les tubes à trois électrodes et il fallait absolument une amplification. Un premier système fut mis au point par Wente en 1917.

A l'heure actuelle le microphone à charbon et le microphone à condensateur sont utilisés concurremment. Le premier donne des courants assez puissants qui sont conduits généralement directement à la chambre de l'opérateur-moniteur. Le second est au contraire la plupart du temps monté sur un amplificateur et c'est ce courant amplifié qui est envoyé au moniteur.

D'autres systèmes de microphones avaient été expérimentés pour la radiophonie. Entre autres, un système proposé était constitué par une mince bande de métal mobile dans un champ magnétique puissant. Jusqu'à présent, ces dispositifs ne paraissent pas avoir reçu d'applications aux studios sonores.

Il y a lieu, toutefois, de signaler la tendance toute récente à employer les microphones dits « électrodynamiques ». Ils ne sont pas autre chose que la réciproque des hauts-parleurs électrodynamiques dont le fonctionnement est expliqué au chapitre IX, et qui constituent des machines électriques réversibles. Si, en effet, on attache une petite bobine à une membrane et qu'on la place dans un champ magnétique dont les lignes de force sont dirigées vers son centre, tout mouvement de la membrane engendre une tension aux bornes de cette bobine (voir fig. 70). Le fait est d'ailleurs facile à vérifier avec un haut-parleur de T. S. F. quelconque. Il suffit de brancher à ses bornes un écouteur téléphonique et de frapper sur sa membrane avec l'ongle. On entend alors le bruit du choc dans l'écouteur, ce qui implique la production d'un courant.

Jusqu'à ces derniers temps ce principe, pourtant connu de longue date, n'avait pas encore été appliqué sérieusement à la construction des microphones, même en radiodiffusion. On considérait sans doute que l'ensemble de la bobine et de la membrane aurait nécessairement trop d'inertie pour pouvoir suivre fidèlement les impulsions transmises par l'air. Il ne faut pas oublier, en effet, que la puissance

parvenant normalement à un microphone sous forme de vibrations mécaniques de l'air se chiffre par une fraction de microwatt.

Il semble que l'on soit arrivé à une nouvelle conception. Les derniers progrès dans la construction ont permis d'ailleurs de fabriquer des bobines enroulées avec une bande d'aluminium très mince, et d'une grande légèreté. Les microphones électrodynamiques ont alors été lancés dans la pratique et utilisés dans les studios d'enregistrement. Ils ont même été présentés par certains constructeurs comme étant supérieurs aux systèmes à charbon et à condensateur. L'avenir seul pourra sanctionner une supériorité définitive des uns ou des autres. En tout cas il semble bien que la réalisation d'un microphone parfaitement fidèle soit un problème très difficile.

Pour la prise de vues, il faut nécessairement que le ou les microphones soient disposés en dehors du champ de l'image. On peut les dissimuler dans les décors ou bien les suspendre en l'air à une hauteur suffisante.

Depuis longtemps, on a l'habitude de se servir de plusieurs microphones à la fois. Cela permet de rendre de meilleurs effets. Il y a lieu, pour certains scénarios, d'enregistrer le son dans une partie déterminée de la scène. Si plusieurs groupes de personnes sont en train de discuter, il est parfois nécessaire de donner la préférence à un certain groupe dont la conversation est particulièrement intéressante pour le film. C'est au moniteur enfermé dans sa cabine de contrôle qu'appartient la mission de passer au moyen de commutateurs convenables d'un microphone à l'autre.

On a reconnu toutefois qu'un tel procédé avait certains inconvénients au point de vue artistique. Aussi, a-t-on cherché à employer un seul microphone dans certains studios. On a essayé de la suspendre à un bras mobile ayant l'aspect d'une potence. Cette potence est rotative et extensible grâce à un dispositif approprié, ce qui permet d'amener à volonté le microphone au-dessus de tel acteur dont la parole, à un moment déterminé, présente un intérêt particulier.

On a également essayé de placer le microphone au foyer d'un grand miroir sonore parabolique dont le rôle est de réfléchir et de concentrer le son sur lui. En dirigeant l'axe du miroir vers un certain point de la scène, on donne la préférence aux sons qui partent de ce point. Pour ce qui concerne la disposition du studio il faut, bien entendu, un soin tout particulier au point de vue sonore. Il est tout d'abord indispensable de l'isoler complètement de l'extérieur. Pour réaliser cette condition, simple en apparence, il faut encore des précautions assez grandes. Certains bruits extérieurs tels que les aver-

tisseurs d'automobiles, les sifflets de locomotives ont une assez grande pression sonore et doivent être soigneusement étouffés.

Ensuite le matériel utilisé ne doit non plus produire aucun bruit parasite. A cet effet, la chambre du moniteur, le local d'enregistrement sont soigneusement isolés. Il en est de même des cabines où sont enfermées les caméras de prise de vues (en général, au moins deux) et la photographie animée est aussi prise à travers une double glace.

On a toutefois tendance actuellement à placer les caméras dans le studio lui-même. Elles sont seulement rendues parfaitement silencieuses et montées sur roues caoutchoutées.

La transformation du studio muet en studio sonore a d'ailleurs exigé une complète rééducation du personnel et des acteurs. Dans les studios muets, tous les commandements, recommandations ou appréciations du metteur en scène, etc... se faisaient généralement au porte-voix. Dans un studio sonore tout se passe exclusivement par signes, gestes ou signaux lumineux. Les metteurs en scène ont dû mettre en œuvre un véritable langage télégraphique conventionnel pour pouvoir à chaque instant, sans faire de bruit, indiquer à tel acteur que son jeu manque d'adresse, à tel autre qu'il doit parler plus fort ou plus vite.

Dans un studio sonore on emploie un personnel considérable (artistique et technique). Les appareils d'enregistrement coûtent très cher et ne peuvent être mis entre les mains que de techniciens exercés. Les seules licences à payer aux sociétés qui détiennent les brevets pour les systèmes d'enregistrement représentent déjà de lourdes dépenses. Dans de telles conditions, on le conçoit aisément, la moindre erreur obligeant à recommencer une scène cause un préjudice énorme à la maison éditrice et vient augmenter le prix de revient final de la copie. Ainsi une bonne discipline des acteurs et du personnel technique est-elle d'une importance capitale.

L'éclairage même du studio sonore a dû être spécialement étudié. Pour le cinéma muet, on employait généralement des lampes à arc alimentées par des groupes tournants ou parfois des lampes à vapeur de mercure ou au néon. Or la lampe à arc possède une propriété bien connue : les ondulations très petites, mais de fréquence musicale, produites par le collecteur des machines à courant continu, se manifestent en faisant chanter l'arc. On a donc tout d'abord prohibé les lampes à arc dans les studio sonores, puis ont les a reprises après avoir intercalé dans leur circuit un filtre formé d'un assemblage d'autoinductances et de condensateurs. Le chant musical de l'arc se trouve ainsi supprimé. On peut aussi alimenter les arcs avec des batteries d'accumulateurs qui fournissent un courant parfaitement

continu. Cependant, les grosses intensités nécessaires réclament des batteries très grosses et par conséquent très coûteuses.

On a cherché à utiliser les lampes à incandescence, et c'est là encore actuellement la solution la plus généralement adoptée. Les lampes du type « demi-watt » étudiées spécialement pour les studios peuvent avoir une puissance allant jusqu'à 10 kw. Elles fourniraient donc une intensité lumineuse de près de 20.000 bougies décimales. Dans les meilleurs systèmes d'éclairage, la lumière est dirigée sur les acteurs avec une combinaison de réflecteurs et de lentilles. Les lampes à incandescence ont surtout l'inconvénient de dissiper dans l'atmosphère de la salle une énergie considérable sous forme de chaleur. Il en résulte une élévation de température à laquelle il faut remédier par une ventilation convenable.

Enfin on utilise aussi les tubes luminescents à vapeur de mercure ou au néon ou une combinaison des deux à la fois.

Sur le schéma de la figure 13, l'appareil de prise de vues et l'appareil de prise de son se trouvent séparés. On a toutefois utilisé certains appareils réunissant les deux (Bell et Howell adopté par Fox-Case C°) mais ces dispositifs semblent disparaître.

Nous reviendrons à la fin de ce chapitre sur quelques détails du studio.

APPAREILS DE PRISE DE VUES (CAMÉRAS)

Un appareil de prise de vues est constitué à peu près comme un projecteur (Cf. chapitre 1). Le film est entraîné par saccades derrière l'objectif et un dispositif mécanique découvre l'objectif dans les intervalles de temps où le film reste immobile. Toutefois, pour alléger l'appareil et le rendre plus silencieux, on remplace généralement la croix de Malte par une griffe qui accroche le film.

Ce dispositif est bien inférieur au point mécanique et risque davantage de détériorer les perforations mais l'inconvénient est ici bien moindre puisque le film négatif ne passe qu'une fois dans la caméra. Les objectifs utilisés sont de première qualité et de grande ouverture (F/1,5 environ). Aussi sont-ils très coûteux.

Un cache spécial adapté dans la fenêtre de l'appareil recouvre la largeur réservée à la bande sonore.

Comme nous l'avons dit, la caméra est actionnée par un moteur synchrone de puissance relativement grande branché sur le réseau alternatif qui alimente le studio. Le nombre de pôles du moteur et les engrenages d'entraînement sont calculés de manière à obtenir finalement le passage devant l'objectif de 24 images à la seconde pour la fréquence normale du réseau. L'expérience prouve que la

vitesse obtenue de cette manière est suffisamment constante. Il est à remarquer, en effet, que si les brusques chutes de tension sont fréquentes sur les réseaux, surtout les petits, il n'en est pas de même de la fréquence. Les compagnies de distribution s'appliquent généralement à la maintenir constante. De plus, si elle varie, c'est toujours très lentement. La masse des alternateurs et moteurs synchrones accrochés sur le réseau représentent une inertie totale très grande qui interdit toute variation rapide. Or une variation de tension n'a aucune influence sur la vitesse moyenne d'un moteur synchrone.

CHAMBRE DU MONITEUR

L'opérateur moniteur joue un rôle considérable dans l'enregistrement car de sa chambre, parfaitement étanche à tous les sons, il observe et règle toute la partie électrique. Par un système de signaux lumineux, il se maintient en relation constante avec le metteur en scène. Tous deux se communiquent leurs impressions critiques ou artistiques. Pour guider le moniteur un petit haut-parleur est, comme nous l'avons déjà dit, placé dans sa chambre. Dans le cas où l'enregistrement se fait seulement sur disque ce haut-parleur est simplement branché sur les amplificateurs. Si l'enregistrement se fait sur film, ou par les deux systèmes à la fois, il est alimenté d'une autre manière que nous examinerons ultérieurement. De toute façon, le haut-parleur apporte au moniteur la traduction fidèle du courant sonore enregistré et lui permet par exemple de faire arrêter la scène immédiatement si quelque chose d'anormal se produit.

ENREGISTREMENT SUR DISQUES

Nous sommes donc en possession du courant sonore venant du ou des microphones. Ce courant est trop faible et demande à être amplifié. D'ailleurs, nous l'avons déjà signalé dans le cas où un microphone à condensateur est utilisé, une première amplification est déjà nécessaire tout près de lui.

Les amplificateurs installés dans la salle d'enregistrement sont d'un modèle identique à ceux qui sont utilisés pour la reproduction. Nous renvoyons le lecteur à leur étude au chapitre « Reproduction » où sont passées en revue les différentes manières dont les tubes à trois électrodes sont utilisées dans ce but. On peut ainsi éléver la puissance du courant microphonique jusqu'à l'ordre du décivatt ou du watt. Il s'agit maintenant de l'enregistrer, c'est-à-dire de réaliser avec lui une impression qui sera finalement l'image des ondes sonores captées par le microphone.

Dans le système disque, cette impression se fait par voie électromécanique. L'instrument utilisé pour cela rappelle beaucoup le réproducteur électrique (pick-up) qui est aujourd'hui un objet familier à tous. Il effectue simplement l'opération inverse, c'est-à-dire transforme la puissance du courant sonore en puissance mécanique. Le pick-up, au contraire, transforme la puissance mécanique en puissance électrique.

On comprend donc facilement qu'ils soient identiques comme construction. C'est là un simple cas particulier de la loi générale de réversibilité des machines électriques. De même une dynamo à courant continu peut fonctionner en moteur ou un alternateur peut fonctionner en moteur synchrone.

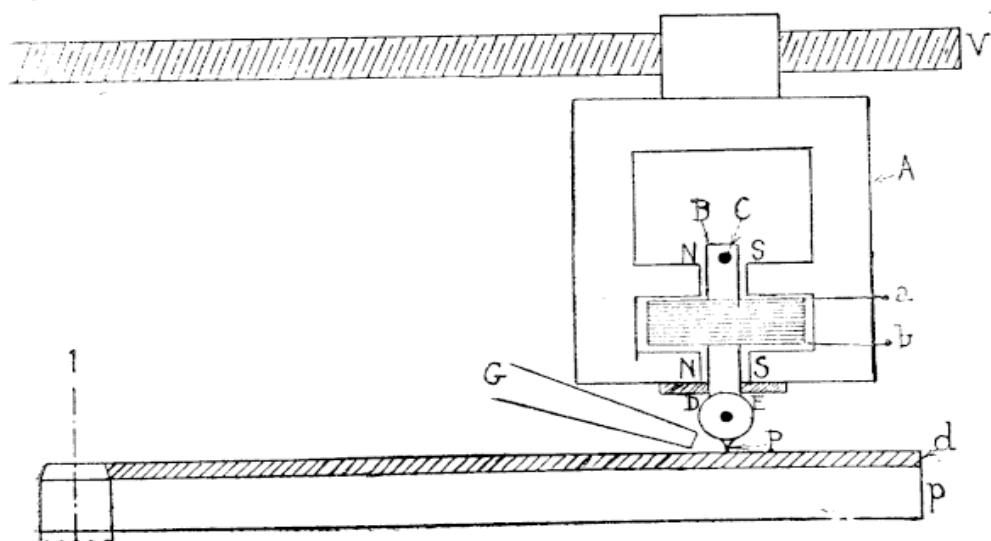


Fig. 19. — Montage général d'un enregistrement sonore sur disque.

La construction des enregistreurs pour disques varie beaucoup avec les fabricants mais le principe reste toujours le même. La fig. 19 représente un tel appareil schématisé. Un aimant ou électro-aimant **A** possède des épanouissements polaires doubles **NN** et **SS** qui laissent libres deux entrefers égaux. Dans ces espaces se trouve logée une palette de fer doux de très bonne qualité **B** qui est mobile autour d'un point **C** dans l'entrefer supérieur soit par un pivot soit par une petite lame tendue perpendiculairement au plan de la figure. Ses mouvements sont limités et amortis par deux blocs de caoutchouc **D** et **E** dont la pression sur elle peut d'ailleurs être rendue réglable. Ce caoutchouc est formé d'une gomme très pure à laquelle on a incor-

poré divers ingrédients destinés à augmenter son pouvoir absorbant pour les chocs. La palette de fer est terminée par une pointe gravante **P**. Enfin, elle est entourée d'une bobine dont les bornes **a** et **b** reçoivent le courant sonore à la sortie de l'amplificateur de puissance.

Cet ensemble est disposé au-dessus d'un plateau très lourd **P** circulaire et parfaitement horizontal. Ce plateau est commandé par le moteur synchrone **B** de la figure 13. La transmission, bien entendu, se fait par l'intermédiaire de **filtres mécaniques** destinés à absorber les vibrations et irrégularités de rotation produites par les engrenages les mieux taillés. Ces filtres sont généralement constitués par des amortisseurs à air ou à huile jumelés avec des entraînements

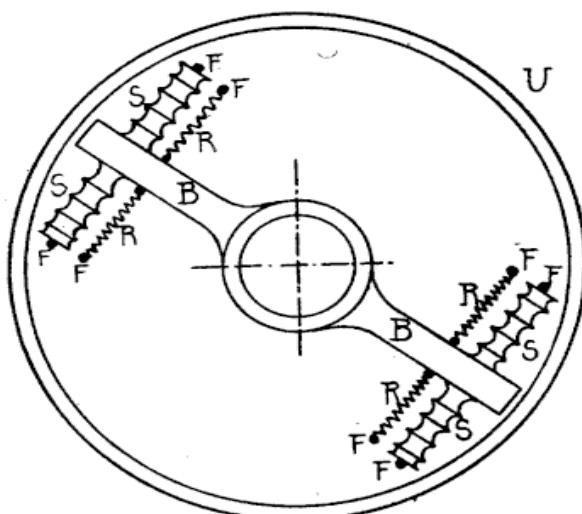


Fig. 20. — Volant régulateur muni d'un filtre mécanique.

par ressorts. La figure 20 représente le schéma de principe d'un tel filtre. Une roue **U** supposée creuse n'est pas calée sur son axe. Celui-ci porte seulement deux bras **B** pourvus à leur extrémité des ressorts **R** et de soufflets **S**. L'entraînement de la roue a lieu seulement par les points de fixation **F**. On conçoit que les vibrations imprimées à l'axe se trouvent, dans ces conditions, absorbées par les ressorts et les soufflets. La roue est donc entraînée d'un mouvement parfaitement régulier et on pourra la placer horizontalement et poser sur elle le plateau **P** de la figure 19. L'emploi de ces filtres mécaniques est d'ailleurs général dans l'industrie du film sonore et nous en reparlerons dans l'étude de la reproduction. Les soufflets à air peuvent

aussi être remplacés par de larges palettes et la roue est alors remplie d'une huile visqueuse.

Revenons à la figure 19. On place sur le plateau **P** un disque de cire **d** et la pointe pénètre dans ce disque de cire de $6/100^{\circ}$ de millimètre à $1/10^{\circ}$ de millimètre environ. Supposons qu'une tension alternative sinusoïdale soit appliquée aux bornes **a** et **b**. La théorie prouve que la pointe **P** sera animée de mouvements sinusoïdaux sous les réserves suivantes :

1) La force électromagnétique qui la met en mouvement doit être grande par rapport aux forces d'inertie dues à la masse, même aux fréquences téléphoniques élevées.

2) Sa fréquence propre, c'est-à-dire celle de sa vibration libre quand on lui imprime un choc, doit être en dehors de l'échelle des fréquences téléphoniques que l'on se propose d'enregistrer.

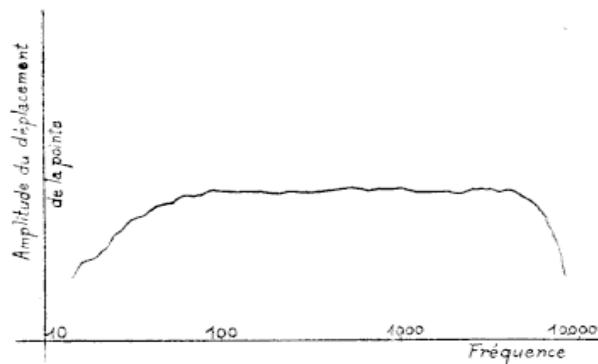


Fig. 21. — Courbe de « réponse » d'un enregistreur pour disques.

3) Son mouvement doit être très amorti sans toutefois dépasser une certaine limite, qui introduirait des retards dans ses mouvements.

Bien entendu, la résistance mécanique opposée par le disque **d** à la pointe traçante ne doit pas être trop grande et la cire vierge employée répond assez bien à cette condition.

Le mécanisme se réduit donc à ceci : le passage du courant dans la bobine **F** aimante alternativement la palette **B**. Son extrémité supérieure d'autre part ne peut subir aucun déplacement alors que son extrémité inférieure, rendue alternativement pôle nord ou pôle sud est attirée et repoussée successivement par les deux pôles **N** et **S** inférieurs de l'aimant. Il est évident que la qualité du fer de cette palette joue un grand rôle pour que son induction reste proportionnelle au courant circulant dans la bobine.

Pour déterminer la qualité d'un tel enregistreur, on peut y faire

passer des courants de fréquences très diverses et étudier chaque fois le mouvement mécanique de la pointe. Les résultats seront traduits par une courbe appelée « Courbe de Réponse ». De bons enregistreurs doivent avoir une bonne courbe de réponse dans une plage de 50 à 6000 périodes environ. La figure 21 représente une telle courbe. Les mesures sont supposées faites toujours avec la même intensité dans la bobine, seules les fréquences varient.

Les courbes sont établies de la manière suivante : On colle sur l'armature de fer **B** un très petit miroir sur lequel on projette un rayon lumineux qui, une fois réfléchi par le miroir, est reçu sur un écran. On produit ensuite devant le microphone des sons de fréquences variées au moyen, par exemple, de diapasons ou de tuyaux d'orgue.

Pour les diverses fréquences on mesure l'intensité passant dans la bobine **F** et on peut pour cela se servir d'un **indicateur de niveau** à tubes à trois électrodes, appareil très utilisé en téléphonie, qui permet d'amplifier le courant téléphonique, de le détecter (c'est-à-dire redresser) et enfin de le mesurer avec un milliampérémètre. On peut également employer des appareils où le redressement est réalisé avec des couples à l'oxyde de cuivre. De cette manière, l'intensité passant dans la bobine **F** peut être amenée à être la même pour toutes les fréquences et, dans ces conditions, l'amplitude de l'oscillation du rayon lumineux sur l'écran donne une idée de la manière dont l'appareil « répond » à la fréquence du courant reçu.

Signalons en passant un fait important : l'oreille de l'homme est beaucoup moins sensible que les appareils de physique aux variations d'intensité sonore. Nous avons dit au chapitre I que l'oreille devait être considérée comme un organe exceptionnellement perfectionné chez l'homme. C'est là, par conséquent, l'infériorité à peu près unique dont elle soit affligée par rapport à nos appareils de mesure. On admet généralement que pour obtenir une variation de puissance sonore sensible à l'oreille la pression du son doit varier du simple au double. Au contraire, un indicateur de niveau branché sur nos amplificateurs de courant sonore pourra mettre en évidence des variations beaucoup plus petites du son produit devant le microphone. Il résulte de cette remarque fondamentale qu'on peut avantagez légèrement certaines fréquences par rapport aux autres sans aboutir à une déformation importante du son perçu par l'oreille. Les appareils de mesure donneront, sur ce sujet, des appréciations trop sévères et le résultat pratique finalement obtenu sera en général meilleur qu'on ne l'aurait prévu.

Notons encore, relativement à notre enregistreur de la fig. 19 que la disposition inverse est fréquemment adoptée : l'axe mobile

de la palette **B** est alors en bas et l'entrefer variable est entre les pôles supérieurs.

En résumé, et avec les restrictions ci-dessus, l'enregistreur inscrira sur le disque de cire toutes les fréquences se trouvant dans les sons usuels de la parole ou de la musique. Or comme nous l'avons déjà signalé, un son périodique quelconque peut toujours être décomposé en sons sinusoïdaux simples. Un bon enregistreur tracera donc fidèlement un son complexe pourvu que les fréquences composantes qui le forment restent toutes dans la plage où la courbe de réponse est bonne.

La pointe **P** (fig. 19) traduira en déplacements mécaniques toutes les qualités du son qui a frappé le microphone. Comme le disque de cire tourne d'un mouvement régulier, il en résultera sur lui une ligne sinuuse creuse enroulée suivant une circonference, ou plus exactement suivant une spirale à spires successives très rapprochées.

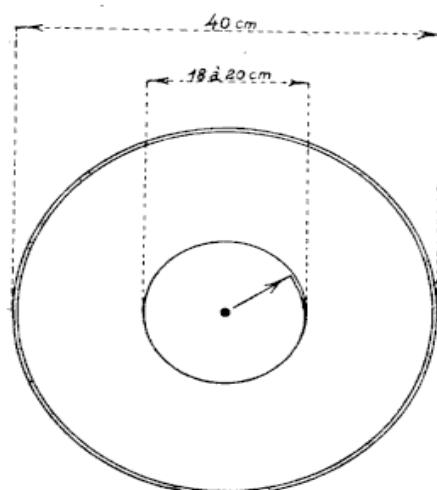


Fig. 22. — Dimensions habituelles d'un disque « synchrone » pour film sonore.

Pour obtenir en effet cette inscription sur une grande longueur, l'enregistreur est porté par une vis longue et parallèle au rayon du disque. Cette vis tourne d'un mouvement régulier transmis par le même mécanisme qui actionne le disque.

Nous avons dit que le mouvement de rotation des disques pour films sonores, tant à l'enregistrement qu'à la reproduction, était de 100 tours en 3 minutes. On arrive à loger environ 40 sillons par centimètre de largeur du disque ; il y a donc pour chaque sillon une largeur disponible d'environ 0,25 mm. Cet espace se décompose

ainsi : largeur du sillon lui-même 0,15 mm., largeur d'un espace libre entre deux sillons 0,10 mm. La profondeur du sillon est en moyenne de 0,08 mm.

On se trouve limité dans le resserrement des sillons :

1) par la finesse des aiguilles de reproduction.

2) par l'espace de 0,10 mm. qui doit séparer les sillons. Chaque sillon représente en effet une oscillation autour d'une ligne moyenne. Or les lois de l'électrotechnique démontrent que, lors de la reproduction, l'amplitude de chaque mouvement oscillant doit être d'autant plus grande que la fréquence du son est plus basse, pour obtenir une même tension à la sortie du pick-up. Si l'on réduit à l'excès l'espace entre deux sillons successifs, ils pourront arriver pour des notes basses et puissantes à chevaucher l'un sur l'autre. On doit éviter cet accident à tout prix, sinon, à la reproduction, le pick-up déraillerait d'un sillon au suivant et le disque serait absolument inutilisable.

Ce sont donc ces raisons pratiques qui ont fixé les chiffres ci-dessus. Comme on le voit sur la figure 22, le rayon utile du disque est d'environ 10 cm. (diamètre total maximum 40 cm. et diamètre de l'espace intérieur perdu 20 cm.). Il comprend donc environ $40 \times 10 = 400$ sillons au maximum. Comme il tourne à la vitesse de $33 \frac{1}{3}$ tours à la minute le temps total d'enregistrement (ou de reproduction pour le disque définitif) sera donc d'environ $400/33 \frac{1}{3} = 12$ minutes.

Ces conditions fixées, la pointe inscrit donc une ligne sinuuse en spirale sur le disque en cire. Il est à remarquer que les déplacements de la pointe **P** restent très faibles vis-à-vis de la longueur de la palette **B**. Aussi, malgré ses déplacements, la profondeur du sillon reste constante sensiblement.

Une buse **G** aboutit près de la pointe. Elle souffle ou aspire violemment l'air pour éliminer les petits copeaux de cire qui pourraient s'amasser et encrasser le stylet. De plus, un technicien spécialiste, armé d'un microscope, observe tous les mouvements de la pointe. Il peut ainsi arrêter l'enregistrement si un accident survient. Il est inutile, en effet, de songer à un rattrapage ou réparation quelconque. Tout enregistrement présentant un défaut quelconque doit être recommencé intégralement.

Nous avons donc maintenant obtenu un disque de cire terminé. Les opérations qui suivent peuvent varier passablement d'un fabricant à l'autre. On peut toutefois les résumer à peu près comme suit : Le disque de cire est soigneusement enduit d'une plombagine très fine. Dans cette opération, on prend bien soin de pénétrer au fond des sillons. L'ensemble est alors plongé dans un bain de galvanoplastie. On obtient ainsi un disque métallique qui, après décollement

de la cire, présente en relief les sillons que le disque de cire présentait en creux. Un tel procédé est d'ailleurs employé depuis longtemps pour reproduire les médailles et permet d'en copier les détails les plus fins.

En général on n'utilise pas directement encore ce disque obtenu par galvanoplastie. On s'en sert seulement pour imprimer un moule où de nouveaux disques métalliques seront coulés et présenteront de nouveau les sillons en relief. Avec eux sont alors montés des moules où les disques définitifs seront copiés. Ces moules sont généralement établis sous forme d'une large boîte pourvue de manches, et que l'on peut fermer et ouvrir facilement. On pousse cette boîte dans un four spécial où le disque est coulé puis refroidi. On ouvre alors la boîte et on sort le disque. Ce dispositif rappelle un peu les fours utilisés en pâtisserie pour cuire les gaufres.

Nous ferons encore quelques remarques générales concernant les disques pour films sonores. La plupart du temps, ils portent des sillons sonores seulement sur une face alors que les disques pour gramophones, au contraire, sont toujours imprimés des deux côtés. En effet, chaque disque pour film sonore doit être joué avec une bobine de film qui lui correspond. Il y a donc peu d'intérêt à mettre deux actes d'un scénario sur un même disque. On risquerait seulement de compliquer le travail de l'opérateur et d'augmenter ses risques d'erreur. On n'a pas non plus intérêt à imprimer le même acte sur les deux faces sous prétexte d'en avoir une de rechange. L'accident le plus à craindre pour un disque est en effet la cassure. Dans ce cas, évidemment, les deux faces sont mises hors de service. Cependant, certaines maisons d'édition impriment les deux faces. Pour faciliter le passage d'un projecteur à l'autre pour la reproduction, chaque disque porte alors des scènes paires ou impaires. Par exemple, un disque porte les actes 1 et 3, un autre les actes 2 et 4, etc...

Dans les disques de gramophone, le sillon part du bord extérieur et va vers le centre. Pour le film sonore, on suit le chemin inverse. Cette différence a été imposée d'abord par des raisons techniques. L'expérience en effet a prouvé qu'une meilleure reproduction en résultait. De plus, on peut ainsi plus commodément indiquer avec une flèche (Figure 22) le point précis du sillon où l'aiguille devra partir sur le projecteur. Le disque et sa bobine de film, enregistrés ensemble au studio doivent nécessairement partir ensemble sur la machine. Une image nettement marquée montre le départ sur le film, et la flèche montre le départ sur le disque. Nous reviendrons sur ce sujet dans l'étude de la reproduction.

On remarquera d'après le schéma de la figure 19, l'énorme précision à laquelle doit satisfaire tout le montage, puisque la profon-

deur du sillon est en moyenne de 0,08 mm. et doit être maintenue aussi constante que possible. Le disque de cire doit tourner parfaitement « rond » et un parallélisme rigoureux doit être maintenu entre lui et les guides vis-à-vis de l'enregistreur. Le tout représente donc un ensemble très lourd et minutieux à installer. Aussi les enregistrements par disques sont-ils possibles exclusivement dans un studio fixe. Ils ne sont pas transportables pour les scènes en plein air.

Une question importante se pose encore, et elle intéresse également les disques de gramophone ordinaire. On remarquera (fig. 22) que le rayon du sillon varie à peu près de 10 à 20 cm. La vitesse de rotation du disque étant constante, sa vitesse linéaire varie. Le sillon le plus rapproché du centre a une vitesse d'environ 21 mètres à la minute ; le plus éloigné a une vitesse d'environ 42 mètres à la minute. Par conséquent, la parole ou la musique se trouvent plus concentrés dans les sillons voisins du centre. Elles sont, au contraire, plus délayées vers les bords. Les sillons de grand rayon sont donc en somme mal utilisés. Si l'on pouvait, tant à l'enregistrement qu'à la reproduction, diminuer progressivement la vitesse quand on avance vers le bord, un disque de même diamètre pourrait jouer plus longtemps. De fait, certains dispositifs ont été étudiés pour obtenir ce résultat, mais ils se heurtent toujours à des difficultés mécaniques insurmontables.

On incorpore généralement dans la matière des disques, surtout pour les premiers sillons, une matière abrasive, poudre d'émeri, en général. Elle est destinée, à la reproduction, à user tout de suite l'aiguille d'acier du pick-up pour lui donner exactement la forme du sillon. On améliore ainsi la reproduction et on diminue l'usure du disque.

Nous terminerons en signalant une utilité toute particulière de l'enregistrement sur disques. Dans les scènes prises en studio, on enregistre presque toujours deux disques en cire au moins, même si le système « film » est déjà choisi à l'avance. Une fois chaque scène terminée, on en prend un et on le joue immédiatement. On peut ainsi trouver tout de suite les erreurs qui ont pu échapper aux metteurs en scène et ingénieurs du son, et faire une sorte de critique à laquelle tout le monde prend part. En cas de défaut constaté, la scène peut être rejouée immédiatement pendant que les décors sont encore en place. Bien entendu, la cire n'ayant pas la dureté nécessaire, le disque ne peut guère être joué qu'une fois et est ensuite perdu. C'est sans inconvénient car on peut en enregistrer simultanément autant qu'on veut. Si la scène a été impressionnée sur film, et si la reproduction du disque de cire a été bonne, il y a des chances que le film soit réussi également, puisque les mêmes amplificateurs alimentent les deux enregistrements simultanément.

Ajoutons enfin, qu'il est question actuellement de revenir à l'ancienne idée du sillon en profondeur utilisé autrefois avec les disques à saphir. On a évidemment ainsi l'avantage de ne pas craindre le chevauchement d'un sillon sur le voisin quand on enregistre des notes basses et puissantes. L'amplitude du son se traduit en effet ici par une augmentation ou une diminution de profondeur du sillon. On a donc une marge très large, toute l'épaisseur du disque étant en somme disponible.

De toute manière rien ne serait changé au principe de l'enregistrement, non plus que de la reproduction. Il est facile, en effet, d'imaginer un dispositif identique à celui de la figure 19, reposant sur le même principe, mais où la palette oscillante en fer doux serait placée horizontalement, et la pointe enregistreuse fixée à angle droit. De cette manière les oscillations de la palette auraient pour effet d'enfoncer plus ou moins la pointe dans le disque de cire. Dans la

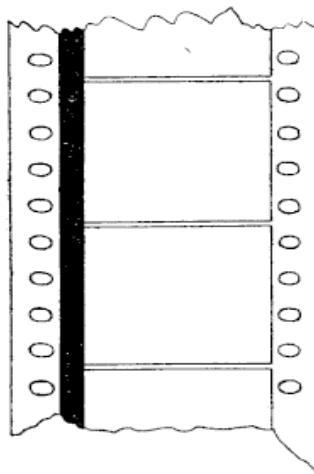


Fig. 23. — Film « standard » avec bande sonore.

marche générale de tout le procédé, seul ce détail différerait.

Quels que soient la forme et le sens du sillon, il est très probable que l'on continue à utiliser le même dispositif électromécanique pour obtenir son traçage. La suite de la fabrication du disque (empreinte galvanoplastique et moulage) resterait sans doute identique.

ENREGISTREMENT SUR FILM

L'enregistrement des disques, comme nous avons vu dans la partie historique, est déjà relativement ancien. Les systèmes électriques, et en particulier, les amplificateurs à tubes thermoioniques,

sont seulement intervenus pour l'améliorer et en rendre l'usage plus pratique.

L'enregistrement sur film constitue en effet une nouveauté. On peut le considérer comme la véritable conquête de l'industrie cinématographique sonore. Au lieu de passer par des phénomènes électromécaniques, on se sert de la lumière comme intermédiaire.

Cette tension de courant sonore disponible à la sortie de l'amplificateur de puissance, nous nous proposons maintenant d'en inscrire les caractéristiques sur l'émulsion photographique du film lui-même. A cet effet, on prend sur le côté de la pellicule à gauche de l'image

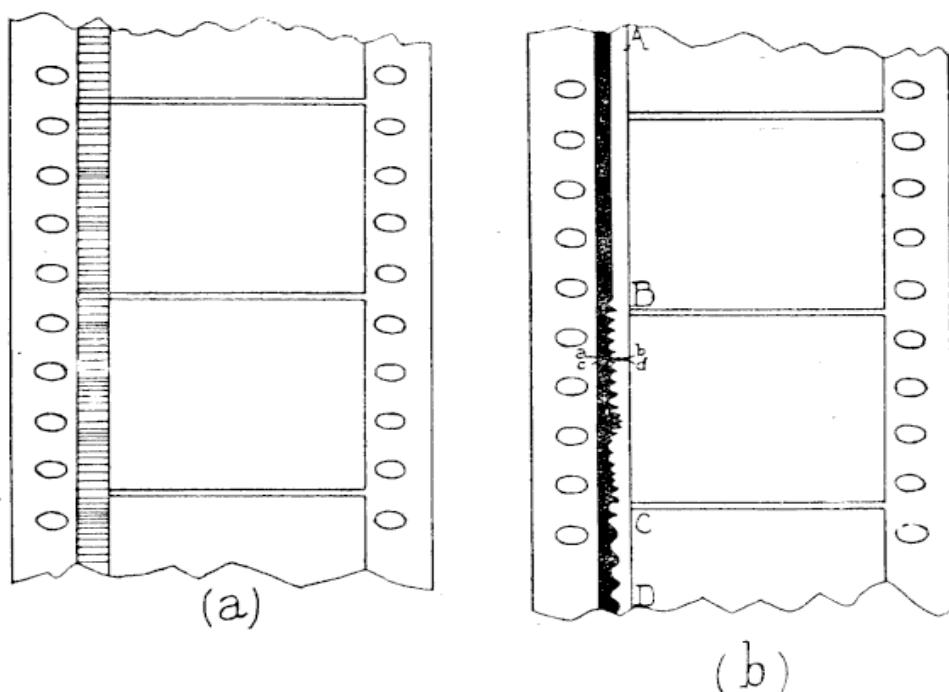


Fig. 24. — Les deux systèmes différents d'enregistrement sur film :
 (a) Largeur constante et densité variable.
 (b) Largeur variable et densité constante.

une largeur d'environ 3 mm. L'image perd ainsi à peu près le 1/8^e de sa largeur. Sur cette partie libre, représentée en noir sur la figure 23, nous allons copier par voie photographique une ondulation noire qui représentera le son. Il s'agit d'abord de le faire sur un film négatif, avec lequel on impressionnera ensuite les copies positives.

Nous avons signalé précédemment que dans un studio l'appareil de prise de vues et les appareils enregistreurs étaient indépendants.

Par conséquent, avec le système film, il y a deux films négatifs. L'un porte seulement l'image et l'autre seulement le son. La principale raison de cette voie double est que lors de la copie des films positifs une intensité différente de la lumière d'impression est généralement nécessaire pour le son et pour l'image.

Pour cet enregistrement deux procédés sont actuellement mis en œuvre :

- 1) Procédé dit « à largeur constante et densité variable ».
- 2) Procédé dit « à largeur variable et densité constante ».

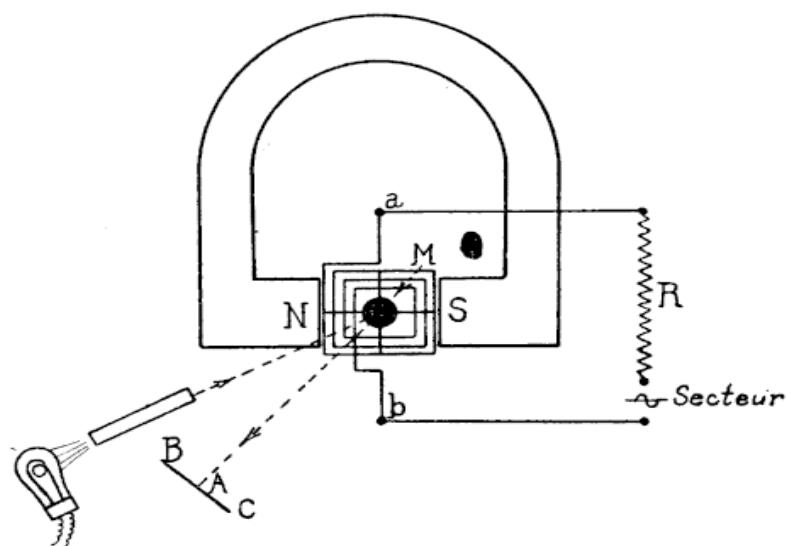


Fig. 25. — Schéma d'un oscilloscophe.

Le premier a été mis au point et adopté par la WESTER ELECTRIC Cy et par la Société Allemande TOBIS-KLANGFILM. Le second comprend les systèmes RADIO CORPORATION of AMERICA (R.C.A.) et GAUMONT-PETERSEN-POULSEN. D'autres procédés, moins utilisés jusqu'à présent, (Lignose, Tagefon, Cinevox, etc...) dérivent tous plus ou moins des précédents.

La figure 24 représente un type de chacun de ces systèmes (films positifs) **a** premier procédé et **b** second procédé.

PROCÉDÉ A LARGEUR VARIABLE ET DENSITÉ CONSTANTE

Pour plus de clarté nous étudierons d'abord le second procédé. Comme on le voit sur la figure 24, la bande sonore comprend une partie noire (à gauche), supposée parfaitement opaque et une partie

(à droite) supposée parfaitement transparente. La partie noire présente des dents qui empiètent plus ou moins sur la partie transparente. S'il n'y a pas de son (de **A** à **B**), le noir et le transparent sont égaux et occupent chacun la moitié de la bande sonore. S'il y a un son enregistré, les dentures apparaissent. Toute surface très courte **abcd**, dont la hauteur est supposée très petite par rapport à sa largeur comprend une partie noire et une partie transparente. La différence entre elles représente l'intensité du son qui a été enregistré à ce point de la bande.

La théorie laisse prévoir, et l'expérience confirme, que si l'on enregistre sur le film un son simple sinusoïdal la partie noire oscillera suivant une loi sinusoïdale autour du milieu de la bande qui représente sa position moyenne (partie **C D**). Le problème posé est donc simplement celui de l'inscription graphique de la forme d'un courant variable.

Une telle question n'est pas à proprement parler nouvelle. Elle s'était déjà posée il y a longtemps pour l'étude des courants alternatifs industriels. Lorsqu'on commença il y a une trentaine d'années à utiliser le courant alternatif, on supposa que la tension fournie par les alternateurs industriels était de forme sinusoïdale. On conduisit donc tous les calculs techniques en se basant sur cette hypothèse, mais on désira bientôt en faire la vérification expérimentale. D'ailleurs, il était indispensable de pouvoir observer des phénomènes variables et de courte durée tels que l'établissement du courant dans un circuit mis brusquement sous tension où un régime variable et complexe précède généralement le régime définitif. Ce désir fut satisfait au moyen d'appareils appelés oscilloscopes dont nous allons d'abord exposer le principe pour rendre plus clair ensuite l'enregistrement des films sonores.

Supposons que nous réalisions le montage de la figure 25. Un aimant entretient entre les pôles NS un champ magnétique puissant. Dans cet entrefer, nous plaçons un petit cadre de fil fin enroulé à plat sur lequel nous collons un petit miroir concave **M**. Le cadre est tendu verticalement par deux fils d'acier ou d'argent aboutissant en **a** et **b** et reliés aux extrémités de l'enroulement du cadre. Avec un système optique approprié nous dirigeons un mince pinceau de lumière sur le miroir qui le réfléchit ensuite en un point **A** d'un écran. Si nous appliquons aux bornes **a** et **b** une tension variable quelconque, soit celle d'un courant alternatif d'éclairage, avec interposition d'une résistance convenable **R**, quelles sont, dans ces conditions, les forces auxquelles le système est soumis ?

D'abord il y a un couple moteur ; celui qui est dû au passage du courant alternatif dans le cadre. Ce courant fournit un champ magné-

tique qui, réagissant sur le champ permanent de l'aimant, tend à faire osciller le cadre d'un mouvement alternatif sinusoïdal en correspondance exacte avec la tension du secteur.

Ensuite il y a trois couples résistants :

a) Le couple d'inertie dû à la masse, si faible soit-elle, du cadre et de son miroir. C'est la résistance normale qu'oppose tout corps pesant à une force qui cherche à la mettre en mouvement.

b) Un couple dû à la viscosité du milieu où se meut le cadre. Ici ce milieu est l'air qui freine en effet tous les corps mobiles.

c) Un couple d'élasticité dû à la déformation des fils de suspension tendus entre les points fixes **a** et **b**. Ce couple tend à ramener le cadre dans sa position moyenne si on l'écarte d'un certain angle et il est sensiblement proportionnel à cet angle.

Quelles doivent être les valeurs de ces différentes quantités pour que le mouvement oscillant du miroir suive fidèlement les variations de la tension appliquée ? Un tel problème est une question classique de l'électrotechnique. Il ne peut être résolu qu'au moyen d'équations différentielles et nous ne pouvons par conséquent l'exposer ici en détails. Nous nous contenterons donc d'énoncer les résultats auxquels conduit le calcul. Les deux premiers couples résistants (inertie et viscosité) doivent être négligeables devant la troisième (élasticité de la suspension). Toutefois le deuxième ne doit pas être diminué à l'excès et on doit conserver un petit freinage de viscosité. Il faut en effet que l'équipage soit **apériodique**, c'est-à-dire revienne à sa place sans osciller quand on l'écarte de sa position d'équilibre.

Le couple moteur magnétique et le couple résistant d'élasticité seront au contraire augmentés dans toute la mesure possible. On prendra donc un entrefer étroit pour avoir un champ puissant et des fils de suspension assez forts. Il faut encore une autre condition : le courant qui circule dans notre cadre et produit son oscillation doit être à chaque instant proportionnel à la tension du secteur. Il faut donc éviter autant que possible la self-induction dans le circuit et au contraire exagérer la valeur de la résistance **R**. Nous verrons plus loin comment on obtient ces résultats.

L'oscillographe étant construit suivant ces données, le petit angle dont tourne le cadre est à chaque instant proportionnel à la valeur instantanée de la tension de notre secteur. Bien entendu, nous réglerons l'ensemble de manière que cet angle reste toujours très petit. Il sera par exemple de 1° au maximum. Le pinceau lumineux réfléchi par le petit miroir vient en **A** si le cadre est au repos. Si le cadre tourne, le rayon est également dévié et d'un angle double de celui du cadre. Les oscillations du cadre se traduisent finalement par un va-et-vient du rayon entre deux points **B** et **C** sur l'écran. Cette

distance **BC** restera petite par rapport à la distance entre le miroir et l'écran. Si l'écran est à 20 cm. du miroir, la distance **BC** sera de 1,5 à 2 mm. Le calcul prouve que dans ces conditions l'écartement du pinceau lumineux à partir de la position moyenne **A** peut être considéré comme rigoureusement proportionnel à l'angle dont le cadre à tourné. C'est d'ailleurs là une méthode de mesure des petits angles connue en physique sous le nom de «Méthode de Poggendorff».

Nous pouvons maintenant remplacer l'écran par un film ou papier sensible photographique qui se déroule d'un mouvement régulier et nous obtiendrons sur lui la courbe exacte représentant la variation de tension du secteur. L'expérience prouve que de très petites irrégularités de cette tension peuvent être ainsi décelées.

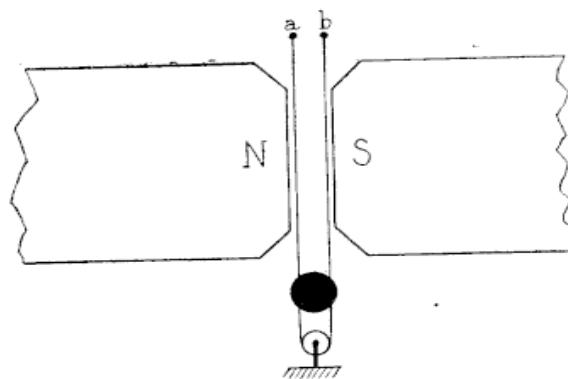


Fig. 26. — Oscilloscophe avec équipage à une seule spire.

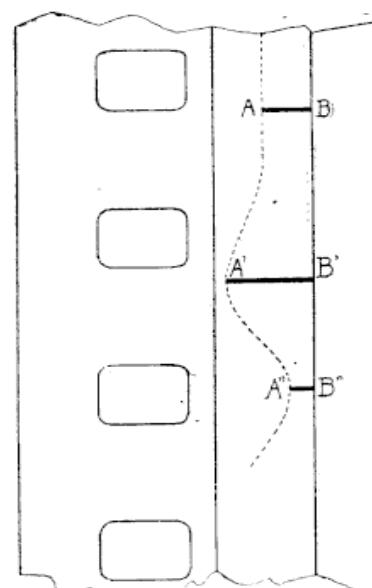


Fig. 27. — Détail d'un enregistrement à surface variable.

Voyons maintenant comment on réunit les conditions essentielles énoncées ci-dessus. D'abord, pour éviter l'autoinduction du cadre, on peut le réduire à une seule spire (fig. 26) formée avec une petite bande d'aluminium ou de molybdène très fine repliée en boucle. Elle est placée entre les pôles très rapprochés (1 à 2 mm. d'entrefer environ) d'un aimant en acier au cobalt dont le magnétisme rémanent est très puissant. Au-dessous ou au-dessus des pôles se trouve collé sur la boucle un petit miroir dont la surface est de l'ordre de 2 mm²

et le poids de quelques centigrammes. Les deux branches de la spire peuvent être tendues à volonté, et toujours également, avec un poids ou une petite vis. Enfin pour obtenir l'amortissement nécessaire, l'ensemble est plongé dans de l'huile qui peut être de l'huile de cèdre ou de ricin. Les oscilloscopes utilisés dans les laboratoires d'électrotechnique sont construits exactement suivant ces principes (Oscilloscope de Blondel). Ils peuvent enregistrer jusqu'à 10.000 ou 15.000 vibrations à la seconde, ce qui est largement suffisant pour le film sonore où, à cause des imperfections des microphones et surtout des hauts parleurs, on ne peut songer à reproduire des fréquences supérieures à 6.000.

Les appareils employés pour l'enregistrement à surface variable sont donc conformes au schéma de la figure 26. On remarquera qu'ici le couple élastique n'est plus obtenu de la même façon que dans celui de la figure 25. Il n'est plus une conséquence de la déformation de la matière des fils mais de celle de la spire elle-même. De toute façon la mécanique montre que, pour des très petits angles, la proportionnalité du couple élastique à l'angle de déplacement est maintenue.

Le montage optique de la figure 25 aboutissait, nous l'avons vu, à la formation d'un point sur l'écran. Pour l'enregistrement il faut non pas un point qui se déplace mais une tache qui s'allonge et se raccourcit. La figure 27 montre le détail du procédé sur une bande sonore très grossie. L'oscilloscope envoie sur le film une tache **BA** longue et très mince (25/1000^e de mm de hauteur environ).

Lorsque l'oscilloscope ne reçoit pas de courant, la tache a la forme **BA** telle que le point **A** occupe le milieu de la bande sonore. Si un son produit devant le microphone du studio provoque le passage d'un courant dans l'oscilloscope, la tache augmente et diminue. Elle occupera, par exemple, à un certain moment la position **B'A'** un peu plus tard encore la position **B''A''**. Son extrémité **A** suit la ligne pointillée. Au développement du film toute la partie située à droite de cette ligne pointillée apparaîtra donc en noir. Tout le reste demeurera transparent.

La figure 28 représente une combinaison optique permettant d'obtenir un tel résultat. Une lampe à filament de tungstène dans l'argon (1) fournit une lumière très blanche qui est envoyée sur le miroir de l'oscilloscope (5) par l'intermédiaire d'une lentille condensatrice (2). Cette lentille est d'ailleurs à moitié couverte par un cache (3) que l'on met au point sur la fente étroite (8) au moyen de la lentille (4). Pour amener la lumière à couvrir exactement cette fente, on utilise une lentille cylindrique biconvexe (6). La fente se trouve ainsi éclairée sur la moitié de sa longueur quand l'oscilloscope est

au repos. Suivant les mouvements du miroir d'oscillographie (5), la longueur éclairée de la fente augmente ou diminue. L'objectif (9) donne finalement une image de la fente éclairée sur le film (10) qui est entraîné d'un mouvement régulier par un tambour. On réalise donc bien, en définitive, les conditions exposées d'après la figure 27. La fente (8) n'est pas nécessairement aussi étroite que son image sur le film (25/1000 mm environ). Elle serait alors d'une exécution mécanique assez difficile. Grâce à l'objectif (9) on peut la faire plus grande pourvu qu'elle soit parfaitement rectangulaire. On la place alors relativement loin de l'objectif (9) de façon que son image sur le film soit beaucoup plus petite qu'elle-même.

L'entraînement du film a donc lieu avec un mécanisme actionné par un moteur synchrone branché sur le réseau du studio. Bien entendu, on interpose encore de petits filtres mécaniques dans le même genre que celui de la figure 20. On se heurte ici à une nouvelle difficulté. Le film est entraîné par le mécanisme grâce à ses perforations; or quelle que soit la précision apportée à la confection de ses perforations, il y a toujours quelques irrégularités dans leur « pas ». Elles sont dues à l'allongement et au retrait pendant les différentes phases de sa fabrication et de son traitement. De plus il est recouvert d'un enduit destiné à le rendre plus conducteur et empêcher par là la formation d'effluves par frottement qui voileraient l'émulsion par endroits. Cet enduit augmente encore les difficultés de l'entraînement en causant des encrassements.

Cependant toute irrégularité d'entraînement doit être évitée à tout prix car elle produit des chevrotements ou enroulements qui ren draient le son insupportable à la reproduction. On tourne donc la difficulté en entraînant le film devant l'objectif (9) avec un cylindre lisse sur lequel il est enroulé et tendu par des galets. Ce cylindre est lui-même entraîné au moyen d'un filtre mécanique et les perforations, de cette manière, n'interviennent plus dans l'enregistrement proprement dit. Des galets dentés tirent seulement le filin de la bobine et préparent les boucles, mais devant l'objectif inscripteur c'est le cylindre lisse seul qui se charge de l'opération.

Voici encore quelques détails concernant l'enregistrement à surface variable. Nous avons dit que l'espace réservé sur la pellicule pour la bande sonore avait environ 3 mm. de large. En fait, on trace en outre photographiquement une raie noire de chaque côté de la bande sonore. Sa surface utile n'a donc finalement que 2 à 2,5 mm. de large environ (soit 0.08 à 0.10 inch ou pouce américain). Cette précaution a pour but de permettre un léger jeu latéral du film à la reproduction et d'éviter la nécessité d'un réglage trop précis.

D'après la figure 24 (b), la partie noire de la bande sonore se

trouve à gauche près des perforations (vue côté gélatine). Sur la figure 27 qui représente le film négatif, la partie noire est donc à droite de la ligne pointillée (vue côté celluloïd).

A l'enregistrement, on s'arrange pour que les oscillations sur la fente lumineuse n'en sortent jamais pour les sons de puissance normale. C'est une simple question de régler la puissance fournie à l'oscillograph. Si un son d'une puissance exceptionnelle vient frapper le microphone, la petite langue lumineuse BA de la figure 27 peut s'allonger au point de sortir des limites de la bande sonore ou au contraire se raccourcir au point de disparaître complètement. La denture sonore se trouve alors amputée de quelques pointes et le son sera légèrement déformé à la reproduction par suite de la suppression de certains harmoniques. Mais en fait cette circonstance n'ap-

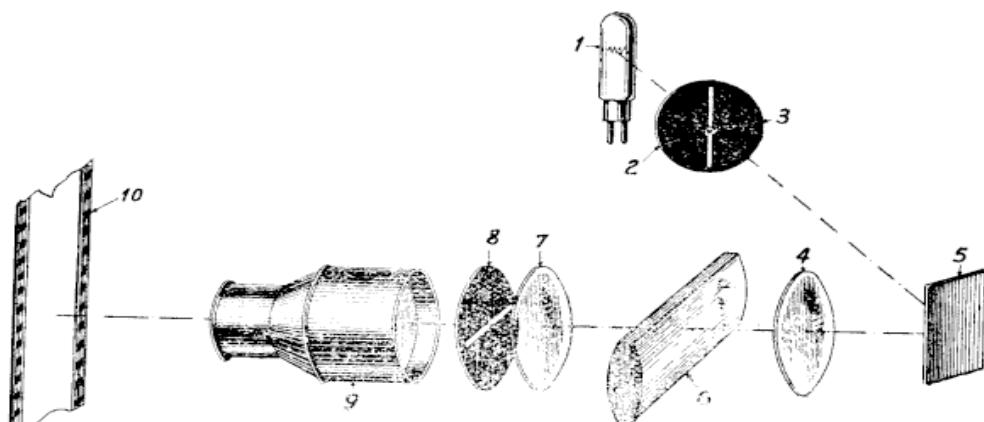


Fig. 28. — Montage optique complet pour enregistrement à surface variable.

paraît que pour des sons très violents (chocs, coups de feu, etc...). Pour de tels sons, une petite distortion présente moins d'importance que pour les fréquences harmonieuses de la musique ou de la voix. L'amortissement du miroir est presque toujours obtenu avec de l'huile. Toutefois, la General Electric C° a construit des oscillographes secs où l'amortissement est, comme pour les enregistreurs à disques, obtenu avec un caoutchouc imprégné de poudre de tungstène.

Tous les oscillographes utilisés pour ce procédé d'enregistrement se ramènent plus ou moins aux schémas des figures 26 et 28.

Une question importante se pose encore. Nous avons supposé implicitement dans notre étude (fig. 27) que l'épaisseur de la petite ligne lumineuse BA était négligeable vis-à-vis de l'amplitude de ses mouvements et aussi vis-à-vis de la longueur de film nécessaire pour inscrire la période complète d'un son. Or pratiquement l'épaisseur

de **BA**, si petite soit-elle, n'est pas pourtant pas nulle. Il en résulte une légère déformation des sons. Ce phénomène, connu en technique cinématographique, sous le nom d'« Effet de Fente », nécessite pour être étudié à fond des développements mathématiques assez considérables. Voici néanmoins comment on peut s'en faire une idée :

Nous avons dit que le film défilait devant l'objectif d'enregistrement à la vitesse de 456 mm. à la seconde, soit 456.000 millièmes de millimètre. L'épaisseur de la ligne **BA** (fig. 27) est d'environ 25/1000^e de millimètre. Poussons donc les choses à l'extrême et supposons que nous voulions enregistrer un son dont la fréquence serait : $456.000/25 = 18.200$ périodes à la seconde environ. Une période

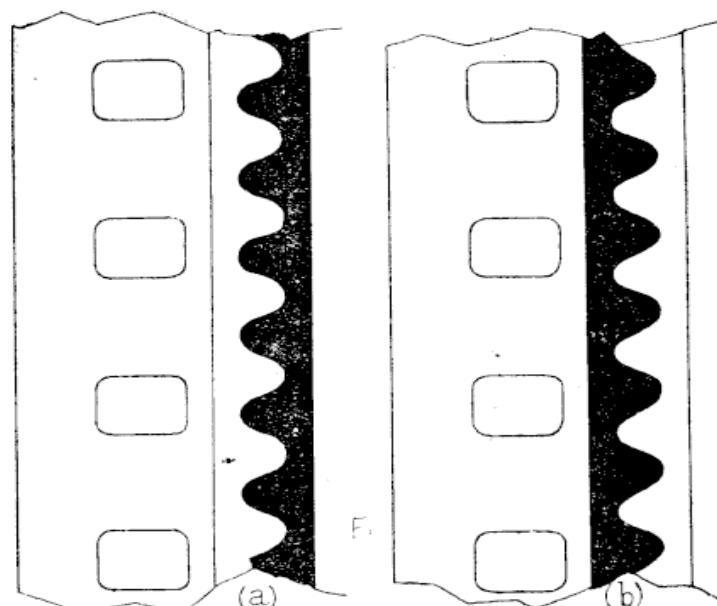


Fig. 29. — Négatif et positif de l'enregistrement d'un son simple sinusoïdal par la méthode à largeur variable :

- (a) Négatif vu du côté celluloid.
- (b) Positif vu du côté gélatine.

d'un tel son devrait donc être enregistrée pendant le temps que met la ligne **BA** à parcourir sur le film sa propre épaisseur. Ce son ne sera donc pas enregistré et il se traduirait sur la bande sonore par un simple élargissement de la bande noire moyenne mais sans produire aucune denture. La théorie mathématique prouve d'ailleurs qu'il y a déjà, sinon disparition complète, du moins affaiblissement pour les valeurs inférieures à 18.200 mais fort heureusement cet effet

de fente devient négligeable, ou à peu près, pour des fréquences de l'ordre de 6.000 qui est le maximum pratiquement intéressant au point de vue du film sonore.

Lors de l'enregistrement, le film vierge, relativement transparent, laisse passer environ 4 % de la lumière qu'il reçoit. On en profite pour placer derrière lui une cellule photoélectrique branchée sur un jeu d'amplificateurs reliés à un petit haut-parleur témoin monté dans la chambre du moniteur (fig. 13). Ce dernier entend donc ainsi sous la forme sonore la traduction directe de l'impression effectuée sur le film, et peut ainsi exercer sur la marche de l'ensemble un contrôle fidèle.

Nous sommes donc à présent en possession de notre film négatif impressionné qui va être développé, fixé, lavé et séché. Le développement est conduit assez énergiquement pour que les parties noires soient très opaques et on obtient finalement la bande noire de la figure 29 (a) où un son simple sinusoïdal est supposé avoir été enregistré.

D'autre part, on a également développé le film qui sort de la caméra de prises de vues et qui porte l'image seule, l'espace réservé à la bande sonore restant vierge grâce au cache. Pour faire une copie positive, on impressionne à la lumière artificielle un nouveau film vierge successivement avec les deux copies négatives dont l'une porte l'image et l'autre le son et la copie positive ainsi obtenue est, après traitement, bonne à être projetée. Sa bande sonore est représentée dans la figure 29 (b).

Il faut faire en passant une remarque importante. Pour la reproduction du son, seule, sur la bande sonore, l'ondulation de la partie opaque par rapport à la partie transparente a une importance. Si nous faisons passer un rayon lumineux à travers l'une ou l'autre des bandes (a) ou (b) de la figure 29, ce rayon sera évidemment modulé de la même façon. Par conséquent, le film négatif et sa copie positive permettent de reproduire des sons identiques, simplement décalés l'un par rapport à l'autre d'une quart de période. Toujours en vertu de la loi de décomposition possible d'un son complexe en plusieurs sons simples, cette remarque peut être étendue à un son quelconque. C'est ce que confirme d'ailleurs l'expérience.

Enfin, pour copier la bande sonore sur le positif il faut encore prendre une précaution. Forceément, en effet, sur le projecteur la fenêtre pour les images et la tête sonore à cellule photoélectrique pour les sons seront montés l'une au-dessous de l'autre. On ne peut pas les juxtaposer attendu que dans la fenêtre les images sont entraînées par secousses brusques par la Croix de Malte alors qu'au contraire la bande sonore doit défiler, dans la tête sonore, d'un mou-

vement parfaitement continu comme dans l'enregistreur. Il faut donc prévoir au tirage un décalage entre chaque image et le son qui lui correspond. D'après une convention sanctionnée par l'usage, le son est sur le film en avance d'environ 19 1/3 images, soit 355 mm., sur l'image qui lui correspond.

PROCÉDÉ A LARGEUR CONSTANTE ET DENSITÉ VARIABLE

D'après ce qui précède on doit arriver à faire varier à chaque instant l'opacité de la bande proportionnellement à la tension fournie par les amplificateurs, c'est-à-dire, en remontant à la source, proportionnellement à la pression du son frappant le microphone.

On peut encore réaliser cette condition d'une autre manière. Reprenons un film vierge et projetons de nouveau l'image fine d'une

fente lumineuse sur la place réservée à la bande sonore (fig. 30) mais, cette fois, le mince rectangle lumineux **AB** restera de longueur constante et couvrira toujours toute la largeur de la bande sonore.

Si l'on faisait défiler le film dans ces conditions dans l'appareil enregistreur on obtiendrait donc au développement une bande sonore uniformément grise ou noire suivant l'éclat de la ligne mince **AB**. Règlons cet éclat de manière qu'après développement la bande sonore soit grise, c'est-à-dire semi-transparente. Supposons maintenant que, par un dispositif approprié, nous puissions produire des pulsations de l'éclat lumineux de la ligne **AB**. Cela revient à dire que la quantité de lumière arrivant sur elle variera suivant une certaine loi. Si nous avons, par exemple l'intention d'enregistrer un son simple sinusoïdal, cette quantité de lumière variera

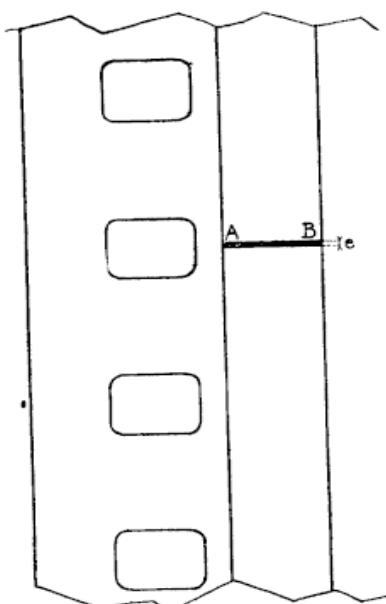


Fig. 30. — Principe de l'enregistrement à largeur constante et densité variable.

aussi suivant une loi sinusoïdale.

Après développement, ces variations d'impression apparaîtront sous forme de hachures successives noires et transparentes. L'intensité d'un son régulier sera mesurée par la différence d'opacité entre une hachure transparente et la hachure noire qui la suit. C'est donc

ici une question de contraste photographique qui entre en jeu. Un son bref violent, un coup de feu, apparaîtra indifféremment sous la forme d'une hachure très transparente ou d'une hachure noire très dense.

On peut donc aisément se rendre compte que tous les effets produits sont les mêmes qu'avec le système à largeur variable et densité constante. En particulier, le film négatif et la copie positive qui en est tirée sont encore interchangeables à la reproduction, chaque son subissant seulement le même retard d'un quart de période. On peut pousser la comparaison entre les deux procédés dans les moindres détails. Par exemple, « l'Effet de Fente » dont nous avons parlé existe encore ici ; une étude par le calcul montre que pour une même épaisseur de la ligne lumineuse enregistreuse, et une même vitesse du défilement du film, cet effet de fente produit dans les deux cas les mêmes distorsions.

Toutefois, un nouveau facteur va apparaître, dont nous n'avions pas besoin de tenir compte avec l'autre système. Nous venons de dire, en effet, que la quantité de lumière arrivant sur la ligne **AB** devait être proportionnelle à la pression du son frappant le microphone ; mais cette condition n'est évidemment pas suffisante. Il faut encore que l'opacité, obtenue par développement photographique, des points du film frappés par la lumière, soit aussi proportionnelle à cette lumière. Le résultat de proportionnalité était facilement obtenu avec l'autre procédé grâce au faible déplacement du miroir oscillant. Ici, les qualités chimiques de l'émulsion photographique entrent en jeu et il y a lieu de les examiner.

Prenons donc un film à émulsion de bromure d'argent. Produisons sur lui des impressions à diverses places avec des éclairements différents tous de même couleur. Partout où la lumière l'a frappé, le bromure d'argent a été altéré partiellement. Après développement on obtiendra des taches d'argent réduit, et en chaque endroit, d'autant plus opaques que l'impression y aura été plus forte. Le maximum sera obtenu là où tout le bromure aura été altéré et finalement transformé en argent réduit. En appliquant, par exemple, des procédés photométriques on peut mesurer ce phénomène et déterminer pour chaque quantité de lumière la proportion de bromure impressionné et on traduit ces résultats sur une courbe. Cette courbe, bien connue des techniciens de la photographie, a une forme représentée figure 31. On remarquera qu'elle ne part pas exactement de l'origine. Une émulsion photographique peut donc recevoir une certaine quantité de lumière par unité de surface sans qu'il en résulte la moindre image sur elle. Ce phénomène est d'ailleurs couramment observé par les amateurs photographes. On sait en effet que si un sujet a été pris

en photographie avec un éclairage trop faible, seuls les détails relativement clairs pourront être obtenus ; les détails les plus sombres n'apparaîtront jamais au développement, si énergique que soit le révélateur employé.

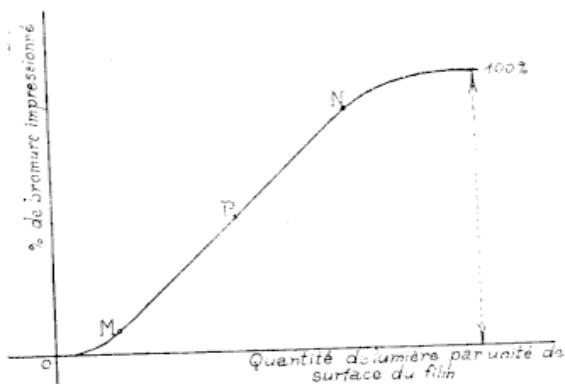


Fig. 31. — Courbe de sensibilité d'une émulsion photographique.

La courbe s'arrondit en haut, et tend vers une valeur maxima. Elle est obtenue pour la valeur d'éclairement pour laquelle 100 % du bromure a été altéré. Toutefois cette courbe présente une particularité très intéressante. Elle possède en effet une partie **MN** assez longue qui est sensiblement rectiligne. Nous allons donc régler la lumière de notre système enregistreur de la manière suivante : Lorsque le microphone ne recevra pas de sons, c'est-à-dire lorsque la ligne lumineuse **AB** de la figure 30 conservera son éclat fixe moyen, l'impression sur notre film défilant à 456 mm. à la seconde sera telle que nous nous trouverons au point **P** milieu de **MN** (fig. 31) sur la courbe de sensibilité de l'émulsion utilisée. Dans les régions silencieuses, la bande sonore apparaîtra donc d'un gris moyen. Pour les sons de puissance normale dans la majorité des scènes, le point de travail ne sortira pas de la région droite. La pratique, s'appuyant d'ailleurs sur une étude rationnelle des courbes de sensibilité photographique, prouve que moyennant un traitement chimique convenable des films, il n'y a finalement que des distorsions négligeables. Ces distorsions, pour des sons très violents, se traduirait par une addition d'harmoniques. Bien entendu, des considérations entrent en jeu, non seulement pour l'impression du son sur le film négatif mais aussi pour le tirage de la copie positive. En général, on donne au négatif et au positif deux degrés de contraste différents. On développe par exemple le négatif en lui donnant un contraste entre blancs et noirs légèrement inférieur à la normale et on accentue le contraste

sur la copie positive. L'expérience prouve que, ces conditions étant observées, les résultats obtenus sont excellents.

En résumé, le système à densité constante et le système à densité variable sont entièrement équivalents et sont utilisés concurremment par les meilleures sociétés éditrices. Néanmoins le tirage des positifs avec le système à densité variable, doit être considéré comme délicat et demande à être confié à un personnel très soigneux.

Nous allons examiner maintenant, pour poursuivre notre étude, comment on obtient cette pulsation de la lumière dans l'enregistrement du système à densité variable et largeur constante. Nous l'avons dit ci-dessus, on doit arriver à faire varier la quantité de lumière arrivant sur la ligne lumineuse qui enregistre sur le film. Cette variation doit d'ailleurs être faite à la demande de la vibration sonore à enregistrer. Pour cela on utilise trois méthodes principales :

1) Méthode de la Lampe Eclair (Flashing Lamp).

2) Méthode du galvanomètre à corde.

3) Méthode de la cellule de Kerr à lumière polarisée.

La première principalement employée par la Société américaine Fox-Case-Movietone semble d'ailleurs moins utilisée que les deux autres.

La seconde est surtout employée en Amérique (Enregistrement Western-Electric).

La troisième est surtout employée en Allemagne (Enregistrement Tobis Klangfilm).

METHODE DE LA LAMPE ECLAIR (SYSTEME FOX MOVIETONE)

Le principe de cette méthode est indiqué sur la figure 32. Le film est déroulé sur un tambour T d'un mouvement régulier et contre la bande sonore se trouve une petite ouverture d'environ 2,5 mm. de longueur et 15/1000° mm. de largeur. Cette ouverture débouche dans une petite chambre renfermant une lampe spéciale de forme suivante : Elle comporte un culot allongé terminé par une petite ampoule sphérique remplie d'hélium sous pression assez basse. Toute la lampe est en quartz et son diamètre est d'environ 28 mm. Dans la partie sphérique se trouvent deux électrodes, l'une formée d'une petite feuille de nickel, l'autre d'un bloc de platine en forme d'U et recouvert d'oxydes alcalino-terreux. La feuille de nickel forme anode, le bloc de platine forme cathode. La lampe est illuminée par une batterie (piles sèches ou accumulateurs) de 350 à 400 volts environ, le pôle positif étant relié à la feuille de nickel, le pôle négatif au bloc de platine. Dans ces conditions, le gaz raréfié devient luminescent.

Les oxydes alcalino-terreux de la cathode interviennent dans le fonctionnement par leur grand pouvoir émissif d'électrons permettant un amorçage facile. Le choc des électrons sur les atomes de gaz produit l'énergie lumineuse. La décharge s'effectue conformément aux principes qui ont été exposés dans le chapitre III, le courant anodique étant augmenté par l'arrachement d'électrons aux atomes de gaz.

D'autre part, on ajoute dans le circuit une source de courant sonore, par exemple, le secondaire du transformateur de sortie d'un amplificateur de puissance. Le courant sonore superposé au courant continu produit donc des pulsations de l'intensité lumineuse à la

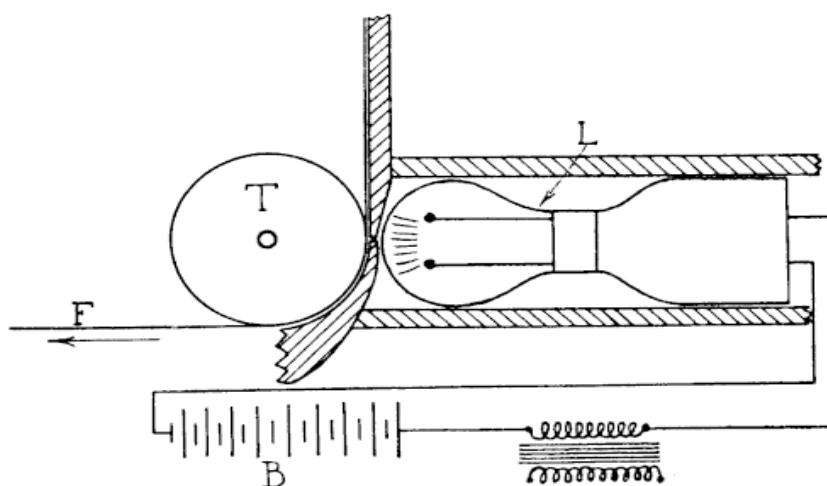


Fig. 32. — Principe de l'enregistrement par la lampe éclair.
(Système Fox-Movietone).

demande des ondes sonores qui ont frappé le microphone. Ce système réalise donc bien les conditions que nous nous étions proposées.

Le dispositif primitif était exactement conforme au schéma de la figure 32 mais le plus difficile était la réalisation de la petite ouverture par laquelle la lumière doit aller frapper le film. Cette pièce était alors constituée par un petit bloc de quartz recouvert d'une mince couche d'argent protégée elle-même par une mince feuille de verre poli qui était appliquée exactement contre le film. On arrivait ainsi à obtenir une ligne lumineuse assez nette sur le film sans risquer de le rayer. Dans la suite on a tourné la difficulté en interposant un système optique. La lumière produite par la lampe éclaire une fente et c'est l'image de cette fente formée par une lentille qui impressionne le film. On peut ainsi utiliser les propriétés des lentilles en se plaçant de manière que l'image soit beaucoup plus petite que

la fente elle-même. On peut ainsi faire cette dernière plus grande.

Le principal avantage de ce procédé d'enregistrement est sa grande simplicité. On remarquera en effet qu'il se réduit à très peu de détails et ne comporte en outre aucune pièce en mouvement, ce qui élimine toute distorsion par effet d'inertie. Il est facilement transportable et permet d'utiliser le même appareil pour l'image et pour le son, de sorte que la caméra et l'enregistreur ne forment qu'un seul ensemble. Nous avons dit que l'on préférerait presque toujours impressionner deux films séparés, un pour l'image et un pour le son. Toutefois, l'impression sur un film négatif unique est avantageuse pour certains cas exceptionnels, les actualités par exemple. La question du poids et de l'encombrement des appareils y joue un rôle de premier plan. D'autre part, un film de reportage doit être pris par n'importe quel éclairage et n'importe quel temps. On doit donc renoncer d'avance à y obtenir de belles images photographiques. On pourra ainsi lors de l'impression et du développement des négatifs, porter de préférence toute son attention sur la bande sonore, l'image étant développée un peu au hasard. Il n'en résultera pas en somme de gros inconvénient pratique, l'effet artistique étant ici délibérément sacrifié.

Ce procédé est donc en somme assez intéressant et possède pour des cas particuliers des avantages certains. Toutefois une remarque importante est encore à faire. On doit supposer que les variations de l'intensité lumineuse de la lampe à l'hélium sont proportionnelles à chaque instant aux variations de la tension appliquée à ses bornes. Cette condition n'est réalisée rigoureusement qu'entre certaines limites mais l'expérience prouve que les résultats obtenus sont satisfaisants.

MÉTHODE DU GALVANOMÈTRE A CORDE (Système Western Electric)

Dans le système à largeur variable et densité constante, nous avons utilisé l'effet d'un champ magnétique sur une spire parcourue par le courant sonore. Nous nous sommes donc placés de telle manière que cette spire, sous l'action du courant sonore, oscillait autour de son axe (Fig. 25 et 26).

Nous allons reprendre le même principe mais en lui donnant une forme différente. Prenons donc un aimant puissant de pôles NS laissant entre eux un faible entrefer. Plaçons dans cet entrefer une spire formée d'une bande de Duralumin (fig. 33) mais ayant cette fois son plan perpendiculaire aux lignes de force du champ magnétique. Sur la figure 33 (b) un seul pôle de l'aimant est vu de face

et la spire se présente devant lui. Le système étant au repos, la distance e entre les deux branches de la spire sera d'environ $50/1000^{\circ}$ mm. La boucle de la bande passe sur une poulie **P** et, à l'une des bornes **AB**, un dispositif mécanique approprié permet de tendre la boucle. Dans ces conditions, si on fait circuler un courant dans la boucle en appliquant une tension aux bornes **AB**, on constate que la boucle se déforme entre les deux points d'appui fixes **KLMN** et des lois classiques permettent de trouver dans quel sens. Si, par exemple, le courant suit les flèches de la figure 33 (b), les deux branches s'écartent l'une de l'autre. On exprime le fait en physique en disant que la spire cherche toujours à embrasser le maximum de

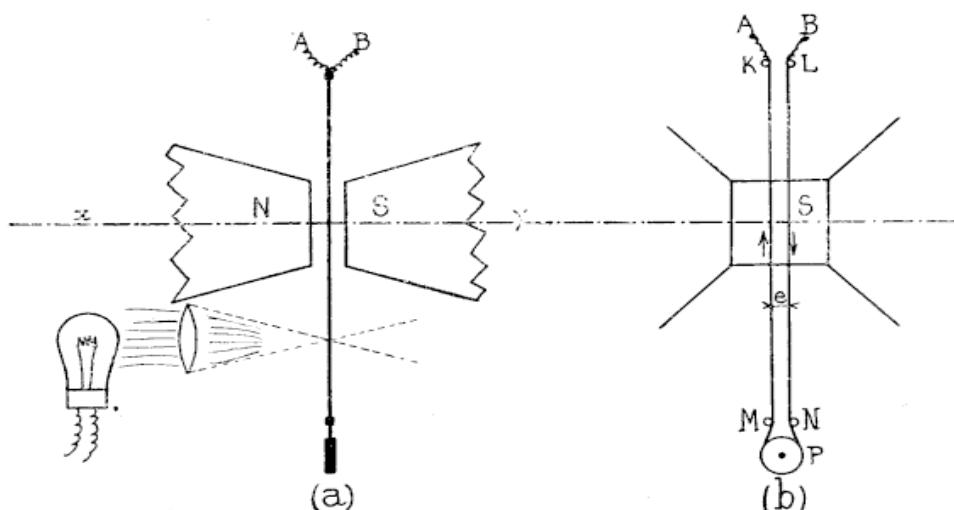


Fig. 33. — Principe du galvanomètre à corde.

flux. Elle n'oscille donc pas autour de son axe mais se déforme en restant toujours dans le même plan.

Dans le système d'enregistrement de la Western Electric, on applique aux bornes **AB** la tension de sortie de l'amplificateur de puissance. Le courant sonore va donc produire des élargissements et des rétrécissements de la spire qui représenteront encore le son arrivant au microphone. Si nous amenons entre les deux bandes de la spire un pinceau lumineux très mince et très concentré, nous pourrons ainsi le moduler à la demande des ondes sonores. Comme le rayon lumineux doit alors suivre un chemin parallèle aux lignes de force de l'aimant on peut le faire passer au-dessus ou au-dessous des pôles (fig. 33a). On peut encore percer les pôles de l'aimant de part en part et faire passer le pinceau lumineux suivant la ligne

des pôles **xy**. Comme dans les autres systèmes déjà étudiés, le mouvement mécanique des branches de la spire doit bien entendu suivre fidèlement les variations de tension fournies par l'amplificateur. En étudiant mathématiquement la question, on arrive à des conclusions absolument identiques à celles déjà exposées à propos des oscilloscopes à miroir pour le procédé à largeur variable. Il faut notamment une très faible inertie de la bande formant la spire, une force élastique assez grande de ses branches et un champ magnétique très puissant dans l'entrefer. On réalise ces conditions d'une manière satisfaisante comme suit : La bande conductrice étant en duralumin très léger mais très résistant, la spire est assez fortement tendue de telle sorte que sa fréquence propre soit d'environ 7000 périodes à la seconde. Enfin l'aimant est constitué par un excellent acier généralement au cobalt.

Le dispositif d'enregistrement peut être finalement représenté clairement par le schéma de la figure 34. Une lampe **a** à filament

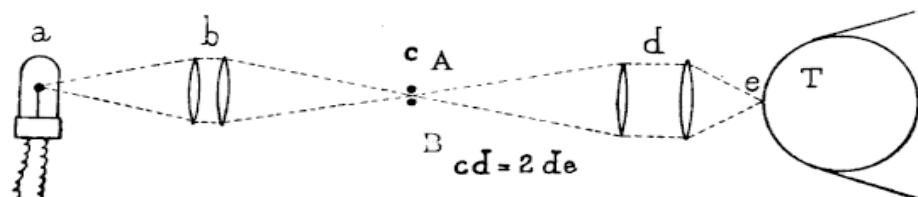


Fig. 34. — Disposition optique pour enregistrement à largeur constante et densité variable par la méthode du galvanomètre à corde.

rectiligne horizontal et fonctionnant à haute température produit une lumière très vive. Un premier jeu de lentilles **b** donne de ce filament une image très lumineuse entre les branches de la spire d'un galvanomètre à corde **c**. Dans la figure la spire serait horizontale et comme elle apparaît vue en coupe elle est représentée par deux points **A** et **B** (les pôles de l'aimant ne sont pas figurés). Donc, sous l'influence du courant sonore les points **A** et **B** se rapprochent et s'éloignent l'un de l'autre de façon que la quantité de lumière traversant le galvanomètre à corde se trouve modulée. Cette lumière est ensuite reprise par un nouveau jeu de lentilles **d** qui en donne une image en **e** sur le film négatif entraîné sur un tambour **T**. La ligne lumineuse arrivant sur la bande sonore du film conserve donc finalement une largeur constante mais son épaisseur varie et cette variation suit le courant traversant la spire, donc suit le son à enregistrer. Le pinceau de lumière arrivant entre **A** et **B** a une largeur d'environ 6,5 mm. et son épaisseur moyenne, c'est-à-dire en l'absence de tout courant dans la spire, est de 50/1000^e de mm. Le maximum

de modulation admissible est donc obtenu lorsque le pinceau lumineux est complètement étranglé, c'est-à-dire lorsque son épaisseur est tombée de 50/1000^e à 0/1000^e de mm. et par conséquent aussi lorsqu'il est ouvert au maximum. Les variations sont symétriques autour de la position moyenne et l'étranglement maximum résulte d'une diminution d'épaisseur de 50/1000^e de mm. donc le maximum d'ouverture résultera d'une augmentation d'épaisseur de 50/1000^e de millimètre et correspondra à une épaisseur de 100/1000^e de mm. Le système optique **d** (fig. 34) est disposé aux deux tiers de la longueur **ce** de telle sorte que l'image en **e** est deux fois plus petite que la première image en **c**. En se référant aux chiffres ci-dessus, on voit que la ligne lumineuse arrivant sur le film a une longueur de 3,25 mm. et une épaisseur moyenne de 25/1000^e de mm. qui varie suivant les besoins de la modulation entre 0 et 50/1000 de mm.

La théorie du galvanomètre à corde est en tous points semblable à celle de l'oscillograph à miroir résumée plus haut. Avec les réserves que nous venons d'énoncer au sujet de sa construction, il possède des qualités identiques. On peut par exemple montrer mathématiquement que la quantité dont la spire s'ouvre ou se ferme est encore proportionnelle au courant qui la traverse. De même, la force élastique tendant à la ramener à sa forme moyenne est proportionnelle à sa déformation. Ce procédé d'enregistrement est très employé parce qu'il est simple et d'un réglage facile. L'énergie nécessaire pour mettre la spire en action est seulement de 10 milliwatts environ. Elle est généralement protégée par des fusibles et la résistance de l'ensemble est d'environ 12 ohms. Ce système ne permet l'enregistrement que sur deux films négatifs séparés, l'un pour l'image et l'autre pour le son.

METHODE DE LA CELLULE DE KERR

Dans les deux méthodes déjà décrites nous avons étudié d'abord un procédé avec source lumineuse vacillante (Flashing Light Fox et Movietone) puis un procédé avec source d'intensité constante et rayon modulé par une valve (Galvanomètre à corde Western Electric). La méthode de la cellule de Kerr se rattacherait au second procédé. Elle se rapproche beaucoup de l'enregistrement Western Electric puisqu'on prend encore une source lumineuse d'intensité fixe dont les rayons sont ensuite modulés mais elle s'en écarte néanmoins beaucoup en ce sens que le système de modulation repose sur un principe totalement différent. On y utilise en effet les propriétés spéciales de la lumière polarisée. Aussi ne croyons-nous pas inutile de résumer ici brièvement en quoi consiste la polarisation de la lumière.

Nous avons déjà, aux chapitres I et III, exposé succinctement les propriétés principales de la lumière et notamment nous avons rappelé qu'elle est le résultat d'une vibration se propageant dans l'éther, milieu infiniment élastique imprégnant tout l'espace. Or la propagation des mouvements vibratoires en général peut être de deux natures différentes, longitudinale ou transversale.

On appelle vibration longitudinale une vibration où les mouvements de déformation du milieu intéressé s'effectuent dans le sens de la propagation du mouvement. Un exemple concret en est donné par la propagation d'une compression subie par les spires d'un ressort à boudin. C'est encore le cas de la propagation du son dans les gaz et liquides. Les tranches successives de gaz ou de liquide se compriment comme les spires du ressort. On peut mettre le fait en

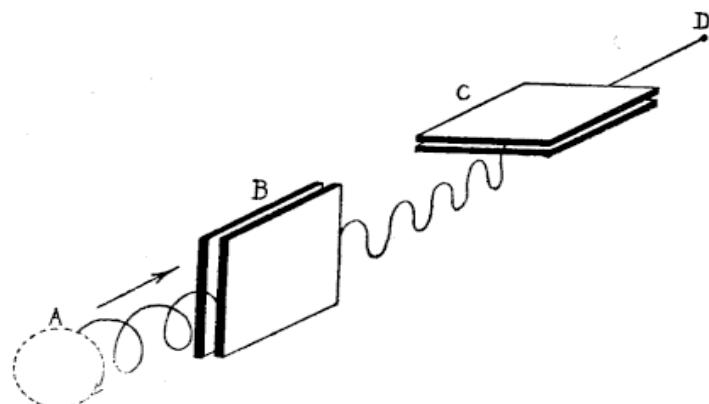


Fig. 35. — Principe de la polarisation d'une oscillation transversale.

évidence comme suit : on prend un tube de verre placé horizontalement, on y répand de la poudre de lycopode et on produit à son orifice un son de hauteur convenable pour le faire résonner. On constate alors nettement d'après les mouvements des particules de lycopode que les tranches d'air s'agitent par couches parallèles dans le sens de la longueur du tube.

On appelle vibration transversale une vibration où les déformations s'effectuent perpendiculairement au sens de propagation du mouvement. On en a un exemple dans les ondes d'une corde tendue dont on agite une extrémité. Lors du passage d'une onde à un certain point de la corde, ce point se déplace dans le sens perpendiculaire à la longueur de la corde. Un autre exemple concret est l'avancement des vagues sur l'eau. Un bouchon flottant à la surface monte et descend à chaque ondulation mais reste toujours sensiblement sur

la même ligne verticale. On n'a donc pas un déplacement de liquide mais de mouvement.

On peut mettre en évidence que les vibrations de la lumière sont transversales et on utilise pour cela le phénomène appelé Polarisation. Voici en quoi elle consiste : Supposons (fig. 35) que nous prenions une corde tendue dont nous agitons une extrémité d'un mouvement circulaire. A partir de cette extrémité **A** vont se propager des volutes le long de la corde d'un mouvement uniforme dans le sens de la flèche. Supposons alors qu'en un certain point nous interposons un système **B** formé de deux planches verticales juxtaposées parallèles laissant entre elles un espace libre de largeur juste égale au diamètre de la corde. Au-delà de **B** le mouvement sera modifié. Il demeurera évidemment dans le plan vertical passant par cet espace libre du système **B** mais les volutes circulaires seront alors remplacées par une ondulation restant dans ce plan et apparaissant sous la forme sinusoïdale. Supposons maintenant qu'un peu plus loin nous interposons encore un système **C** exactement semblable au système **B** mais placé horizontalement. Il est alors évident qu'il va éteindre complètement les oscillations de la corde qui restera, de **C** jusqu'à son extrémité fixe **D** rigoureusement immobile. Si le système **C** était disposé verticalement dans le même plan que **B** les oscillations le traverseraient sans aucune altération. S'il était oblique, il n'amènerait qu'une extinction partielle du mouvement.

On dit alors qu'entre **B** et **C** les oscillations de la corde sont **polarisées**, le système **B** étant appelé **polariseur** et le système **C** **analyseur**. On emploie ce terme **Analyseur** parce que le dispositif permet non seulement de mettre en évidence que les oscillations sont polarisées mais encore de déterminer le plan dans lequel elles se propagent. On peut donc grâce à lui analyser complètement le mouvement. C'est au moyen d'un dispositif correspondant au schéma de la fig. 34 que l'on met en évidence la nature des vibrations lumineuses.

On peut à cet effet utiliser la réflexion de la lumière sur une glace de verre non étamée dont on a noirci une face. Si un rayon lumineux se réfléchit sur la face brillante sous un certain angle (angle de Brewster), il est polarisé. Toutefois le procédé le plus couramment employé aussi bien au laboratoire que dans les applications pratiques, est le prisme de Nicol. Ce prisme (fig. 36, **B** et **C**) est un cristal naturel de spath d'Islande taillé en forme de parallélépipède. Il possède une propriété remarquable d'ailleurs commune à beaucoup de matières cristallines, appelées Double Réfraction. Cela exprime, que si on le fait traverser par un rayon lumineux, il en ressort deux rayons différents. Or ces rayons sont tous deux polarisés. Pour éliminer l'un d'eux, on coupe le nicol obliquement et on recolle les deux moitiés

avec une colle spéciale appelée Baume du Canada. De cette manière, l'un des rayons réfractés se trouve éliminé et sort par une des faces latérales.

Ces conditions étant réalisées, prenons deux prismes de nicol et plaçons les l'un derrière l'autre, (fig. 36), de manière que leurs faces latérales correspondantes soient dans les mêmes plans. Faisons arriver depuis **A** un rayon lumineux sur la face d'extrémité du nicol **B**. Nous constatons qu'une partie seulement de la lumière le traverse, car le rayon entre **B** et **C** est plus faible que le rayon pénétrant à gauche de **B**. Par contre le rayon sortant à droite du second nicol **C**, est sensiblement aussi puissant que le rayon entrant à sa gauche. On obtient en **D** une tache lumineuse, sur un écran de toile blanche par exemple. On peut constater que cette tache serait la même si on place cet écran entre **B** et **C**. Remettons l'écran en **D**, et faisons tourner maintenant le nicol **C** autour de la direction du rayon prise comme axe de rotation. On constate alors une diminution progressive de l'éclat de la tache lumineuse en **D**. Lorsque le nicol **C** est à angle droit avec le premier, la tache est complètement éteinte. Si on tourne encore **C** d'un quart de cercle, la tache reparait avec tout son éclat, et ainsi de suite.

Il est facile de voir qu'une telle expérience reproduit exactement les effets du dispositif de la figure 35. Elle prouve simultanément :

- 1) Que les vibrations lumineuses sont transversales ;
- 2) Que la lumière, entre les nicols **B** et **C** (fig. 36), est polarisée suivant un plan.

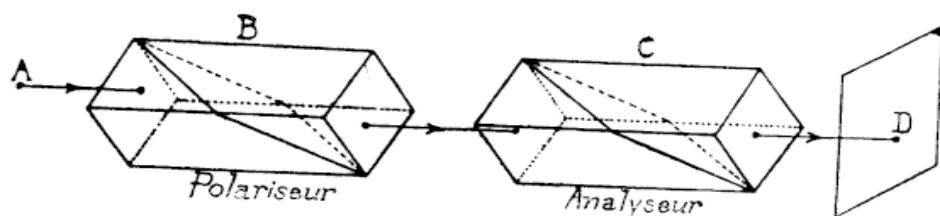


Fig. 36. — Etude de la vibration lumineuse avec un Nicol polariseur et un Nicol analyseur.

Si, en effet, les vibrations lumineuses étaient longitudinales, il n'y aurait aucune raison que le fait de tourner le nicol **C** ait une influence sur l'éclat de la tache **D**. Elles ne peuvent pas non plus être obliques, sinon on pourrait les considérer comme formées de deux mouvements simultanés et superposés, l'un longitudinal et l'autre transversal ; le mouvement longitudinal traverserait alors le nicol **C** sans altération et on ne pourrait jamais obtenir l'extinction com-

plète de la tache en **D**, ce qui est en contradiction avec l'expérience. Les résultats obtenus avec le schéma de la figure 36 forment donc une démonstration complète.

La lumière polarisée est très employée dans les laboratoires, principalement parce que certaines actions peuvent agir sur le plan de polarisation. Supposons que nous ayons tourné le nicol **C** de la figure 36 à angle droit avec le nicol **B** de telle sorte que la tache en **D** soit éteinte. Interposons, entre **B** et **C**, un bac de verre à faces parallèles contenant par exemple une dissolution de glucose. On constate que la tache reparait en **D**. Pour la faire disparaître à nouveau, on doit tourner le nicol analyseur **C** d'un certain angle. Cet angle est proportionnel à la concentration de la dissolution et à l'épaisseur du liquide interposé. On a donc là un moyen de doser instantanément, sans faire intervenir aucun agent chimique, la concentration d'une dissolution de sucre. Cette dissolution a donc en somme la propriété de faire tourner l'angle de polarisation. On a légitimement attribué cette propriété à la manière dont est construite la molécule du corps dissous. Il existe certains corps chimiques dont on connaît plusieurs variétés qui ont des propriétés physiques et chimiques entièrement semblables et ne diffèrent que par l'angle dont elles font tourner le plan de polarisation de la lumière.

Il faut remarquer que la lumière polarisée produit les mêmes effets chimiques que la lumière naturelle, en particulier, elle impressionne de la même façon les plaques photographiques. Il en est de

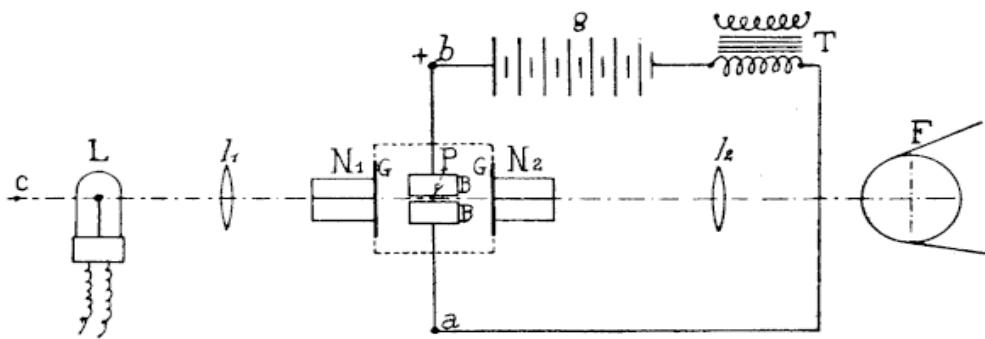


Fig. 37. — Dispositif schématique de l'enregistrement à densité variable par la méthode de la lumière polarisée, avec une cellule de Kerr.

même pour les liquides sensibles produits par les cellules de l'œil. Il est donc impossible à l'œil humain de distinguer par simple observation un rayon de lumière polarisée d'un rayon de lumière naturelle.

Ces principes fondamentaux étant posés, nous allons étudier l'application de la lumière polarisée à la cellule de Kerr, employée

dans l'enregistrement sonore, encore qu'il soit assez difficile d'en faire une théorie bien claire sans aborder le calcul. De tous les procédés utilisés pour l'enregistrement sonore, la cellule de Kerr représente en effet celui qui fait appel aux notions scientifiques les plus abstraites.

Un schéma de principe d'enregistrement par cellule de Kerr est donné par la figure 37. Une lampe **L** à filament rectiligne et horizontal, alimentée de préférence par courant continu, produit une lumière fixe et intense. Une lentille **I₁** donne de ce filament une image en un point **P**, à l'intérieur de la cellule de Kerr. Cette dernière est constituée par un petit récipient figuré en pointillé dont les faces à gauche et à droite sont formées de deux glaces **G** bien transparentes et bien dressées. Contre chacune de ces glaces est fixé un nicol (**N₁** et **N₂**). A l'intérieur du récipient se trouvent deux blocs de charbon **B** jouant le rôle d'électrodes. Leurs faces en regard sont bien parallèles et ils ne laissent entre eux qu'un petit espace libre. De plus, ils sont soigneusement isolés l'un de l'autre, ainsi que de la masse du récipient et reliés respectivement à deux bornes extérieures **a** et **b**.

Dans ces conditions, les rayons émis par la lampe **L** et concentrés par la lentille **I₁**, traversent le nicol **N₁**, d'abord, ce qui polarise la lumière en plan, puis traversent la glace qui ne leur apporte aucune modification, et enfin forment l'image du filament en **P**, entre les blocs de charbon.

On remplit alors la cellule avec un liquide doué de double réfraction, non décomposable par le courant électrique et sans action chimique ni sur les blocs de charbon ni sur les parois. En général on choisit le Nitrobenzène ($C_6H_5 - NO_2$) qui présente plusieurs avantages à ce sujet ; il ne change d'ailleurs pas l'orientation du plan de polarisation de la lumière, dans les conditions ci-dessus.

Le nicol **N₂** est à angle droit avec le nicol **N₁**. Donc, dans les conditions actuelles, aucune lumière ne sort de la cellule. Supposons à présent que nous appliquions aux bornes **a** et **b** une différence de potentiel constante, de l'ordre de 1000 volts, avec un générateur représenté sur le schéma par une batterie de piles **g**. On constate alors qu'une certaine quantité de lumière traverse la cellule de Kerr. Cette lumière peut alors être reprise par une lentille **I₂** et donner finalement une image sous la forme d'une raie lumineuse fine, sur le film vierge **F** qui se déroule sur un tambour d'un mouvement régulier.

Le nitrobenzène possède donc la propriété d'agir sur la lumière polarisée lorsqu'on le soumet à un champ électrique assez puissant, et de dévier une partie de la vibration lumineuse dans le plan où cette vibration peut traverser le nicol **N₂**. Pour analyser ce phénomène de façon plus précise, il est nécessaire d'avoir recours à une représen-

tation géométrique simple, et de fixer les directions exactes des deux nicols.

La figure 38 représente les deux blocs de charbon, l'espace libre entre eux est très exagéré. On suppose qu'on observe le phénomène suivant la ligne optique du système. Par exemple, l'observateur est placé derrière la lampe **L** au point **C** et regarde le film **F** (fig. 37). Le premier nocol **N₁** est incliné à 45°. Toute la vibration lumineuse qui le traverse se trouve donc comprise dans un plan incliné à 45° sur l'horizontale. Suivant un mode de représentation d'un usage courant en mathématique et en physique pour l'étude des mouvements

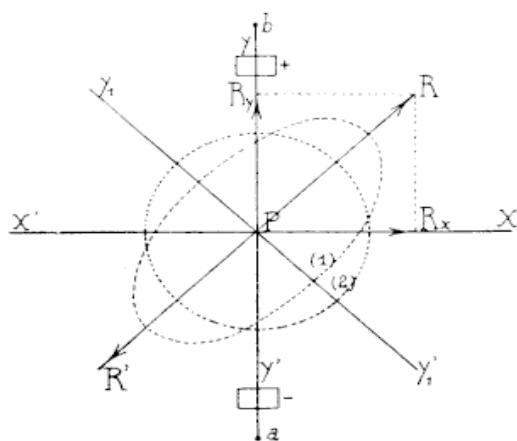


Fig. 38. — Diagramme explicatif de l'action du champ électrique sur la vibration lumineuse dans une cellule de Kerr.

pendulaires et oscillants (fig. 38), on figure la vibration lumineuse au point **P** par un vecteur **PR** (on y ajoute d'ailleurs implicitement son symétrique **PR'**). Cela signifie qu'au point **P** le mouvement vibratoire de la lumière suit indéfiniment le chemin **PR'PRP**. On peut se représenter ce mouvement d'une façon concrète en supposant un pendule suspendu au-dessus du point **P** de la figure 38, perpendiculairement au plan de la figure, et dont le mouvement s'effectuerait entre les points **R** et **R'**.

Le second nocol est à angle droit avec le premier. Il permet donc le passage des seules vibrations contenues dans le plan perpendiculaire au plan de la figure, et passant par la droite **y'_1 - y₁**. Donc, en l'absence de tension appliquée aux bornes **a** et **b**, ce nocol **N₂** produit bien une extinction complète, parce que la projection de la droite **PR** sur **y'_1 - y₁** est égale à 0.

On peut d'ailleurs considérer le mouvement **PR** comme la somme

de deux mouvements suivant **PRy** et **PRx**. Supposons alors qu'on applique une tension électrique entre les bornes **ab**. Le champ électrique ainsi créé entre les blocs de charbon sera sans effet sur la vibration **PRx** mais produira un retard de phase sur la vibration **PRy**. Une étude mathématique prouve alors que le point figuratif du mouvement, au lieu de parcourir le chemin **PR'PRP** va parcourir une courbe, qui peut être une ellipse ou un cercle (figurés en pointillé). On peut se représenter encore ce changement en reprenant le pendule de tout à l'heure et en supposant qu'il a reçu un choc, et a dévié de son chemin. Il décrit alors une courbe autour du point **P**. Mais à présent une partie du mouvement vibratoire peut être considérée comme appartenant à la direction $y'_1 - y_1$, et, par conséquent, le

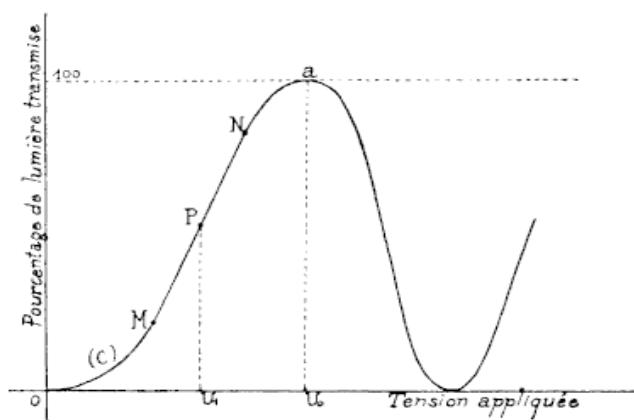


Fig. 39. — Courbe de transmission de la lumière à travers une cellule de Kerr, en fonction de la tension appliquée à ses électrodes.

deuxième nicol laissera passer une partie de la lumière. Suivant que le point figuratif du mouvement décrit une ellipse (ligne pointillée 1) ou un cercle (ligne pointillée 2) on a affaire à la polarisation rotatoire elliptique ou circulaire. Pratiquement, on se place précisément dans le deuxième cas. On y arrive simplement en ajustant la valeur de la tension continue appliquée entre **a** et **b**, à une valeur particulière convenable. Il est d'ailleurs très facile de se rendre compte pratiquement que cette valeur est atteinte. Si en effet on considère la figure 38 et le cercle (2) on voit que, par raison de symétrie, le mouvement suivant l'axe $y'_1 - y_1$ sera le même quelle que soit l'orientation de cet axe. Donc, supposons cette valeur atteinte. Une certaine quantité de lumière traverse la cellule. Si on fait alors tourner le nicol **N₂**, cette rotation n'apportera aucune variation dans l'éclat de la tache lumineuse produite sur le film.

On peut traduire ces résultats par une courbe (fig. 39). On porte sur l'axe horizontal les valeurs des tensions constantes appliquées aux blocs de charbon et sur l'axe vertical le pourcentage de lumière que le second nicol laisse passer. On obtient alors une courbe (C) Pour une tension nulle, il ne passe rien. Si l'on applique une tension croissante, il passe d'abord de plus en plus de lumière. En particulier la courbe présente une partie MN sensiblement rectiligne et dont le milieu P correspond à peu près à 50 % de la lumière transmise. La valeur U_1 de la tension permettant d'obtenir ce point de fonctionnement est d'environ 70 % de la tension U_0 pour laquelle le deuxième nicol laisse passer la totalité de la lumière. C'est aussi cette tension U_1 qui produit la polarisation rotatoire circulaire.

Si on augmentait encore la tension, la courbe redescendrait jusqu'à zéro, pour remonter ensuite à 100 %, et ainsi de suite, les différentes branches se resserrant d'ailleurs de plus en plus. Bien entendu, on serait pratiquement bientôt arrêté : l'espace entre les charbons étant en effet très faible, on arriverait bientôt à une décharge disruptive à travers le nitrobenzène et on détruirait la cellule.

Tous les résultats précédents peuvent être établis par le calcul et l'expérience les confirme.

Donc, comme dans toutes les courbes caractéristiques présentant une partie rectiligne, on se placera au milieu de cette partie rectiligne. La valeur optimum U_1 de la tension dépend de plusieurs facteurs, en particulier de la nature du liquide et de la distance entre les électrodes de charbon. Elle peut varier de 400 à 1200 volts — elle est généralement de 1000 volts environ. Revenons à la figure 37. Le générateur g figuré par une batterie est pratiquement remplacé par un redresseur à tubes thermoioniques suivi d'un filtre et d'une batterie de condensateurs. On obtient ainsi facilement une tension élevée et d'un réglage facile. En série avec la source de tension continue, on place le secondaire du transformateur T de sortie de l'amplificateur. La tension sonore se superpose donc à la tension continue et le point de fonctionnement, sur la courbe de la figure 39, parcourt la partie rectiligne entre les points M et N.

Le transformateur de l'amplificateur doit, bien entendu, pouvoir fournir des tensions de courant sonore assez élevées, de l'ordre de 200 volts. C'est un inconvénient du procédé à cellule de Kerr, mais il n'est pas très gênant, et on peut en définitive obtenir une modulation de 50 % de la lumière sans déformation sensible. Aussi le procédé d'enregistrement par cellule de Kerr est-il très employé, surtout en Allemagne (Système Tobis-Klangfilm). On peut aisément construire des appareils transportables pour les scènes en plein air et

les actualités. De tels appareils ne sont pas très fragiles et le réglage de l'enregistrement est relativement facile.

On remarquera que de tous les systèmes étudiés, le système Fox Movietone étant mis à part, celui de la cellule de Kerr est le seul ne comportant aucun organe en mouvement. Il est purement statique. L'obéissance de la lumière polarisée aux variations de tension sur les électrodes est en effet pratiquement instantanée. On pourrait donc penser que ce système permette d'enregistrer des fréquences beaucoup plus élevées que les procédés à oscilloscopes ou galvanomètres à corde. En fait, il leur est simplement équivalent. Les oscilloscopes et galvanomètres pourraient en effet enregistrer des fréquences bien supérieures à celles dont on se contente généralement. Ce sont d'autres facteurs qui limitent les résultats obtenus : l'épaisseur des lignes lumineuses d'impression, l'inertie des microphones et, surtout, à la reproduction, l'imperfection des hauts-parleurs. On pourrait ajouter également qu'avec des fentes lumineuses excessivement fines, la grosseur des grains d'argent réduits de l'émulsion et l'épaisseur de la couche de gélatine commencent à ne plus être négligeables. Il s'ensuit à la reproduction des irisations et diffractions lumineuses qui apportent des distorsions dans le son, au moins pour les fréquences très élevées.

GENERALITES SUR LES ENREGISTREMENTS SUR FILM

Dans tous les procédés que nous venons d'étudier, on parvient donc, par une voie quelconque à faire arriver sur la bande sonore du film négatif un rayon lumineux modulé à la cadence du son. A l'enregistrement, on place toujours une cellule photoélectrique derrière le film afin que le moniteur puisse avoir un contrôle continu. Ce dispositif est bien entendu supprimé pour les appareils portatifs. On peut encore placer sur le trajet du rayon lumineux une glace non étamée inclinée à 45°. Elle laisse passer la majeure partie de la lumière vers le film, mais dérive une petite fraction qui est envoyée dans une cellule photoélectrique.

Sur la bande sonore seule la variation de la partie transparente par rapport à la partie opaque a une importance. Donc à la reproduction les films enregistrés avec les différents systèmes précités sont absolument interchangeables. Si les deux copies sont aussi bonnes, un même projecteur sonore passera indifféremment une copie avec enregistrement à largeur variable et densité constante ou une copie avec enregistrement à densité variable et largeur constante.

Non seulement l'intensité du rayon lumineux enregistreur doit toujours, quel que soit le procédé, être soigneusement contrôlée, mais

le développement photographique doit être très étudié. On apportera une grande attention, notamment, à la copie des positifs, surtout pour le système à densité variable, de telle sorte que les conditions de proportionnalité expliquées d'après la figure 31 restent respectées. On a l'habitude, en technique photographique, d'exprimer le degré de développement d'une émulsion au moyen d'un coefficient appelé « gamma ». On exprime alors la condition pour obtenir une bonne copie positive en disant que le produit des « gammes » de la copie négative et de la copie positive doit être voisin de l'unité.

Une remarque intéressante est encore à faire en ce qui concerne les enregistrements à largeur constante et densité variable. Si on se reporte à la figure 30, nous avons dit que dans ce procédé on faisait varier la quantité de lumière arrivant suivant une ligne mince **AB** pour produire des variations d'impression dans l'émulsion. Pour être rigoureux on devrait encore faire une distinction entre les procédés à lampe éclair (Fox-Movietone) et à cellule de Kerr (Tobis-Klang-film) d'une part, et le procédé à galvanomètre à corde (Western Electric) d'autre part. Si, en effet, on examine attentivement ces trois systèmes, on constate que dans les procédés à lampe éclair et à cellule de Kerr, la ligne **AB** de la figure 30 reste non seulement de longueur constante mais encore d'épaisseur **e** constante. C'est son éclairement qui varie, c'est-à-dire la quantité de lumière qui lui parvient par unité de sa petite surface. Si on la regarde au microscope au cours d'un enregistrement, elle apparaît sous la forme d'un rectangle très étroit et de dimensions constantes, mais dont l'éclat lumineux change.

Il en est tout autrement avec le système du galvanomètre à corde de la Western Electric. Sur la figure 34, en effet, les deux points **A** et **B** se rapprochent et s'écartent, et c'est l'image de l'espace libre entre eux qui apparaît sur le film en **e**. Donc, sur la figure 30, la raie lumineuse **AB** apparaîtra avec un éclat constant mais d'épaisseur **e** variable. En cas d'enregistrement d'un son très violent, elle pourra s'amincir au point de disparaître complètement ou au contraire se dilater jusqu'à une épaisseur double **2e**. La pulsation lumineuse est donc obtenue ici par un artifice différent des deux précédents.

En fait la pratique montre que tous les systèmes actuellement en usage sont équivalents. Une bonne copie reproduite sur un bon projecteur sonore donne toujours un résultat satisfaisant. On peut dire qu'il est impossible, même à un technicien exercé, de discerner à la seule audition un système d'enregistrement d'un autre. Aussi tous les procédés décrits ci-dessus sont-ils employés concurremment. Les principaux défauts dont sont affectées certaines copies proviennent d'un manque de soins dans les manipulations, surtout en ce qui concerne le tirage des positifs.

ENREGISTREMENTS SANS BRUIT DE FOND

Comme nous le verrons dans l'étude de la reproduction (chap. VII), la bande sonore obtenue par voie photographique est destinée ensuite à redonner le son enregistré en défilant devant un rayon lumineux qui va impressionner une cellule photoélectrique. Or, une des caractéristiques de la reproduction par ce procédé est l'existence d'un « bruit de fond » qui est dû aux taches accidentnelles, aux rayures, et même au fait que les grains d'argent de l'émulsion ne sont pas infiniment petits. Ce bruit de fond prend, bien entendu, une importance relative plus grande dans les périodes de silence, puisqu'à ce moment il se trouve tout seul et n'est plus couvert par la parole ou la musique. Il y aurait donc grand intérêt à ce que, dans les périodes de silence, la bande sonore soit, non pas semi-transparente comme dans les méthodes que nous venons de décrire, mais totalement opaque. De cette manière, en effet, aucune lumière ne pourrait plus la traverser pendant les scènes muettes et par conséquent les taches ou rayures ne joueraient plus pratiquement aucun rôle.

L'utilisation d'une telle copie est-elle possible ? Supposons que nous fabriquions, par un procédé quelconque, une copie positive dont la bande sonore aurait un fond tout noir, mais serait parsemée de taches transparentes. Evidemment, si une telle copie passe ensuite sur un projecteur sonore, le passage des parties transparentes devant le rayon lumineux provoquera bien encore des pulsations de la lumière, et par conséquent un son sera rendu. Il y aurait donc bénéfice à réaliser les copies sonores de cette manière.

Pour que les périodes de silence soient toutes noires sur la copie positive, il faut qu'elles soient entièrement transparentes sur le film négatif. Un son se traduira sur le film négatif par des dentures noires sur fond transparent, et sur la copie positive par des dentures transparentes sur fond noir.

Prenons, par exemple, le procédé d'enregistrement à densité variable de la Western Electric. Nous allons régler le galvanomètre à corde ci-dessus décrit de telle sorte que la lumière projetée sur la bande sonore soit normalement complètement étranglée. Un son produit devant le microphone devra toujours intervenir pour ouvrir l'espace entre les deux branches de la corde. Le courant fourni par l'amplificateur sera donc obligatoirement du courant redressé, c'est-à-dire toujours de même sens. Il devra, de plus, avoir été calculé de telle manière que lors de la reproduction, les pulsations lumineuses soient exactement à la demande du son enregistré.

Des dispositions équivalentes pourraient être adoptées avec les systèmes à densité constante et largeur variable genre R. C. A. et Gaumont.

La technique de ces enregistrements sans bruit de fond n'est pas encore entrée tout à fait dans la pratique, et nous ne pouvons guère les exposer plus en détail. Il est néanmoins à prévoir qu'ils apporteraient un progrès appréciable dans la technique sonore, et ils représentent sans doute les enregistrements de l'avenir. Ils sont actuellement très étudiés par d'importantes sociétés qui parviendront probablement à les mettre au point dans un avenir prochain.

De toute manière, ils n'apportent à la question qu'un perfectionnement de détail et ne changent rien aux principes généraux dont l'exposition est précisément le but du présent ouvrage.

Lorsque ces procédés nouveaux auront complètement conquis la place qui leur revient, ils ne manqueront pas d'être décrits en détail par les revues spécialisées dans ces questions. Nous y renvoyons les techniciens qui désireraient se tenir tout à fait au courant de ces améliorations de la technique cinématographique.

AUTRES PROCEDES D'ENREGISTREMENT

Dans toute branche industrielle, surtout tant qu'elle est neuve, apparaît une grande quantité d'idées et d'inventions, donc un abondant dépôt de brevets. D'ailleurs en général seule une faible quantité d'entre eux mérite de retenir l'attention. Il suffit de consulter les publications de brevets pour constater chez la plupart des inventeurs soit un manque de connaissances théoriques soit un mépris systématique des réalités pratiques. La lecture des brevets présente donc un certain intérêt psychologique. Le cinéma sonore ne pouvait donc échapper à ces règles générales. Aussi, pour le seul chapitre de l'enregistrement, une grande quantité de brevets ont-ils été pris. L'énumération complète en serait ici impossible et d'ailleurs fastidieuse. Nous passerons donc simplement en revue quelques-uns de ces procédés, fondés sur d'autres principes que ceux utilisés jusqu'ici couramment et décrits dans les pages précédentes. D'ailleurs il est juste de remarquer que certains ne sont pas dépourvus d'intérêt technique.

Procédé d'enregistrement avec sillon sur film. — Le principe de ce procédé est montré par la figure 40. Comme dans les méthodes d'enregistrement photographique sur film, on sacrifie une petite bande sur le côté de l'image. Mais au lieu d'y impressionner la gélatine sensible, on y grave un sillon dans le celluloïd formant le support du film. On se sert à cet effet d'un appareil de principe analogue à celui de la figure 19. A la reproduction, une pointe **P** suit ce sillon comme l'aiguille d'un phonographe sur un disque et met en action la membrane d'un pick-up. Ici l'idée des inventeurs était surtout d'obtenir une simplification par rapport au système à disque actuel.

A la reproduction le travail des opérateurs serait simplifié, et on n'aurait plus à redouter les mauvais synchronismes.

En fait ce système a contre lui plusieurs difficultés presque insurmontables. D'abord le celluloïd du film est relativement mou et ne permet donc qu'un petit nombre de reproductions sonores, alors que l'image pourrait être projetée des centaines de fois en gardant sa qualité. L'impression en creux du sillon sonore sur chaque copie positive nécessiterait l'étude de tout un outillage compliqué, ce sillon d'une grande longueur étant beaucoup moins facile à travailler que

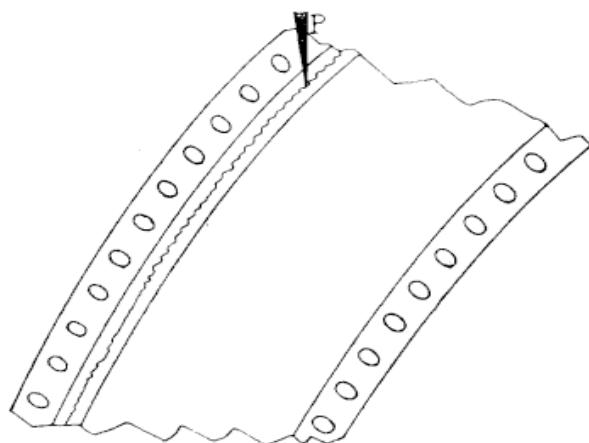


Fig. 40. — Système de reproduction gramophonique, avec sillon sonore porté par le film lui-même.

la spirale à lignes serrées des disques. Le celluloïd du film se prêtrait d'ailleurs moins bien à cette empreinte que la matière des disques facile à couler et à mouler.

Enfin une foule de petits détails d'apparence secondaire, mais très importants en pratique, interviennent encore. Par exemple, les collages du film pour mettre bout à bout les scènes successives et les titres, ou lors d'une rupture accidentelle, seraient impraticables. Il est en effet impossible de réaliser un collage ne présentant aucune surépaisseur, et où les deux bouts du sillon coupé se trouveraient exactement en face l'un de l'autre. Lorsque l'aiguille reproductrice du pick-up passerait sur un tel collage, elle déraillerait fatalement, et il en résulterait un violent crachement dans le son reproduit. Ce procédé, dans l'esprit des inventeurs, devait vraisemblablement réunir les avantages des deux méthodes par disque et par bande sonore photographique. En fait il paraît plutôt réunir leurs inconvénients sans présenter leurs avantages respectifs. Aussi n'a-t-il jusqu'à pré-

sent, au moins à notre connaissance, été l'objet d'aucune application pratique. Il faudrait pour qu'il puisse concurrencer les autres y apporter de nouveaux perfectionnements difficiles à entrevoir.

Procédé du Film Magnétique. — On a fait grand bruit récemment autour de ce procédé. Il repose d'ailleurs sur un principe depuis longtemps connu et schématisé par la figure 41. Un électroaimant **E** a son noyau formé d'un fer de bonne qualité feuilleté et coupé par un mince entrefer. Deux tambours **T₁** et **T₂** placés en regard permettent de faire défiler un fil d'acier d'un mouvement continu. Par exemple, il se déroule du tambour **T₁** et s'enroule sur le tambour **T₂**, marchant dans le sens des flèches. Aux bornes **a**, **b** de l'enroulement excitateur de l'électro-aimant on fait arriver la tension sonore fournie par un amplificateur de puissance. Il va donc apparaître dans l'entrefer un champ magnétique sensiblement proportionnel au courant sonore circulant dans l'enroulement excitateur. A chaque instant, le fil d'acier va se trouver aimanté transversalement, c'est-à-dire que les feuillets magnétiques seront superposés

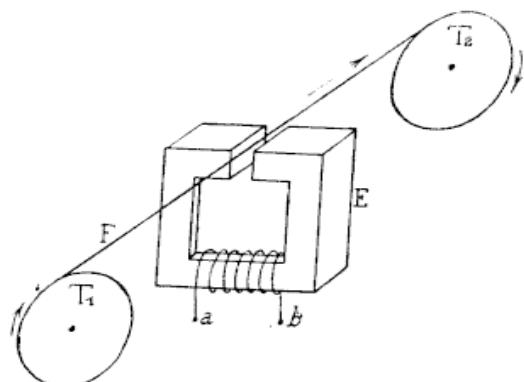


Fig. 41. — Schéma du procédé d'enregistrement et de reproduction par la méthode du fil magnétique.

perpendiculairement à sa longueur. En raison de la propriété de l'acier, bien connue, de conserver une partie du magnétisme (magnétisme rémanent), le fil va se trouver transformé en une succession de particules inégalement aimantées. Les inégalités d'une particule à la suivante traduisent d'ailleurs les variations du courant ayant circulé entre **a** et **b**. Donc elles traduisent la pression sonore sur la membrane du microphone branché sur l'amplificateur. Nous pouvons ainsi enregistrer par exemple un morceau de musique exécuté par un orchestre. Une fois le morceau terminé, arrêtons l'appareil, déconnectons l'amplificateur des bornes **a** et **b** et enroulons de nouveau

tout le fil sur le tambour **T₁** en tournant à l'envers. Remettons alors l'appareil en marche dans le sens des flèches de la figure. Le fil d'acier va de nouveau défiler dans l'entrefer dans les mêmes conditions que lors de l'enregistrement. Les particules inégalement aimantées qui le forment vont se succéder dans l'entrefer et provoquer des variations de flux magnétique qui vont circuler dans tout le noyau, et par conséquent à travers l'enroulement de l'électro-aimant. Donc une certaine tension va apparaître aux bornes **a**, **b**. Il n'y a plus qu'à relier ces bornes **a**, **b** à l'entrée d'un amplificateur suivi d'un haut-parleur. L'expérience confirme les prévisions théoriques et on entend dans le haut-parleur le morceau de musique enregistré.

Ce procédé, en raison de son extraordinaire simplicité, apparaît donc comme tout à fait séduisant. Il ne comporte en effet que des organes peu nombreux et faciles à établir. Le fil d'acier n'a pas la fragilité des disques ou des pellicules photographiques ; il peut être conservé sous un volume extrêmement réduit et peut être obtenu en très grandes longueurs d'une seule pièce. On pourrait ainsi jouer pendant très longtemps sans arrêt avec un seul appareil de reproduction. Aussi bon nombre de personnes, même qualifiées, furent d'avis pendant un temps que cette méthode était destinée à révolutionner de fond en comble la technique phonographique. En fait, on n'a pas pu au moins jusqu'à présent, obtenir avec ce système une reproduction égale à celle des disques ou des bandes sonores photographiques. Le magnétisme rémanent est en effet un des phénomènes les plus capricieux et les plus inconstants de la physique. Il est d'ailleurs pratiquement impossible de l'étudier par voie mathématique. Il correspond en réalité à une sorte de viscosité, à un équilibre instable. Les aciers ordinaires perdent facilement leur aimantation. Cette perte est encore grandement facilitée lorsque l'aimant est court, et surtout lorsque son circuit magnétique n'est pas fermé, car il exerce alors sur lui-même une influence démagnétisante. Or le fil magnétique de notre expérience se trouve précisément placé dans des conditions défavorables.

Les variations de température, les chocs, ont encore un fâcheux effet sur les aimants permanents. On a bien trouvé dernièrement des aciers spéciaux, les aciers au cobalt par exemple, qui peuvent conserver un puissant magnétisme rémanent. Mais, même pour eux, le phénomène est encore inconstant pour les circuits ouverts.

D'autre part, la question de conservation étant même laissée de côté, l'aimantation rémanente d'un acier est bien loin d'être proportionnelle au champ magnétique excitant. La proportionnalité de l'induction au champ est généralement admise dans les machines électriques où l'on utilise des fers spéciaux très doux, ou des tôles de

silicium, et à condition de ne pas trop saturer le métal. Mais l'acier, au contraire, introduit un gros retard dans le phénomène ; c'est ce qu'on appelle couramment l'Hystéresis. Donc, ici encore, le fil d'acier se trouve placé dans de mauvaises conditions. On doit en résumé poser en principe que l'aimantation permanente de l'acier est toujours incertaine. Il est donc singulièrement imprudent de s'adresser précisément à elle pour remplir le rôle délicat entre tous de l'enregistrement phonographique. Aussi constate-t-on des déformations et distorsions dans le son reproduit.

Le procédé que nous venons de décrire n'a donc pu, au moins jusqu'à présent, supplanter les autres. On peut seulement le considérer comme très ingénieux de principe et regretter que l'on n'ait pu encore découvrir un alliage magnétique possédant les qualités requises pour le metre en valeur.

Procédés Piézo-Electriques. — Contrairement aux deux précédents, les procédés piézo-electriques conserveraient l'enregistrement sur disque ou sur film, mais permettraient seulement de les obtenir par une voie nouvelle. Il en est de même pour ceux qui suivront. Rappelons brièvement en quoi consiste la piézo-electricité (du grec Piezein = presser). Cette catégorie de phénomènes se constate principalement sur des cristaux de matières non conductrices de l'électricité, le quartz par exemple. Si nous prenons un fragment de quartz et exerçons une certaine pression sur l'une de ses faces, il se comprime légèrement, en raison de son élasticité. En même temps apparaissent sur les côtés des charges électriques, faibles il est vrai, mais parfaitement mesurables. Le phénomène est d'ailleurs réversible. Si on applique entre deux faces du fragment une certaine tension électrique, il se comprime ou se dilate.

Les effets piézoélectriques sont restés longtemps dans le domaine du laboratoire et n'intéressaient guère que les savants. Aujourd'hui ils passent de plus en plus dans la physique industrielle et préoccupent de nombreux techniciens. On les utilise principalement pour maintenir bien constante la longueur d'onde d'émission des postes radiotéléphoniques. En plaçant un cristal de quartz dans le circuit grille d'une lampe oscillatrice, on obtient une fréquence bien régulière, résultat très important pratiquement.

On a songé à utiliser l'effet piézoélectrique pour l'enregistrement phonographique et cette idée mérite certainement de retenir l'attention. On peut coller un petit miroir sur un cristal de quartz et appliquer à ce cristal la tension sonore d'un amplificateur. Ses compressions et dilatations produiront de petites déviations du miroir. En envoyant alors sur le miroir un rayon lumineux on peut obtenir une

image oscillante permettant de réaliser l'un des deux enregistrements à densité constante ou à densité variable.

On peut également se servir du même principe pour l'enregistrement sur disques. On collerait alors sur une face du cristal une aiguille inscriptrice et on fixerait la face opposée à un support de grande masse considéré comme inébranlable. Les variations de tension appliquée au cristal feraient ainsi vaciller l'aiguille et découperaient le sillon sonore sur le disque de cire. Il semble donc qu'on puisse facilement réaliser ainsi des oscillographes ou enregistreurs de disques qui auraient vraisemblablement l'avantage d'être robustes, simples et pratiquement indérégables.

Toutefois, l'application de ce principe ne paraît pas avoir encore intéressé sérieusement les constructeurs. Il ne serait pourtant pas impossible que l'avenir en décide autrement et cette méthode mériterait quelques essais vraiment sérieux.

Procédés à Gaz luminescents. — Un assez grand nombre d'idées ont été émises pour moduler la luminescence d'un gaz avec une tension sonore. Ces procédés se rapprocheraient donc de la lampe éclair de la Société Fox-Case Movietone dont le fonctionnement a été décrit ci-dessus. Ils ont pour but seulement d'obtenir la variation lumineuse par une autre voie que la simple superposition de la tension sonore à la tension constante d'une batterie. En général ils consistent en l'addition d'une ou plusieurs électrodes dans un tube à gaz. On obtient ainsi un peu le même effet qu'avec la grille d'une lampe thermoionique. Un grand nombre de gaz a été essayé, y compris la vapeur de mercure. On reproche généralement à ces dispositifs un certain retard entre la variation de la lumière et la variation de tension sonore. En tous cas, aucun d'entre eux ne semble encore entré dans la pratique.

Procédés à Cristaux luminescents. — On peut encore établir des effets luminescents avec certains cristaux mis sous tension et en même temps placés sous l'action de différents gaz dans des conditions de température et de pression déterminées. Ces procédés comme ceux à gaz luminescents s'appliqueraient bien entendu aux enregistrements sur film.

Procédés à Oscillographe Cathodique. — Nous avons mentionné au chapitre III que l'on peut obtenir une tache fluorescente sur la face d'un tube à vide par choc des électrons moyennant que cette face a été enduite d'un corps chimique convenable. En percant un petit trou dans l'anode, seul un pinceau d'électrons vient la frapper. Ce pinceau peut d'ailleurs être dévié par un champ électrostatique et on réalise ainsi un excellent oscillograph. Un certain nombre

d'appareils de ce genre sont déjà en service dans les laboratoires d'électrotechnique. On a encore songé à appliquer ce principe à l'enregistrement sur film. Il suffit en effet de produire le champ électrostatique de déviation au moyen d'une tension sonore fournie par un amplificateur. Cette méthode a surtout l'inconvénient de ne donner qu'une lumière assez faible. Elle ne présente pas, en tout cas, d'avantage vraiment décisif sur les oscilloscopes à miroir ou les galvanomètres à cordes. Néanmoins, elle serait pratiquement réalisable.

Autres Systèmes. — Nous mentionnerons enfin brièvement qu'une quantité de chercheurs ont fouillé tous les systèmes imaginables pour faire varier l'intensité d'un rayon lumineux. On a été jusqu'à proposer d'agir sur les verres d'optique en déformant leur courbure par voie électromécanique. Jusqu'ici, aucune réalisation pratique n'a suivi ces idées.

CHAPITRE V

QUELQUES ASPECTS DE LA TECHNIQUE ARTISTIQUE DU STUDIO SONORE

Dans les chapitres précédents, nous nous sommes occupés exclusivement de la partie scientifique proprement dite de l'enregistrement. Supposons que nous ayons maintenant à notre disposition des instruments conformes aux principes exposés, et permettant de fixer sur chaque disque ou sur film une bonne échelle de fréquences. Nous ne sommes pourtant pas encore au bout des difficultés, et un bon metteur en scène aura encore à tenir compte d'une quantité d'autres facteurs.

La technique du studio a déjà donné matière à une volumineuse littérature. Pour faire une bonne copie sonore, il faut environ trois semaines à un mois en comptant les scènes manquées qu'on est obligé de recommencer. Un procédé avantageux consiste à travailler sur deux scènes. On monte les décors sur l'une d'elles pendant qu'on tourne sur l'autre. Au point de vue acoustique on s'occupera d'abord d'« insonoriser » le studio, comme nous l'avons déjà mentionné. Ce mot, peu correct mais sanctionné par l'usage, signifie que l'on étouffe tous les bruits venant de l'extérieur.

On doit ensuite s'occuper du traitement acoustique de la scène. Une scène ne doit pas être trop réverbérante. En général, dans un local dont les parois ne comportent aucun corps mou tel que tapisseries, coussins, etc... le son est facilement réfléchi. Si la distance d'une paroi à l'autre est assez grande, on a le phénomène de l'écho. On entend par là que, lors de la production d'un son, l'oreille discernera séparément le son lui arrivant directement de la source et le son lui arrivant après réflexion sur une paroi.

A la température ordinaire, le son parcourt environ 340 m. à la seconde. Si l'on admet que l'oreille puisse distinguer l'un de l'autre deux sons espacés dans le temps de $1/10^{\text{e}}$ de seconde par exemple, il suffira que le son réfléchi puisse trouver 34 m. à parcourir aller et retour. Le phénomène de l'écho pourra donc être constaté dans un local où la plus grande dimension sera de 17 m. environ, à condition que le son produit soit très bref. Dans le cas où la plus grande dimension est inférieure à 17 m. il n'y aura plus écho proprement dit. Toutefois, un son bref se réfléchira quand même mais la pression du son direct et du son réfléchi se superposeront d'abord dans

l'oreille. Ensuite le son continuera à se réfléchir dans tous les sens d'une paroi sur l'autre et impressionnera toujours l'oreille. Cependant son intensité diminuera peu à peu et finalement tout reviendra au silence. Il en résulte donc en somme, pour l'oreille, une sensation confuse, un mélange informe où un grand nombre de vibrations se superposent. On dit alors qu'il y a réverbération. Le temps pendant lequel le son est entendu de cette manière s'appelle temps de réverbération. Il est très variable d'un local à l'autre suivant les dimensions et la nature des parois, mais il peut aller jusqu'à 15 secondes ; L'extinction du son est d'ailleurs une forme de dégradation de l'énergie. Lorsqu'un son frappe une paroi, il en ébranle les molécules. En raison des viscosités moléculaires qui créent des frottements et rendent imparfaite l'élasticité de la matière, une partie de l'énergie sonore est transformée en chaleur et seule une fraction est renvoyée. Le phénomène est en tous points identique à une machine lancée qui s'arrête tôt ou tard à cause des frottements dans les paliers. On remarquera toutefois que l'amortissement des vibrations peut être ici assez faible. En 15 secondes le son parcourt en effet plus de 5 Klm ; il exécute donc un grand nombre de réflexions successives avant de s'éteindre. Bien entendu, la réverbération est constatée au maximum dans des locaux spacieux dépourvus de toute matière absorbante et dont les parois sont en pierre dure. C'est ce qui a lieu par exemple dans les églises ou dans les salles intérieures de châteaux forts.

Avec l'apparition du film sonore, toutes ces questions ont commencé à être étudiées d'une façon méthodique, mathématiquement et pratiquement. L'acoustique jusqu'à ces dernières années avait été une science un peu délaissée. Elle est maintenant une actualité de premier plan. Elle reste d'ailleurs difficile et soulève une quantité de problèmes souvent contradictoires où l'on doit généralement se contenter de demi-mesures et de compromis. Les coefficients d'absorption et de réverbération ont été déterminés systématiquement surtout par les grandes firmes cinématographiques américaines.

Un moyen pratique généralement employé pour avoir une idée de la réverbération consiste à se placer au milieu du local bien silencieux et à frapper alors une fois violemment les deux paumes des mains l'une contre l'autre. Un observateur attentif perçoit alors facilement le bruit confus dont nous avons parlé ci-dessus et qui s'éteint peu à peu. Il est à peine nécessaire d'ajouter bien entendu que la réverbération excessive est un gros ennemi du studio sonore car elle peut arriver à rendre l'enregistrement inintelligible. En général on tapisse donc le studio de manière à obtenir des temps de réverbération n'excédant pas 0,5 à 1 seconde. On utilise à cet effet diverses

matières, telles que la laine minérale, le Celotex, l'Insulite, etc... On peut bourrer ces matières contre les parois, ou les disposer par couches superposées laissant entre elles un intervalle d'air. On se base généralement pour faire ces traitements acoustiques sur des formules mathématiques établies par les américains Sabine d'abord et ensuite par C. F. Eyring.

Toutefois un amortissement excessif du studio sonore n'est pas à recommander. On obtient ensuite à la reproduction un effet inférieur, surtout pour la musique. Elle donne en effet une impression de pauvreté, et comme on dit, elle manque de profondeur. D'après certains techniciens du son, un peu de réverbération serait donc nécessaire. Toutefois l'accord sur ce point n'est pas encore parfait entre tous les spécialistes, car d'autres personnes qualifiées prétendent exactement le contraire. D'après elles, en effet, la disposition convenable du microphone et la très légère réflexion sur les objets entourant les acteurs (tables, chaises, etc...) devrait suffire, les parois du studio restant en pratique complètement absorbantes.

Pour cette question de « profondeur du son », un autre facteur intervient encore. Lorsqu'on écoute parler une personne dans la vie réelle, on le fait avec les deux oreilles, de même qu'on la regarde avec les deux yeux. C'est précisément grâce à cette audition binaurale que l'on apprécie assez facilement les distances. Le son entendu produit sur l'auditeur une impression complète de réalité lorsque la personne qui parle se rapproche ou s'éloigne. Or il ne faut pas l'oublier, le système d'enregistrement sonore n'écoute jamais qu'avec un microphone, de même que la caméra de prise de vues n'a qu'un objectif. Le cinéma sonore supprime donc à la fois le relief sonore et le relief lumineux. Pour ce qui concerne le relief lumineux, les opérateurs habiles arrivent à en donner malgré tout une certaine idée par des effets d'éclairage et des mises au point variables de leurs objectifs créant tout à tour des effets de flou et de netteté. (Voir au dernier chapitre la question du cinéma en relief proprement dit).

Il faut donc arriver à produire quelque chose d'identique pour le son. Divers systèmes ont été imaginés : par exemple, l'enregistrement simultané avec deux microphones, et sur deux bandes sonores séparées. Ils n'ont pas été adoptés. On se contente généralement d'obtenir approximativement ce résultat en jouant sur les qualités acoustiques du local et sur la position du microphone.

Un procédé de contrôle relativement recommandable pour le metteur en scène sera d'écouter de temps en temps avec une seule oreille. Supposons qu'un acteur parle au cours d'une scène quelque en faisant des allées et venues dans le studio. Lorsqu'il s'éloigne du microphone, le son direct qui y parvient diminue énor-

mément d'intensité. Au contraire, le son réfléchi par les parois du studio le mieux amorti restera le même ou augmentera. Le rapport du son réfléchi au son direct va donc croître beaucoup. L'expérience prouve que lors d'une audition avec une seule oreille et en raison de la perte de la notion de direction, ce rapport augmente apparemment encore bien plus que réellement. Aussi, lors de la reproduction dans une salle de spectacle, ce phénomène pourra-t-il attirer d'une façon désagréable l'attention des auditeurs. En se basant sur ces principes on aboutit à cette conclusion : Un studio doit être amorti à un taux supérieur à la normale, c'est-à-dire celui des locaux que nous habitons généralement. Pour produire cette sensation de profondeur, on utilise aussi des studios où on a supprimé certains côtés. Par exemple, on enlève le plafond, ou on perce de très larges ouvertures dans les murs. De cette manière il existe des directions suivant lesquelles aucune réflexion n'est possible. D'ailleurs, cette condition étant réalisée, il y aura encore dans le studio une position optimum pour la caméra et le microphone, leur place ne devant pas être choisie au hasard. Bien entendu, de tels studios ne sont possibles à établir que dans des campagnes, loin de tout bruit parasite.

Pour des raisons du même ordre, la parole est généralement très intelligible dans les scènes prises en plein air, réserve faite que l'on aura transporté sur place un matériel équivalent à celui d'un studio fixe.

Pour ce qui concerne la position du microphone en général, la meilleure serait précisément dans le champ de l'objectif. Les acteurs, en effet, ont généralement la figure tournée vers la caméra, puisqu'il est avantageux de les présenter ensuite sur l'écran vus de face. Or il est établi que les fréquences élevées, dans la prononciation des **s** par exemple partent de la bouche suivant une gerbe assez rétrécie. On peut en faire une vérification pratique dans la vie courante. Il est, en effet, beaucoup plus difficile à un auditeur, en général, de comprendre un interlocuteur parlant à une troisième personne que de comprendre cet interlocuteur tourné vers lui. Cette condition est irréalisable, le microphone ne devant pas figurer sur l'image. On se contentera donc d'une solution approximative en le plaçant légèrement sur le côté ou en l'air.

La puissance moyenne du son enregistré ou, comme on dit habituellement, son « volume » doit être contrôlée très soigneusement. Comme nous l'avons signalé, ce rôle appartient à l'opérateur moniteur ou parfois à un autre opérateur placé dans le studio et muni d'un potentiomètre convenable. Il n'est pas bon d'exagérer outre mesure la puissance de l'enregistrement. On risque en effet les inconvénients signalés dans l'étude du chapitre précédent : sortir des

parties droites des courbes caractéristiques des appareils ou des émulsions, chevauchement de deux sillons sur les disques, etc... D'autre part, un niveau moyen trop bas est encore plus mauvais. Il est avantageux en effet pour donner ultérieurement au spectateur une illusion complète de la réalité de capter tous les bruits légers tels que frou-frou d'une étoffe, pliage d'un papier, etc... Ensuite, on ne perdra pas de vue le fait suivant : dans tout système de reproduction, il y a toujours un très léger « bruit de fond » très difficile à faire disparaître complètement. Il doit en tout cas rester beaucoup plus faible que la musique ou les paroles reproduites. Si une copie est enregistrée trop faiblement, on sera obligé à la reproduction de forcer l'amplification. Or ce supplément d'amplification portera ainsi non seulement sur le son utile mais aussi sur le son parasite qui prendra ainsi une valeur exagérée et le résultat final perdra en qualité.

Enfin on doit encore éviter les variations trop grandes d'une scène à l'autre du niveau moyen sonore. De telles variations nécessitent en effet ensuite dans les cabines de projection des réglages continuels de l'amplification et le travail des opérateurs se trouve compliqué. On peut se rendre compte facilement, d'après l'exposé précédent, du rôle difficile de tous les techniciens du studio pour obtenir une bonne copie. Nous n'avons d'ailleurs fait ici qu'un résumé très succinct suffisant pour donner une idée générale du sujet.

ORCHESTRATION - SONORISATION RE-ENREGISTREMENT - REVOCALISATION ARTIFICES DU FILM SONORE

Nous venons de voir comment on peut enregistrer en film sonore une scène parlée ou musicale en captant simultanément le son et l'image mais là ne s'arrête pas la technique du studio. On peut encore y produire certains effets élargissant considérablement les possibilités du film sonore. Le cinéma muet s'était déjà attribué un champ d'action tout différent du théâtre de telle sorte qu'ils ne se faisaient guère concurrence. Déjà, en effet, le passage instantané d'un décor à un autre, la possibilité pour l'opérateur de prise de vues d'aller filmer dans des endroits peu accessibles, avaient assuré le succès du cinéma muet. On avait pu le spécialiser dans certains effets que lui seul pouvait produire. On avait simplement supplié à l'absence de paroles en choisissant des acteurs « photogéniques » aux expressions de visage accentuées, aux mouvements vifs et précis de manière à essayer de reporter sur l'image toute la vie qui faisait défaut en raison du manque de son. Le cinéma sonore ne peut guère

non plus être considéré comme étant un concurrent du théâtre destiné à le remplacer. Il continue comme son prédecesseur à s'occuper plus spécialement des questions qu'il peut seul mettre en valeur. Néanmoins, l'apparition du son dans les salles cinématographiques a bouleversé de fond en comble la technique artistique et on a tiré tout de suite de ce nouvel acteur tout le parti possible.

De même que dans le cinéma muet on mettait en œuvre des artifices de toute sorte par exemple pour filmer des contes de fée, de même on introduit au studio sonore des trucs variés pour augmenter la puissance de l'illusion. On s'est donc lancé dans de nouveaux procédés et, pour la commodité de la technique, on n'a pas hésité à les baptiser de noms fabriqués de toutes pièces capables de scandaliser les littérateurs ou les grammairiens comme par exemple : « sonorisation » et « revocalisation ».

La raison de cette « fabrication du son » séparée de la « fabrication de l'image » peut être l'une des suivantes :

1) Ajouter un son à un vieux film tourné autrefois en muet... Un certain nombre de films muets avaient nécessité des dépenses considérables pour leur mise en scène. De plus, certains d'entre eux, en raison du succès énorme qu'ils avaient rencontré, avaient laissé derrière eux un nom célèbre. Il était donc naturel que les éditeurs cherchent à les sonoriser pour profiter d'une publicité toute faite. D'ailleurs, le public a manifesté une certaine satisfaction à revoir ainsi en sonore d'anciennes belles copies muettes. Cette sonorisation s'est faite le plus souvent sur disques. Toutefois, rien ne s'oppose à la faire sur bande sonore, moyennant le sacrifice d'une petite partie de l'image.

On procède alors comme suit : On passe le film sur un projecteur placé dans le studio et actionné par un moteur synchrone branché sur le réseau alternatif. Tout le reste du studio est organisé comme nous l'avons décrit au chapitre IV. En particulier l'enregistreur à disque ou à copie sonore négative est entraîné par un moteur synchrone également branché sur le réseau alternatif. Dans le studio sont rassemblés tous les spécialistes qui vont produire les sons et observent la projection du film sur l'écran. Comme en général la sonorisation consiste surtout en musique, il y a un orchestre qui joue une musique appropriée à la scène qui passe : lente et plaintive pour une scène de crépuscule, violente et tonitruante pour une scène de bataille. En même temps, d'autres spécialistes se tiennent prêts à émettre d'autres bruits lorsque le moment en est venu : coups de feu, bris d'objets divers, rumeur de foule, coups de sifflets, etc..... Bien entendu on fera de préférence une ou deux préférences pour éviter les erreurs.

Il n'y a plus ensuite qu'à continuer le traitement du disque ou de la bande sonore comme pour un film pris directement. Grâce au mouvement synchrone du projecteur et au système d'enregistrement sonore, le résultat obtenu pourra être excellent. Dans le projecteur qui déroule le film muet est compris un système de repérage qui montrera ensuite, pour chaque bobine, l'endroit où le son doit commencer. On a déjà fréquemment appliqué cette méthode.

2) Ajouter du son à une scène où les acteurs étaient dans l'impossibilité pratique de le produire : c'est le cas des caricatures animées où le cinéma sonore a certainement poussé au plus haut degré son pouvoir de rendement. Ici encore, le dessin sera d'abord intégralement exécuté comme un film muet puis sonorisé comme dans le cas précédent. Il faut toutefois remarquer qu'une collaboration étroite est ici nécessaire entre les dessinateurs et les «sonoriseurs». Si, par exemple, l'un des sujets dessinés doit prononcer une parole, émettre un son ou danser sur un air de musique, le dessin ne pourra pas être fait au hasard. Le dessinateur devra au contraire établir une sorte de canevas de la copie telle qu'elle devra se présenter finalement. D'accord avec les techniciens du son, il étudiera d'avance les mouvements à faire exécuter à ses personnages. Ce travail est donc en définitive énorme et c'est pourquoi ces films sont généralement assez courts mais ils ont aussi un succès très grands auprès du public car ils constituent un spectacle vraiment unique en son genre. C'est ainsi que Mickey la souris, Flip la grenouille, Oswald le lapin et Krazy le chat sont devenus de véritables vedettes.

On peut aussi mentionner dans cette catégorie les films de vulgarisation scientifique tels que les films d'histoire naturelle dont les résultats saisissants pour le spectateur avaient déjà été mis en valeur par le film muet. Supposons que nous voulions expliquer la germination d'une plante. On place alors une graine en terre dans des conditions convenables et une caméra pourvue d'un dispositif automatique prendra par exemple une vue toutes les dix ou quinze minutes jusqu'à ce que la plante est atteint son développement complet. Le film étant alors achevé, on le développe et on tire une copie positive permettant de reproduire en quelques instants sur l'écran toutes les phases d'une croissance ayant duré plusieurs jours. Cette accélération du mouvement permet d'animer ainsi des choses apparemment inertes et c'est certainement là une des plus belles conquêtes de la technique cinématographique. Cette copie muette est alors projetée dans un studio toujours pourvu des mêmes dispositifs et un conférencier parle devant un microphone tout en regardant l'image sur l'écran, exactement comme si le public se trouvait effectivement dans le studio. Il est d'ailleurs généralement avantageux de superposer à sa parole une

musique de fond très étouffée qui forme une sorte de second plan sonore et enrichira ensuite l'impression produite à la projection sur les spectateurs. Un certain nombre de tels films ont déjà été réalisés mais il faut le reconnaître ils ne rencontrent pas toujours auprès du public la faveur qu'ils mériteraient. Dans plusieurs pays néanmoins ils sont déjà très employés dans les écoles et les universités.

Enfin nous signalerons encore le cas où des acteurs, même vivants, se trouvent dans l'incapacité d'impressionner convenablement le microphone. Par exemple, un acteur peut se trouver au cours d'une scène enfermé dans une caisse vitrée, ou être habillé en scaphandrier, etc...

3) Produire un son plus commodément au studio que sur le lieu où est prise l'image : On peut supposer un film qui se passe sur mer par temps de tempête. Il est impossible de reproduire en studio une mer démontée avec son horizon très étalé. Il faut donc se résoudre à aller filmer la scène sur place, mais alors il serait nécessaire de transporter ainsi en un endroit peu commode et exposé aux intempéries tout l'outillage délicat d'enregistrement sonore, avec les sources de courant et tout le personnel. On irait donc au devant de grosses difficultés et de frais élevés. On va donc encore procéder en deux fois. Un opérateur ira se placer sur un rocher bien placé pendant une tempête se munissant seulement d'une caméra de prise de vues portative. Il obtiendra ainsi un film muet qu'on projettera encore sur l'écran dans un studio pendant qu'on produira artificiellement les bruits de vent, de tonnerre, etc... Il est à remarquer d'ailleurs que dans une telle scène le synchronisme final est facile à réaliser puisqu'il s'agit à la fois de bruits à la fois violents et confus. Il n'est même pas nécessaire de prendre la vue muette à la vitesse standard rigoureuse de 24 images à la seconde. S'il se produit des irrégularités, elles ne s'entendront pas au son qui est enregistré postérieurement sur des appareils précis dans le studio de sonorisation. Les mouvements irréguliers des vues pourront échapper à l'œil alors que la bande sonore adjointe se déroulera régulièrement et donnera pleine satisfaction à l'oreille qui est beaucoup plus sensible comme nous l'avons dit au chapitre I.

Cette méthode trouve encore son application dans le cas où le transport du matériel sonore serait trop coûteux. Certains films documentaires pris au cours de voyages d'exploration appartiennent à cette catégorie. Le matériel de prise de son est toujours assez lourd et encombrant à véhiculer, encore que certaines sociétés telles que la Western Electric et l'Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft aient construit de remarquables équipements de volume réduit. Ce qui grossit surtout l'installation sonore c'est la nécessité d'entraîner électrique-

ment les appareils, ainsi que l'alimentation des amplificateurs. On utilise en général pour cela un petit moteur à explosion entraînant une génératrice de 1 ou 2 kilowatts et placé à une certaine distance du microphone pour que son bruit soit étouffé. Néanmoins l'encombrement est assez considérable alors qu'un homme peut facilement porter une caméra pourvue d'un moteur à ressort. On sonorise ensuite tranquillement le film muet en studio.

Bien entendu, la production artificielle des bruits au studio nécessite une grande habitude. Cela a fait naître certaines professions dont l'exercice peut sembler bien curieux à première vue. Lorsqu'on visite un studio sonore, il est courant d'y rencontrer un technicien spécialiste des bruits. A l'aide d'instruments dont il est généralement à la fois l'inventeur et le constructeur, il est capable d'exécuter toutes sortes de performances. Il sait imiter le rugissement du lion, le cri du corbeau ou le chant du rossignol. Il est de plus capable de prendre des voix de tonalités différentes, etc... On voit par là combien diverses sont les compétences utilisées dans l'industrie cinématographique sonore.

4) Superposer à des sons déjà existants dans l'enregistrement, d'autres sons qui viendront produire un effet supplémentaire. — Supposons, pour fixer les idées, que nous désirons tourner la scène suivante : sur le trottoir d'un grand boulevard de Paris, nos acteurs devront former un attrouement suivi d'une discussion violente et finalement un crime sera commis. On le conçoit facilement il nous sera impossible de tourner un tel film sur place. Nous ne pouvons disposer sur cet emplacement une caméra, un microphone et tous leurs accessoires, amener à proximité un camion portant tout l'équipement sonore et les sources de courant et enfin jouer une pareille scène à cet endroit. Il en résulterait un tel attrouement de curieux et un tel embouteillage de la circulation que la police interdirait immuablement cette démonstration. Nous allons donc procéder comme suit : Nous allons monter au studio un décor représentant le lieu en question aussi fidèlement que possible. Il nous suffira d'ailleurs d'établir des constructions très légères en carton et plâtre, où sera seulement la façade des maisons et boutiques. Tous les passants seront des figurants et des acteurs. Mais alors dans notre enregistrement le brouhaha du boulevard, les trompes des automobiles, etc... vont manquer et même si notre partie image est parfaite, la partie son sera défectueuse. Nous prenons alors un camion portant tout un équipement sonore bien installé et nous nous rendons sur le lieu où la scène est censée se passer. Nous restons enfermés dans le camion avec tous les appareils pour n'attirer l'attention de personne et nous présentons seulement le microphone par une ouverture.

Il capte ainsi les bruits du boulevard qui nous intéressent et nous enregistrons ainsi une certaine longueur de film. Nous rentrons ensuite au studio. Nous développons le film et en tirons un ou plusieurs positifs que nous conservons. Lorsque le moment est venu de tourner notre scène ci-dessus, nous montons l'un de ces films positifs sur un appareil réproducteur comprenant une cellule photoélectrique et un amplificateur, que nous appellerons amplificateur **A**.

La scène est alors enregistrée de la manière ordinaire. Une caméra prend l'image et les voix des acteurs impressionnent le microphone qui est suivi d'un amplificateur **B**. Mais pour envoyer le courant sonore au système enregistreur à bande sonore ou à disque, nous superposons les tensions de sortie des amplificateurs **A** et **B**. On peut mettre leurs transformateurs de sortie en série ou, mieux encore, ajouter leurs tensions avec interposition d'un jeu de résistance à montage potentiométrique. Donc, finalement, l'enregistrement global comprendra bien le bruit des voix et la dispute de nos acteurs en même temps que le bruit de la rue. On peut d'ailleurs avec le montage du potentiomètre augmenter l'un ou diminuer l'autre à volonté, ce que le moniteur réglera facilement grâce à son petit haut-parleur témoin. On peut donc, en somme, introduire encore des finesse de réglage qui rendront des effets plus fouillés et nous obtiendrons un résultat encore meilleur que si la scène avait été vraiment prise sur le boulevard.

On peut d'ailleurs conformément à ce principe avoir en provision dans le studio un répertoire complet de bruits enregistrés à l'avance; bruits de la mer, bruits d'usines, etc... qui sont prêts à servir le cas échéant. Cela permet dans bien des cas d'éviter des frais inutiles et des déplacements. Si nous voulons tourner un jour une scène où des acteurs sont dans la chambre d'un grand hôtel avec fenêtre ouverte donnant sur la mer, notre travail sera très simplifié. Nous installons une chambre d'hôtel dans le studio. Derrière la fenêtre ouverte nous plaçons une toile peinte représentant l'eau et le ciel et nous cherchons dans notre magasin de films celui qui est étiqueté « Bruits de Mer ». Nous avons ainsi tous les éléments nécessaires sans nous astreindre à nous déplacer. On réalise donc ainsi un « mélange électrique » en ajoutant des fréquences à la voix des acteurs.

On peut encore classer dans cette catégorie d'artifices sonores l'emploi des filtres bien qu'ils aboutissent en réalité au résultat inverse, c'est-à-dire la suppression des fréquences. Ces filtres sont formés d'assemblages d'autoinductances et de capacités formant ce qu'on appelle des lignes artificielles. Leur théorie est d'ailleurs pas-sablement compliquée et n'a vraiment été établie d'une manière satisfaisante que dans ces dernières années. Suivant leur construction,

ils laissent passer seulement les grandes fréquences, ou seulement les petites, ou seulement certaines bandes de fréquences. On les appelle alors respectivement filtres Passe-Haut, Passe-Bas ou Passe-Bandes. Leur usage est maintenant courant dans la téléphonie à longue distance et dans la radiotéléphonie. On s'en sert aussi dans l'industrie du film sonore, tant à l'enregistrement qu'à la reproduction pour affaiblir ou supprimer certaines fréquences gênantes. Puisque nous traitons dans ce paragraphe les truquages obtenus par voie électrique, nous allons en mentionner encore un. Supposons qu'au cours d'une scène burlesque, un acteur masculin doive parler ou chanter en prenant tour à tour une voix d'homme normal, une voix de basse puis une voix de femme ou de petite fille. De tels tours de force peuvent bien il est vrai être réalisés par certains clowns mais c'est un talent exceptionnel. Il y a de grandes chances pour que l'acteur que nous avons choisi et qui possède par ailleurs d'autres qualités soit précisément incapable de cette performance. Nous pouvons tourner très simplement la question. Lorsqu'il devra imiter une voix basse, nous intercalerons à la sortie de l'amplificateur un filtre qui supprimera les hautes fréquences. Inversement, pour l'imitation d'une voix de femme, nous prendrons un filtre supprimant les basses fréquences. Un tel procédé bien entendu n'aboutit qu'à un résultat approximatif. Néanmoins, l'expérience le prouve, il peut rendre de grands services dans certains cas.

5) Faire jouer une même scène simultanément par des acteurs différents, les uns apportant leur mimique muette, les autres le son de leur voix. — C'est le procédé auquel on a donné le nom extraordinaire de « Revocalisation ». C'est d'ailleurs la partie la plus difficile à bien réussir. Il s'agit en effet d'impressionner l'image en faisant jouer certains acteurs et d'impressionner le son en faisant parler ou chanter d'autres acteurs.

Dès l'apparition du film sonore, cette importante question s'est posée. Elle était dictée en effet par des raisons d'ordre pratique. Un grand nombre d'acteurs étaient devenus célèbres par le film muet où la mimique seule intervenait mais certains d'entre eux pouvaient avoir des voix désagréables ou même des défauts de diction ou de prononciation. On pouvait donc penser que d'un seul coup ces vedettes devraient disparaître. C'est ce qui est arrivé partiellement, et inversement de nouvelles vedettes ont surgi. Néanmoins, dans bien des cas, les artifices du film ont permis d'arranger les choses.

Dans le même ordre d'idées, survenait aussi la question des langues. La plupart des bonnes vedettes de l'écran muet étaient américaines ou allemandes. Il était alors facile de jouer une même copie dans tous les pays. Il n'y avait qu'à changer les sous-titres en les

traduisant. Mais l'avènement du film sonore apportait avec lui une grosse difficulté.

Voici donc comment s'opère, en général, la « revocalisation ». Nous avons par exemple choisi pour jouer un certain rôle un acteur présentant des qualités convenables de taille, d'apparence, d'élégance dans les mouvements, mais il ne peut pas chanter. Or au cours de notre scénario, il y a un passage où il doit faire entendre une romance. Nous allons tourner la difficulté d'une des deux manières suivantes :

Nous pouvons prendre un bon chanteur et nous le placerons devant le microphone d'enregistrement, provisoirement placé dans une annexe séparée du studio. Devant notre acteur qui ne sait pas chanter, nous plaçons un autre microphone relié à un petit amplificateur auxiliaire. Sur cet amplificateur, nous branchons un casque téléphonique que nous plaçons sur la tête du bon chanteur. Notre acteur chante alors d'une manière quelconque et le son de sa voix, au lieu d'être enregistré, arrive simplement aux oreilles du bon chanteur. Ce dernier chante alors aussi, et s'arrange pour le faire en synchronisme avec la mauvaise voix qu'il entend. Donc le bon acteur fournit l'image et le bon chanteur fournit le son. Toutefois ce procédé n'est pas recommandable. En effet le bon chanteur désagréablement impressionné par la voix fausse qui lui parvient perd une partie de ses qualités et de sa maîtrise. On emploie donc plutôt la seconde méthode en faisant l'un après l'autre l'enregistrement de l'image et celui du son. On fait encore jouer la scène par le bon acteur en négligeant d'enregistrer son chant défectueux. Le film étant ensuite développé et tiré est joué en muet sur un écran toujours avec un projecteur entraîné par un moteur synchrone. On fait alors venir le bon chanteur qui se place devant l'écran et observe les mouvements de l'acteur. On place à côté de lui un microphone et il chante en essayant autant que possible de faire correspondre les mouvements de sa bouche avec ceux qu'il voit sur l'écran. La copie sonore est alors terminée et il ne reste plus qu'à copier son impression sur le film muet.

Pour ce qui est des langues différentes, on agit d'une façon analogue. Supposons que l'on veuille tourner en Amérique un film destiné à être joué en France et que l'on ne dispose pas d'un assez grand nombre d'acteurs français. On fait jouer le film par des acteurs américains mais on le tourne tout d'abord en muet. Ces acteurs parleront français comme ils pourront et avec une prononciation quelconque. Il leur suffit d'apprendre leur rôle par cœur avant chaque scène. D'ailleurs comme on n'enregistre pas encore le son on peut sans inconvénient leur souffler à haute voix dans le studio si une

phrase leur échappait. Il n'y a plus ensuite qu'à jouer cette copie muette devant des personnes choisies et parlant bien français. Elles rediront les paroles déjà prononcées par les autres en faisant correspondre aussi bien que possible leur voix avec les mouvements vus sur l'écran.

On fait généralement ces traductions dans les langues les plus répandues à la surface du globe : anglais, espagnol, allemand, français et italien. On a même réalisé en Amérique des films en russe, chinois et sanscrit. Il est à remarquer d'ailleurs que la revocalisation a dû être employée même pour l'Angleterre où la prononciation est différente de celle d'Hollywood. En fait la revocalisation donne difficilement des résultats parfaits et on doit la considérer comme un pis aller. Aussi grand soin que l'on mette à parler ou chanter en synchronisme avec les images qui sont projetées sur l'écran, il se produit toujours de petites différences et les mouvements de la bouche n'auront pas l'air, sur le nouveau film, de produire les sons entendus. Ce défaut est surtout très visible lorsque les personnages viennent au premier plan.

Aussi la plupart des grandes sociétés éditrices ont-elles installé des studios bien organisés dans chacun des pays à langue très répandue ou bien font venir de ces pays les acteurs qui leur sont nécessaires. On peut tourner ainsi directement dans chaque langue et c'est bien préférable. De plus, dans chaque pays de nouvelles vedettes se sont formées qui réunissent les qualités photogéniques et phonogéniques satisfaisantes. On peut donc considérer les anciennes vedettes du film muet qui n'ont pas su s'adapter à la nouvelle technique comme condamnées à tomber dans l'oubli sauf celles qui arrivent, comme Charlie Chaplin, à racheter par une mimique exceptionnelle le manque de paroles et continuent à jouer en film sonore mais non parlant.

Il y aurait encore un assez grand nombre de détails à examiner relativement à la technique du studio. Nous renvoyons le lecteur aux ouvrages spéciaux et notamment à la bibliographie mentionnée à la fin de l'ouvrage.

Nous citerons seulement comme dernière curiosité le traitement spécial des copies sonores au ralenti dont le cas se présente parfois dans les documentaires ou actualités. Pour réaliser les scènes au ralenti on fait simplement la prise de vues en accéléré. Supposons que nous voulions montrer les détails de la chute d'une cheminée d'usine. Admettons pour fixer les idées que cette chute dure trois secondes. Si nous prenons la scène à la vitesse de 24 images à la seconde, nous aurons en tout 72 images. Plus tard, à la projection qui a lieu à la même cadence, la chute durera encore trois secondes.

Nous allons mettre alors dans notre caméra un film négatif spécial ultra-sensible et nous prendrons par exemple 96 images à la seconde, c'est-à-dire en tout 288 images, soit quatre fois plus. Lorsque la copie positive sera projetée, ce sera encore à la vitesse régulière de 24 images à la seconde. La scène de la cheminée qui tombe durera donc douze secondes au lieu de trois, ce qui permettra au spectateur d'en voir tous les détails curieux. Mais alors, avec le film sonore, une difficulté surgit, car on ne peut pas enregistrer dans ces cas-là le son en même temps que l'image. A la reproduction, en effet, la vitesse étant quatre fois plus petite, toutes les fréquences se trouveraient divisées par 4. On aboutirait ainsi à un résultat ridicule qui provoquerait l'hilarité de l'assistance. Chacun peut s'en rendre compte aisément en freinant un disque de phonographe ordinaire de manière à le faire tourner à une vitesse très inférieure à la normale. On tourne donc encore la difficulté, en général, en prenant les scènes au ralenti en film muet et en reproduisant artificiellement les bruits au studio. On remarquera d'ailleurs que le principe du ralenti n'est pas autre chose que l'inverse du procédé indiqué ci-dessus au n° 2, utilisé pour montrer la germination des plantes et où les mouvements sont au contraire accélérés.

RESULTATS GENERAUX D'ENREGISTREMENT DIFFERENTS TYPES DE FILMS ET DE SCENARIIS

Au point de vue technique on arrive à enregistrer convenablement les fréquences depuis 40 ou 50 jusqu'à 6.000. La figure 21 représente une courbe d'enregistreur phonographique. Elle reste bien plate dans toute cette plage.

Les oscillographes ou galvanomètres à corde d'usage courant donnent des courbes de réponse à peu près identiques. Nous avons même signalé qu'on pourrait aller plus loin. D'ailleurs depuis qu'il est question pour les disques de revenir au sillon en profondeur, on espère éléver le plafond des fréquences enregistrées sur disque. Il faudra toutefois pour être logique perfectionner parallèlement d'autres organes de l'appareillage. L'enregistrement de la voix humaine est en général assez satisfaisant. La fréquence moyenne de la parole est d'environ 128 périodes à la seconde pour l'homme et 256 pour la femme. On se trouve donc bien placé dans la plage de sensibilité des appareils enregistreurs. Toutefois, pour reproduire fidèlement certaines consonnes, par exemple les **s**, il faudrait enregistrer des fréquences allant jusqu'à 8.000 ou 9.000. Il y aura donc ici une très légère déformation, mais une suppression de très hautes fréquences n'affecte pas en général beaucoup l'audition. Elle peut même dans

une certaine mesure, améliorer certaines voix criardes. Des considérations identiques s'appliquent au chant.

Pour ce qui concerne les instruments de musique, les sons ne se réduisent pas à une vibration simple. Il y a toujours un son fondamental et un grand nombre d'harmoniques. Le son fondamental domine seulement les autres par son amplitude. L'étude systématique des sons musicaux a été faite il y a déjà une cinquantaine d'années par le physicien allemand Helmholtz qui réussit avec des résonnateurs sphériques de son invention, à faire l'analyse de tous les sons ordinaires et il put ensuite en opérer la synthèse. Comme exemple d'un son parfaitement simple, il n'y a guère que celui d'une corde unique tendue sur un chevalet et que l'on pince par son milieu, et le diapason. Cependant, même pour le diapason, le calcul le montre, il y a encore des harmoniques au moment où on le frappe. Toutefois ces harmoniques s'éteignent très rapidement et bientôt il ne reste que le son fondamental pur.

L'analyse des sons émis par la plupart de nos instruments de musique prouve l'existence d'harmoniques élevés dont la présence est généralement tout à fait inattendue. L'orgue, le piano, la harpe couvrent normalement une plage allant de 16 à 4.000 vibrations à la seconde mais une analyse physique bien serrée y décèle des harmoniques allant jusqu'à 9.000. Le tambour et la grosse caisse sont bien loin de ne donner que des fréquences basses comme on pourrait le croire. Ils émettent des sons jusqu'à 10.000 périodes à la seconde. Les cloches donnent encore un exemple de source à son fondamental suivi d'un nombre considérable d'harmoniques.

La richesse en harmoniques est précisément ce qui rend agréable pour l'oreille l'audition d'un orchestre où on introduit volontairement des sources sonores très variées. Des sons trop simples ne donneraient à l'auditeur qu'une sensation de maigreur et de pauvreté. En raison de sa grande puissance d'analyse l'oreille a besoin d'entendre des sons compliqués.

Dans les enregistrements actuels il pourra donc arriver que certaines fréquences très élevées soient supprimées. La sensation de naturel y perd un peu, mais l'audition à la reproduction n'est pas sensiblement moins agréable. Pour ce qui concerne les bruits ordinaires, des conclusions identiques sont à tirer. Les bruits les plus mal enregistrés seront ceux où des fréquences très élevées jouent un rôle prédominant. C'est le cas, par exemple, pour le choc d'un marteau sur une enclume d'acier.

En résumé, sauf certains cas exceptionnels, on peut dire que les enregistrements actuels donnent déjà une illusion à peu près complète. Toutefois, des perfectionnements interviendront certainement.

ment dans l'avenir pour permettre la fixation sur disque ou bande sonore de fréquences plus élevées. Au point de vue des scénarii, on qualifie généralement un film sonore ou parlant suivant qu'il comprend seulement de la musique et des bruits ou bien au contraire des paroles d'acteurs jouant comme dans une pièce de théâtre. Très souvent d'ailleurs on mélange les deux systèmes artistiques dans une même copie. Par exemple un film sera dit 80 % parlant, si 80 % environ de sa longueur sont parlants, le reste n'étant que sonore.

Les films uniquement sonores sont assez rares à l'heure actuelle surtout parmi les films tournés dans un studio. Ils sont d'ailleurs fréquemment sur disques. Ce sont plutôt des films de voyages et de géographie. Toutefois, on trouve encore dans cette catégorie certaines comédies burlesques généralement d'origine américaine. Dans le reste on trouve principalement :

- 1) Les actualités sonores. Elles sont réalisées comme un reportage de journal illustré en transportant sur place tous les appareils (prise de vues et enregistrement) dans une voiture camion.
- 2) Les films purement scientifiques : histoire naturelle, voyages, explorations, etc... où généralement un conférencier parle accompagné d'une musique de fond.
- 3) Les films purement artistiques où par exemple on voit un orchestre exécuter un morceau de musique connu et qui sont souvent sur disque.
- 4) Les petits films courts généralement sous forme de sketches comiques.
- 5) Les dessins animés sonores qui constituent à eux seuls une catégorie spéciale et qui peuvent comprendre de courtes parties parlantes.
- 6) Enfin les grands films de fond qui peuvent être comiques ou tragiques.

Pour ces derniers il peut être bon d'y introduire des scènes sonores de musique ou de chant. Un film entièrement parlant finit parfois par ressembler trop à une pièce de théâtre ordinaire. Cependant on ne peut établir là aucune règle certaine. C'est au metteur en scène d'accord avec l'auteur du scénario à en décider dans chaque cas particulier, et cette détermination dépend de son sens artistique.

Nous terminerons en indiquant brièvement les principales aptitudes que doivent posséder les bons acteurs : Une bonne vedette de cinéma sonore doit d'abord, bien entendu, réunir des qualités physiques et vocales bien appropriées au rôle qu'elle joue. Enfin la plus grande qualité d'un acteur de cinéma est le **naturel**. Tout son jeu doit montrer une grande aisance. Il doit toujours donner l'im-

pression de faire des mouvements et prononcer des paroles qui lui sont habituels comme s'il avait été photographié et enregistré à son insu. Les allures guindées et recherchées, les poses suffisantes et prétentieuses sont précisément celles qui rendent le plus mauvais effet sur l'écran.



DEUXIÈME PARTIE

Appareils de Reproduction

CHAPITRE VI

GENERALITES SUR LES AMPLIFICATEURS

Dans les chapitres précédents, nous nous sommes occupés des différentes opérations aboutissant finalement à la copie positive, soit munie de la bande sonore dans le cas du système « film », soit accompagnée de ses disques dans le cas du système « disque ». Les films sont alors distribués aux salles de spectacles par les soins des représentants des sociétés éditrices.

Il faut maintenant étudier comment sont équipées les salles pour la projection des films sonores et il est pour cela utile de passer rapidement en revue les principes généraux présidant à la construction des amplificateurs. C'est une question sur laquelle les idées les plus confuses ont été répandues par les revues de vulgarisation. Dès le début de la radiophonie en effet un nombre considérable d'ignorants se sont lancés dans la construction des postes récepteurs sans posséder la moindre connaissance théorique indispensable. Cela a contribué, surtout en France, à jeter un discrédit complet sur cette jeune industrie malgré une réclame tapageuse qui cherchait à en imposer. Cependant, depuis quelque temps, la construction sérieuse et scientifiquement contrôlée commence à reprendre le dessus et on peut espérer un avenir prochain où le règne du charlatan arrivera enfin à son terme.

Les idées résumées ci-après s'appliquent donc au appareils pour films sonores (enregistrement et reproduction), aux appareils photographiques ordinaires et aux appareils de T. S. F. Toutefois pour ces derniers il y aurait lieu d'ajouter encore l'étude de la détection et des montages spéciaux de haute fréquence qui ne peut entrer dans notre exposé.

Lampes. — Les tubes thermoioniques sont construits conformément aux théories exposées chapitre III. Comme nous l'avons dit, les

lampes à filaments de tungstène pur sont laissées de coté depuis longtemps. Elles sont toujours à filament recouvert d'oxydes alcalino-terreux, dont la composition exacte constitue le secret de fabrication de chaque maison. Dans ces conditions, on obtient une émission électronique suffisante à la température du rouge sombre. Ce fait offre plusieurs avantages, notamment : diminution de la puissance nécessaire et surtout diminution des inégalités de température en cas de chauffage par courant alternatif. Pour des raisons du même ordre il y aura bénéfice, en outre, à faire les filaments gros et courts ; les lampes établies par de bons constructeurs seront donc toujours chauffées à très basse tension depuis 1 volt pour les petites jusqu'à une dizaine de volts pour les tubes à très grande puissance. Pour ces dernières le filament est généralement sous forme d'une bande assez large et repliée en zig-zag.

Il existe également un modèle ingénieux utilisé depuis quelque temps déjà en T. S. F. et appelé modèle à chauffage indirect. Dans ce système (figure 42) le filament **F** est entouré d'un tube **T** très fin, en amiante par exemple, qui est ensuite lui-même entouré d'une cathode métallique **C** recouverte d'oxyde. La chaleur passe alors du filament à la cathode **C** par rayonnement et par conduction à travers le tube isolant. Ces lampes sont précieuses parce que la cathode émettrice des électrons est complètement isolée du filament et on peut par conséquent chauffer impunément en courant alternatif sans avoir aucune précaution spéciale à prendre dans le montage. De plus, leur ensemble cathodique a une grosse capacité calorifique. Elles ont toutefois l'inconvénient d'exiger un certain temps avant d'atteindre leur température de régime.



Fig. 42. — Disposition des filaments des tubes à vide à chauffage indirect.

Comme nous le verrons dans l'étude des amplificateurs, les lampes sont souvent chauffées en courant alternatif. Toutefois pour les premiers étages placés derrière les cellules photoélectriques, on préfère fréquemment le courant continu. Comme nous l'avons dit dans la théorie des lampes, on a avantage à polariser négativement les grilles et cela principalement pour trois raisons :

- 1) Diminuer le courant permanent de plaque qui correspond à une inutile dissipation d'énergie.
- 2) Empêcher le circuit grille de débiter, même pour les plus grandes variations de la tension autour de sa valeur moyenne.
- 3) Pouvoir à volonté se placer dans la partie droite de la caractéristique de la lampe pour la valeur choisie de la tension plaque.

La polarisation de grille a longtemps été obtenue dans les postes de TSF à l'aide d'une pile auxiliaire qui avait ainsi le seul rôle de donner une tension négative, sans jamais débiter. Ce procédé est peu rationnel parce qu'il complique l'entretien de l'amplificateur. Il vaut bien mieux se servir des courants permanents de chauffage du filament ou du circuit de plaque. La polarisation reste ainsi beaucoup mieux constante et ne donne lieu à aucun souci. La figure 43 (a et b) montre le principe des deux procédés.

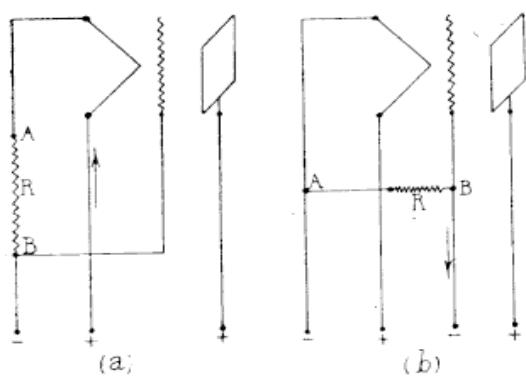


Fig. 43

- (a) Schéma de montage de la polarisation négative de grille au moyen du courant de chauffage du filament.
- (b) Schéma de montage de la polarisation négative de grille au moyen du courant anodique.

principalement employé dans le cas du chauffage de la lampe sur courant alternatif.

Dans le cas du chauffage de la lampe sur courant continu, on a l'habitude de prendre comme point de potentiel zéro le pôle négatif du filament. Avec le chauffage en courant alternatif il n'y a plus de potentiel constant défini. On prend alors le potentiel du milieu du filament. On peut le faire soit en se plaçant en un point milieu de l'enroulement du transformateur qui fournit le courant, soit en branchant une résistance auxiliaire shuntant le transformateur et en se plaçant au milieu de cette résistance. Ainsi, dans le montage de la figure 44, on peut se placer indifféremment au point **A** ou **B**. Toutefois, cette prise d'un point milieu étant encore couverte par des brevets, de nombreux constructeurs sont obligés, dans certains pays, de se placer simplement à une des extrémités du filament. On risque alors d'avoir un léger ronflement en raison de la variation périodique du potentiel le long du filament. C'est donc encore un motif pour prendre une très

monture le principe des deux procédés. Sur le schéma (a) le courant de chauffage suit le sens de la flèche. Une résistance **R** est placée dans le circuit de chauffage et la grille est reliée au point **B**. Il est facile de voir que la grille a ainsi un potentiel négatif par rapport au filament. Sur le schéma (b) c'est le courant plaque qui est obligé, pour se refermer, de traverser la résistance **R** dans le sens de la flèche, et la grille se trouve encore soumise à une tension négative par rapport au filament. Ce deuxième procédé est

basse tension pour le chauffage. Un bon principe est de prendre pour la tension de chauffage une valeur de l'ordre du 1/50^e au 1/100^e de celle de la tension plaque.

Nous avons vu que lorsqu'on augmente le potentiel positif permanent de la plaque, la caractéristique de la lampe se déplace vers la gauche.

Ainsi, pour une lampe donnée nous obtiendrons (fig. 45) la courbe (1) avec une tension plaque de 100 volts. La courbe (2) avec une tension plaque de 200 volts. Il est facile de voir que la courbe (2) est beaucoup plus avantageuse. La partie droite se trouve en effet tout entière dans la région des tensions de grilles négatives. Nous pourrons ainsi faire varier la différence de potentiel filament-grille entre les points **A** et **B** et la grille restera toujours à un potentiel négatif par rapport au filament. Donc le courant grille-filament sera toujours nul sauf les très faibles pertes par défaut d'isolement. Ce résultat est très important pour éviter les distorsions.

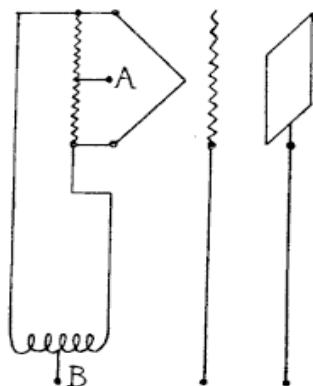


Fig. 44. — Points neutres du circuit de chauffage d'un filament, dans le cas de l'alimentation sur courant alternatif.

Au point de vue de leur construction mécanique, les lampes sont généralement constituées par un tube de verre allongé. La plaque

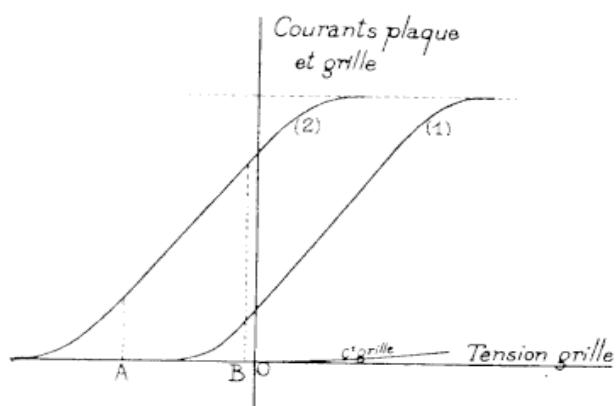


Fig. 45. — Caractéristiques d'un tube à 3 électrodes pour différentes valeurs à tension plaque.

est presque toujours un cylindre, circulaire ou aplati. La grille est formée soit d'une spirale, soit d'une sorte de treillage métallique et

au milieu le filament est constitué par un simple fil tendu pour les tubes de petites puissance, ou bien par une bande pour ceux de grande puissance. Pour ces derniers d'ailleurs de nombreux brevets ont été pris pour maintenir autant que possible le filament bien tendu au moyen de supports élastiques appropriés. On évite ainsi tout contact avec la grille.

On peut voir d'après ce rapide exposé qu'une lampe ne saurait être mise au hasard sur un amplificateur. Pour obtenir un bon rendement, ses caractéristiques doivent être au contraire soigneusement contrôlées et elles ne peuvent travailler de façon satisfaisante que dans des conditions bien déterminées.

Sources de courant. — Pour alimenter les amplificateurs, on doit prévoir le chauffage et la tension plaque des lampes. Pour le chauffage on peut employer :

- 1) Un transformateur dans le cas du chauffage sur alternatif.
- 2) Un groupe moteur-dynamo fournissant du courant continu

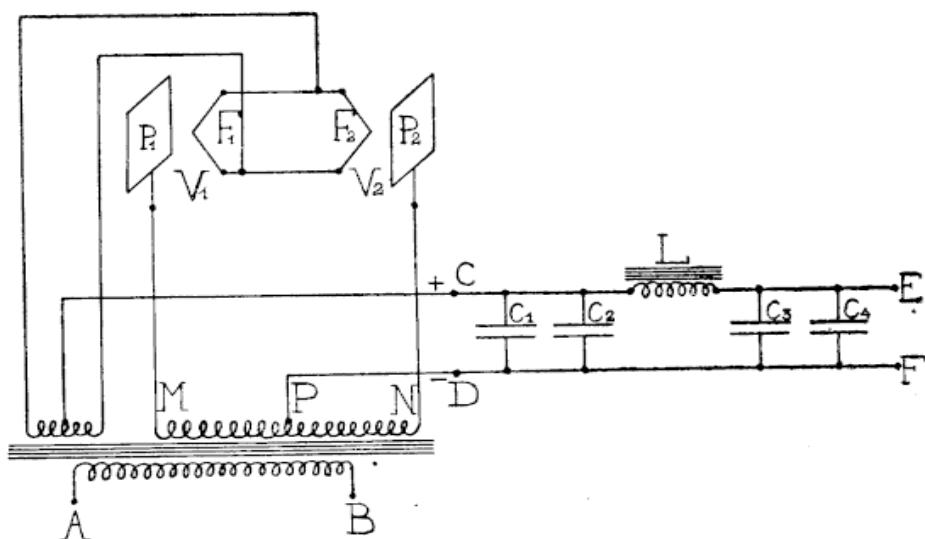


Fig. 46. — Schéma de montage général d'un redresseur de tension alternative.

à basse tension (10 à 20 volts par exemple) qui est préalablement filtré pour étouffer les ondulations dues au passage des lames du collecteur sous les balais.

- 3) Enfin une batterie d'accumulateurs de 6 à 10 éléments.

Pour la tension plaque, on peut employer des piles, des accumulateurs ou du courant redressé. Les accumulateurs sont à rejeter

et sont abandonnés par la majorité des bons constructeurs. Ils donnent lieu, en effet, à trop de complications d'entretien. Pour obtenir les hautes tensions (jusqu'à 1000 volts pour certains amplificateurs) il faut un trop grand nombre de cellules puisque chacunes d'elles donne au maximum 2 volts dans le cas des batteries en plomb. Il s'ensuit un travail important pour maintenir les éléments propres, vérifier la densité de l'acide, etc... Les piles sont avec les accumulateurs la source pouvant donner un courant rigoureusement constant. Toutefois l'énergie qu'elles fournissent revient très cher et on ne les emploie seulement que sur les premiers étages où les déformations ou bruits parasites ont le plus d'importance. Bien entendu, on les prend toujours sous forme de piles sèches en blocs.

Pour les étages suivants et surtout les amplificateurs de puissance, on prend toujours du courant redressé. Nous allons étudier ce sujet un peu en détail car il comprend la très importante question des filtres. On verra figure 46 un schéma type d'un tel redresseur. Un transformateur dont le primaire est branché sur le réseau en **A** et **B** donne une haute tension à son secondaire qui comprend un point milieu **P**. Un petit enroulement secondaire auxiliaire (ou un autre petit transformateur) se charge du chauffage des filaments de deux tubes **V₁** et **V₂**, qui peuvent être soit des lampes spécialement construites pour cet usage, et par conséquent dépourvues de grille, soit simplement des lampes d'amplificateur ordinaire. Dans ce dernier cas on prévoit dans le support des lampes une connexion de court-circuit entre la plaque et la grille. Ce procédé a d'ailleurs le gros avantage de permettre pour chaque amplificateur l'emploi d'un type de lampe unique servant indifféremment de tube amplificateur ou de tube redresseur.

Pour examiner facilement le fonctionnement d'un tel dispositif, supposons que dans la première demi-période du courant, la tension dans le secondaire soit dans le sens **N** vers **M**. La plaque **P₂** est alors portée à un potentiel négatif par rapport à son filament **F₂** de sorte qu'aucun courant ne passe dans le tube **V₂** alors qu'il passe dans **V₁**. A la demi-période suivante, c'est l'inverse qui se produit. Il n'y a donc jamais qu'une moitié du secondaire **MN** qui travaille à la fois. Dans tous les cas d'ailleurs, le courant plaque doit se refermer par l'enroulement de chauffage. L'ensemble jouera donc finalement le rôle d'un générateur fournissant un courant toujours de même sens mais non continu dont le pôle positif et le pôle négatif sont respectivement en **C** et en **D**.

Si la tension aux bornes de chaque moitié du secondaire **MN** est représentée par une courbe sinusoïdale (1) (fig. 47), la tension disponible aux bornes de sortie de notre appareil sera d'une forme

donnée par la courbe (2) où toutes les valeurs négatives ont été redressées. Le calcul montre que cette tension représentée par la courbe (2) peut être considérée comme la somme :

1) d'une tension continue dont la valeur est d'environ 90 % de la tension efficace dans chaque moitié du secondaire **MN**. On entend par là la tension, mesurée avec une voltmètre à courant alternatif, entre les points **M-P** et **P-N**.

2) de toute une suite de tensions alternatives de fréquences multiples paires de celle de la tension du transformateur et d'am-

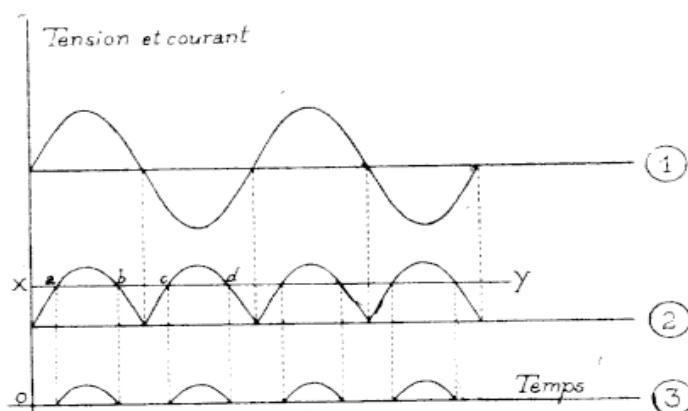


Fig. 47. — Courbes indiquant le fonctionnement d'un redresseur de tension alternative.

plitudes décroissantes quand la fréquence augmente. Par exemple, la première de ces tensions a une fréquence double et une valeur efficace d'environ 42 % de celle du transformateur. La seconde a une fréquence quadruple et une valeur efficace de 8,5 %, et ainsi de suite.

Une telle tension est donc beaucoup trop irrégulière pour alimenter telle quelle un amplificateur. On place donc toujours derrière le redresseur un filtre constitué comme le montre la figure 46 et formé d'un assemblage de condensateurs et d'une autoinductance à noyau de fer. On a généralement bénéfice à prendre de grosses capacités (plusieurs microfarads) et une grosse autoinductance formée d'un grand nombre de tours de fil fin. Toutefois les capacités placées avant l'autoinductance ont plus d'importance que les autres. Il est d'ailleurs préférable de calculer le filtre aussi exactement que possible de manière à se débarrasser d'abord du premier harmonique qui a une amplitude cinq fois plus grande que le deuxième. Les harmoniques suivants sont ensuite beaucoup plus facilement arrêtés par le filtre en raison de leur amplitude plus faible et de leur fréquence

plus grande. En réalité d'ailleurs le débit du redresseur a une forme très différente de celle qu'indique la courbe (2) de la figure 47 qui est en effet relative au débit sur une résistance qui serait placée directement entre les bornes **C** et **D** du redresseur. Mais la présence du filtre modifie complètement le phénomène. La charge permanente de ses condensateurs oscille très peu autour d'une valeur moyenne et ces oscillations sont d'autant plus faibles que le débit demandé aux bornes **EF** est lui-même plus faible.

On peut donc se représenter la marche comme suit. Les fils **F₁**, **F₂** sont toujours au potentiel du point **C** et le point **D** (ou **P**) peut être pris comme zéro de potentiel. Lorsqu'une période de courant commence, la tension d'une des plaques **P₁** ou **P₂** augmente, mais la lampe ne commence à débiter un courant plaque-filament que lorsque le potentiel de la plaque devient supérieur au potentiel du filament, c'est-à-dire en définitive supérieur au potentiel du point **C**.

Représentons sur la figure 47 (2) la tension aux bornes des condensateurs **C₁**, **C₂** par une droite horizontale **x-y**. Le redresseur ne débitera en somme que du point **a** au point **b**, puis du point **c** au point **d** et ainsi de suite mais restera complètement inerte dans les intervalles tels que **b** à **c**. Ce ne sont donc finalement que les crêtes des sinusoïdes redressées qui communiquent de petites charges par impulsion au système. Le courant réel débité aux bornes **CD** de la figure 46 a donc la forme donnée par la figure 47 (3), c'est-à-dire qu'il est très irrégulier.

La tension redressée maximum que l'on puisse obtenir, si par exemple les bornes **EF** (fig. 46) restent ouvertes, est évidemment donnée par le sommet des sinusoïdes ; c'est 1,4 fois la tension efficace de chaque moitié du secondaire **MN**. Ainsi, si chacune de ces moitiés donne une tension de 500 volts mesurée au voltmètre le redresseur et son filtre à vide donneront une tension continue d'environ 700 volts. On a d'ailleurs intérêt, au point de vue de la régularité, à ne pas la faire débiter trop et par conséquent à ne pas tomber trop au-dessous de cette valeur maximum. Avant d'envoyer le courant aux étages de puissance, on a parfois avantage à placer encore une autoinductance sur le trajet. Il arrive fréquemment aussi qu'un même générateur alimente à la fois des étages de puissance et les étages d'un premier amplificateur pourvu de tubes plus petits travaillant à une tension bien moindre. Pour ces tubes, on réduit alors la tension avec de fortes résistances et on en profite pour shunter encore le système avec des condensateurs, de manière à constituer une cellule de filtrage supplémentaire.

Dans ces conditions, on arrive à fournir de la tension plaque à

l'installation sans avoir de ronflement dans la reproduction. Le procédé du redresseur a l'avantage d'une extrême simplicité et ne demande aucun entretien. Toutefois les tensions de travail étant parfois élevées, les condensateurs doivent être d'excellente qualité et soigneusement éprouvés à une tension bien supérieure à leur tension de travail normal. Un claquage de condensateur provoque en effet un arrêt complet d'une installation. Pour des raisons identiques il vaut mieux les placer à un endroit accessible pour pouvoir les changer facilement.

Nous signalerons encore un détail important dans la construction des filtres. Il est indispensable que le fer des autoinductances soit de très bonne qualité et surtout feuilleté comme le noyau d'un transformateur. Il n'est sans doute pas inutile d'en donner le motif puisque dans certaines revues réputées cependant pour leur niveau scientifique, des techniciens n'ont pas hésité à soutenir le contraire. Dans un noyau d'autoinductance formé d'un seul bloc vont en effet prendre naissance des courants induits, ou courants de Foucault, tendant à dissiper sous forme de chaleur l'énergie des harmoniques de courant alternatif fournis par le redresseur. Une telle bobine d'autoinductance serait donc équivalente à un transformateur dont le secondaire débiterait sur une résistance. Or fermer le secondaire d'un transformateur sur une résistance équivaut, en tenant compte du rapport de transformation, à shunter son primaire par une autre résistance. Une bobine d'autoinductance à noyau plein sera donc, en définitive, équivalente à une autoinductance à noyau feuilleté shuntée par une résistance, laquelle livre passage au courant alternatif. Or obtient ainsi le contraire du résultat cherché.

MONTAGE DES AMPLIFICATEURS

Équilibrage des Circuits. — Pour obtenir l'amplification d'une faible tension variable, on la fait agir, avec des intermédiaires convenables, sur la grille d'une lampe dont elle fait varier le potentiel autour d'une valeur moyenne. Si l'on s'est conformé aux principes énoncés ci-dessus et en particulier si l'on reste dans la partie droite de la caractéristique, on pourra obtenir dans le circuit de plaque une variation de tension beaucoup plus grande. Un tel ensemble est couramment appelé un **étage**. La tension fournie par cet étage est appliquée au suivant et ainsi de suite. Les étages n'ont donc en général pas d'autre but que d'augmenter une tension. On les désigne alors sous le nom d'amplificateurs de potentiel. Seul le dernier est chargé de fournir de l'énergie à l'appareil d'utilisation et on l'appelle pour cette raison amplificateur de puissance. Dans une instal-

lation d'enregistrement, ce sera l'étage placé avant l'oscillograph ou l'enregistreur à disque et dans une installation de reproduction ce sera l'étage placé avant le haut-parleur. Dans tous les cas, les amplificateurs se succèdent les uns derrière les autres. Comme ils ont chacun une certaine impédance, on doit les adapter entre eux.

Tous les bons constructeurs cherchent ainsi à équilibrer leurs circuits. Cette question d'équilibrage est le correspondant, en courant variable, d'un petit problème classique de courant continu, couramment traité dans les manuels d'électrotechnique élémentaire. Ce problème est le suivant : Supposons (fig. 48) que nous ayons un générateur de courant continu, figuré par une batterie de piles **B** possédant une certaine force électromotrice et une résistance intérieure que nous prendrons par exemple égale à 10 ohms. Nous nous proposons de brancher sur cette batterie un appareil d'utilisation **A**.

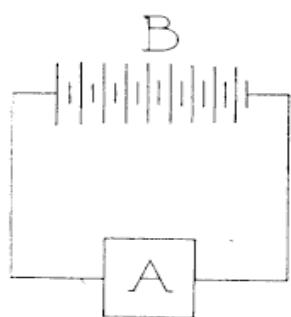


Fig. 48 — Branchement simple d'un récepteur sur un générateur.

Ce sera, pour fixer les idées, une bouillote électrique où nous voulons faire chauffer de l'eau. Quelle devra être la résistance de cette bouillote pour tirer de notre pile le maximum de puissance, c'est-à-dire pour pouvoir faire chauffer un certain volume d'eau dans le minimum de temps ? Le calcul montre que cette condition est réalisée lorsque cette résistance est elle-même précisément égale à 10 ohms, comme celle de la pile. Le rendement utile de l'ensemble est alors évidemment égal à 50 %.

De même lorsqu'on branche un amplificateur sur un appareil d'utilisation, on aura gros avantage à équilibrer leurs impédances mais le problème est ici plus difficile parce que l'impédance dépend de la fréquence du courant amplifié. On prend donc généralement une solution moyenne. Par exemple, on équilibrera les impédances pour une fréquence moyenne de 800 périodes à la seconde. Lorsqu'on construit un amplificateur, il doit pouvoir en principe servir soit comme amplificateur de puissance, soit simplement pour fournir une différence de potentiel à l'amplificateur suivant. On s'occupera donc particulièrement de ses impédances d'entrée et de sortie afin de pouvoir, des deux côtés, le brancher sur des circuits qui lui conviennent. Pour les étages successifs à l'intérieur d'un même amplificateur, la question est différente et ici, seules des questions de tension interviennent. De toute manière, on doit appliquer à la grille de chaque lampe soit la tension initiale, soit la tension venant de l'étage précédent. On peut le faire de plusieurs manières différentes.

Couplages par résistance. — Supposons (fig. 49) que nous ayons la faculté de fermer entre deux bornes **A** et **B** le courant venant, par exemple de la plaque de la lampe précédente. Nous pouvons faire débiter ce courant sur une résistance R_1 , et une tension sera ainsi disponible entre les bornes **AB**. Cette tension variera d'ailleurs autour d'une valeur moyenne et ce sont ces variations que l'on transmet à l'ensemble grille-filament de la lampe suivante par l'intermédiaire de deux condensateurs C_1 et C_2 dont le rôle est de boucher le passage à la tension continue. Toutefois le flux d'électrons dans la lampe pourrait accumuler des charges négatives sur la grille et d'ailleurs celle-ci doit être polarisée pour se placer au point voulu de la caractéristique. On le fait par l'intermédiaire d'une très grande résistance R_2 de l'ordre de 1 à 10 mégohms. La résistance R_1 , elle, sera bien inférieure, de l'ordre de 10.000 à 500.000 ohms. Bien que le circuit filament-grille ne doive pas débiter, il y a intérêt à prendre des capacités C_1 et C_2 assez fortes, de l'ordre du microfarad, de manière que la transmission des tensions variables s'effectue toujours correctement par leur intermédiaire, même pour les fréquences très basses. De plus, dans ces conditions, la capacité de l'espace filament-grille se trouve négligeable devant C_1 et C_2 .

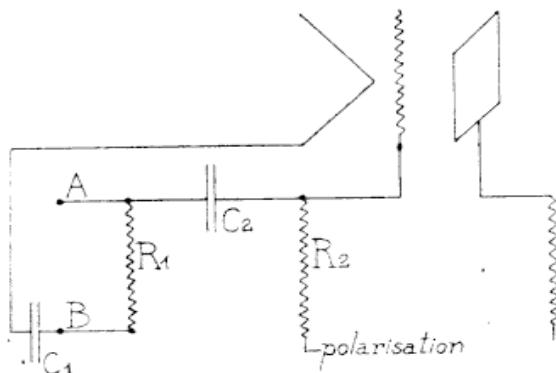


Fig. 49. — Schéma de principe d'un couplage par résistances.

cités C_1 et C_2 assez fortes, de l'ordre du microfarad, de manière que la transmission des tensions variables s'effectue toujours correctement par leur intermédiaire, même pour les fréquences très basses. De plus, dans ces conditions, la capacité de l'espace filament-grille se trouve négligeable devant C_1 et C_2 .

Ces étages à résistances sont très employés parce qu'ils donnent une amplification d'une très grande pureté, bien exempte de déformations et distorsions. Toute variation de potentiel transmise à la grille est en effet bien proportionnelle à la variation de courant dans le circuit **AB** et si, de plus, on travaille dans la partie linéaire de la caractéristique de la lampe, la proportionnalité de tout l'ensemble est parfaite. Il est seulement nécessaire que les fuites dans la résistance R_2 et par la capacité filament-grille soient petites devant le courant

principal. Toutefois ce procédé à l'inconvénient de ne permettre qu'une amplification limitée. Pour augmenter les variations transmises à la grille, on devrait en effet renforcer la valeur de R_1 mais alors on va troubler le fonctionnement de l'étage précédent si cette valeur devient exagérée. On doit de plus prévoir qu'une certaine fuite du potentiel de grille aura lieu à travers la résistance R_2 si grande soit-elle. On démontre que le coefficient d'amplification globale d'un étage tel que celui de la figure 49 est strictement limité au coefficient d'amplification des lampes utilisées elles-mêmes et on doit en réalité se contenter d'une valeur inférieure. Pour obtenir finalement une puissance suffisante, on sera donc obligé de mettre à la suite l'un de l'autre un grand nombre d'étages à résistances, ce qui fait perdre une partie des avantages du procédé. On le réserve généralement pour les premiers étages où la puissance mise en jeu est encore faible.

Couplage par Transformateurs. — Supposons maintenant (fig. 50) que nous ayons encore une tension variable disponible entre les points **A** et **B** qui se trouvent par exemple dans le circuit de plaque d'une lampe précédente. Nous pouvons fermer ce circuit sur le primaire d'un transformateur **T**. C'est la tension secondaire qui est appliquée à la grille avec superposition de la tension constante de polarisation. Cette méthode demande un grand soin dans la construction et le choix des matériaux. On doit prendre pour le noyau du transformateur un fer très perméable en feuilles minces isolées entre elles. Le secondaire étant à circuit ouvert, le primaire se comporte comme une autoinductance pure et par conséquent l'amplification obtenue ne sera plus tout à fait indépendante de la fréquence. On peut montrer toutefois que les conditions seront bonnes en général si cette autoinductance est très grande et c'est toujours le cas. On peut avoir avantage à shunter le secondaire du transformateur par une résistance jouant le rôle de potentiomètre. Un des inconvénients de ce montage simple est le passage du courant permanent de plaque de la lampe précédente dans l'enroulement primaire. Il en résulte un magnétisme constant qui sature partiellement le fer et lui fait perdre une partie de sa perméabilité. Néanmoins, bien employé ce montage peut donner de bons résultats. Il permet de plus une amplification bien supérieure à celle du montage à résistance. On peut en effet augmenter la tension appliquée à la grille en utilisant un enroulement secondaire avec un plus grand nombre de tours. On peut même se demander, dans ces conditions, pourquoi un seul étage ne suffirait pas, en prenant un grand rapport de transformation et quelle est la nécessité d'en accoupler plusieurs successifs. Certains facteurs nous limitent dans ce sens. Si, en effet, on augmente exagérément le nombre de tours au secondaire du trans-

formateur **T**, l'augmentation de tension obtenue va aussi accroître les pertes. Les seules fuites par défaut d'isolation et capacité filament-grille, négligeables avec un rapport normal, augmenteront beaucoup et viendront troubler le fonctionnement. Il en est de même des fuites par capacité d'une spire à l'autre ou entre les enroulements et le noyau de fer, surtout pour les grandes fréquences.

Il vaut mieux enfermer chaque transformateur dans un carter en fonte ou tôle formant écran contre les champs magnétiques pouvant se disperser. On met aussi son noyau de fer et son carter au potentiel de la terre. Si on veut mettre un transformateur dans un étage intermédiaire où seule l'amplification en potentiel intervienne,

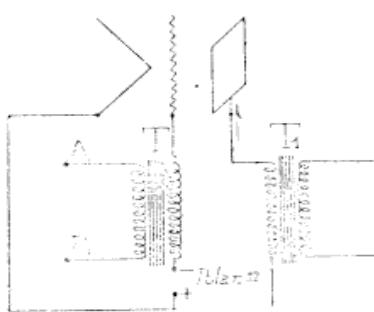


Fig. 50. — Schéma de principe d'un couplage par transformateur.

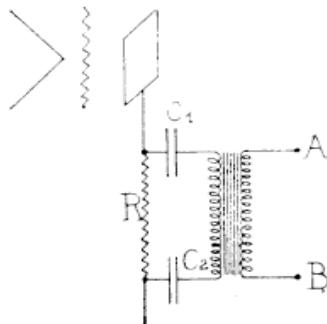


Fig. 51. — Schéma de principe d'un couplage mixte.

on cherchera à augmenter son rapport de transformation sous les réserves précédentes. C'est surtout dans ce cas que la chute de tension inductive due à l'**autoinduction** du primaire doit être plus grande que la chute de tension entre la plaque et le filament de la lampe. Dans le cas d'un étage de puissance, on fermera le secondaire du transformateur sur l'appareil d'utilisation (Haut-parleur, par ex.) et on mesurera alors son impédance vue des bornes de son primaire. Cette impédance, prise pour une fréquence moyenne, devra être équilibrée avec la résistance intérieure de la lampe. On obtiendra alors le maximum de rendement. La variation d'impédance du transformateur étant très grande avec la fréquence, on prend souvent une solution moyenne consistant à donner à cette impédance une valeur double de la résistance intérieure de la lampe.

Grâce aux transformateurs, on peut varier les montages, par exemple, en les combinant avec des résistances, (fig. 51). On met dans le circuit plaque de la lampe une résistance **R** laissant passer le courant continu de plaque dont les variations produisent entre

les extrémités de la résistance **R** des variations de tension qui sont transmises au primaire du transformateur à travers deux capacités **C₁** et **C₂** suffisamment grandes, de l'ordre de 1 à 2 Microfarads. Le grand avantage de ce montage est d'éviter le passage du courant continu dans le primaire du transformateur, le chemin lui étant fermé par les capacités. Il faut cependant se garder des effets de résonance qui exagéreraient certaines fréquences. Ici encore on adaptera soigneusement entre elles les valeurs de **R**, de la résistance intérieure de la lampe, des capacités et de la self du transformateur. A cet effet on distinguera d'ailleurs encore le cas où le secondaire est ouvert (alimentation d'un circuit de grille) ou fermé (étage de puissance).

En général, on doit éviter de faire passer un courant continu dans les enroulements d'un transformateur en dehors de sa marche normale dans l'amplificateur. Cette recommandation s'applique tout particulièrement à un transformateur destiné à ne recevoir que du courant alternatif (cas de la figure 51). Il est très mauvais de mesurer sa résistance ohmique en courant continu. Une telle opération a pour effet d'introduire un magnétisme permanent qui subsiste dans le noyau et le fer ainsi saturé perd une grande partie de ses propriétés et on risque de bouleverser les qualités de l'amplificateur. Si un transformateur a reçu accidentellement du courant continu, on devra le démagnétiser. Pour cela on fera passer dans un de ses enroulements un courant alternatif d'abord assez fort et diminué ensuite progressivement jusqu'à devenir nul, en introduisant dans le circuit une résistance de plus en plus grande.

Montages à Contretemps (1). — Le montage à contretemps est très employé parce qu'il présente des avantages remarquables. Il est surtout indiqué pour les étages de puissance où les courants et tensions mis en jeu commencent à être assez grands. Il peut être monté avec résistances, avec transformateurs ou avec une combinaison des deux ensemble.

Le principe de ces montages repose essentiellement sur l'utilisation de résistances ou de transformateurs à point milieu, c'est-à-dire formés de deux parties mises bout à bout et de caractéristiques bien égales. En même temps, on fait travailler deux lampes à la fois. La figure 52 montre un exemple de montage à contretemps à transformateurs. Les transformateurs **T₁** et **T₂** ont chacun un enroulement pourvu d'un point milieu. Le point **C** est supposé relié à la polarisation négative de grille. Le point **D** est relié à la source de tension plaque. Le fonctionnement de cet ensemble est le suivant : Supposons qu'à un certain moment, la tension alternative à amplifier fasse

(1) En anglais : « Push-pull » — En allemand : « Gegentakt ».

circuler entre les points **A** et **B** un courant dans le sens des flèches. On aura, par exemple, dans le secondaire une tension dirigée de bas en haut et le potentiel de la grille du tube **V₁** va donc augmenter et le potentiel de grille du tube **V₂** va diminuer, en comptant ces potentiels à partir du point **C**. Donc nous allons obtenir une augmentation du courant de plaque dans **V₁** et une diminution de ce même courant dans **V₂**. Ces deux effets se traduisent donc dans le primaire du transformateur **T₂** par deux variations de courant indiquées par les deux flèches, chacune étant relative à une moitié de l'enroulement. On peut donc voir que ces deux actions concordent. On obtient alors aux bornes **EF** une tension amplifiée qu'on peut transmettre au haut-parleur ou à l'étage suivant. On arrive ainsi à produire avec deux transformateurs une puissance double de celle qu'on obtenait avec une seule lampe. Les enroulements placés dans les circuits de grille et de plaque doivent seulement avoir un nombre de spires

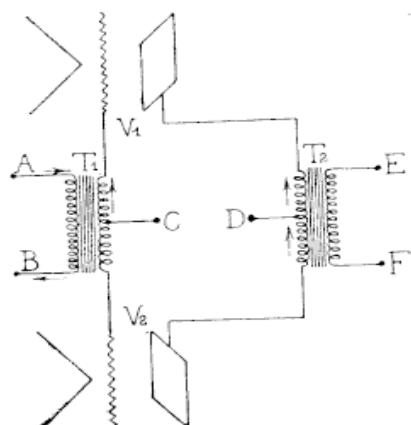


Fig. 52. — Schéma de principe d'un couplage dit « à contretemps ».
(push-pull), à transformateurs.

doubles de ce qu'ils auraient dans un étage ordinaire à transformateurs. Ce système présente surtout les avantages suivants :

1) Dans le transformateur **T₂**, le courant continu de plaque se divise en deux parties égales vers les tubes **V₁** et **V₂**. Ces deux courants dérivés circulent donc dans deux sens opposés et par conséquent leurs actions magnétisantes sur le noyau du transformateur sont aussi opposées et s'annulent. Le fer ne subissant ainsi aucune saturation, il conserve toute sa perméabilité pour recevoir les champs variables produits par les courants sonores. Il n'introduit donc pas de déformations et on obtient une pureté d'amplification plus grande qu'avec un montage ordinaire.

2) On peut établir mathématiquement que, grâce à ce système, une certaine déformation des caractéristiques des lampes peut être acceptée. Il y a en effet compensation partielle des distorsions résultantes, du fait précisément que les deux lampes travaillent à la fois. Avec un montage à une seule lampe, que ce soit avec résistance ou transformateurs, on doit travailler dans une portion bien rectiligne de la courbe. Avec le montage à contretemps, on peut travailler jusque dans une portion où la courbe aurait une allure parabolique. La seule réserve à faire est que les deux lampes doivent être bien semblables. Il y a lieu toutefois de ne pas chercher à profiter à l'excès de cet avantage si on veut obtenir une amplification bien pure. Ce procédé est très utilisé dans les bons amplificateurs principalement comme étage de puissance. On peut encore arriver

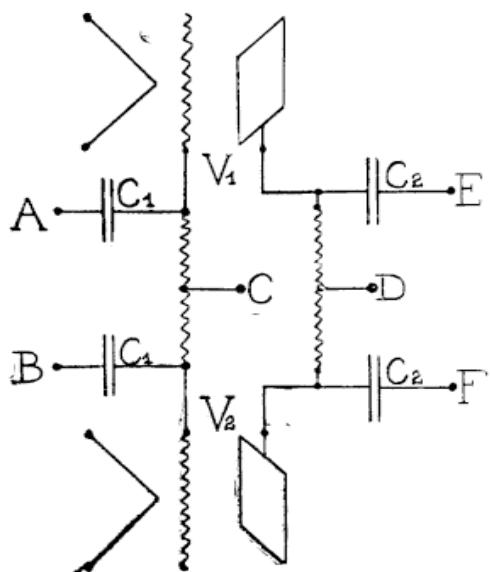


Fig. 53. — Schéma de principe d'un couplage dit « à contretemps », à résistances.

à un résultat identique en employant uniquement des résistances. La figure 53 donne un exemple d'un tel montage. On voit qu'il correspond exactement à celui de la figure 52 sauf que les transformateurs ont été remplacés par des résistances. On pourrait faire un raisonnement identique et montrer encore que lorsqu'une variation de tension est appliquée aux bornes **A** et **B**, les effets des deux lampes s'ajoutent pour produire une variation de tension amplifiée aux bornes **EF**.

Le montage à contretemps à résistances est moins employé que le précédent. Il ne permet en effet, comme le montage à résistance ordinaire qu'une amplification de potentiel limitée. Il est d'autre part mauvais comme amplificateur de puissance, au moins pour ce qui concerne le film sonore. Les hauts parleurs modernes ont en effet presque toujours une faible impédance de l'ordre de quelques ohms. Les résistances d'amplification, au contraire, ont des valeurs de l'ordre de plusieurs milliers ou dizaines de milliers d'ohms. Les impédances seraient donc ainsi très mal adaptées ensemble. On peut toutefois, en pareil cas, employer encore avantageusement le schéma de la figure 53 en ajoutant un transformateur branché aux bornes **E** et **F**. On peut alors adapter facilement le nombre de tours du secondaire à l'appareil d'utilisation.

En résumé, bien que les montages varient extrêmement d'un constructeur à l'autre, on peut établir les règles générales suivantes : les premiers étages d'amplification phonographique seront de préférence à résistance, les étages moyens seront à résistances, à transformateurs ou avec les deux combinés, les étages de sortie seront à transformateurs, de préférence avec montage à contretemps.

Passons rapidement en revue les principes généraux qui seront à suivre dans l'établissement du projet d'amplificateur : Tout d'abord dans les calculs que l'on fera on laissera délibérément de côté la question du rendement. On procède donc ici d'une façon complètement différente de celle qui serait généralement recommandée dans un projet de machine. On conçoit facilement en effet que le rendement n'a pas du tout le même intérêt que pour un turbo-alternateur ou une commutatrice. La puissance dépensée pour alimenter tout un jeu d'amplificateurs se chiffrera au maximum par un kilowatt. En raison des frais énormes qui sont supportés par ailleurs aussi bien dans un studio que dans une salle de projection, cette dépense en énergie est infime. Si, en conséquence, on voit qu'un nouveau montage donne un son meilleur, mais consomme davantage d'énergie, il faut l'adopter sans hésiter et la qualité obtenue doit passer ici avant toute autre préoccupation.

Il existe bien des manières pour déterminer les éléments successifs qui formeront la chaîne des étages d'amplification. Une des meilleures consiste à commencer par le dernier étage. On sait d'avance que l'amplificateur devra rendre en courant sonore une puissance **B** moyennant qu'il lui sera fourni une puissance **A**. Connaissant l'impédance de l'appareil d'utilisation (haut-parleur, enregistreurs), on calculera facilement le transformateur de sortie qui sera branché sur un étage double à contretemps. On en déduira facilement les variations de courant plaque à produire. On tiendra compte d'autre part de la

totalité de la puissance **B** qui devra être fournie par ce dernier étage. Le type de lampe à y adapter sera alors fixé et on terminera le calcul en déterminant la variation de tension grille à produire sur des lampes de ce dernier étage. Suivant la valeur obtenue, on verra en calculant deux ou trois couplages possibles quel type de lampe devra venir sur l'étage précédent et ainsi de suite jusqu'à l'entrée de l'amplificateur. La puissance **A** amenée à l'entrée sera intégralement absorbée pour produire une simple différence de potentiel soit aux bornes d'une résistance, soit aux bornes du secondaire d'un transformateur.

En général, d'ailleurs, on ne dispose que d'un nombre de types de lampes assez réduit. Pour chaque étage, un type ayant été choisi en première approximation, ce sont ensuite les circuits de couplage qui devront s'adapter à lui en tenant compte soigneusement de ses caractéristiques. On parvient aisément à ce résultat avec la grande variété de montages possibles : résistances, transformateurs ou les deux combinés. En général, on aura toujours avantage à se tenir au-dessus de la puissance normale nécessaire, quitte à en absorber au besoin une partie par une résistance montée en potentiomètre. Notons encore qu'en général, pour des raisons de disposition pratique, la chaîne d'étages d'amplification est scindée en plusieurs amplificateurs séparés. On ne met en général dans une même boîte ou sur une même plaque que les étages utilisant un même type de lampe. Ce dispositif a encore l'avantage d'écartier les circuits les uns des autres et d'éviter de fâcheuses inductions. Pour des raisons identiques, on a bénéfice à enfermer entièrement chacun de ces groupes dans un caisson d'acier simplement percé de quelques trous pour la ventilation. Seules les lampes sont laissées visibles et accessibles à l'extérieur.

Pour pénétrer plus avant dans le montage des amplificateurs, il faudrait entamer des calculs compliqués exigés par l'étude approfondie de tous ces systèmes. Notons seulement que l'on utilise aussi d'autres lampes (lampes à écran, pentodes, etc...) plus compliquées que les triodes ci-dessus décrites. Dans ces lampes, le flux électrique se trouve encore influencé par de nouveaux éléments qui créent des champs électrostatiques intermédiaires. Toutefois, l'usage semble s'en être répandu davantage dans les amplificateurs radiophoniques, plutôt que dans ceux spécialement destinés au cinéma sonore. Il en est de même pour certains montages particuliers, par exemple, ceux qui comportent des bobines de choc.

Nous pensons que tout l'exposé ci-dessus, quoique nécessairement superficiel, suffit néanmoins pour donner au lecteur une idée des éléments essentiels entrant en jeu dans ces questions d'amplifi-

cation. Le schéma d'un système d'amplificateurs ayant été choisi et tous les éléments déterminés, on peut procéder à la construction. Pour mesurer les impédances des circuits, on se sert du Pont de Wheatstone à courant alternatif. Sa théorie est assez compliquée et ses combinaisons de montage très variées. Il nécessite de plus l'emploi d'un générateur d'oscillations de fréquences téléphoniques. Ce générateur est presque toujours constitué par un oscillateur à tubes thermoioniques. Il doit pouvoir fournir des fréquences variées et de valeurs bien précises.

Vérification des Appareils. — Nous allons examiner en passant une question d'un gros intérêt pratique. Elle se rapporte d'ailleurs non seulement aux amplificateurs eux-mêmes mais en général à tout le travail du film sonore. Il ne suffit pas en effet de construire les différents éléments d'une installation d'enregistrement ou de reproduction d'après des principes théoriques convenables. Il faut encore vérifier pratiquement que les résultats cherchés sont bien obtenus. Cela ne signifie pas, bien entendu, comme on le dit trop souvent à tort que la théorie et la pratique soient deux choses indépendantes. Elles sont au contraire toujours étroitement liées. Toutefois, il arrive fréquemment dans les études théoriques que l'on doive pour des raisons de simplicité négliger certains facteurs secondaires ou se contenter de certaines approximations. C'est à l'expérience de montrer ensuite que ces sacrifices consentis sont justifiés.

Comment nous est-il possible de vérifier au laboratoire qu'un enregistrement effectué par tel système ne déforme pas les sons ou que tel amplificateur permet d'obtenir un courant sonore d'assez grande puissance sans distorsion ? Chez les constructeurs bien organisés cette étude se fera au moyen d'oscillographes. Nous avons déjà expliqué à propos de l'enregistrement sur film à surface variable et densité constante le principe de ces appareils.

Reprendons un tel dispositif à miroir tournant (fig. 54). Cette fois, au lieu de chercher à obtenir une tache étalée, nous nous arrangerons pour obtenir un point lumineux **P** sur une bande de papier photographique au bromure d'argent qui se déroule d'un mouvement régulier au moyen d'un tambour entraîné par un moteur. Si la distance **MP** est assez grande, une rotation du miroir **M** d'un très petit angle suffira pour produire un déplacement du point **P** de plusieurs centimètres. La boucle de fil **ACB** étant placée dans le champ d'un puissant électro-aimant, faisons passer un courant dans cette boucle et déroulons le papier photographique. Ce dernier nous donnera, après développement, une courbe représentant fidèlement le courant. En branchant la boucle sur un courant alternatif industriel ordinaire, nous obtiendrons une courbe sinusoïdale. Un appareil ainsi

conditionné n'est pas autre chose que l'oscillographie Blondel couramment utilisé dans les laboratoires d'électrotechnique. Toutefois, nous avons déjà signalé que dans un tel dispositif, la tension de l'équipage, la masse du miroir et l'amortissement devaient être bien déterminés pour arriver à une bonne fidélité.

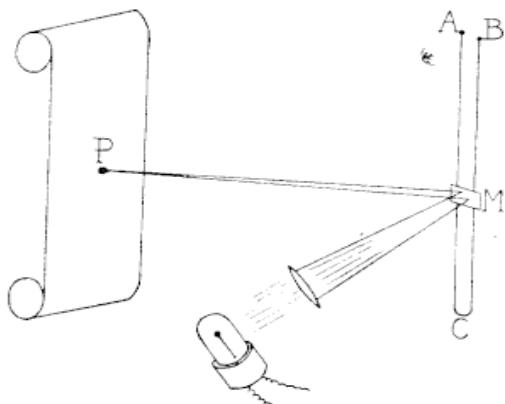


Fig. 54. — Schéma général d'un oscilloscophe à enregistrement photographique.

Puisque notre appareil est destiné à servir d'étalon dans toute notre construction, nous devons d'abord le vérifier lui-même. Il suffit pour cela de lui envoyer un courant de forme connue à l'avance

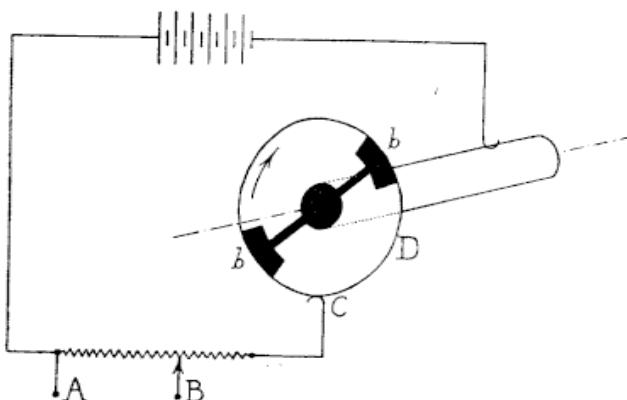


Fig. 55. — Dispositif pour obtenir un courant saccadé dont la loi de variation est connue à l'avance.

et rien n'est plus facile. On peut, par exemple, utiliser un montage tel que celui de la figure 55. On monte sur un axe un disque **D** en

matière isolante. Dans ce disque sont sertis deux segments de cuivre **bb** reliés électriquement à l'axe, qui est placé dans le circuit d'une pile. Enfin un balai **C** frotte sur le disque et le circuit se referme sur une résistance bobinée de manière à être bien dépourvue d'autoinductance et de capacité. Dans ces conditions, surtout si la pile a une forte tension et la résistance une assez grande valeur par rapport à la résistance de contact du balai **C**, on peut considérer l'établissement et la rupture du courant comme instantanés. Lorsque le balai arrive à un des segments conducteurs, le courant passe et prend brusquement une certaine valeur. Cette valeur reste constante pendant toute la durée du contact puis tombe ensuite brusquement à zéro. On peut aussi être assuré d'avance que le courant a la forme donnée par la figure 56. Il ne reste plus alors qu'à recueillir la tension entre deux points **A** et **B** de la résistance et à appliquer cette tension à l'équipage de notre oscilloscophe. S'il est vraiment construit dans de bonnes conditions, il devra inscrire sur notre papier au bromure une courbe identique à celle de la figure 56. Il est à remarquer d'ailleurs qu'un tel essai est une excellente preuve de fidélité. Un tel courant présente en effet de véritables discontinuités. Or, tout phénomène discontinu est toujours très difficile à suivre pour un système mécanique quelconque. Si donc notre courbe de la figure 56 est bien reproduite par notre oscilloscophe sans arrondissements et sans boucles aux angles, nous pouvons être assurés de l'excellence de notre appareil. Il enregistrera certainement avec une grande précision des courants de toutes fréquences dans un champ très étendu.

Maintenant, nous allons pouvoir vérifier toutes les pièces construites pour l'usage du film sonore. Supposons que nous voulions étudier un amplificateur, pour savoir jusqu'à quel point il nous permet d'amplifier sans déformations un courant de fréquence sonore. Nous allons procéder comme suit : Nous prenons une source de fréquence musicale quelconque : alternateur, vibreur, oscillateur à lampes, etc... Nous faisons d'abord débiter cette source directement sur l'oscilloscophe. Nous obtenons sur le papier au bromure une certaine courbe **A**. Nous appliquons ensuite la même source à l'entrée de l'amplificateur dont la sortie est fermée sur une résistance. En fermant une portion plus ou moins grande de cette résistance sur notre oscilloscophe, nous pouvons avoir sur un second papier une courbe **B** de même amplitude que la courbe **A**. Il ne nous reste plus qu'à superposer ces deux courbes et à regarder par transparence si elles coïncident. Plus il y aura de différence entre elles, plus notre amplificateur sera mauvais.

Supposons que nous voulions maintenant étudier la fidélité d'une

installation d'enregistrement sur disques. Nous produirons un son continu qui est enregistré et en même temps une partie du courant est dérivée dans l'oscillographe qui nous donne une première courbe. Le disque étant traité et terminé, nous le jouons sur une installation de reproduction et nous inscrivons de nouveau le courant avec notre oscillographe, puis nous comparons de nouveau les courbes entre elles. Bien entendu, les amplificateurs utilisés au cours de ces opérations auront été eux-mêmes préalablement vérifiés.

Toutes ces expériences peuvent être faites avec des fréquences diverses et même avec des courants volontairement déformés. On conçoit donc la souplesse et la richesse en résultats d'un pareil moyen

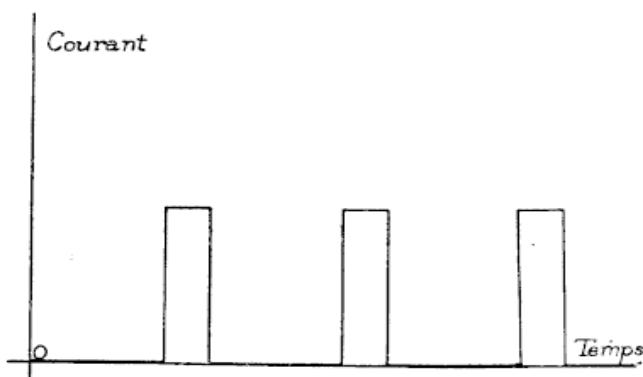


Fig. 56. — Graphique indiquant la loi de variation du courant fourni par le montage de la fig. 55.

d'investigation. Il est évidemment bien supérieur à l'écoute avec un récepteur de fidélité douteuse et où, de plus, les qualités de l'oreille de l'observateur interviennent. On peut même vérifier aussi les microphones en leur envoyant le son d'un diapason qui représente à peu près un son simple sinusoïdal.

Mesure des Puissances Sonores. — Pour les courants industriels, on mesure les puissances avec les Wattmètres. Ces appareils pourraient à la rigueur être utilisés à la sortie des amplificateurs où la puissance fournie est déjà notable et peut atteindre plusieurs dizaines de watts mais ils se trouveraient en défaut à l'entrée et dans les premiers étages où la puissance mise en jeu serait trop faible. Il est donc préférable de chercher tout de suite un autre système plus sensible, quitte à utiliser des réducteurs à résistances pour les sorties des gros amplificateurs. On prend donc des indicateurs de niveau. Il en existe un grand nombre de modèles. Le principe général en est schématisé sur la figure 57.

On fait arriver le courant sonore à mesurer sur deux bornes **A** et **B** que l'on ferme d'abord sur une résistance **R** de valeur convenable. On amplifie ensuite la tension disponible entre les bornes **A** et **B** avec plusieurs étages **a**, **b**, **c...** à résistances ou à transformateurs. A la sortie du dernier étage, la tension arrive à une valeur notable. Elle est alors détectée, c'est-à-dire redressée. On peut utiliser soit un détecteur à lampes, soit un détecteur à oxyde de cuivre. Sur la figure quatre redresseurs sont montés en pont de manière à redresser le courant dans les deux sens. Dans le milliampermètre à

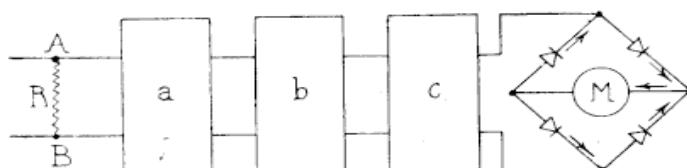


Fig. 57. — Montage permettant la mesure de la tension ou de la puissance d'un courant de fréquence sonore.

courant continu **M** passe alors un courant toujours de même sens, dont on peut lire la valeur moyenne. Cette valeur permet de mesurer la tension existant entre les bornes **A** et **B**, et par conséquent la puissance débitée dans la résistance **R**. On doit graduer l'appareil par comparaison, en appliquant des tensions variées et connues aux bornes **A** et **B**. C'est facile à réaliser avec le courant alternatif ordinaire du secteur de distribution, au moyen de réducteurs potentiométriques convenables.

Pour mesurer la puissance importante débitée par les gros amplificateurs, on supprime les étages **a**, **b**, **c...** et on prend le redresseur à oxyde de cuivre tout seul. On peut même encore, au cas où il serait trop sensible, dériver une partie du courant débité dans des résistances de valeur connue. De toute manière, on voit qu'on peut obtenir ainsi des appareils couvrant des échelles de sensibilité très variée. Moyennant un étalonnage préalable exécuté avec soin au laboratoire, et vérifié ensuite de temps en temps, on peut arriver à une assez grande précision dans les mesures.

Niveaux Sonores — Unités. — Pour évaluer les puissances des courants sonores, on ne procède pas comme avec les courants industriels. Si on les comptait simplement en watts, les chiffres ne donneraient pas une idée exacte de l'impression produite sur l'oreille ; or c'est là en définitive le résultat cherché. L'oreille a peu de sensibilité pour apprécier la différence de puissance des deux sons. On

estime que la puissance d'un son doit être doublée pour que l'oreille perçoive une augmentation de pression sur le tympan. Quand on écoute une conversation téléphonique, la puissance parvenant à l'écouteur peut varier dans la proportion de 1 à 1.000 environ, sans que la voix entendue cesse d'être compréhensible. L'oreille a donc une sensibilité très grande pour les sons faibles mais cette sensibilité diminue relativement de plus en plus pour les sons très forts. Pour que le système de mesure adopté se plie mieux à cette propriété de l'oreille, on emploie alors une notation logarithmique. Lorsqu'on veut établir un système de mesure, on doit procéder en deux fois :

- 1) On définit la manière dont on comparera une grandeur **A** à une autre grandeur **B** de même nature.
- 2) On fixe ensuite la valeur de cette grandeur **B** qui sera désormais choisie comme unité.

Supposons dans le cas présent que nous ayons deux puissances **A** et **B** en courant sonore. On dira que leur différence de niveau est proportionnelle au logarithme du rapport **A/B**. Pour fixer ensuite la valeur de l'origine des niveaux on se reporte à une observation faite depuis longtemps dans la technique téléphonique d'après laquelle la puissance nécessaire pour entendre normalement une conversation dans un écouteur est d'environ 0,006 watt. Une puissance de 0,006 watt correspondra donc au niveau : zéro. On convient alors de mesurer le niveau comme étant égal à dix fois le logarithme ordinaire du rapport **A/0,006** où **A** est, bien entendu, exprimé aussi en watts. L'unité de niveau ainsi définie a reçu le nom de **décibel** (ou dixième partie du **Bel**). On l'appelle aussi unité de transmission.

Nous allons illustrer cette définition par quelques exemples. Nous rappellerons que dans le système des logarithmes ordinaires, les puissances de 10 ont pour logarithmes des nombres entiers. Ainsi : 1/100, 1/10, 1, 10, 100 ont respectivement pour logarithmes -2, -1, 0, 1, 2. Quel est, par exemple, le niveau en décibels d'une puissance **A** égale à 6 watts ? Le rapport **A/0,006** est alors égal à : $6/0,006 = 1.000$ dont le logarithme est 3. Après multiplication par 10, nous obtenons ainsi 30 décibels.

On trouverait de même 40 décibels pour 60 watts, 20 décibels pour 0,6 watts, etc... Une règle commode vient encore faciliter les calculs avec ce nouveau système d'unités : On double la puissance en augmentant un niveau de 3 décibels. Cela provient du fait que le logarithme de 2 est 0,30103. On peut donc prendre avec une très bonne approximation $10 \log_2 2 = 3$. Réciproquement d'ailleurs, on divise une puissance par 2 si on lui retranche 3 décibels.

En vertu de cette simple remarque, on pourra trouver aisément

la puissance correspondant à n'importe quel nombre entier de décibels, sans avoir à faire aucun calcul logarithmique.

La figure 58 résume les valeurs de 10 en 10 décibels. Quelle est la puissance représentée par 19 décibels ? On part de 10 décibels (0,06 watts) et on trouve successivement : 0,12 watt pour 13 décibels, 0,24 watt pour 16 décibels et enfin 0,48 watt pour 19 décibels.

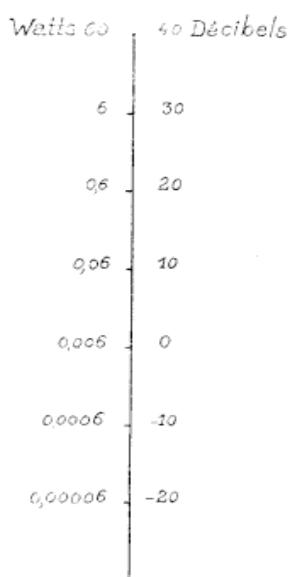


Fig. 58. — Echelle de correspondance des puissances exprimées en watts et exprimées en décibels.

Quelle est encore la puissance correspondant à 31 décibels ? Nous partons de 40 décibels (60 watts) et nous trouvons successivement, en retranchant 3 par 3 : 30 watts pour 37 décibels, 15 watts pour 34 décibels et enfin 7,5 watts pour 31 décibels.

Il est facile de trouver ainsi de proche en proche toutes les valeurs désirées. On compte ainsi tous les niveaux de puissance des amplificateurs en décibels. On évalue de même le **gain** d'un amplificateur, c'est-à-dire le rapport entre la puissance qu'il fournit à sa sortie et celle qu'il a reçue à l'entrée. Ainsi un amplificateur qui reçoit une puissance de 19 décibels (0,48 watt) et rend une puissance de 31 décibels (7,5 watts) donnera un gain de 12 décibels.

CHAPITRE VII

MONTAGE DES APPAREILS DE REPRODUCTION

Nous avons déjà exposé au chapitre II les principes simples des projecteurs cinématographiques. Dans une cabine de projection sonore, le projecteur au lieu d'être monté sur un simple pied ordinaire va être monté sur une machine spéciale qui réunira les éléments nécessaires pour reproduire le son. La partie « image » et la partie « son » se trouvent donc en somme être bien distinctes et d'ailleurs les projecteurs et les machines sonores sortent le plus souvent de chez deux constructeurs différents puisqu'ils correspondent respectivement à deux techniques de fabrication indépendantes. Les fabricants de projecteurs ont du reste prévu des pièces convenables pour adapter leurs appareils sur toutes les bonnes machines sonores existantes.

Pour ce qui concerne les systèmes de reproduction mis en jeu, trois genres de machines sonores se trouvent actuellement à la disposition des exploitants :

- 1) Machines utilisant uniquement le système « disque ».
- 2) Machines utilisant uniquement le système « film ».
- 3) Machines pouvant utiliser l'un ou l'autre système.

La première catégorie est peu répandue et ne se rencontre qu'exceptionnellement dans les salles de très petite importance. La plupart des grands films actuels sont en effet avec enregistrement « film ». De telles installations ont seulement l'avantage d'une assez grande simplicité et d'un bon marché relatif mais n'e permettent qu'un choix très réduit dans les programmes.

La deuxième catégorie est plus fréquemment adoptée mais présente tout de même l'inconvénient de ne pas permettre la reproduction de certaines variétés ou films de complément qui souvent sont enregistrés sur disques.

Enfin la troisième catégorie est toujours installée dans les grandes salles.

Examinons un peu le schéma général d'une machine sonore avec projecteur et comportant la reproduction « film » (fig. 59). Le film à passer se trouve enroulé sur une bobine (1) enfermée dans un carter de tôle d'acier appelé tambour supérieur. Elle est folle sur son axe. Un premier tambour denté (2) a pour mission de dérouler le film de la bobine et de préparer une petite boucle (4). Un petit galet (3) roule librement et presse simplement le film contre le gros galet (2).

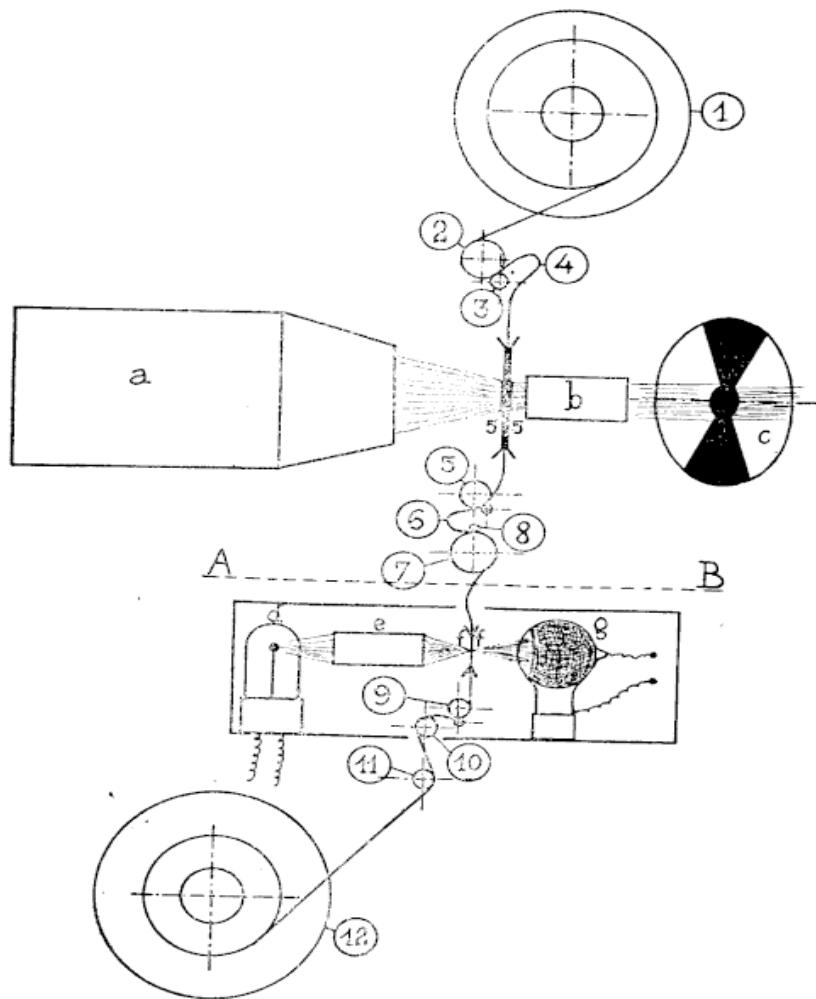


Fig. 59. — Schéma général complet d'un projecteur sonore, comprenant la partie projection proprement dite et la partie reproduction sonore.

Le film passe alors entre deux glissières qui le pressent et le maintiennent bien tendu devant la fenêtre **F** puis est repris par le tambour de la croix de malte (5). La croix de Malte ayant presque toujours quatre branches et chaque image du film ayant quatre perforations, ce tambour (5) a donc 16 dents. Le film forme de nouveau une boucle (6), puis est repris par un tambour (7) secondé encore par un petit satellite (8) qui presse le film contre lui. Le film descend alors dans la machine sonore. On voit ainsi que tous les organes situés au-dessus de la ligne **A-B** concernant uniquement la projection. On peut remarquer également l'ingéniosité et la simplicité du système des boucles (4) et (6). Grâce à leur présence, la croix de Malte dont le mouvement saccadé est très rapide n'a à entraîner qu'une très faible longueur de film de 15 à 20 cm, comprise entre les boucles. Les effets d'inertie qui seraient désastreux pour les perforations du film sont ainsi très atténués. Derrière la fenêtre **F** se trouve une source lumineuse (**a**) qui est presque toujours une lampe à arc sauf dans les petits projecteurs. Le cratère positif de la lampe à arc au charbon est en effet la source lumineuse artificielle la plus puissante actuellement connue. Elle atteint une brillance de 150 bougies déclinales par millimètre carré, le 1/10^e environ de celle du soleil. De l'autre côté de la fenêtre se trouve l'objectif (**b**) et enfin le volet tournant (**c**) dont les pales opaques interrompent la lumière projetée deux fois par tour. Toutes les pièces en mouvement sont bien entendu accouplées entre elles rigidement par des pignons d'engrenage à nombre de dents convenable.

Au-dessous de la ligne **A-B**, on trouve le système de reproduction par film généralement contenu dans une boîte métallique appelée « tête sonore » ou monté sur un plateau. Le film en arrivant dans la tête sonore est encore guidé par 1 ou 2 galets puis arrive de nouveau entre deux glissières **f** pourvues simplement d'une ouverture sur le côté en face de la bande sonore. Il est ensuite repris par un tambour (9), puis, après, passage sur un ou deux guides tels que (10) et (11), il va s'enrouler sur une autre bobine dans le tambour inférieur. La disposition relative de tous ces éléments peut bien entendu varier d'un constructeur à l'autre. Néanmoins, la disposition générale reste toujours très voisine de celle de la figure 59 qui contient le principe de tous les systèmes existants.

Examinons maintenant le type général de la tête sonore. Elle comprend d'abord à gauche une lampe excitatrice **d** du type « demi-watt » à filament horizontal travaillant à température très élevée et donnant une lumière très blanche. Un système optique **e** reçoit la lumière de ce filament. La lampe excitatrice et le système optique sont représentés avec plus de détails sur la figure 59 bis. Une pre-

mière lentille à gauche reçoit les rayons de la lampe et donne une image du filament sur la fente horizontale pratiquée dans une rondelette métallique **r**. Une deuxième lentille à droite donnera une image de cette fente sur le film en **f**. On notera que cette disposition rappelle beaucoup celle des systèmes d'enregistrement à largeur constante et densité variable tels que le système Western Electric. La seule différence est qu'ici la largeur de la fente placée en **r** reste invariable au lieu d'être soumise à des pulsations. L'image arrivant en **f** a encore, comme à l'enregistrement, une hauteur de l'ordre de 25/1000^e de mm. Revenons à la figure 59. La glissière **ff** est constituée par une partie fixe ordinairement en acier trempé dur pour éviter toute usure par frottement du film et par une partie mobile à ressort pouvant s'ouvrir pour permettre la mise en place du film. Les deux parties portent du reste des bossages plats qui frottent sur les côtés du film à l'endroit des perforations. L'image ne doit jamais appuyer nulle part sous peine d'être rapidement rayée par les frottements.

Enfin, à droite se trouve la cellule photoélectrique **g** enfermée de préférence dans un petit compartiment spécial bien clos et seule sa fenêtre transparente apparaît devant une ouverture. Elle se trouve ainsi abritée des chocs, vibrations et variations de température.

Le tambour (9) entraîne le film juste après son passage devant le rayon lumineux. Il joue un rôle capital dans la reproduction sonore parce que c'est de lui que dépend la régularité du défilement de la bande sonore. On rencontre ici en effet le même problème qu'à l'enregistrement. La moindre irrégularité dans l'entraînement produirait un chevrottement du son insupportable pour les spectateurs. Toutefois, comme le positif développé a acquis une plus grande résistance que le film vierge, on se contente généralement d'un entraînement direct par dents engrenant les perforations, sans recourir à l'artifice d'un tambour lisse comme pour l'enregistrement. Néanmoins le tambour (9) doit avoir une vitesse parfaitement régulière et bien que ce problème ne soit pas en lui-même particulièrement difficile il a soulevé de nombreuses discussions par suite des brevets déposés par certains constructeurs et contestés ensuite par des concurrents. La solution généralement adoptée consiste à munir l'arbre portant le tambour (9) d'un très lourd volant muni d'un filtre mécanique. Nous avons déjà indiqué dans la figure 20 le principe de ce système où l'entraînement a lieu par l'intermédiaire de ressorts jumelés avec des soufflets ou amortis dans un bain d'huile épaisse.

On a également avantage (fig. 59) à laisser au film un petit mou entre le tambour (7) et les glissières **ff**. Ce sont ces dernières qui doivent, par une légère pression, maintenir une certaine tension

du film. On obtient ainsi une grande douceur de fonctionnement et un résultat excellent. La longueur de film entre la fenêtre F et les glissières ff doit être d'environ 19 images, soit 360 mm.

Il est désormais facile de se représenter le mécanisme de reproduction. La mince raie lumineuse arrivant sur le film à travers les glissières ff barre toute la largeur de la bande sonore. Supposons d'abord qu'il passe une partie silencieuse. Dans le cas d'un enregistrement à largeur variable et densité constante (Gaumont - R.C.A.), la bande sonore présentera une moitié opaque et une moitié transparente avec une ligne de séparation rectiligne. Dans le cas d'un enregistrement à largeur constante et densité variable (Fox Movietone - Western Electric - Tobis Klangfilm) la bande sonore présentera une surface uniformément grise sans différence d'opacité entre deux points de sa surface. Par conséquent le rayon lumineux

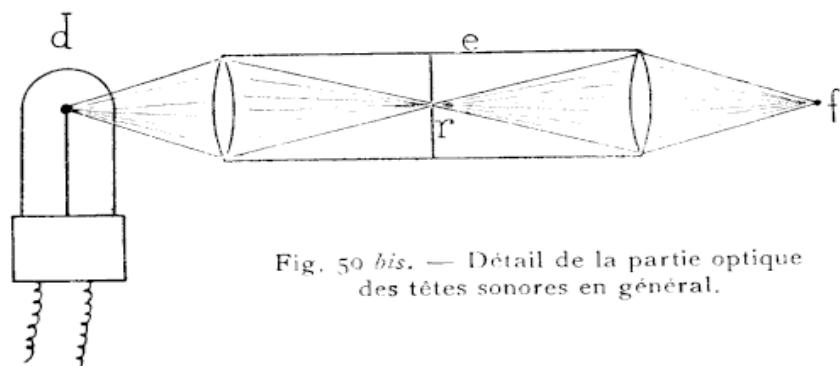


Fig. 50 bis. — Détail de la partie optique des têtes sonores en général.

venant du système optique et arrivant sur le film sous forme d'une raie mince et longue va se trouver simplement affaibli dans un rapport constant par son passage à travers le film. La cellule photoélectrique placée derrière les glissières va recevoir une quantité constante de lumière. Donc le courant anodique de cette cellule restera lui aussi constant. Or nous avons déjà insisté sur ce fait que dans les amplificateurs seules les variations de courants intervenaient. Il n'y a ainsi aucun courant variable à amplifier et, par conséquent, les haut-parleurs restent silencieux.

Supposons maintenant qu'une scène arrive où il y a des paroles ou de la musique. Dans les enregistrements Gaumont ou R. C. A., la partie opaque et la partie transparente vont présenter des ondulations et des dents de scie. Dans les enregistrements Fox-Movietone, Western-Electric et Tobis-Klangfilm, les hachures transparentes et opaques vont zébrer la bande jusqu'à d'un gris uniforme. Dans les deux cas la quantité de lumière qui traverse le film va être mo-

dulée et soumise à des pulsations à la demande du son enregistré sur la bande sonore de sorte qu'en frappant la cellule photoélectrique elle arrachera de la couche sensible une quantité d'électrons proportionnelle à son intensité. Il en résulte un courant anodique variable dans la cellule et cette variation amplifiée dans tous les étages successifs des amplificateurs aboutit finalement à une certaine puissance fournie en courant sonore aux hauts-parleurs.

La plupart des observations que nous avons détaillées au cours de l'étude de l'enregistrement pourraient être répétées ici. On a encore ici l'« Effet de Fente » et on peut montrer par le calcul qu'il produit une certaine déformation qui devient, toutefois, négligeable pour des fréquences de l'ordre de 6.000, ce qui est l'essentiel.

On peut voir également que les deux méthodes d'enregistrement, surface constante / densité variable et surface variable / densité constante, sont absolument équivalentes attendu que seule la quantité de lumière traversant le film a une importance. La manière dont on règle ou module son passage n'a aucune influence sur le résultat obtenu.

Voici encore quelques observations concernant la tête sonore. Dans le système optique e (fig. 59 bis) on met à profit la présence de la lentille de droite pour obtenir une image en f beaucoup plus petite que la fente éclairée du disque r. On peut employer ainsi une fente plus grande dont la réalisation mécanique précise se trouve facilitée.

Les éléments sont toujours disposés dans le sens indiqué (fig. 59) par les bons constructeurs. Il n'est pas recommandable de placer la cellule photoélectrique devant le film car le film se présente avec sa face gélatinée à gauche, dirigée vers la lampe à arc dont les rayons frappent d'abord toujours cette couche. Il doit en être de même pour le rayon lumineux dans la tête sonore car si ce rayon frappait d'abord le support il risquerait de s'y diffuser ou disperser si le celluloïd présentait quelques défauts, tels que des irrégularités d'épaisseur. Au contraire, avec le système adopté, le rayon frappe d'abord la couche de gélatine portant le bromure d'argent réduit et il se trouve immédiatement modulé convenablement. Les diffusions ou dispersions qui peuvent se produire ensuite n'ont aucune importance car l'ouverture de la cellule est suffisamment grande pour capter sans exception tous les rayons émergeants. Or nous savons que seule la quantité totale de lumière frappant la couche sensible influe sur le courant. Comme nous l'avons déjà indiqué, on peut indifféremment utiliser des cellules à vide complet ou à atmosphère gazeuse mais la première catégorie offre l'avantage d'une fidélité absolue avec des caractéristiques bien rectilignes alors que la seconde,

tout en donnant des courants beaucoup plus élevés, ne supporte pas une tension trop forte. On risquerait alors d'avoir des caractéristiques un peu arrondies et par conséquent des distorsions (ionisation du gaz).

Moteurs d'entraînement. — Nous avons dit que sur tout l'ensemble de la figure 59, tous les tambours d'entraînement étaient accouplés entre eux par l'intermédiaire d'arbres rigides et de pignons d'engrenage à faible jeu. Seule la bobine (12) du tambour inférieur où s'enroule le film est entraînée par l'intermédiaire d'une friction douce. Sa vitesse peut ainsi se régler d'elle-même sur l'épaisseur des spires de film qu'elle porte déjà. Il reste maintenant à étudier comment nous pouvons actionner tout cet ensemble de manière que notre film défile à une vitesse constante de 24 images (456 mm.) à la seconde. Il a déjà été signalé que la vitesse à la reproduction doit toujours être la même qu'à l'enregistrement et surtout elle doit être toujours bien uniforme sans osciller autour d'une valeur moyenne.

Dans les gramophones ordinaires, si le mouvement n'est pas produit par un moteur synchrone ou asynchrone dont la vitesse se maintient d'elle-même à peu près constante, on procède de la manière suivante : on prend un moteur électrique ou à ressort de puissance notablement supérieure à celle qui est effectivement nécessaire. Comme le plateau tournerait beaucoup trop vite, on intercale alors dans le mouvement un régulateur centrifuge généralement constitué par deux boules pesantes qui s'écartent sous l'effet de la vitesse et viennent presser contre un patin un disque solidaire de l'axe. Il y a ainsi freinage, et d'autant plus fort que la vitesse devient plus grande, ce qui la ramène toujours au voisinage d'une valeur donnée.

Ce procédé suffit dans les gramophones où la puissance mécanique mise en jeu est faible mais avec une machine sonore la puissance est beaucoup plus grande et on utilise généralement un moteur de 1/3 à 1/5^e de cheval. On conçoit donc que dans ces conditions le système rudimentaire du régulateur centrifuge à frottement n'est plus admissible. L'obtention d'un mouvement régulier sur les machines a été un des problèmes les plus intéressants dans la technique du cinématographe sonore. Les solutions finalement adoptées peuvent être réparties en trois catégories :

1) On peut utiliser encore des moteurs synchrones branchés sur le réseau de la ville comme dans les studios d'enregistrement. Tous les grands réseaux ou presque, nous l'avons déjà signalé dans l'étude de l'enregistrement, distribuent du courant alternatif triphasé ou diphasé à 50 périodes (60 en Amérique). Cette fréquence reste d'ailleurs assez constante ou bien si elle varie ce n'est que très lentement par suite de la grande masse des machines, génératrices ou moteurs, accrochés ensemble. On peut donc ici encore profiter de cette cir-

constance favorable en adaptant sur les machines sonores un moteur synchrone de puissance notablement supérieure à la résistance mécanique de la machine. Pour le démarrage, il vaut d'ailleurs mieux le doubler d'une partie asynchrone pour éviter d'avoir à lancer la machine à la main. En munissant encore le moteur d'un assez lourd volant, on obtient un bon résultat.

Toutefois on ne doit pas perdre de vue que la question ne se présente pas exactement de la même manière pour un studio d'enregistrement et pour une salle de projection. Un studio d'enregistrement est en général à proximité d'une grande ville et se trouve par conséquent alimenté par un réseau important. De plus on y dispose de tous les instruments nécessaires pour vérifier la fréquence du courant. Au contraire une salle de spectacle pourra se trouver dans une petite ville pourvue d'un réseau à petite puissance où la fréquence ne sera pas constante. La question est encore plus grave pour une salle possédant un groupe de secours entraîné par un moteur à explosion pour parer aux pannes de courant. La fréquence fournie par ce petit générateur sera forcément d'une régularité imparfaite. Néanmoins, la solution du moteur synchrone ou asynchrone synchronisé est bonne en général et c'est peut-être la plus fréquemment adoptée.

2) La technique du cinéma sonore est arrivée à mettre au point des moteurs spéciaux d'un principe tout nouveau. Dans ces machines, dont la théorie serait beaucoup trop longue à exposer, ce sont uniquement des combinaisons d'enroulement et de champs magnétiques qui produisent la régulation. Ces moteurs étant disposés pour tourner à une certaine vitesse s'y maintiennent toujours malgré les variations possibles de tension d'alimentation ou de résistance mécanique de la machine.

3) Enfin la troisième catégorie comprend les systèmes de régulation basés sur le principe de résonance. Elle mérite d'être étudiée un peu en détail. C'est, en effet, avec les moteurs synchrones, le procédé actuellement le plus répandu. Il a de plus l'avantage de pouvoir s'appliquer aussi bien à des moteurs marchant sur courant continu qu'à des moteurs marchant sur courant alternatif. Il a d'ailleurs été appliqué depuis longtemps à la régulation des alternateurs à haute fréquence produisant le courant nécessaire aux émissions radiotélégraphiques sur grandes longueurs d'onde.

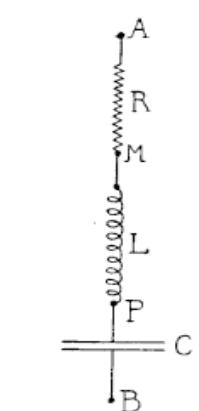


Fig. 60. — Circuit élémentaire comprenant résistance, autoinduction et capacité.

Rappelons rapidement en quoi consiste le phénomène de résonance. Soit, fig. 60, un circuit comprenant une

résistance **R**, une autoinductance **L** et un condensateur **C**. Un tel circuit ne laisserait pas passer le courant continu à cause de la présence de la lame isolante du condensateur. Supposons qu'on applique une tension alternative de fréquence réglable à volonté entre les bornes **A** et **B**. On constate qu'un courant circule. Pour une fréquence petite il est d'abord faible, puis augmente peu à peu avec la fréquence. Pour une certaine valeur critique bien déterminée de cette fréquence, il prend une valeur beaucoup plus grande ; puis, si on augmente encore la fréquence, il tombe rapidement et tend ensuite vers zéro. Pour cette valeur particulière de la fréquence où le courant monte brusquement à un maximum, on dit qu'il y a résonance.

Examinons un peu les propriétés du circuit à ce moment là. On constate d'abord que l'autoinductance et le condensateur sont comme inexistant, le courant n'étant limité que par la résistance **R**. Il existe pourtant une différence de potentiel alternative aux bornes de l'autoinductance et du condensateur. Mais ces deux tensions sont, comme on dit, en opposition de phase, et égales. Le point **M** et le point **B** se trouvent à chaque instant au même potentiel. On peut considérer l'autoinductance et le condensateur comme échangeant des impulsions entre eux, mais sans action sur le reste du circuit. Les tensions existant à leurs bornes peuvent d'ailleurs être supérieures à celle qui est appliquée aux bornes **A**, **B**. Si on applique entre **A** et **B** une tension de 50 volts, un voltmètre branché entre **M** et **P** pourrait très bien en marquer 200. Ce phénomène est désigné en électrotechnique sous le nom de surtension. On voit en tout cas ici un résultat curieux qui ne se constate jamais dans des circuits à courant continu, au moins lorsque le régime normal est établi.

Qu'arrive-t-il, maintenant, si on fait varier la fréquence autour de la valeur de résonance ? Si on l'augmente, la tension augmente aux bornes de l'autoinductance et diminue aux bornes du condensateur ; si on la diminue c'est l'inverse qui se produit. Les phénomènes de résonance sont d'un usage fréquent en électrotechnique ; en particulier, pour la régulation d'une vitesse, on peut mettre à profit : soit le fait que la tension aux bornes de l'autoinductance est égale à la tension aux bornes du condensateur, soit le fait qu'elles sont en opposition de phase.

Prenons par exemple la première méthode. Pour transmettre les variations de tension dues à une variation de fréquence, nous aurons besoin de relais. Il est commode de prendre des tubes thermoioniques.

Nous allons procéder comme suit : Sur l'arbre de notre moteur entraînant la machine sonore et qui peut être actionné soit par courant continu soit par courant alternatif, nous allons ajouter un petit alternateur à grand nombre de pôles, pour avoir du courant d'une

fréquence de l'ordre de 1.000 périodes à la seconde. Nous voulons que notre moteur tourne toujours à une vitesse bien déterminée. A cette vitesse, notre alternateur donne une fréquence **F** bien déterminée aussi. Par conséquent si notre moteur a tendance à s'embalier, l'alternateur va suivre le mouvement et la fréquence du courant qu'il produit va augmenter. De même si, par suite d'une résistance soudaine de la machine sonore, ou du projecteur, le moteur a tendance à ralentir, la fréquence du courant va diminuer. Branchons cet alternateur aux bornes **A**, **B** du montage de la figure 60. L'auto-inductance et le condensateur seront déterminés de telle sorte que,

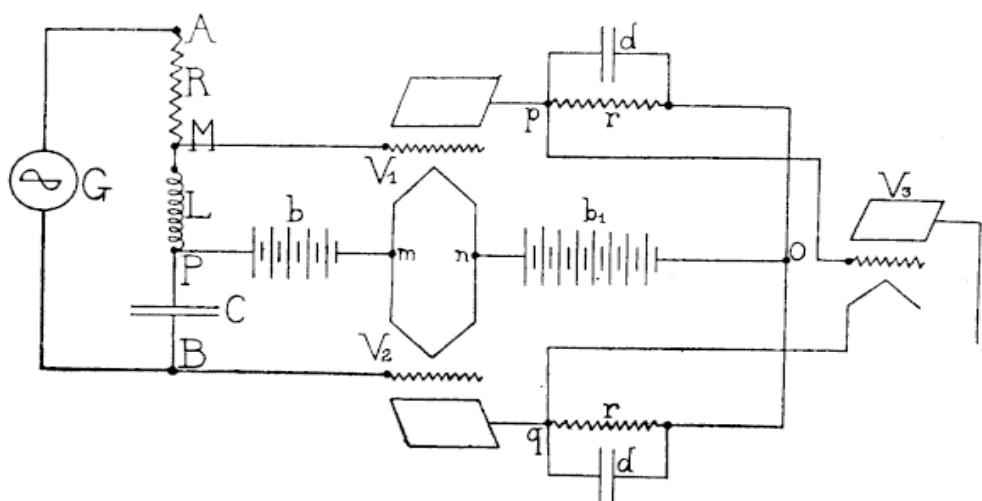


Fig. 61. — Schéma d'un dispositif permettant d'appliquer le principe de la résonance à la régulation de la vitesse d'une machine.

pour la vitesse normale du moteur, la fréquence de l'alternateur sera précisément la fréquence de résonance du circuit.

Dans ces conditions, en se reportant à ce qui a été dit ci-dessus, si la vitesse du moteur augmente, la tension alternative va augmenter aux bornes de l'autoinductance et diminuer aux bornes du condensateur. Si elle diminue, ce sera l'inverse.

Comment peut-on maintenant transformer ces changements de tensions en une action régulatrice sur le moteur ? A cet effet un grand nombre de montages peuvent être imaginés, et aboutissent tous, plus ou moins, au même résultat. En voici un par exemple : Considérons un montage comme celui de la figure 61. On reconnaît d'abord le circuit à résonance de la figure 60, avec sa résistance, son autoinductance et son condensateur. Sur ce circuit débute l'alternateur **G** qui est solidaire du moteur de la machine sonore. Réunis-

sons respectivement les points **M** et **B** aux grilles de deux tubes thermoioniques **V₁** et **V₂**. Une batterie **b** interposée entre le point **P** et le circuit de chauffage des lampes donne aux grilles une forte tension négative, de telle sorte que le point de fonctionnement de ces lampes (fig. 61 bis) soit en **A**, avec courant de plaque nul. Les filaments sont chauffés d'une manière quelconque avec une source non figurée branchée entre **m** et **n** (fig. 61). Une batterie **b₁** fournit la tension plaque aux deux lampes. Dans le circuit plaque de chaque lampe se trouve d'autre part une résistance **r** de plusieurs milliers d'ohms, shuntée par une capacité **d** assez forte, de l'ordre du microfarad.

Ces conditions étant posées, supposons maintenant que la machine tourne exactement à sa vitesse normale. L'alternateur débite alors le courant à fréquence de résonance. Conformément à ce qui a été dit ci-dessus les tensions alternatives existant entre les points **M** et **P** et entre les points **P** et **B** sont égales. Regardons ce qui se passe sur la figure 61 bis. Pour chacun des tubes **V₁** et **V₂**, la tension de grille oscille à la fréquence de l'alternateur sur le segment **B-C** dont **A** est le milieu. La partie **B-A** sera complètement inerte, mais la demi-période correspondant au parcours **A-C-A** laissera passer chaque fois un petit courant plaque. Ce courant plaque qui passe

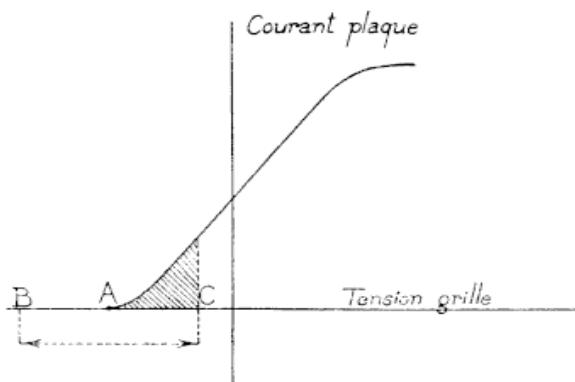


Fig. 61 bis. — Explication du fonctionnement des tubes à trois électrodes **V₁** et **V₂** de la figure 61, en considérant les propriétés de leur courbe caractéristique de courant plaque en fonction de la tension grille.

ainsi par impulsions irrégulières est bien entendu chaque fois d'autant plus grand que le point **C** sera plus loin du point **A**. Or, dans le circuit plaque de chacun des tubes se trouve le système de la résistance **r** et de la capacité **d**. Leur présence régularise ce courant par impulsions, et d'autant mieux que la fréquence de l'alternateur

est assez grande. Pendant la demi-période où le courant passe, le condensateur **d** se charge, et pendant la demi-période inerte il se décharge très lentement dans la résistance **r**. Le courant dans cette résistance reste en définitive à peu près constant, sauf de très petites ondulations. Puisque, pour le moment, les tensions entre **M et P** et **P et B** sont égales, ce courant de plaque constant est exactement le même dans les deux lampes. Donc les deux points **p** et **q** sont, **par rapport au point O, exactement au même potentiel**. Supposons à présent que la vitesse de la machine augmente. La tension entre **M et P** va devenir plus grande qu'entre **P et B**. Donc la lampe **V₁** va bénéficier d'un courant de plaque moyen plus grand. Ce sera le contraire pour **V₂**. Donc la différence de potentiel entre **p** et **O** va augmenter, celle entre **q** et **O** va diminuer. Si au contraire la vitesse de la machine ralentissait, ce serait l'inverse.

Supposons maintenant que nous réunissions le point **p** à la grille, et le point **q** au filament d'un tube **V₃**, ou de plusieurs tubes mis en parallèle. Les variations des potentiels respectifs de **p** et de **q** vont rendre la grille de **V₃** soit positive soit négative par rapport au filament. Dans le cas particulier de la vitesse normale, la grille et le filament se trouveraient au même potentiel. De toute manière, le courant plaque de **V₃** va diminuer si la vitesse de la machine augmente et vice versa. Le calcul montre qu'on a intérêt pour obtenir une grande sensibilité à réaliser la résonance dans le circuit **AMPB** au moyen d'une grosse autoinductance et d'une petite capacité. La résistance **R** ne sera pas non plus trop grande. Dans ces conditions, avec des circuits convenablement établis, on pourra arriver à ce qu'une variation de 0,25 à 0,5 % dans la vitesse de la machine produise déjà, dans le circuit plaque de **V₃**, une variation de courant de 20 à 30 millampères.

Il ne reste plus qu'à utiliser cette variation de courant de plaque pour la régulation. On peut évidemment d'abord lui faire commander un relais à contact en le faisant passer dans un électro-aimant approprié. Ce relais peut par exemple couper directement le courant allant à l'induit du moteur ou au moins introduire une résistance supplémentaire dans le circuit. Pour obtenir ce résultat, on utilisera avantageusement un interrupteur basculant au mercure comme ceux qui sont employés dans les minuteries d'escalier. On évite ainsi les contacts qui s'oxydent et qui collent. Un tel montage étant réalisé, l'interrupteur sera continuellement en mouvement, ralenti ou accélérant le moteur. Ce dernier restera toujours aux environs d'une vitesse moyenne et il s'en rapprochera d'autant plus que le circuit à résonance et le système du relai seront plus sensibles, donc mieux étudiés.

Toutefois, il est bien préférable de réaliser complètement la régulation sans l'intervention d'aucun organe mécanique qui a toujours une certaine inertie et par suite un fonctionnement incertain. On prend alors diverses solutions suivant le type de moteur employé. Supposons que la machine soit entraînée par un moteur à courant continu. Ce sera bien entendu un moteur à excitation shunt. Ajoutons alors dans le moteur un enroulement excitateur différentiel, à fil fin, où nous ferons passer le courant plaque de la lampe V_3 de la figure 61. La régulation s'effectuera comme suit : Admettons que, par suite d'une résistance mécanique anormale, la machine ait tendance à ralentir. Dans le circuit à résonance de la figure 61, la tension augmente aux bornes du condensateur, et diminue aux bornes de l'autoinductance. Le potentiel du point **q** augmente et celui du point **p** diminue. Dans le tube V_3 , la grille devenant très positive, le courant plaque continu va augmenter, et par suite, le champ excitateur du moteur diminuera. Le moteur aura donc tendance à tourner plus vite et rattrapera la vitesse perdue. Un raisonnement identique s'applique au cas où la machine aurait tendance à s'emballer.

Dans le cas où on utilise un moteur à courant alternatif on peut aussi réaliser un système très simple. C'est d'ailleurs celui qui est en service sur la plupart des machines de la Western Electric C° actuellement installées. Ces machines possèdent une boîte de régulation, très différente comme montage de celle de la figure 61, mais reposant néanmoins sur le même principe, avec un circuit à résonance. La théorie de cette boîte de régulation serait d'ailleurs trop compliquée à exposer complètement dans le présent ouvrage. Voici cependant, brièvement résumé, le système mis en œuvre. Le moteur employé est du type dit « à répulsion ». Son inducteur reçoit le courant alternatif et son rotor pourvu d'un collecteur envoie, par l'intermédiaire des balais, le courant induit dans une bobine à noyau de fer. Bien entendu, si on peut faire varier la réactance de cette bobine, on fait varier aussi le couple moteur. La bobine porte donc un enroulement auxiliaire qui reçoit un courant continu de la boîte de régulation. Supposons que la vitesse de la machine augmente. La boîte de régulation envoie à la bobine un courant plus faible. Le fer de la bobine est alors moins saturé, donc plus perméable. L'auto-induction de l'enroulement qui est en relation avec l'induit du moteur augmente donc. Le couple moteur diminue et la machine à tendance à ralentir.

En réalité d'ailleurs, des schémas simples comme celui de la fig. 61 seraient insuffisants. On doit, en particulier, ajouter des circuits amortisseurs à résistance pour éviter le « pompage », c'est-à-

dire l'oscillation autour de la vitesse moyenne, oscillation qui, avec des circuits mal étudiés, pourraient aller en s'accentuant de plus en plus.

En résumé, des trois systèmes que nous venons d'étudier, le moteur synchrone, ou asynchrone-synchronisé, représente la solution simple et pratique. On doit l'employer, en général, sauf si on doit brancher une installation sonore sur un secteur exceptionnellement mauvais, où la fréquence varie d'une manière vraiment inadmissible.

REPRODUCTION PAR DISQUES

La machine de la figure 59, avec son projecteur, permet donc la reproduction des films où le son est enregistré photographiquement sur une bande sonore. Avant d'étudier plus loin les systèmes d'amplification et de commande générale de l'installation examinons un peu comment a lieu la reproduction par disque.

Nous avons vu, lors de l'étude de l'enregistrement, que les disques étaient enregistrés en tournant exactement à $33 \frac{1}{3}$ tours à la minute pendant que le film qui porte l'image avançait à la cadence de 24 images à la seconde. Il nous faut donc, pour la reproduction, nous replacer exactement dans les mêmes conditions. Nous allons donc ajouter sur notre machine un plateau horizontal de 40 cm. environ de diamètre et assez lourd. Nous allons entraîner avec le même moteur qui actionne déjà tout le mécanisme de la figure 59. Cet entraînement aura lieu, bien entendu, avec accouplement sans glissement (chaîne ou engrenage) et toujours en interposant des filtres mécaniques pour amortir toutes les vibrations ou oscillations qui tendraient à se produire. Dans ces conditions, et moyennant un calcul convenable des pignons d'entraînement, on arrivera à ce que le mouvement du disque et le défilement du film se correspondent parfaitement, comme ils se correspondaient lors de l'enregistrement.

Nous avons dit qu'un grand disque utilisé pour le film sonore pouvait jouer au maximum 12 à 13 minutes. Pendant ce temps, il passe dans le projecteur environ 330 m. de film. Les bobines de film à charger dans le tambour supérieur du projecteur auront donc au maximum cette longueur. Pour jouer un film avec disque, voici comment nous procédons (fig. 59) : Nous éteignons la lampe excitatrice qui ne sert ici à rien. Nous chargeons le film et nous lui faisons suivre les mêmes boucles que pour le système « film ». Nous tournons alors doucement la machine à la main jusqu'à ce qu'une image particulière marquée « départ » vienne se présenter devant la fenêtre F du projecteur. Nous prenons alors le disque qui correspond à cette bobine de film. Nous le plaçons sur son plateau et nous disposons l'aiguille du pick-up à un endroit bien déterminé du sillon

marqué par une flèche, et qui porte aussi la mention « départ ». Il n'y a plus qu'à mettre la machine en marche. A tout instant, le disque et le film s'accompagnent exactement, comme ils s'accompagnaient à l'enregistrement. On peut donc obtenir ainsi un synchronisme aussi parfait qu'avec le procédé « film ».

Lorsque la machine est entraînée par un moteur synchrone, on peut disposer le reproducteur d'une autre manière. Au lieu de monter le plateau du disque sur la machine elle-même on l'installe dans un endroit quelconque de la cabine de projection et on l'entraîne par un mécanisme séparé mais actionné aussi par un moteur synchrone. Le moteur du projecteur et le moteur du plateau à disque sont, bien entendu, accrochés tous deux sur le réseau alternatif de distribution. Ils marchent donc en concordance absolue et on obtient ainsi le synchronisme comme avec un accouplement mécanique direct. Ce système a un sérieux avantage : il réduit les dimensions de la machine sonore. De plus, le disque et son pick-up représentent un ensemble fragile qu'il ne faut pas bousculer ni même frôler pendant la marche. Si le plateau est monté sur la machine et même s'il est protégé il arrive parfois que les opérateurs dans leurs mouvements causent un accident à un disque. Au contraire un mécanisme séparé peut être placé dans un coin de la cabine moins exposé. Par contre,

il y a ici un inconvénient. Il est assez facile de faire le démarrage correctement en maintenant bien le synchronisme entre le film et le disque. Ce synchronisme ne se maintient de lui-même que lorsque les deux moteurs sont accrochés sur le réseau et tournent à leur régime normal. Pour résoudre cette difficulté un certain nombre de dispositifs ingénieux ont été étudiés et arrivent, en général, à un bon résultat.

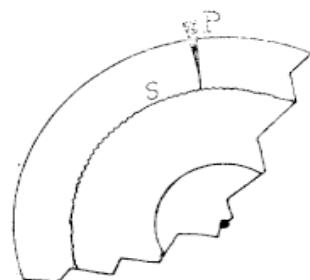


Fig. 62. — Principe général de la reproduction par disque à aiguille.

se présentait sous la forme d'une ligne sinuuse. Dans le système encore en usage actuellement du sillon de profondeur constante et de sinuosité en surface, cette ligne oscille autour d'une spirale enroulée autour du centre du disque. Dans le système des anciens disques à saphyr dont le principe semble actuellement revenir dans la pratique, la ligne tracée sur le disque apparaît sous la forme d'une spirale parfaitement régulière. C'est sa profondeur qui est variable. Dans l'un et l'autre cas, le son est toujours représenté par une ligne qui

serpente autour d'une position moyenne. La direction de son mouvement n'est donc en somme qu'un détail pratique de sa fabrication. Le principe général des deux procédés demeure le même.

Etudions la manière dont nous pourrons reproduire le son avec un disque à sillon de profondeur constante et de sinuosité en surface. Examinons un peu un tel disque (fig. 62). Le sillon **S** présente des oscillations qui sont l'image du son enregistré. Appuyons dans le creux de ce sillon, avec la pointe **P** d'une aiguille. Elle va suivre la ligne pendant la rotation du disque et va donc exécuter des mouvements de va-et-vient exactement identiques à ceux qu'avait exécutés la pointe enregistreuse dans le studio sur le disque original en cire. En remontant encore plus loin, c'est-à-dire en passant par les amplificateurs d'enregistrement et enfin par le microphone, on arrive au résultat suivant : Les déplacements de notre pointe **P** de la figure 62 sont proportionnels aux déformations qu'avait subies la plaque

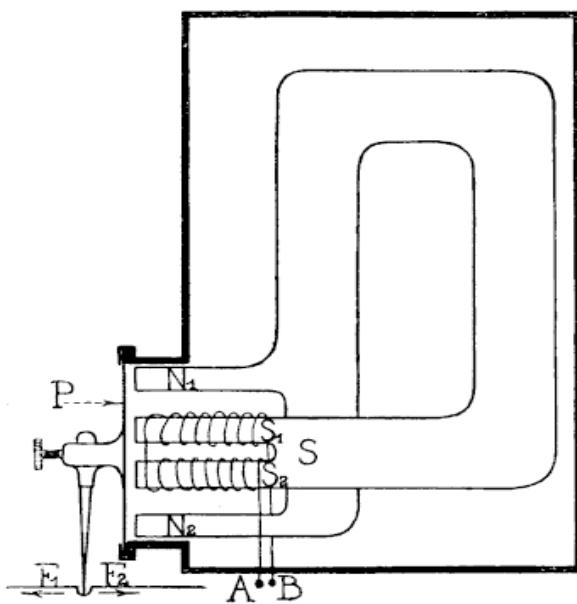


Fig. 63. — Schéma d'un réproducteur électromagnétique pour disques.

vibrante du microphone, lors de l'enregistrement. Si nous avons à enregistrer un son simple sinusoïdal (diapason), le sillon **S** se présente sous forme d'une sinusoïde enroulée en spirale. Notre pointe **P** va donc suivre un mouvement sinusoïdal. Si nous fixons notre aiguille sur une membrane mince flexible dépourvue de fréquence propre, cette membrane reproduit le son enregistré : elle ébranle l'air

qui l'entoure et le son peut finalement parvenir à l'oreille des auditeurs placés à proximité.

Ce procédé simple de reproduction est effectivement employé dans les gramophones de salon. Pour le film sonore il est insuffisant. D'abord la puissance obtenue est beaucoup trop faible. Ensuite, le son doit être produit dans la salle de spectacle, et non dans la cabine de projection. Nous allons donc passer par une voie électrique. Lorsque nous avons étudié les enregistreurs à disques (fig. 19) nous avons déjà rappelé la loi générale de réversibilité des machines électriques, la plupart des machines pouvant fonctionner différemment en moteur ou en génératrice. Notre enregistreur fonctionnait en moteur car il recevait de la puissance électrique des amplificateurs et la transformait en puissance mécanique. Cette dernière était d'ailleurs dépensée avec le travail de gravure de la cire, et aussi avec les résistances passives dans les caoutchoucs amortisseurs par exemple.

Nous allons pour la reproduction construire un appareil exactement identique. Il recevra cette fois le mouvement mécanique de notre aiguille **P** et le traduira en puissance électrique. La figure 63 représente le schéma de principe d'un pick-up actuellement utilisé sur l'un des meilleurs appareillages existants. Un aimant permanent ayant la forme indiquée se termine par des épanouissements polaires, chacun étant divisé en deux parties (**N₁**, **N₂**, **S₁**, **S₂**). Une pastille de fer doux **P** circulaire est maintenue par un collier à vis et se présente devant les pôles, ne laissant libre qu'un faible entrefer. Elle est d'ailleurs doublée intérieurement d'une pastille de métal non magnétique de manière à éviter tout collage permanent sur les pôles. Sur les épanouissements intérieurs se trouvent deux petites bobines. La pastille de fer est très mince et facilement déformable. Elle porte extérieurement une petite pièce pourvue d'une vis qui sert à fixer l'aiguille. Imaginons qu'un tel appareil est posé sur le sillon d'un disque. A un certain moment, la pointe de l'aiguille est poussée vers la gauche (Flèche **F₁**). En examinant la manière dont se déforme la pastille de fer, on voit que l'entrefer va diminuer dans le circuit magnétique **N₁**, **S₁** et au contraire augmenter dans le circuit **N₂**, **S₂**. Deux forces électromotrices sont donc induites dans les deux bobines et moyennant un sens convenable des connexions elles s'ajoutent. Si l'aiguille est déviée vers la droite, (Flèche **F₂**), les variations d'entrefers sont inverses des précédentes, et on obtient aux bornes **A**, **B** une force électromotrice de signe contraire. Cet appareil est donc en définitive un véritable alternateur. L'amortissement est obtenu en remplissant le boîtier d'une sorte d'huile épaisse.

Dans d'autres appareils reproducteurs, la construction est exac-

tement identique à celle des enregistreurs. L'amortissement est encore obtenu à l'aide de pièces de caoutchouc. Ce procédé a l'inconvénient du durcissement progressif du caoutchouc ; pour obtenir un bon fonctionnement, il faut le changer de temps en temps. Les pick-ups étant généralement assez lourds il est avantageux de les fixer sur un bras muni d'un contrepoids ; on évite ainsi une pression exagérée de l'aiguille sur le fond du sillon.

Une remarque importante est encore à faire concernant la disposition même du pick-up. Un certain nombre de constructeurs disposent simplement les reproducteurs comme l'indique la figure 64 (a). Le bras est mobile autour du pivot **O** et le contre-poids est **B**. La longueur du bras est telle que l'aiguille décrit un arc de cercle **C** passant par le centre du disque. Un tel montage n'est pas bon pour la raison suivante : Si l'on se reporte à l'étude de l'enregistrement,

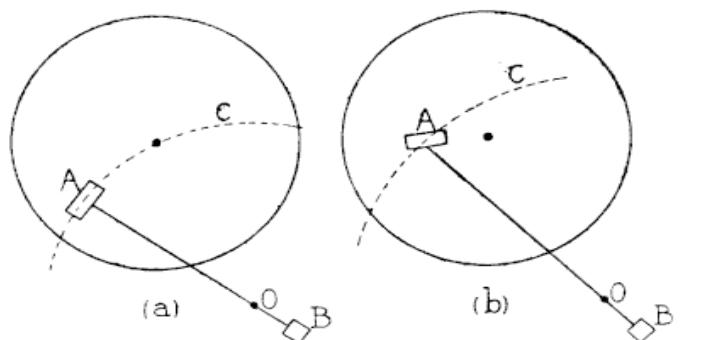


Fig. 64. — Disposition d'un reproducteur sur son disque :
 (a) Disposition incorrecte.
 (b) Disposition correcte.

on voit que la pointe enregistreuse a un mouvement qui, à chaque instant, est rigoureusement perpendiculaire à la ligne moyenne du sillon. Il devrait donc en être de même pour l'aiguille du pick-up à la reproduction. Si on examine la figure 64 (a) on se rend compte que cette condition ne pourra jamais être remplie sauf pour les sillons de rayon moyen. Pour les sillons proches du centre et pour les sillons proches de la périphérie du disque le pick-up se présentera obliquement sur eux. Une étude mathématique de la question prouve qu'il en résulte des déformations du son. La disposition idéale serait évidemment telle que le pick-up puisse se présenter toujours rigoureusement dans la même position que l'enregistreur. Il devrait donc au fur et à mesure que le disque tourne avancer suivant un rayon du disque, les mouvements de l'aiguille se faisant toujours

perpendiculairement à la ligne moyenne du sillon. Effectivement certains constructeurs ont étudiés des dispositifs à parallélogrammes mais il s'ensuit une complication de montage.

La meilleure solution est donnée par la figure 64 (b). On allonge le bras du pick-up de façon que l'arc décrit par l'aiguille vient derrière le centre du disque. De plus on dévie le pick-up d'un certain angle. Le calcul donne facilement les valeurs optima de la longueur du bras et de cet angle de déviation. On peut montrer que, dans de telles conditions, l'obliquité maximum du pick-up sur le sillon est notablement diminuée. On peut facilement la réduire jusqu'à quelques degrés. C'est absolument négligeable pratiquement. En plus d'un son plus pur, on obtient ainsi une vie plus longue des disques.

TRANSMISSION ET AMPLIFICATION DE LA PUISSANCE EN COURANT SONORE

Nous avons donc maintenant une machine sonore complètement équipée. Supposons qu'elle comporte les deux systèmes de reproduction, par film et par disque. Chacun des deux systèmes peut nous fournir un courant sonore. Toutefois ces deux sources ont des puissances très différentes comme ordre de grandeur. A la sortie du pick-up, on recueille une puissance électrique déjà notable. On peut en effet brancher directement sur un pick-up un casque téléphonique d'impédance convenable. On peut ainsi écouter très convenablement un disque sans aucune amplification.

La cellule photoélectrique au contraire ne donne qu'une puissance d'une faiblesse extrême. Il ne faut pas oublier qu'une cellule photoélectrique donne seulement un courant de quelques microampères. Sa résistance intérieure est de l'ordre du mégohm, c'est-à-dire déjà grande par rapport aux résistances d'isolement elles-mêmes. Il y a donc bénéfice à éléver tout de suite le niveau de la puissance fournie par la cellule, et de le faire sur la machine même, ou au moins à proximité immédiate. On pourra ainsi à la fois augmenter et transformer la puissance sonore du système « film » de manière à la rendre à peu près identique à celle qui est fournie par le système « disque ». Sur toutes les machines sonores actuellement existantes et utilisant la cellule photoélectrique à vide ou à gaz il y a donc un petit amplificateur qui a reçu le nom spécial de « préamplificateur ». Il est en général monté, sur la machine elle-même, sur ressorts ou caoutchouc. La machine est en effet toujours un peu secouée par les engrenages du mécanisme. Il faut donc éviter que les vibrations se transmettent exagérément aux tubes thermoioniques ; il en résulterait un son musical continu dans les hauts-parleurs. Le fil descendant de la cellule photoélectrique est de préférence tendu en l'air

sans aucun contact, même avec des isolants. Il est également aussi court que possible.

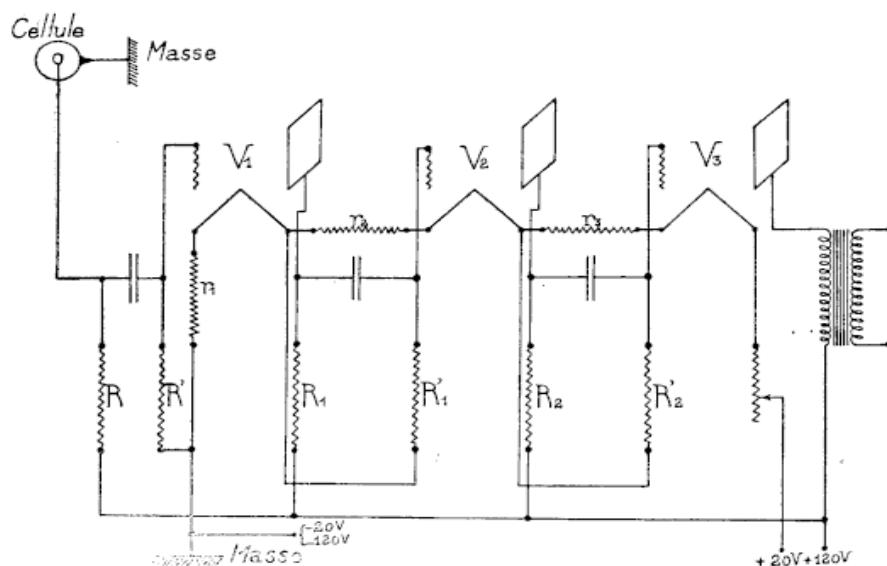


Fig. 65. — Schéma de montage d'un « préamplificateur », branché derrière la cellule photoélectrique, avec couplages à résistances et sortie à transformateur.

Le préamplificateur peut aussi être posé à terre devant la machine ou encore fixé sur le mur antérieur de la cabine. On peut alors amener le courant de la cellule au moyen d'un fil noyé dans un tube bien isolant. Moyennant un choix judicieux des matériaux, on peut évidemment réduire les fuites par défaut d'isolation ; mais on risque des fuites par capacité. La cellule doit être tenue très propre ; la moindre buée qui se dépose sur le verre ou sur le culot suffit à donner passage à un courant de fuite et donne des crachements dans la reproduction. Il en est de même de la suie fine qui vient toujours de la lampe à arc du projecteur.

Le préamplificateur est donc en somme délicat ; aussi les lampes à trois électrodes y sont-elles généralement alimentées en courant continu tant pour le chauffage que pour la tension plaque. Pour le chauffage on se sert généralement de la source générale de courant continu de l'installation (dynamo ou batterie) qui est d'ailleurs nécessaire pour d'autres usages, par exemple, pour chauffer la lampe excitatrice **d** de la figure 59. La tension plaque est presque toujours fournie par des piles. Il existe cependant dans les appareillages bon

marché pour les petites salles des préamplificateurs intégralement alimentés sur le réseau alternatif. Pour le chauffage en courant continu, comme la source a généralement une tension de 10 à 20 volts on en profite pour mettre les filaments des lampes en série.

La figure 65 donne un exemple d'un préamplificateur à trois lampes, avec trois étages à résistance et une sortie à transformateur. L'attaque de la première lampe se fait presque obligatoirement par résistances. C'est la question d'accord des impédances qui dicte cette règle. La résistance intérieure de la cellule est en effet de l'ordre du mégohm. Pour transmettre les variations de son courant anodique avec le maximum d'efficacité, il faut donc la mettre en série avec une résistance au moins égale. C'est ce que réalise facilement l'élément **R**. On reconnaît que r_1 , r_2 , r_3 servent à la polarisation négative des grilles. Les éléments \mathbf{R}' , \mathbf{R}'_1 , \mathbf{R}'_2 servent seulement à transmettre la polarisation permanente aux grilles. Ils ont donc des valeurs très élevées, de l'ordre de 10 à 20 fois celle des éléments **R**, \mathbf{R}_1 , \mathbf{R}_2 . Pour la sortie au contraire il faut ramener l'impédance à une valeur beaucoup plus faible. On emploiera donc de préférence un transformateur. On peut ainsi obtenir une impédance de sortie du même ordre que celle du pick-up. De plus, la puissance sonore se présente ainsi avec une tension plus faible et une intensité plus grande, ce qui facilite ensuite le réglage du son.

D'une manière générale, le préamplificateur fournit toujours une puissance bien supérieure à celle qui serait nécessaire. On en absorbe ensuite une partie dans des résistances. On a ainsi une plus grande latitude dans le réglage, et il est toujours facile de ramener le niveau de la puissance sonore du système « film » à celui du système « disque ».

Résistances de réglage — Lignes artificielles. — L'étude des lignes artificielles et des filtres forme une partie importante de la technique téléphonique dont voici le principe : Considérons un assemblage de résistances (fig. 66 a) $r/2$, $r/2$, **R**. Fermons cet assemblage sur un récepteur de résistance intérieure **Z**. On peut choisir les valeurs de $r/2$ et de **R** de telle manière que la résistance de l'ensemble, aux bornes **A** et **B**, soit précisément égale à **Z** elle-même. Il est alors évident que l'on peut ajouter derrière les bornes **AB** un nouvel assemblage $r/2$, $r/2$, **R** et la résistance de tout l'ensemble sera encore une fois égale à **Z**. Si on en ajoute ainsi de plus en plus, la résistance globale restera invariable mais la puissance parvenant au récepteur **Z** sera de plus en plus faible. Chacun des assemblages $r/2$, $r/2$, **R** est appelé à cause de sa forme « cellule en T ». On peut également disposer des cellules en π (fig. 66 b).

Nous avons insisté sur l'utilité de conserver les équilibres d'im-

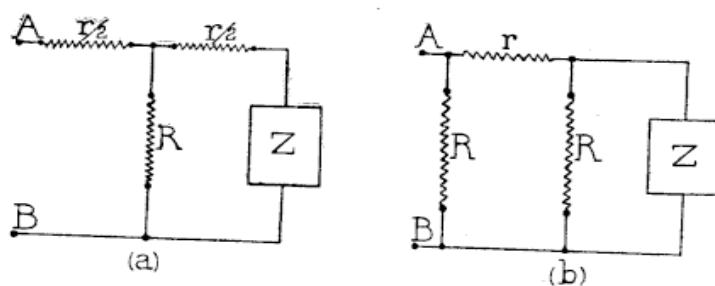


Fig. 66

- (a) Montage d'une cellule de filtre en T.
 (b) Montage d'une cellule de filtre en π .

pédances dans les amplificateurs. Les lignes artificielles ci-dessus répondent parfaitement à la question puisqu'elles permettent un affaiblissement progressif tout en conservant les valeurs convenables des impédances. Ce sont en général des montages de ce genre qui sont employés sur les machines sonores pour régler le son avec certaines modifications suivant les cas. Pour le système « film » on utilise en général uniquement des résistances pures. Pour le système « disque » on interpose souvent un filtre formé d'assemblages d'autooinductances, de résistances et de condensateurs. Il a pour rôle d'absorber, dans la mesure du possible, le bruit de grattement de l'aiguille. Il faut toutefois se garder d'aller trop loin dans cette voie sous peine de supprimer des fréquences utiles et de déformer le son.

Le courant sonore, convenablement affaibli et filtré sur chaque machine, arrive généralement à un organe principal de réglage constitué par une ligne artificielle à résistances avec plots sur lesquels frotte un balai. Il présente lui aussi une impédance invariable quelle que soit la position du balai et il joue un double rôle. Il permet d'abord, quand une machine marche, de faire rendre aux hauts-parleurs un son plus ou moins fort pouvant varier depuis le silence complet jusqu'à un maximum. Ensuite, une cabine étant généralement pourvue de deux machines, il permet de passer de l'une à l'autre. Il comporte donc deux circuits indépendants et se présente en somme sous la forme de deux potentiomètres mis bout à bout. De cette manière, quand une bobine de film arrive à sa fin sur une machine, on met l'autre en marche en supprimant progressivement le son de la machine qu'on veut arrêter et en augmentant progressivement celui de la machine qui vient de démarrer. On peut ainsi jouer sans interruption.

Cet organe spécial de réglage forme un ensemble généralement

enfermé dans une boîte fixée sur la paroi de devant de la cabine. On le désigne souvent par le terme américain de « Fader ».

A la sortie de cet appareil, on dispose finalement d'une tension de fréquence sonore réglée à la valeur désirée qui est envoyée aux amplificateurs principaux et la puissance sonore finalement obtenue alimente les hauts-parleurs. L'étude détaillée des amplificateurs ne présente aucun intérêt particulier parce que les montages varient extrêmement d'un constructeur à l'autre. Nous avons déjà expliqué les principes généraux qui sont à la base de leur fabrication. Il est donc inutile de faire une énumération fastidieuse des montages ac-

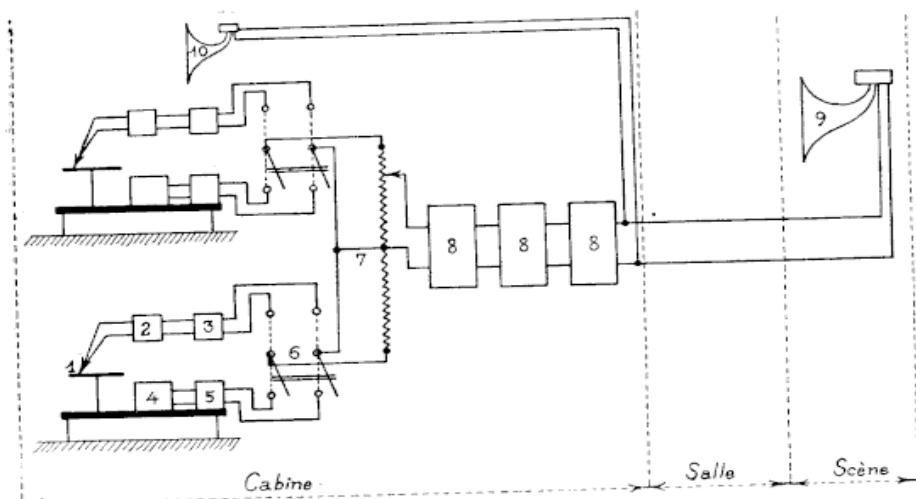


Fig. 67. — Détails d'une installation de cinéma sonore comprenant la reproduction par « disque » et par « film » :

- (1) Plateau du disque et pick-up ;
- (2) Eiltre du pick-up ;
- (3) Eiltre affaiblisseur du courant sonore « disque » ;
- (4) Préamplificateur de cellule ;
- (5) Eiltre affaiblisseur du courant sonore « film » ;
- (6) Inverseur ;
- (7) Potentiomètre à deux voies (Fader) ;
- (8) Jeu d'amplificateurs ;
- (9) Haut-parleur de scène ;
- (10) Petit haut-parleur témoin de la cabine).

tuellement employés. Il suffit d'ajouter quelques règles essentielles : On a en général intérêt à enfermer tous les conducteurs de l'installation dans des tubes d'acier pour éviter ainsi les champs parasites et bien protéger les films. Toutes les masses métalliques (tubes, bâties, boîtes d'amplificateurs, noyaux de fer des transformateurs, etc...) sont

doivent être soigneusement mises à la terre par des conducteurs de grosse section. La plupart des crachements ou bruits parasites proviennent de mises à la terre défectueuses, surtout avec le système « film ».

Dans la construction des amplificateurs, on s'appliquera de préférence à utiliser au maximum le courant alternatif, surtout pour les tensions de plaque. Nous avons en effet déjà signalé que la production de hautes tensions continues était toujours un gros souci d'entretien ; les piles sèches sont coûteuses et les accumulateurs donnent beaucoup de travail aux opérateurs pour la charge, la vérification de l'acide ou de la solution potassique, etc...

La figure 67 résume schématiquement tout ce qui a été dit au cours de ce chapitre sur le montage général d'une cabine sonore pourvue de deux machines. On peut y suivre comment, sur chaque machine, le son émanant d'un pick-up ou d'une cellule passe par les différents chemins que nous avons décrits en détail. La figure 68 montre un exemple d'amplification de puissance avec sortie en montage à contretemps et alimentation intégrale sur courant alternatif. Ajoutons enfin, relativement aux puissances obtenues, que dans les grandes salles actuellement équipées le niveau de sortie des amplificateurs est d'environ 33 à 36 décibels (12 à 24 watts). On voit donc que le cinéma sonore exige déjà des puissances assez considérables. Le courant envoyé aux hauts-parleurs suffirait en effet à allumer une lampe d'éclairage ordinaire. On doit même augmenter encore cette puissance si on utilise des hauts-parleurs à membrane conique. Comme nous le verrons, ce sont eux en effet qui ont le plus mauvais rendement en énergie.

CHAPITRE VIII

COMPARAISON ENTRE LE SYSTÈME « FILM » ET LE SYSTÈME « DISQUE »

De tout ce qui précède, il résulte que le son peut être reproduit indifféremment par voie électromécanique avec un pick-up et un disque ou par voie photoélectrique avec un rayon traversant la bande sonore du film. Il est maintenant légitime de nous demander quel est des deux systèmes celui qui présente les plus grands avantages.

En fait, actuellement, la plupart des grands films est enregistrée avec le système photoélectrique bien que le disque n'ait jamais été complètement abandonné. Un certain nombre de grandes sociétés éditrices s'étaient d'abord spécialisées dans l'un ou l'autre procédé mais actuellement elles ont acquis en général les licences de brevets nécessaires pour qu'elles puissent utiliser les deux méthodes. Il ne serait même pas impossible que, dans un avenir prochain, le disque regagne un peu du terrain perdu. De toute manière la coexistence des deux systèmes laisse prévoir que chacun d'eux possède ses avantages particuliers.

Au point de vue technique, ils permettent, comme nous l'avons dit, la reproduction de fréquences allant jusqu'à 6.000 environ. La principale différence entre les deux reproductions réside surtout dans le « bruit de fond ». Avec la méthode « film » on entend toujours un léger souffle provenant de l'émission électronique de la cellule photoélectrique. On l'entend surtout si aucun film ne se trouve sur la machine sonore. Lorsque la bande sonore défile devant le rayon lumineux, la modulation qui en résulte étouffe presque complètement ce souffle. Le bruit de fond peut encore provenir de rayures, grattages ou autres accidents survenus à la copie. Si le film a toujours été bien manipulé par les opérateurs, cette cause de bruits parasites sera encore très atténuée. Les rayures qui se produisent parfois dans les projecteurs se présentent d'ailleurs généralement sous forme de lignes continues dans le sens de la longueur du film. Si une telle ligne se trouve sur la bande sonore elle n'affecte aucunement le rapport de la partie opaque à la partie transparente. Elle n'apporte donc aucune fréquence supplémentaire. Tout au plus peut-elle occasionner un affaiblissement, insignifiant d'ailleurs, du son reproduit. Ce qui amènera des bruits parasites, ce sont les rayures transversales. Elles peuvent arriver surtout si on laisse traîner le film à terre

ou si on les manipule avec des mains sales. Les collages mal faits produisent le même effet.

Avec la méthode par disque, on entend un bruit de grattage de l'aiguille dans le sillon. On le constate surtout avec des disques déjà usagés. Supposons tous les meilleurs facteurs réunis : Une bonne copie dans le cas du système « film » et un bon disque dans le cas du système « disque ». Supposons encore que les deux soient joués sur un appareillage bien étudié pourvu de filtres et d'affaiblisseurs convenablement établis. Dans de telles conditions il sera extrêmement difficile même à un technicien spécialisé de distinguer à l'audition les deux sons reproduits. On peut donc dire en somme que les deux systèmes sont absolument équivalents. Ce qui les différencie, ce sont des avantages d'ordre pratique que nous allons passer en revue.

Avantages de la bande sonore sur le disque. — Nous avons déjà signalé en étudiant l'enregistrement que la méthode du disque n'était utilisable que dans un studio. Le plateau portant la couche de cire doit être maintenu parfaitement de niveau, et il forme avec son enregistreur électromagnétique un ensemble très délicat, donc non transportable. La méthode photographique au contraire permet de se déplacer facilement. Elle seule est donc susceptible d'être employée dans les scènes tournées en plein air et pour prendre les vues d'actualités. Les projecteurs actuels ont généralement des tambours qui peuvent recevoir des bobines portant 900 mètres de film. A la vitesse de 1.640 m. à l'heure, une machine sonore peut ainsi jouer avec le système film pendant 33 minutes sans arrêt. Au contraire nous avons vu que les plus grands disques ne peuvent guère jouer plus de 12 à 13 minutes et les bobines correspondantes ne peuvent dépasser 300 mètres. La méthode du disque astreint donc les opérateurs à des passages beaucoup plus fréquents d'une machine à l'autre et leur travail se trouve compliqué d'autant. Il est d'ailleurs déjà compliqué du seul fait d'avoir à placer chaque fois sur la machine un film et un disque et qu'il faut de plus bien prendre garde de mettre ensemble leurs deux signes de départ. Avec la méthode de la bande sonore, au contraire, la mise en place du film est aussi simple qu'avec un film muet.

Il peut encore arriver que l'opérateur affairé se trompe de disque et le mette sur la machine avec une bobine de film qui ne lui correspond pas. Il en résulte un effet ridicule produisant une très mauvaise impression sur le public. Un pareil accident ne survient jamais avec le système « film » puisque le son et l'image sont accolés sur la même bande. On peut encore ajouter la fragilité des disques exigeant un emballage spécial méticuleux. Enfin d'une manière géné-

rale il faut un grand soin pour éviter des défauts de synchronisme avec les disques. Si l'un d'eux par exemple a été égratigné, l'aiguille en arrivant sur la partie endommagée pourra sauter d'un sillon au suivant. Si d'ailleurs un tel accident se produit il est absolument impossible de remettre au jugé l'aiguille dans sa position correcte. Il faut recommencer à jouer toute la bobine ou finir de la jouer en muet. De même, si une partie du film se trouve détruite par déchirure, incendie ou autrement, on ne peut se contenter d'enlever la partie abimée et de recoller ensemble les deux bouts restants. A partir de cet endroit en effet l'image se trouverait en avance sur le son et le synchronisme n'existerait plus. Il faut donc coller une longueur de film noir exactement égale à celle de la partie enlevée. Avec le système à bande sonore, au contraire, aucune de ces difficultés n'existe. Le son et les images s'accompagnent toujours et aucun décalage n'est possible entre eux.

Avantages du disque sur la bande sonore. — En premier lieu, l'image avec le procédé « disque » conserve toute sa largeur comme un film muet. Le procédé de la bande sonore nécessite en effet le sacrifice de 1/8^e environ de la largeur de l'image qui se trouve ainsi presque carrée au lieu d'être franchement rectangulaire. La reproduction avec le pick-up est moins délicate et par suite moins sujette aux dérangements que la reproduction par cellule photoélectrique. Nous avons dit en effet que le pick-up fournit une puissance déjà notable de sorte que son courant est beaucoup moins sensible aux défauts d'isolement, poussières, humidité, etc... Au contraire, dans la cellule photoélectrique et le premier étage du préamplificateur, la puissance des courants est d'une extrême faiblesse. Un manque de propreté ou de soin de la part des opérateurs est alors très préjudiciable à la qualité du son. Il en est de même d'ailleurs pour tout le système optique : lampe excitatrice, lentille, fenêtre, etc... qui demandent à être très surveillés, alors qu'un pick-up ne nécessite aucun entretien spécial.

Enfin le gros avantage du disque est de permettre indéfiniment un « renouvellement » du son. Les disques actuellement en usage peuvent être joués environ 40 fois sans perdre leur qualité mais au bout de ce temps on n'a qu'à les rejeter et les remplacer par des disques neufs. On peut ainsi faire passer très longtemps une vieille copie tout en ayant un son impeccable. Il ne faut pas en effet oublier ce principe déjà longuement discuté que l'oreille est plus exigeante que l'œil qui peut se contenter d'une vieille copie dont les rayures font apparaître de la « pluie » sur l'écran. Les spectateurs, pour la plupart, n'y font pas attention alors que le moindre bruit parasite émis par les hauts-parleurs les gêne tous. Dans le procédé « film »

où l'image et la bande sonore sont toujours ensemble, les dommages détériorent indifféremment l'une et l'autre. Le disque, grâce à son indépendance, présente donc un avantage sérieux.

Modifications et Améliorations possibles. — On peut se demander dans quel sens il faut rechercher les perfectionnements aux systèmes existants. A la vérité, plusieurs ont déjà été proposés qui contiennent en général des idées intéressantes mais se trouvent arrêtés par des motifs d'ordre financier. Pour les disques, le retour à l'ancien sillon en profondeur semble être actuellement la seule nouveauté envisagée. Pour le système photoélectrique on a proposé soit d'élargir la bande sonore sur le film lui-même, soit de l'impressionner sur un film séparé. En effet, l'élargissement de la bande sonore présenterait l'avantage de donner un son plus pur avec moins de « bruit de fond ». Il est bien évident en effet que les taches, rayures, ainsi que la granulation du bromure d'argent auront relativement moins d'effet sur une bande sonore plus large. De plus, un rayon lumineux plus large permettrait d'impressionner une cellule photoélectrique plus forte puisque le courant dans cette cellule est proportionnel à l'éclairement. Le courant anodique amené au premier étage du préamplificateur serait plus élevé et on réduirait ici encore les effets néfastes des poussières, de l'humidité, et des fuites par défaut d'isolement. Cet agrandissement de la bande sonore a été proposé de trois manières différentes :

1) **Procédé du film large.** — On redonne aux images leurs dimensions normales du film muet mais en augmentant l'écartement entre les deux rangées de perforations afin d'avoir encore un emplacement disponible pour une large bande sonore. Cette idée a été particulièrement étudiée aux Etats-Unis mais il semble que récemment on s'est décidé à abandonner les essais. On se heurtait en effet à des frais supplémentaires prohibitifs. D'abord les copies coûteraient plus cher étant donnée la plus grande largeur des bandes. Ensuite il faudrait transformer tous les projecteurs et machines sonores existant dans le monde entier. Tous les rouleaux, galets d'entraînement, fenêtre de projection, tambours dentés, etc... devraient en effet être remplacés. Au moment de la transition d'un système à l'autre, les anciennes copies perdraient toute leur valeur et il s'ensuivrait des déchets considérables. Or les frais de location actuels sont déjà très onéreux pour les salles de projection. Il semble donc qu'on a bien fait en abandonnant le film en grande largeur momentanément mais il est possible qu'il puisse être introduit dans l'avenir lorsque les prix des installations auront été complètement amortis.

2) **Procédé de la « Compression de l'Image ».** — Dans ce procédé on laisse au film sa largeur habituelle mais au lieu de prendre

seulement 3 mm. pour la bande sonore et 21 mm. pour l'image, on prendrait 10 mm. pour le son et seulement 14 pour l'image. Toutefois à la prise de vues, on adjoindrait à l'objectif de la caméra une lentille cylindrique de manière à déformer volontairement l'image en rétrécissant ses dimensions dans le sens de la largeur, les autres restant sans altération. Une personne ainsi photographiée sur le film apparaîtrait ridiculement amincie, comme lorsqu'on se regarde dans les glaces bombées des palais d'illusions dans les foires. A la projection on ajouterait également une lentille cylindrique à l'objectif, afin de « dilater » l'image en largeur de façon que les proportions entre la hauteur et la largeur reprennent sur l'écran leur valeur normale.

Cette solution est évidemment supérieure à la précédente puisque tous les appareils en usage pourraient être conservés, à l'exception de la partie optique. Le seul inconvénient serait que l'image exagérément élargie à la projection perdrait une partie de sa netteté. Les grains d'argent de l'émulsion finiraient par apparaître trop gros et il en résulterait un effet désagréable pour l'œil des spectateurs, surtout ceux placés aux premiers rangs.

3) Bande sonore sur Film séparé. — Cette méthode, qui entraînerait probablement la disparition complète des disques combinerait tous les principaux avantages du système « Film » et du système « disque » actuels. On laisserait encore au film sa largeur normale mais il ne porterait que l'image telle qu'elle est dans le système « disque ». La bande sonore se trouverait toute seule sur un petit film auxiliaire qui pourrait avoir par exemple 10 à 12 mm. de large. Une telle disposition présenterait les avantages suivants :

1. Possibilité de faire la bande sonore plus large ;
2. Possibilité de faire marcher la bande sonore plus vite que l'image et par conséquent de pouvoir rendre des fréquences plus élevées ;
3. Possibilité de remplacer la bande sonore indépendamment de l'image, donc d'avoir toujours un son de bonne qualité même avec une mauvaise image ;
4. Parcours réduit et marche sans secousse de la bande sonore, réduisant d'autant les rayures et grattages accidentels.

Bien entendu, le film auxiliaire à bande sonore aurait un entraînement complètement séparé de l'image. La tête sonore pourrait ainsi être placée à un endroit quelconque sur la machine, ou même être totalement indépendant d'elle, dans le cas de l'entraînement par moteur synchrone.

Ce nouveau système comporterait tout de même quelques inconvénients. D'abord, les deux films coûteraient plus cher qu'un seul. Ensuite il y aurait de nouveau possibilité d'erreur de la part

des opérateurs en jouant ensemble une bobine « image » et une bobine « son » qui ne se correspondaient pas. Dans le cas de déchirure ou de brûlure sur l'image, il faudra comme actuellement avec le système « disque » remplacer la partie supprimée par une longueur exactement égale de film noir, pour conserver le synchronisme. Enfin le travail de l'opérateur serait un peu plus compliqué puisqu'il faudrait mettre en place deux films au lieu d'un en faisant bien correspondre leur signe de départ.

Enfin, comme nous l'avons dit, ce sont surtout des motifs financiers qui empêchent la mise au point définitive de toutes ces idées intéressantes. Les prix des places ont été augmentés dans presque toutes les salles en raison des frais occasionnés par le passage du cinéma muet au cinéma sonore. Il serait assez difficile actuellement de les augmenter de nouveau pour n'apporter en somme que des améliorations de détail. Or, il ne faut pas oublier que les transformations dont nous venons de parler occasionneraient d'assez grosses dépenses aux exploitants, aux studios et en général à toutes les industries connexes. Il est donc en somme à prévoir que les dispositifs actuels resteront en service encore un certain temps.

APPAREILS NON SYNCHRONES

Dans de nombreuses installations sonores, on ajoute encore aux machines déjà décrites un dispositif permettant de jouer des disques de gramophone du commerce. Ce but peut être atteint par deux méthodes.

On peut installer un appareil complètement séparé des machines sonores synchrones. C'est alors une boîte comprenant généralement deux plateaux tournants et deux pick-ups. Elle est aussi munie de filtres et de lignes artificielles à réglage variable, comme pour les disques synchrones. Le courant des pick-ups est envoyé dans les mêmes amplificateurs. On passe du synchrone au non-synchrone au moyen d'un inverseur.

On peut encore sur les installations comprenant le procédé disque, se servir des mêmes plateaux que pour les grands disques. Il suffit simplement de les faire tourner plus vite. On munit alors le mécanisme de la machine sonore d'un train d'engrenages à deux voies conçu exactement comme une boîte de vitesse d'automobile. On calcule le rapport des pignons pour que la vitesse des plateaux tournants puisse être 33 1/3 tours ou bien 78 tours à la minute. Cette seconde disposition moins encombrante conduit toutefois à un nombre total d'engrenages plus élevé sur chaque machine. Le procédé de la boîte séparée à deux plateaux a de plus l'avantage de rendre disponible un troisième générateur de son complètement séparé.

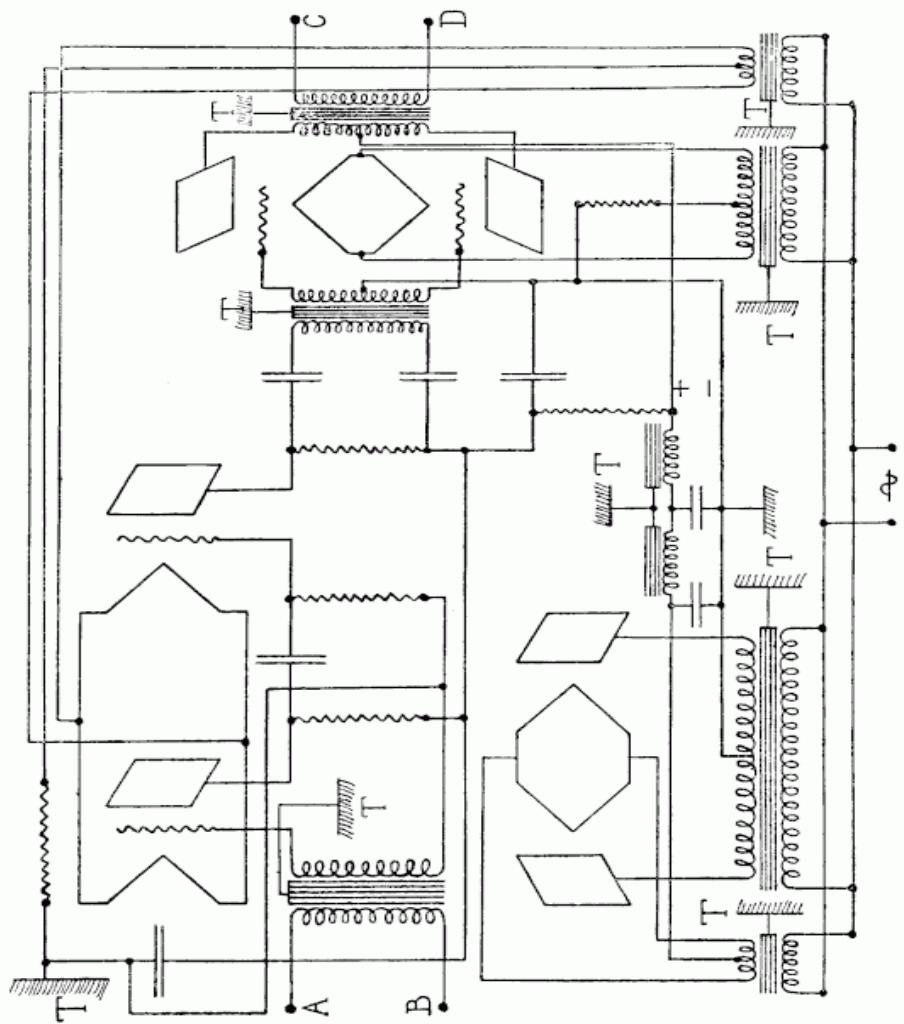


Fig. 68. — Amplificateur combiné à résistances et transformateurs avec sortie à contretemps et alimentation intégrale sur courant alternatif A-B : Bornes d'entrée, C-D : Bornes de sortie, T : Terre et masse.

Les appareils non synchrones servent ainsi à jouer des disques pendant les entr'actes ou pendant qu'on projette des réclames en diapositifs sur l'écran. On fait également des disques spéciaux portant une publicité parlée. Enfin les appareils non synchrones peuvent encore servir à accompagner des petits films muets dont il y a encore quelques exemplaires en circulation. Lorsqu'on a deux plateaux tournants à sa disposition, on peut, en passant de l'un à l'autre, adapter exactement la musique à l'image projetée sur l'écran et réaliser ainsi une synchronisation approximative qui rend la projection du film muet beaucoup plus agréable pour le spectateur.

CHAPITRE IX

HAUT-PARLEURS ET ÉCRANS

Les machines et installations décrites permettent en définitive d'arriver à un courant de fréquence sonore et d'une puissance de quelques watts. On peut d'ailleurs obtenir à volonté cette puissance avec tension élevée et faible intensité ou avec tension faible et intensité élevée. Il n'y a qu'à munir le transformateur de sortie de l'amplificateur de puissance du nombre de tours de fil convenable au secondaire. On devra donc ici encore s'occuper d'adapter soigneusement les circuits entre eux, c'est-à-dire d'équilibrer l'étage de sortie de l'amplificateur avec le haut-parleur où la puissance électrique va être transformée en vibrations mécaniques.

Le problème du haut-parleur est le plus difficile actuellement dans toute l'industrie phonographique. On peut dire sans hésiter que

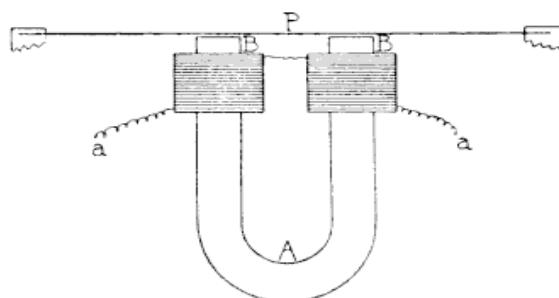


Fig. 69. — Schéma élémentaire d'un écouteur téléphonique ordinaire.

le meilleur des modèles existant jusqu'à présent est encore très mauvais. Nous allons étudier cette question un peu en détail. Rappelons d'abord le principe de l'écouteur téléphonique ordinaire, le premier des récepteurs sonores qui ait été utilisé. Un aimant permanent en fer à cheval **A** (fig. 69) est terminé par deux extrémités en fer doux **BB**, portant deux petites bobines où est enroulée une grande longueur de fil fin. Une plaque circulaire très mince de fer doux **P**, fortement fixée sur sa périphérie par un couvercle à vis, se présente devant les pôles **BB**, ne laissant libre qu'un très petit entrefer. La plaque mince vibrante ainsi montée n'a pas de fréquence propre, ou tout au moins, si elle en a une, celle-ci est au-dessus de la plage normalement utilisée pour la parole. Dans ces conditions, une ten-

sion appliquée aux bornes **aa** des bobines laisse passer un certain courant qui produit une déformation de la membrane. Si cette tension est périodique, la déformation est aussi périodique, l'air avoisinant est ébranlé et finalement l'oreille placée à proximité entend un son. Il est facile de voir que la présence d'un aimant permanent est indispensable pour deux raisons : D'abord, si tout le circuit magnétique était en fer parfaitement doux et dépourvu de magnétisme, les fréquences sonores seraient doublées. Il y aurait en effet toujours attraction de la membrane de fer, quel que soit le sens du courant. Avec l'aimant permanent, la membrane subit déjà une forte attraction permanente qui augmente pour un certain sens du courant, et diminue pour l'autre. L'oscillation mécanique exécute bien ainsi un cycle complet en même temps que le courant circulant dans les bobines.

Ensuite l'aimantation permanente permet d'avoir des variations beaucoup plus grandes de la force attractive, pour une même valeur du courant. On aura donc ainsi intérêt à maintenir un magnétisme permanent aussi fort que possible, et l'acier de l'aimant devra être choisi en conséquence. Les théories de l'élasticité prouvent que la flèche prise par la membrane est toujours proportionnelle à la force attractive. Elle reste toujours d'ailleurs très faible et ses variations ne portent que sur de très petites fractions de millimètre. Un récepteur de son ainsi conçu est encore un des plus fidèles qu'on ait pu réaliser jusqu'à présent. On peut se rendre compte aisément de la grande netteté avec laquelle on entend un correspondant sur une ligne téléphonique bien établie. L'audition au casque en radiotéléphonie, est encore un des moyens d'obtenir le meilleur timbre de la voix et de la musique ; elle n'a que l'inconvénient d'être fatigante.

Toutefois, la puissance sonore ainsi obtenue est beaucoup trop faible pour pouvoir ébranler la masse d'air d'une salle. C'est principalement dans l'industrie radiophonique que la question s'est d'abord posée de construire des récepteurs permettant l'audition dans une salle par plusieurs personnes à la fois et sans l'énervante sujexion de porter un casque téléphonique sur la tête.

On a, pendant des années, fabriqué deux types d'appareils. Ils étaient respectivement désignés dans le commerce sous le nom de « hauts-parleurs » ou de « diffuseurs ». Cette distinction de termes n'a d'ailleurs à proprement parler aucun sens, les deux systèmes visant un même but et ne différant que par des détails de construction. Les deux expressions sont d'ailleurs souvent prises l'une pour l'autre. On désigne plus spécialement sous le nom de « hauts-parleurs » des récepteurs construits exactement sur le modèle d'un écouteur téléphonique. On y retrouvait les mêmes éléments : aimant per-

manent avec bout rapporté en fer doux, plaque vibrante circulaire mince en fer doux et deux bobines pour recevoir le courant sonore. On ajoutait seulement un dispositif de réglage permettant de rapprocher ou d'éloigner les épanouissements polaires de la plaque. Ce perfectionnement permettait de réduire l'entrefer au minimum et d'obtenir le maximum de puissance. Il suffisait de se placer à la limite c'est-à-dire à la valeur de l'entrefer juste suffisante pour prévenir tout collage de la membrane de fer sur le métal aimanté.

Cependant, pour obtenir un son assez fort, il faut augmenter les dimensions de tous les éléments. On ne peut conserver celles de l'écouteur téléphonique. L'augmentation de grosseur de l'aimant et des bobines ne présente pas d'inconvénient spécial, mais on ne peut en dire autant de la plaque vibrante. On doit lui donner un diamètre plus grand, donc une épaisseur plus grande aussi. Les effets d'inertie vont donc commencer à se faire sentir et les forces d'élasticité vont augmenter. Aussi, les fréquences propres vont-elles devenir gênantes. On ne pouvait donc, malgré tout le soin de la construction établir de tels hauts-parleurs au-dessus d'une certaine puissance. Ils ne pouvaient guère être utilisés que pour les réceptions radiophoniques d'appartements. Ils présentaient d'ailleurs encore un inconvénient, car les bobines avaient une grosse autoinduction et par conséquent l'appareil ne pouvait être fidèle pour toutes les fréquences.

Au point de vue de la disposition pratique, les hauts-parleurs étaient généralement formés d'un socle assez lourd contenant le récepteur. Ce socle portait un cornet évasé permettant au son de se diffuser convenablement dans une certaine direction.

Les appareils plus spécialement appelés « diffuseurs » étaient construits différemment. Les épanouissements polaires agissaient sur une petite palette de fer qui, grâce à un moyen de liaison quelconque, une petite tige par exemple, transmettait son mouvement à un cône de papier, toile imprégnée, ou autre matière du même genre. Ce cône était d'abord assez léger, et surtout était considéré comme pratiquement dépourvu d'élasticité. Il n'avait donc pas, en principe, de fréquence propre ; la palette de fer était rappelée à sa position de repos au moyen d'un ressort de tension réglable. Cependant, de tels récepteurs n'étaient pas parfaitement fidèles et présentaient en grande majorité les mêmes inconvénients que les hauts-parleurs. Les uns et les autres furent alors utilisés concurremment et eurent leurs partisans acharnés. Les hauts-parleurs étaient généralement considérés comme donnant un timbre plus juste des sons. Les diffuseurs devaient donner une musique plus douce et moins criarde par suite de l'absence toute relative d'ailleurs de fréquences propres de rang élevé. Les deux systèmes en tout cas étaient généralement incapables de rendre de très grandes puissances sonores.

Notons en passant que des essais ont été tentés de bâtir des hauts-parleurs en se basant sur des principes différents de celui de la force attractive magnétique. Par exemple, on a songé à utiliser l'attraction créée par un champ électrostatique. Lorsqu'un condensateur est chargé, les deux armatures sont soumises à une force qui tend à les rapprocher. Si le diélectrique est de l'air et si la tension appliquée au condensateur est variable, les deux armatures moyennant une certaine élasticité pourront vibrer et rendre un son. Un tel récepteur est en somme exactement l'inverse du microphone à condensateur dont nous avons parlé à propos de l'enregistrement.

Malheureusement, l'utilisation du condensateur comme récepteur n'est pas du tout aussi pratique que comme microphone. Dans les deux cas, en effet, la capacité de l'appareil est toujours très faible parce que les dimensions des armatures sont très réduites. Or, la puissance qui peut traverser un condensateur augmente seulement avec sa capacité et la tension appliquée. Dans l'utilisation comme microphone, on peut se contenter d'un débit très petit, car nous avons signalé la possibilité d'augmenter tout de suite la puissance du courant sonore en plaçant un amplificateur à lampes à proximité du microphone. Aussi ne se présente-t-il dans ce cas en somme aucune difficulté spéciale. Il en serait tout autrement pour un haut-parleur. Ici le condensateur devrait absolument se laisser traverser par une puissance électrique relativement énorme pour lui. Or, on ne peut augmenter sa capacité et on devrait donc lui fournir le courant sonore sous une très haute tension. Cette condition paraît pratiquement absolument prohibitive.

Cependant, il y a lieu de signaler que certains constructeurs paraissent s'intéresser à la question et ont même tenté la fabrication de tels récepteurs. Il semblerait qu'ils aient obtenu quelques résultats, au moins pour les postes radiotéléphoniques d'amateur, où les puissances mises en jeu sont relativement assez faibles. Mais la pratique n'a pas encore suffisamment sanctionné ces essais, et il est peu probable, en somme, que l'on puisse aller très loin dans cette voie. Aussi doit-on considérer cette solution comme étant à rejeter pour ce qui concerne les appareils de cinéma sonore, au moins dans l'état actuel des choses.

Il faut donc pour le moment abandonner les procédés à champs électrostatiques et s'adresser exclusivement aux champs électromagnétiques.

Le meilleur système actuellement existant est le haut-parleur du type dit « électrodynamique ». Le principe en est schématisé sur la figure 70. Un noyau de fer doux a la forme d'un corps circulaire épais et court avec une grosse tige centrale ne laissant libre qu'un

court espace annulaire de largeur **e**. Un tel noyau forme ainsi un circuit magnétique fermé sauf l'espace annulaire formant entrefer. A l'intérieur, une bobine **B** alimentée par du courant continu entretient dans le fer un magnétisme puissant dont les lignes de force passant par la tige centrale s'épanouissent à travers l'entrefer et se referment par les côtés. Dans l'entrefer règne ainsi un champ de valeur très élevée. Une petite bobine cylindrique et creuse **b** peut s'y mouvoir librement dans le sens vertical. C'est elle qui reçoit le courant sonore et les lois de l'électromagnétisme prouvent que son mouvement en suit les variations. Pour un certain sens du courant, une force tend à la faire monter ; pour le sens contraire une force

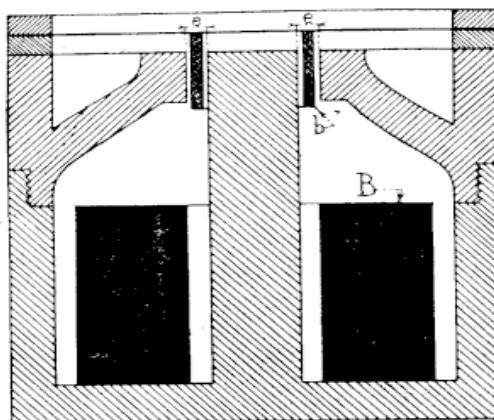


Fig. 70. — Schéma élémentaire d'un haut-parleur « électrodynamique », à membrane.

tend à la faire descendre. D'ailleurs comme dans toute machine électrique, son mouvement développe dans ses spires une force **contre-électromotrice** qui tend précisément à s'opposer à la tension qu'on lui applique. Cette force contre-électromotrice est d'ailleurs le siège même de la transformation de la puissance électrique en puissance mécanique.

Le système est d'ailleurs réversible et réciproquement une vibration mécanique appliquée à la bobine se traduit par un courant variable circulant dans ses spires. Il suffirait donc de l'attacher à une membrane vibrante et l'ensemble constituerait un microphone. De fait, de tels appareils ont été construits récemment.

Revenons au système du haut parleur. Il s'agit de transformer les mouvements de la bobine en vibrations dans l'air. On peut la fixer simplement à une feuille métallique très mince et circulaire, sertie

sur son pourtour avec un collier, et on revient ainsi un peu à la disposition d'un écouteur téléphonique. De toute manière, la feuille vibrante doit séparer l'air en deux régions sans communication entre elles sinon leurs pressions s'égaliseraient à chaque instant et il n'y aurait pas de son transmis. Cette condition est réalisée schématiquement sur la figure 70. L'entrefer est en réalité beaucoup plus petit relativement qu'il n'est montré sur la figure où il est agrandi pour plus de clarté. Sa valeur doit être aussi réduite que possible ; c'est là une des difficultés essentielles de la construction, mais c'est le meilleur moyen d'obtenir facilement un champ magnétique très puissant à travers les spires de la bobine motrice **b**.

Un tel haut-parleur a plusieurs avantages sur les anciens systèmes précédemment décrits, surtout pour les grandes puissances.

1) Le fer du circuit magnétique intervient uniquement pour créer un champ permanent, mais n'a aucun rôle pour ce qui concerne le courant passant dans la bobine motrice. Les phénomènes de saturation et d'hystérésis sont donc supprimés ; on réduit ainsi les distorsions et déformations.

2) On peut construire la bobine motrice avec un petit nombre de spires. Elle n'a donc qu'une impédance faible et c'est seulement la force contre-électromotrice dont nous avons parlé qui cause la majeure partie de la résistance opposée au passage du courant sonore.

3) La force mécanique agissant sur la bobine est rigoureusement proportionnelle au courant qui y circule. Cette condition n'était qu'approximativement réalisée dans les anciens systèmes dérivés de l'écouteur téléphonique.

4) La membrane vibrante ne jouant plus aucun rôle magnétique, on peut la faire en métal très léger et très mince, d'où une grosse diminution de l'inertie de l'ensemble mobile.

5) Pour la même raison, on peut donner à la membrane non plus la forme plate de la figure 70, mais une forme quelconque qu'on jugera plus avantageuse pour les vibrations.

6) Enfin, l'amplitude du mouvement pouvant être relativement grande, on peut transformer une grosse puissance électrique en puissance sonore. Le schéma de la figure 70 est un schéma de principe. En fait, tous les éléments d'un moteur de haut-parleur doivent être déterminés très soigneusement indépendamment de la partie électrique proprement dite. La figure 71 représente une coupe du moteur de haut-parleur type « Western Electric ». On y reconnaît les bobines **B** et **b** de la figure 70. Mais la membrane vibrante n'est plus une simple feuille plate. Elle est formée d'une partie centrale hémisphérique raccordée à une courte partie tronconique portant elle-même des bords sertis sous un collier. Cet ensemble est d'une légèreté extrême.

Il est en alliage de duralumin et cependant très rigide. La pièce centrale placée au-dessus de la membrane a pour but de canaliser la vibration sonore. Elle offre au son un passage de plus en plus grand au fur et à mesure qu'il avance.

Les récepteurs construits suivant les principes que nous venons d'indiquer sont raccordés à un pavillon qui intervient à la fois pour diriger et disperser le son. Les pavillons ont généralement une forme d'escargot. Ils sont du type dit « exponentiel ». Une étude approfondie de la propagation du son montre en effet que le pavillon doit à chaque instant offrir au son une surface de passage obéissant à la loi mathématique appelée « loi exponentielle », en fonction de la distance parcourue depuis la membrane du moteur.

Les pavillons sont construits généralement en toile imprégnée, bois contreplaqué, etc... et la partie raccordée au moteur comprend

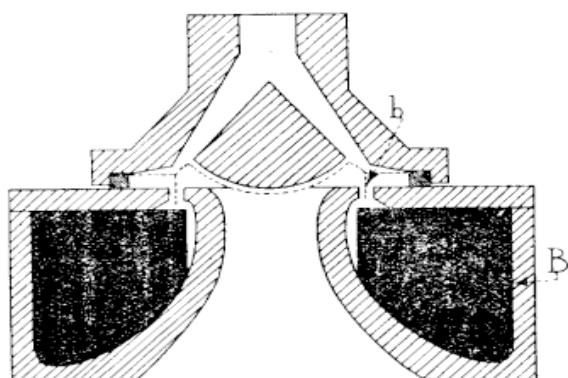


Fig. 71. — Coupe d'un moteur de haut-parleur électrodynamique à membrane, type « Western Electric », destiné à travailler sur un pavillon exponentiel.

un tube de tôle ou de fonte. Ceux qui sont utilisés dans les salles de projection atteignent souvent des dimensions gigantesques, jusqu'à plusieurs mètres carrés à l'ouverture, de sorte qu'un homme de grande taille peut sans difficulté se dissimuler dans le pavillon. Le moteur de la figure 71 pèse une vingtaine de kilogrammes et un haut-parleur complet peut peser 100 kilogrammes environ. Certains modèles peuvent d'ailleurs posséder plusieurs moteurs branchés sur la même embouchure et il faut alors bien vérifier le sens des connexions afin que les mouvements de toutes les membranes soient en phase. Le courant d'excitation de la bobine **B** des figures 70 et 71 doit évidemment être bien continu mais peut être à basse tension. On se branche alors sur la source générale déjà utilisée dans la cabine pour différents usages et pouvant être constituée par une batterie d'accumulateurs

ou une génératrice à basse tension. On peut également le fournir à tension plus élevée en enroulant la bobine avec un fil plus long et fin. Dans ce cas, on se branche de préférence sur un redresseur à tubes thermoioniques suivi d'un filtre comme pour l'alimentation en tension plaque des amplificateurs.

Hauts-parleurs à membrane conique. — Les modèles ci-dessus décrits ne sont pas les seuls employés. On peut conserver la bobine motrice du système électrodynamique, mais au lieu de la fixer à une membrane on l'a fixe au sommet d'un cône, toujours formé d'une matière légère et rigide (papier ou toile imprégnés, bois mince, etc...) et dont la base est reliée élastiquement à un cadre. Ce cône se charge à la fois de vibrer et de transmettre directement les vibrations à l'air ambiant. Ce système se rapproche ainsi des modèles utilisés en radiophonie sous le nom de « diffuseurs ». La question de savoir quel modèle est préférable, pavillon ou membrane conique, n'a pas encore été tranchée et chacun a ses partisans. Le système à pavillon à un rendement bien supérieur pouvant aller jusqu'à 50 % alors que le système à membrane conique n'a guère qu'un rendement de 3 à 4 % environ. Mais, comme nous l'avons déjà dit à propos des amplificateurs, cette question est secondaire. En matière de reproduction sonore, il est indifférent de dépenser plus d'énergie si un meilleur résultat peut être obtenu.

Le haut-parleur à pavillon avantage généralement les basses fréquences qui sont très agréables à l'oreille. Ce serait donc un résultat appréciable mais néanmoins on aboutit tout de même ainsi à une déformation systématique du son reproduit. Certains techniciens recommandent d'utiliser les deux modèles à la fois de manière à combiner leurs qualités. De toute manière la question du haut-parleur reste très ardue. Il semble actuellement que l'on ait dans cette voie épuisé à peu près tous les moyens disponibles pour transformer en vibration mécanique une puissance fournie en courant sonore. Les perfectionnements à apporter ne peuvent plus guère porter que sur des détails de construction. Ils n'aboutiront donc jamais qu'à de faibles améliorations. Il faudrait pour faire de nouveaux pas en avant, découvrir un principe tout différent. Ce n'est sans doute pas impossible, et il est même probable qu'en pareil cas, tous les modèles actuels, même les meilleurs, seraient abandonnés d'un seul coup.

Ecrans et Emplacement des Hauts-Parleurs. — Lors des premiers essais du cinéma sonore on conservait les anciens écrans du film muet. Le ou les hauts parleurs étaient placés devant l'écran ou sur les côtés. On peut effectivement arriver ainsi à un assez bon résultat, surtout si on utilise les hauts-parleurs à membrane conique moins encombrants en général que ceux à pavillon. Comme, de plus, on en

emploie souvent plusieurs à la fois, on peut les répartir à des points différents autour de l'écran. On peut ainsi arriver à créer une impression d'ensemble donnant à peu près l'illusion que le son vient de l'écran lui-même, c'est-à-dire qu'il sort de la bouche des acteurs. On dissimule seulement les hauts-parleurs aux spectateurs avec des voiles de mousseline ou autres décors.

Toutefois, la meilleure impression est rendue en plaçant les hauts-parleurs directement derrière l'écran. Il faut alors que ce dernier laisse passer le son. On fabrique donc des écrans spéciaux formés d'une sorte de tissu à mailles très fines et qui est relativement transparent. On emploie aussi une sorte de caoutchouc blanc entoilé et percé d'un très grand nombre de petits trous invisibles à l'œil si on se trouve seulement à quelques mètres de l'écran qui apparaît alors uniformément blanc. Il en est de même pour le tissu ajouré dont les mailles ne sont visibles que de très près. On a ainsi toute liberté pour suspendre les hauts-parleurs ; on peut donner l'impression réelle que le son vient de l'écran. Si on utilise un type unique, on les place généralement aux 2/3 de la hauteur de l'écran. C'est à peu près en cet endroit que se trouve la bouche d'un acteur lorsqu'il apparaît au premier plan avec sa tête et son buste.

On emploie parfois simultanément plusieurs types de hauts-parleurs. Certains auront par exemple plus spécialement pour rôle de rendre les hautes fréquences ; les autres rendront plus particulièrement les basses. Dans ce cas, l'emplacement est très variable, et dépend essentiellement de l'encombrement et de la puissance respectifs des deux types travaillant ensemble. On devra d'ailleurs dans tous les cas tenir grand compte de la forme de la salle. Des expériences très soigneuses devront être conduites avec méthode afin que le plus grand nombre de sièges reçoive une proportion convenable de toutes les fréquences. On doit également se préoccuper des dimensions de la salle, et spécialement de sa longueur. Le son met en effet un certain temps pour aller de l'écran jusqu'aux spectateurs des derniers rangs. Pour une salle de 34 m. de long, dimension courante, il met un dixième de seconde, ce qui n'est pas négligeable. Or les conditions ne sont pas les mêmes que dans un théâtre. Dans le cas où un acteur est présenté au premier plan, il semble, en raison de sa grandeur exagérée être tout près, même à un spectateur placé à grande distance. Aussi dans le cas des salles de grande longueur, y a-t-il avantage à corriger la longueur des boucles de film sur les machines. Au lieu de laisser un décalage régulier de 19 1/3 images entre la fenêtre du projecteur et le rayon excitateur de la cellule, on le réduit de une ou deux images. On arrive ainsi à ce que le synchronisme soit parfait pour un spectateur placé au milieu de la salle. Il est légèrement

en avance pour les spectateurs des premiers rangs et légèrement en retard pour ceux des derniers rangs mais dans un sens ou l'autre le décalage maximum se trouve réduit de moitié.

Nous terminerons la question des hauts-parleurs en rappelant qu'il y en a toujours un petit dans la cabine de projection qu'on appelle généralement **moniteur**. Ce haut-parleur témoin ne permet pas à l'opérateur de juger de la puissance du son dans la salle. Cette fonction doit être remplie par un observateur placé dans la salle même et qui communique avec la cabine au moyen d'une sonnette : les ordres d'augmenter ou de réduire l'intensité de la reproduction. Le moniteur a seulement pour rôle de montrer à chaque instant à l'opérateur que tout se passe normalement.

APERÇU SOMMAIRE DE L'ACOUSTIQUE DES SALLES DE PROJECTION

Après avoir choisi les plus convenables des hauts-parleurs il reste encore à répartir le son dans la salle et aussi à équiper au besoin la salle elle-même pour produire le meilleur effet. Il se pose donc ici une question identique à celle dont nous avons déjà parlé pour les studios. Elle se présente même sous une forme encore plus difficile et pour plusieurs raisons. En premier, on doit pouvoir installer les appareils de cinéma sonore dans n'importe quelle salle d'audition, or la plupart d'entre elles ont été construites sans aucun souci de l'acoustique. De plus on n'a pas, comme dans les studios, la liberté de faire certaines modifications, par exemple, de supprimer un mur ou d'ouvrir le plafond. Enfin, on pourrait ajouter que la seule présence des spectateurs peut modifier profondément les qualités d'un théâtre.

Pour apprécier la force du son, on parle souvent soit d'**intensité**, soit de **volume**. Les deux expressions ne sont pas tout à fait synonymes. L'**intensité** exprime plutôt l'amplitude des mouvements des molécules d'air ; mais cette amplitude peut n'intéresser qu'un petit espace. Ainsi à l'intérieur d'un tuyau d'orgue en activité le son a une grande intensité à cause de l'effet de résonance. Le **volume** exprime plus exactement la quantité d'énergie supposée uniformément répartie dans la salle d'audition, au moins dans la région où se trouve la majorité des spectateurs. C'est donc au point de vue du rendement pratique le volume seul qui compte.

Le premier problème qui se pose est d'éparpiller l'énergie sonore dans la salle. Il est presque immédiatement résolu avec les hauts-parleurs à membrane conique qui sont très dispersifs. Les hauts-parleurs à pavillon ont un effet de direction beaucoup plus marqué,

aussi y a-t-il avantage dès qu'une salle a une certaine dimension à en employer plusieurs dont on fait diverger les ouvertures.

Il faut ensuite étudier soigneusement les qualités de la salle elle-même. Les travaux les plus complets sur cette question difficile ont été faits par le professeur américain William C. Sabine. Encore n'est-il arrivé lui-même qu'à des conclusions théoriques presque toujours impossibles à satisfaire en même temps. L'expérience doit donc intervenir pour prendre des moyennes. En général les trois défauts principaux d'une salle sont : l'écho, les points morts et la réverbération. Nous avons déjà défini l'écho et la réverbération dans l'étude de l'enregistrement. Ici, comme dans les studios, l'écho doit être supprimé. On doit pour cela « briser » le son lorsqu'il arrive sur la surface réfléchissante. Il y a deux manières d'y parvenir ; on peut disposer sur la surface une matière très absorbante pour le son, Celotex, Insulite, ouate recouverte d'une satinette, etc... On peut aussi rendre la surface irrégulière en la recouvrant de cannelures. Dans ce cas le son n'est pas étouffé, mais dispersé et l'écho se transforme en réverbération.

Les points morts sont un cas particulier de l'écho. Une salle peut comprendre des cavités ou renfoncements quelconques : couloirs de sortie, canaux de ventilation, cages d'escalier, etc... Dans ces espaces inertes, la vibration sonore pénètre difficilement mais, pour certaines fréquences, ils peuvent jouer le rôle de résonateurs et il s'ensuit une déformation du son reproduit. La présence d'une seule cavité de ce genre peut suffire pour gâter les qualités de toute une salle. Cet effet est souvent produit par les loges trop profondes et aussi par les caissons fréquemment pratiqués dans les plafonds pour y mettre des diffuseurs de lumière. Ces caissons sont d'ailleurs utiles s'ils sont peu profonds car ils ont alors un simple effet de dispersion, mais ils deviennent très nuisibles si leur cavité est exagérément creusée. En général, il suffit de boucher ces points morts avec une tenture ou un rideau.

La réverbération, nous l'avons déjà dit, est un écho dans lequel les impressions du son direct et du son réfléchi se superposent dans l'oreille. L'effet de réverbération augmente beaucoup avec le volume de la salle. On le réduit au contraire en recouvrant les murs d'absorbants. Le professeur William C. Sabine a dressé des tables de coefficients d'absorption de la plupart des matériaux usuels. Dans ces tables, une fenêtre ouverte est considérée comme ayant un coefficient d'absorption égal à 1. Aucune vibration sonore y parvenant ne peut être réfléchie si peu que ce soit. Des matériaux très mous comme le coton ont des coefficients encore près de l'unité. Un mur de ciment dur a un coefficient presque nul.

Dans les salles réverbérantes, où par exemple les fauteuils sont tous en bois non rembourré, la présence des spectateurs amortit beaucoup les vibrations. Une personne avec ses vêtements souples présente en effet une surface très absorbante. Avec une salle remplie, le niveau sonore peut baisser de plusieurs décibels par rapport à la salle pleine. La puissance fournie aux hauts-parleurs doit donc être augmentée d'autant. D'une manière générale il en est de la salle comme du studio. Il n'y a pas intérêt à supprimer totalement la réverbération. Dans une salle complètement étouffée, la musique reproduite donnerait une impression de pauvreté.

On voit donc, d'après ce bref exposé, combien l'acoustique des salles est chose délicate. On ne saurait guère énoncer aucune règle absolue et une étude serrée doit être faite dans chaque cas particulier. Signalons toutefois que les points morts sont les éléments les plus nocifs. Il en est de même des balcons qui avancent beaucoup au-dessus des fauteuils d'orchestre ou dont le fond recule trop loin. Au contraire la présence de colonnes dans la salle, notamment sur les côtés, produit le plus souvent un effet de dispersion très favorable à une bonne acoustique. Il a été également remarqué que l'écho se produisait plutôt dans des salles de forme arrondie. Il est plus rare dans les salles carrées ou rectangulaires.

On peut se demander pourquoi ces questions d'acoustique se posent aussi impérieusement pour le cinéma sonore. Il semblerait qu'il les ait fait spécialement surgir en raison d'imperfections qui lui seraient propres. La vérité est toute différente. L'acoustique avait été, jusqu'à présent, toujours très négligée, même dans les théâtres et les salles de concert. Grâce au cinéma sonore, des techniciens qualifiés ont entrepris méthodiquement l'étude du problème. Il s'en suit que le théâtre lui-même bénéficiera vraisemblablement des progrès réalisés par l'industrie cinématographique. De plus, le volume du son est toujours plus grand dans une salle de cinéma que dans un théâtre. Les acteurs apparaissent généralement très agrandis sur l'écran. On doit, pour donner l'illusion de la réalité fournir à la salle un volume beaucoup plus élevé que le naturel. Les moindres défauts d'acoustique prennent alors une importance relative bien plus grande.

Toutefois, il ne faut pas aller trop loin dans cette voie. La plupart des exploitants ont tendance à forcer exagérément l'intensité de la reproduction dans leurs salles et le résultat obtenu perd alors beaucoup en qualité.

CONCLUSIONS GENERALES

On peut dire, pour résumer, que le cinéma sonore a définitivement conquis la place qui lui revenait. Le public s'est maintenant

habitué à lui parce qu'il permet de produire des effets supérieurs à ceux du film muet. C'est surtout dans la mise en scène et la technique artistique générale qu'on doit chercher à apporter maintenant les plus grands perfectionnements. On ne doit pas oublier, le cinéma muet est déjà vieux d'une trentaine d'années ; or c'est tout récemment qu'on était arrivé à lui faire rendre tout ce dont il était capable. La partie artistique, malgré son apparente simplicité, est donc en réalité la plus difficile.

Un gros obstacle pour la diffusion du film sonore, est surtout le prix élevé des installations nécessitant une grosse mise de fonds de la part de l'exploitant. Pendant longtemps, les petites salles situées dans des villes peu importantes sont restées obstinément attachées au film muet par crainte de ne pas pouvoir couvrir leurs frais. A l'heure actuelle cet inconvénient semble en voie de disparaître ou au moins de s'atténuer. Plusieurs très bons constructeurs ont entrepris la fabrication d'appareils simplifiés ou même portatifs d'un prix abordable pour tous. D'ailleurs, la plupart d'entre eux admettent des paiements échelonnés mettant ainsi le maximum de commodité à la portée du client.

Dans tout l'exposé général, nous nous sommes attachés surtout à faire ressortir les bases et les principes généraux. Des détails de construction plus approfondis n'intéresseraient guère que les ingénieurs spécialistes. (Voir à la fin du livre quelques photographies des appareils actuellement utilisés).

L'industrie du film sonore occupe actuellement un grand nombre de techniciens, ouvriers et agents de toute sorte. La plupart d'entre eux travaillent activement à chercher des perfectionnements possibles afin d'apporter toujours au public des résultats plus parfaits.

Dans le dernier chapitre qui suit, nous allons exposer brièvement dans leurs grandes lignes trois problèmes essentiels qui touchent de très près le cinéma sonore.

CHAPITRE X

AVENIR DU CINÉMATOGRAFE

Une question tout spécialement difficile à traiter est assurément celle de l'avenir. Même dans l'ordre technique où les choses, dans une certaine mesure, s'enchaînent, il est très délicat en tablant sur le présent d'énoncer des pronostics sur le futur. Dans tout ce qui précède nous avons, dans l'étude de chaque détail, essayé de faire ressortir les imperfections actuelles. On peut voir ainsi en gros dans quel sens les chercheurs doivent diriger leurs efforts. Il peut néanmoins toujours se faire qu'une invention remarquable vienne un jour bouleverser complètement l'état de choses existant. Nous avons signalé d'ailleurs, que la plupart du temps le côté financier primait le côté technique proprement dit.

Nous allons maintenant parler de trois problèmes intéressants : Le cinématographe en relief, le cinématographe en couleurs, et la télévision. La résolution des deux premiers aboutirait à produire sur l'écran le même effet que sur une scène de théâtre. Il est probable néanmoins, comme nous l'avons déjà signalé, que le cinéma et le théâtre poursuivraient leurs carrières parallèlement. On doit reconnaître en tout cas qu'un énorme progrès serait alors réalisé, pour la perfection de l'illusion donnée au spectateur. Un grand nombre de spécialistes y ont déjà travaillé mais jusqu'à présent aucune solution définitive n'a encore été trouvée.

Bien que ce qui va suivre sorte un peu du cadre du présent ouvrage, puisqu'il ne s'agit plus en effet du film sonore proprement dit, il est impossible, dans un livre traitant du cinéma moderne, de ne pas en faire mention au moins succinctement.

LE CINÉMATOGRAPHE EN RELIEF

Nous rappellerons tout d'abord rapidement le principe physique du relief. Cette notion repose essentiellement sur la faculté que nous possédons, lorsque nous regardons plusieurs sujets, d'apprécier leurs distances respectives. Lorsque nous regardons un objet, nous sommes capables de dire avec une certaine précision qu'il se trouve à tant de mètres de nos yeux. Cette estimation pouvant être faite aussi pour les objets voisins, nous en déduisons leurs distances relatives, d'où la notion du relief. A cause de l'entraînement énorme dû au

travail incessant de notre vue, toutes ces déductions et soustractions se font intuitivement sans que nous fassions aucun effort. Il en est de même pour quantités de mouvements tellement familiers que nous les exécutons entièrement sans y penser. Les notions de relief et de distance qui sont inséparables reposent donc essentiellement sur la comparaison avec les objets voisins. On peut s'en rendre compte en se plaçant une fois dans des conditions inhabituelles. Ainsi l'appréciation des éloignements sur mer est extrêmement difficile sauf pour les marins professionnels. La surface de l'eau n'offre en effet aucune saillie, aucune aspérité fixe pouvant servir d'élément de comparaison. Sur quel principe notre intelligence peut-elle se baser pour juger des distances par seule observation ? C'est uniquement sur ce fait que nos yeux ne coïncident pas et qu'un espace de 7 cm. environ sépare leurs axes optiques.

Représentons (fig. 72) nos deux yeux en **A** et **B**, si nous fixons un objet **M**, les deux axes optiques font entre eux un angle **a** = **AMB**. Notre cerveau effectue alors inconsciemment un véritable calcul et déduit la valeur de la distance **MC**. Si nous regardons ensuite un objet **M'** plus éloigné, les axes optiques font alors un angle **AM'B** = **b** plus petit que le premier. On peut à un mètre de distance remarquer une partie en relief dont la saillie est de l'ordre du centimètre, c'est-à-dire que, sur la figure 72, l'on apprécie une différence de distance **MM'** de l'ordre du centimètre. Le calcul montre alors que la différence entre les deux angles **a** et **b** est seulement de l'ordre de une minute. On peut s'étonner qu'un de nos sens nous permette ainsi d'estimer des valeurs aussi infimes. Cependant c'est assez facilement explicable car, depuis le jour où nous avons ouvert les yeux au monde extérieur, nous nous sommes continuellement exercés à observer les distances. Or l'on sait que lorsque l'une de nos facultés est ainsi soumise à un entraînement soutenu elle atteint un degré de perfectionnement capable de nous étonner nous-mêmes. Les jongleurs et les musiciens virtuoses en sont une preuve. La précision est même d'autant plus grande qu'elle est plus automatique. En définitive, la vision avec relief ou observation des distances implique nécessairement l'existence de la **base AB** de la figure 72. En effet, quand nous fermions un œil, il nous est difficile de saisir un objet avec assurance. Si nous arrivons encore dans ces conditions à nous diriger et même

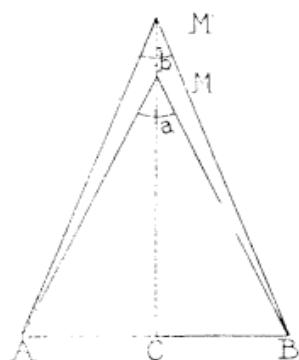


Fig. 72. — Figure géométrique simple montrant le principe essentiel du relief.

saillie est de l'ordre du centimètre, c'est-à-dire que, sur la figure 72, l'on apprécie une différence de distance **MM'** de l'ordre du centimètre. Le calcul montre alors que la différence entre les deux angles **a** et **b** est seulement de l'ordre de une minute. On peut s'étonner qu'un de nos sens nous permette ainsi d'estimer des valeurs aussi infimes. Cependant c'est assez facilement explicable car, depuis le jour où nous avons ouvert les yeux au monde extérieur, nous nous sommes continuellement exercés à observer les distances. Or l'on sait que lorsque l'une de nos facultés est ainsi soumise à un entraînement soutenu elle atteint un degré de perfectionnement capable de nous étonner nous-mêmes. Les jongleurs et les musiciens virtuoses en sont une preuve. La précision est même d'autant plus grande qu'elle est plus automatique. En définitive, la vision avec relief ou observation des distances implique nécessairement l'existence de la **base AB** de la figure 72. En effet, quand nous fermions un œil, il nous est difficile de saisir un objet avec assurance. Si nous arrivons encore dans ces conditions à nous diriger et même

à travailler, c'est seulement parce que nous connaissons bien les dimensions de tout ce qui nous entoure.

Ce principe essentiel de la mesure des distances est d'ailleurs mis à profit dans les appareils d'optique appelés « Télémètres » (Système Barr et Stroud) qui comportent deux objectifs placés aux extrémités d'une base. Un système de réflexion à prismes renvoie les deux images au centre et au moyen d'un dispositif correcteur on peut les amener en coïncidence, ce qui permet de mesurer l'angle **a** de la figure 72. Bien entendu, l'approximation des mesures est d'autant plus grande que la base **A-B** est elle-même plus longue. Aussi donne-t-on à cette base plusieurs mètres pour les appareils utilisés dans la marine. Du reste, l'angle des deux axes optiques est toujours extrêmement petit et il faut une extrême précision pour le mesurer.

Le problème de la reproduction en relief s'était déjà posée en photographie et on l'avait convenablement résolu avec les appareils stéréoscopiques qui comportent deux objectifs écartés l'un de l'autre de 7 centimètres comme les deux yeux d'un homme normal. Lorsqu'on photographie un sujet, on prend simultanément deux vues mais de deux points différents séparés par un écart de 7 centimètres. Ces vues, une fois tirées en positif, sont placées dans un appareil d'observation où une lentille convergente se trouve en face de chacune d'elles. Cet appareil a un double rôle : d'abord grossir les deux images et permettre d'en mieux voir les détails ; ensuite, grâce à une cloison médiane séparant les deux images obliger chaque œil de l'observateur à n'en regarder qu'une à la fois. Or ces deux images ne sont pas exactement identiques puisqu'elles sont prises de deux points différents et l'observateur se trouve donc placé dans les mêmes conditions que s'il regardait réellement l'objet. L'effet de relief est donc produit.

La longueur de la base est ainsi l'élément principal pour obtenir le résultat cherché. Si on pouvait donc par un artifice quelconque arriver à l'augmenter, l'effet de relief se trouverait exagéré. C'est ce qui a lieu effectivement. On peut par exemple photographier un sujet **M** (fig. 72) en prenant deux vues successives avec un appareil ordinaire de deux points **A** et **B** distants de plus de 7 centimètres. On prend seulement bien garde de prendre un point particulier comme repère et de le placer dans les deux cas bien au milieu du viseur. Supposons pour fixer les idées qu'on photographie un mur rugueux à 5 ou 6 mètres de distance en prenant une base **A-B** d'un mètre. Les deux vues, développées et tirées, seront alors examinées dans un appareil stéréoscopique et on pourra alors constater un relief frappant faisant ressortir les moindres aspérités qui auraient été invisibles par observation directe.

Il est possible de tirer grand profit de ce principe. Un avion peut en survolant un terrain prendre deux vues successives du sol avec le même appareil à quelques secondes d'intervalle. Comme il aura pendant ce temps parcouru 50 ou 100 mètres, ce sera là la longueur de la base, et de telles vues même prises d'une grande hauteur présenteront un relief énorme mettant en évidence les plus faibles ondulations du terrain. On conçoit les services que peut rendre un tel procédé pour dresser une carte précise d'une région difficilement accessible.

On peut donc soutenir qu'on est parvenu à réaliser le relief en photographie. Pour le cinématographe, la question est sensiblement différente. L'image à observer ne peut pas être regardée par chaque spectateur dans une petite boîte munie de deux oculaires. Elle est projetée sur un écran unique commun à tous. On pourrait, semble-t-il tout d'abord, recourir à deux méthodes différentes. Ou bien on cherchera par un procédé quelconque à produire directement une image présentant elle-même le relief et il suffira alors au spectateur de la regarder comme s'il se trouvait au théâtre. Ou bien on s'inspirera du principe stéréoscopique et on projettera sur un ou plusieurs écrans deux séries d'images correspondant aux deux images photographiques. On s'arrangera ensuite, à l'aide d'un dispositif convenable, pour que chaque œil du spectateur ne puisse jamais voir qu'une seule des deux séries d'images.

La première méthode, en dépit des nombreuses recherches qui ont été faites, n'a encore pas pu donner de résultat pratique parce qu'on n'a encore pu trouver aucun **principe** pour la baser. Il peut arriver, en physique industrielle, qu'une méthode reposant sur un principe juste ne soit pas applicable pratiquement, à cause de difficultés de réalisation matérielle mais il n'arrive jamais, par contre, qu'une méthode dérivée d'une idée fausse soit capable d'une application quelconque. Or on ne peut arriver à se représenter comment une image donnée par une lentille pourrait se former en relief ou, tout au moins, comment ce relief pourrait changer à chaque instant. La formation d'une image par projection implique la présence d'un écran pour la recevoir (mur, toile, nuage de fumée, etc...) Si les rayons se trouvent arrêtés en un certain point de l'espace, il n'existe aucun moyen de former une image en avant ou en arrière de ce point. Il faudrait en somme que l'écran lui-même puisse se déformer rapidement à chaque instant et en concordance absolue avec les mouvements des sujets figurés sur l'image. On conçoit l'impossibilité d'une telle réalisation. De plus, même si cette condition extraordinaire se trouverait réalisée, on se heurterait à une nouvelle difficulté : Les différents plans étant formés par un même objectif ne pourraient

être au point tous à la fois ; aussi, malgré tous les efforts des inventeurs, n'a-t-on rien pu tirer de ce procédé. Tous les systèmes proposés (écrans gondolés ou cannelés, projection simultanée sur plusieurs écrans successifs, réception de l'image sur un écran de fumée, etc...) n'ont jamais, du moins à notre connaissance, été l'objet de la moindre application.

Reste donc la seconde méthode dérivée du stéréoscope ordinaire dont le principe sera simplement transporté dans le domaine cinématographique. Nous allons l'appliquer de la manière suivante : Lorsque nous filmons une scène, nous opérons avec deux caméras à la fois dont les objectifs uniques sont écartés l'un de l'autre de 7 à 10 centimètres et les axes optiques convergent vers le point principal de la scène. Les mécanismes sont d'ailleurs accouplés entre eux de manière qu'ils soient parfaitement synchrones. Toute vue prise par l'une des caméras est également prise par l'autre, mais simplement d'un point différent de l'espace. Les deux films forment ainsi deux séries images, jumelées exactement comme celles d'une plaque photographique stéréoscopique. Nous obtenons après tirage deux films positifs **A** et **B**. On pourrait d'abord projeter ces deux films sur deux écrans différents en s'arrangeant pour que chaque œil du spectateur ne puisse regarder que l'un des deux écrans. Ce serait une complication inutile et on préfère opérer avec un écran unique. Nous allons donc placer chacun de nos films **A** et **B** sur un projecteur et, les deux appareils étant de préférence très rapprochés l'un de l'autre, nous braquerons leurs axes optiques sur le centre de l'écran. L'appareil de gauche projettera par exemple le film **A** et celui de droite le film **B** (fig. 73).

Nous avons dit au chapitre II qu'un volet rotatif portant deux pales coupait la lumière deux fois à chaque image et l'écran, en réalité obscur pendant la moitié du temps, n'apparaît avec un éclat fixe que grâce à la persistance de la lumière sur la rétine. Rien n'est alors plus facile que d'accoupler les deux projecteurs de manière que la période d'obscurité de l'un corresponde à la période de projection de l'autre, et réciproquement. Ainsi, à un moment donné, le projecteur de gauche envoie sur l'écran une image **a** appartenant au film **A**. Cette image est ensuite brusquement éteinte et aussitôt remplacée par une image **b** appartenant au film **B** du projecteur de droite. Or cette image **b** est précisément celle qui, lors de la prise de vues, avait été impressionnée en même temps que l'image **a**. La succession des images appartenant tantôt à l'une, tantôt à l'autre des deux copies se poursuit ainsi régulièrement.

Il faut maintenant résoudre la seconde partie du problème afin que chaque œil du spectateur ne voie que l'une des séries d'images.

L'œil gauche ne devra voir que les images du film **A** et l'œil droit ne devra voir que les images du film **B**. Trois solutions principales

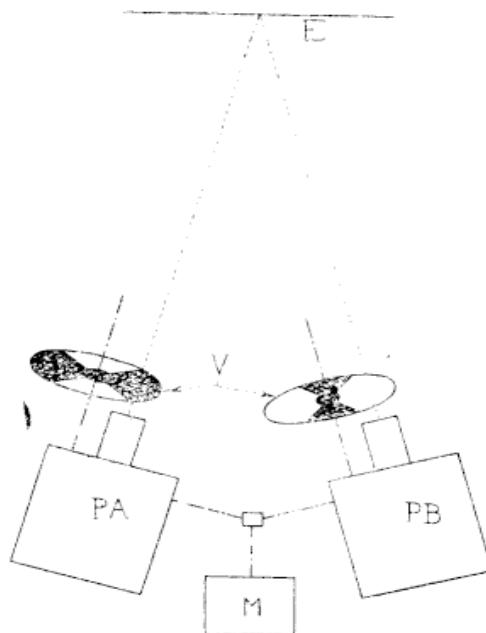


Fig. 73. — Dispositif à deux projecteurs accouplés qui permet la projection de films produisant l'effet de relief.

E : Ecran ; P-A : Projecteur gauche projetant le film A ; P-B : Projecteur droit projetant le film B ; M : Moteur ; V : Volets tournants.

ont été proposées qui se valent sensiblement au point de vue pratique :

1) Procédé des Anaglyphes. — Tout le monde connaît ces dessins colorés où deux images, l'une verte, l'autre rouge, sont imprimées ensemble en superposition mais décalées légèrement l'une par rapport à l'autre. Ce sont deux vues prises de points de vue différents. Pour les regarder on place devant ses yeux un lorgnon spécial dont un verre est rouge et l'autre vert. De cette manière chaque œil ne voit qu'une des deux images et l'effet de relief est obtenu. C'est la méthode des anaglyphes. Le rouge et le vert employés sont d'ailleurs des couleurs sensiblement complémentaires, c'est-à-dire que leur superposition donnerait la couleur blanche.

Nous pouvons appliquer ce principe à notre installation cinématographique de la figure 73 en **virant** les deux films **A** et **B**. Plusieurs bons fabricants de produits photographiques mettent aujourd'hui

en vente des bains spéciaux dits **chromogènes**. Ils ont la propriété de transformer le dépôt d'argent réduit de l'émulsion en un dépôt chimique ayant la coloration qu'on désire et qu'on peut choisir sur une gamme très étendue. Nous pouvons donc, par ce procédé, colorer notre film **A** en rouge et notre film **B** en vert. Chaque spectateur placé dans la salle se munira d'un lorgnon dont il placera le verre vert devant son œil gauche et le verre rouge devant son œil droit. Supposons qu'à un certain moment une image appartenant au film **A** soit projetée sur l'écran. Elle apparaît sur l'écran en rouge sur fond blanc. Les rayons lumineux venant vers l'œil droit d'un spectateur sont interceptés par un filtre rouge, donc seuls les rayons rouges peuvent l'atteindre. Tous les rayons du fond blanc de l'image autres que les rayons rouges se trouveront ainsi arrêtés. Il n'y aura donc aucune différence entre le dessin rouge de l'image et le fond blanc qui l'environne. Par conséquent l'œil droit du spectateur verra un écran uniformément rouge sans distinguer aucun contour d'image. Les rayons rouges de l'image seront au contraire complètement arrêtés par le verre vert de l'œil gauche et seuls les rayons verts du fond blanc pourront traverser. L'œil gauche verra ainsi une image noire sur fond vert.

Lorsque l'image suivante appartenant au film **B** sera projetée, les phénomènes inverses se produiront. L'œil gauche du spectateur verra un écran tout vert sans qu'aucun dessin s'y distingue. Son œil droit verra une image noire sur fond rouge. Au bout d'un certain temps de fonctionnement, par suite de la superposition dans les centres nerveux des impressions provenant des deux yeux, les effets de couleur finiront par se fondre et le spectateur ne prendra plus garde qu'aux contours. En définitive l'effet de relief est obtenu.

2) Procédé de la Lumière Polarisée. — Nous avons expliqué au chapitre IV en étudiant le fonctionnement de la cellule de Kerr le principe de la lumière polarisée. Nous pouvons l'appliquer avantageusement à la projection en relief. Supposons que nous placions, devant chaque objectif des projecteurs de la figure 73, un prisme de Nicol. Nous croiserons d'ailleurs ces deux prismes à angle droit. De cette manière le projecteur de gauche, par exemple, enverra sur l'écran de la lumière polarisée verticalement et le projecteur de droite de la lumière polarisée horizontalement. La lumière réfléchie par l'écran vers les spectateurs conserve cette propriété d'être polarisée verticalement pour les images du film **A** et horizontalement pour les images du film **B**. Nous munissons alors le spectateur d'une lunette portant deux prismes de Nicol croisés à angle droit, chacun d'eux se trouvant devant un œil. De cette manière, un rayon lumineux polarisé verticalement atteindra avec toute son intensité l'œil gauche

mais se trouvera arrêté par le nicol de l'œil droit. Ce sera l'inverse pour un rayon polarisé horizontalement. Nous obtenons donc encore le résultat cherché, chaque œil ne pouvant finalement apercevoir que l'une des deux séries d'images.

Ce procédé a sur le précédent l'avantage de n'exiger aucune préparation spéciale des films mais il exige une grande quantité de prismes de Nicol qui sont des pièces d'optique assez coûteuses. Il entraîne aussi une grande perte de lumière puisque pour polariser la lumière il faut lui retirer toutes les vibrations qui ne se trouvent pas dans un plan donné et par conséquent on en perd une grande partie. Ce défaut existe aussi dans le procédé des anaglyphes, les verres colorés absorbant également une partie de la lumière.

3) Procédé du Volet Electromécanique. — Ce système, le plus élémentaire comme le principe, comporte simplement l'interruption au moment voulu, par un volet convenablement commandé, des rayons parvenant à chaque œil du spectateur. D'après un brevet, on placerait sur le nez du spectateur une boîte, construite en métal léger, maintenue avec un ruban élastique passant autour de la tête avec deux petites tiges passant derrière les oreilles comme pour les lunettes ordinaires. Cette boîte est, devant chaque œil, percée de deux ouvertures fermées par des pastilles de verre. On peut ainsi voir l'écran à travers la boîte, mais à l'intérieur se trouve un électro-aimant qui peut, par un jeu de leviers, faire basculer un petit fléau de balance portant une palette à chaque extrémité. Ce dispositif obture ainsi la vue tantôt à l'œil droit, tantôt à l'œil gauche, suivant que l'électro-aimant est excité ou non. Deux fils aboutissant à cet électro-aimant sortent de la boîte et sont branchés sur une canalisation générale portant une prise en dérivation sur chaque fauteuil de la salle. Cette canalisation est alimentée par une batterie d'accumulateurs dont le courant est coupé ou établi par un commutateur installé sur un des projecteurs et synchrone avec son mécanisme. On peut arriver facilement à une concordance absolue dans les mouvements. Lorsque, par exemple, le projecteur de gauche envoie une image sur l'écran, le commutateur établit le courant de sorte que tous les électro-aimants des boîtes placées devant les yeux des spectateurs sont excités. Tous les fléaux basculent et l'œil gauche de chaque spectateur est libéré alors que l'œil droit est bouché.

Lorsque c'est l'appareil de droite qui projette une image, le commutateur coupe le courant et grâce à des ressorts de rappel convenablement disposés, tous les fléaux basculent en sens inverse, et c'est l'œil droit qui est libéré à son tour. Ce procédé tout en étant plus simple est moins coûteux que les précédents mais il est fatigant pour le spectateur et il faut en outre que le montage de chaque

dispositif individuel soit parfaitement précis. Avec le film sonore les projecteurs étant le plus souvent entraînés par des moteurs synchrones, on pourrait munir simplement chaque fauteuil d'une prise reliée au réseau et le dispositif électromagnétique de chaque boîte serait remplacé par un moteur synchrone. Les interruptions devant chaque œil seraient assurées par un petit volet tournant, comme devant les projecteurs eux-mêmes. L'effet serait le même mais il serait alors beaucoup plus facile, avec un mécanisme à rotation continue, d'atteindre un fonctionnement parfaitement silencieux.

En résumé, les trois procédés que nous venons de décrire permettent d'obtenir l'effet de relief dans d'excellentes conditions. Ils ont seulement quelques avantages respectifs qui, suivant les cas, pourraient en faire préférer un aux deux autres. On peut donc, en somme, en se plaçant au point de vue purement scientifique considérer dès maintenant le cinéma en relief comme réalisé. Ce sont des raisons d'ordre pratique qui ont, jusqu'à présent, empêché sa diffusion.

D'abord ils entraînent tous des frais plus ou moins élevés, ne serait-ce que par l'obligation d'avoir deux films qu'on doit dans un cas traiter différemment ou des dispositifs spéciaux, lorgnons, prismes et dispositifs obturateurs. Enfin, et surtout, il y a pour le spectateur l'insupportable sujexion d'avoir devant les yeux, pendant toute une représentation, un dispositif approprié au système appliqué. Il est probable que le public, d'abord séduit par la nouveauté, se lasserait rapidement. Il faudrait donc réaliser la stéréoscopie sans recourir à aucun dispositif spécial, en la basant sur un principe nouveau, mais on n'y est jamais parvenu jusqu'à présent bien que les journaux aient souvent publié à grand fracas que c'était chose faite.

Nous signalerons toutefois encore les procédés dont on a beaucoup parlé récemment, et qui sont dénommés « parallaxe-stéréogramme » et « parallaxe-panoramagramme ». Dans l'esprit des inventeurs, ils devaient résoudre le problème en évitant au spectateur cette nécessité de porter un appareil quelconque devant ses yeux. Leur description complète serait un peu longue et sortirait trop de notre cadre. Comme dans les trois systèmes ci-dessus décrits, on prend deux vues simultanément avec deux objectifs différents. Les deux films sont ensuite découpés en bandes minces dans le sens de leur longueur, et ces bandes sont intercalées entre elles alternativement et juxtaposées. La projection est faite sur un écran formé de miroirs semi-cylindriques. On peut arriver, de cette manière, à ce que chaque œil ne puisse voir qu'une série des petites bandes relatives à chaque film. Néanmoins, l'effet de relief parfait n'est obtenu,

en principe, que d'un point bien déterminé, face à l'écran, et à une distance fixée de lui.

De telles restrictions seraient inadmissibles dans une salle de cinéma où il y a toujours un grand nombre de spectateurs placés à des points différents. De plus les différentes opérations nécessaires pour la préparation du film à projeter paraissent nécessiter une grande précision qui serait un sérieux obstacle. Ces deux procédés n'ont donc pas encore été lancés dans la pratique, et ne sauraient non plus être considérés comme des solutions définitives.

LE CINÉMATOGRAPHIE EN COULEURS

Comme la question du relief, la question de la couleur s'est posée pour la photographie avant de se poser pour le cinématographe. Il s'agit ici bien entendu de la production d'images avec **toutes** leurs couleurs naturelles et non pas des clichés d'une teinte uniforme réalisée à l'aide de virages chromogènes.

L'impression directe des couleurs sur une plaque a été obtenue

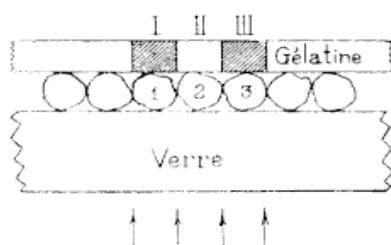


Fig. 74. — Explication schématique du procédé de reproduction des couleurs en photographie par la méthode « Lumière ». (1) Grain violet ; (2) Grain vert ; (3) Grain rouge.

au moyen de deux procédés principaux : Le procédé Lippmann et le procédé Lumière.

Le premier est basé sur un principe d'interférences et n'a guère été l'objet d'applications pratiques parce qu'il ne permet l'observation des images que par réflexion. Nous ne l'exposerons donc pas et il est du reste expliqué en détail dans la plupart des livres de physique élémentaire.

Le procédé Lumière, au contraire, est largement appliqué et les plaques dites « Autochromes » sont aujourd'hui d'une vente courante aux amateurs. On a essayé également de l'appliquer au cinématographe. Il repose essentiellement sur le fait que toutes les couleurs y compris le blanc lui-même, peuvent être sensiblement obtenues

en mélangeant, en proportions convenables, trois couleurs appelées « fondamentales », par exemple, le violet, le vert et le rouge-orangé. Aussi cette méthode est-elle souvent dite « trichrome ».

On choisit une matière pulvérulente très fine, de la féculle de pomme de terre, par exemple, et on en prend trois parties égales qui sont respectivement colorées en violet, vert et rouge-orangé. Le tout est ensuite mélangé aussi intimement que possible de telle sorte que, même sous un très petit volume, les trois couleurs se trouvent représentées. Le mélange est alors étendu bien uniformément sur une plaque de verre et recouvert de l'émulsion au bromure d'argent. Toutes ces opérations devront être faites avec le plus grand soin et, si le mélange est parfait, on peut admettre que chaque grain vert, par exemple, va se trouver entre un grain violet et un grain rouge.

Représentons schématiquement (fig. 74) la région occupée par les trois grains. Nous allons placer une telle plaque dans un appareil photographique, mais contrairement à l'habitude, le côté verre dirigé vers l'objectif. Si un faisceau lumineux représenté sur la figure par les flèches arrive sur la région qui nous intéresse, la lumière verte va traverser sans difficulté le grain vert mais sera arrêtée par le grain violet et le grain rouge. Seule la région II placée derrière le grain vert sera donc impressionnée et le bromure d'argent ne sera pas altéré dans les régions I et III. Au développement, la région II impressionnée seule lors de l'exposition va donner un précipité noir d'argent réduit. On transforme alors la plaque jusqu'ici négative en cliché positif en l'**inversant**. Pour cela, on dissout l'argent réduit dans un bain oxydant généralement composé d'une dissolution de permanganate de potassium acidulé avec de l'acide sulfurique. La région II redevient donc transparente alors que les régions I et III, n'ayant subi encore aucune modification, comprennent toujours de la gélatine contenant du bromure d'argent intact. La plaque est alors replongée dans un second bain de développement en même temps qu'on l'expose à une vive lumière. Les régions I et III vont donc avoir un dépôt noir d'argent réduit à leur tour et seront ainsi complètement opaques. On obtient en définitive le résultat de la figure 74 où les deux parties hachurées sont rendues opaques par l'argent réduit et la partie médiane II reste transparente. Si le rayon vert, lors de l'exposition, a couvert toute la plaque, ce que nous venons de décrire s'appliquera à tous les grains verts et, si nous regardons la plaque par transparence à la lumière blanche, elle apparaîtra entièrement verte, attendu que le pointillé dû aux grains de féculle est microscopique et donne à l'œil une impression uniforme. Le même raisonnement s'applique aux grains violets et rouges. Pour le cas d'une couleur intermédiaire, les différents grains seraient plus ou

moins traversés, suivant des proportions correspondantes de telle sorte que le résultat final reproduirait encore cette couleur. Un rayon bleu traverserait partiellement les grains violets et partiellement les grains verts.

Il faut en outre tenir compte de certains facteurs secondaires, tels que la sensibilité différente du bromure d'argent aux diverses couleurs. Comme il est beaucoup plus sensible au violet qu'au rouge, il fausserait complètement les teintes en déséquilibrant leurs valeurs dans l'image reproduite. Il faut donc à la prise de vue affaiblir les rayons bleu-violets, soit les radiations à courte longueur d'onde, en munissant l'objectif d'un filtre de couleur jaunâtre qui joue ainsi le rôle de compensateur. Ces plaques donnent une reproduction excellente mais leur prix est assez élevé et, par suite de l'affaiblissement de la lumière, par le filtre jaune d'abord et par les grains de féculle ensuite, elles exigent une exposition assez longue qui exclut l'instantané.

On a cherché à appliquer cette méthode intéressante au cinématographe mais l'énorme grossissement subi par l'image à la projection fait apparaître les grains de féculle sur l'écran et l'image se trouve pointillée. On a donc cherché une autre solution. Tout d'abord, on peut colorier artificiellement le film avec un pochoir mais c'est un travail énorme et coûteux. Il faut en effet un pochoir spécial pour chaque couleur et en outre on n'obtient sur le film que des couleurs uniformes sans nuances.

On a donc recherché à réaliser l'impression directe des couleurs. De nombreux brevets couvrent divers procédés qui se ressemblent beaucoup et ont donné naissance à de nombreuses contestations. Tous ces procédés se ramènent du reste à celui que nous allons décrire, notre exposé, sans décrire particulièrement aucun d'eux, indiquant seulement les caractéristiques à peu près communes à tous.

On reproduit les teintes en partant de deux couleurs fondamentales, au lieu de trois comme dans le procédé Lumière ; ces deux couleurs sont complémentaires, c'est-à-dire que leur superposition donnerait la lumière blanche. Pour mettre en œuvre ce procédé, nous allons impressionner deux films à travers un même objectif pourvu à cet effet d'un dispositif convenable. L'impression du premier film se fera à travers un filtre rouge et celle du second à travers un filtre vert. Pour simplifier les explications, appelons **A** le film impressionné derrière le filtre rouge et **B** le film impressionné derrière le filtre vert. Supposons que l'on ait à photographier une fleur rouge sur un buisson vert. Les rayons émis par la fleur traverseront sans difficulté le filtre rouge et viendront impressionner le film **A**, mais ils seront arrêtés par le filtre vert et par conséquent ne produiront aucun effet

sur le film **B**. Ce sera le contraire pour le buisson qui impressionnera le film **B** et sera sans action sur le film **A**. Une fois développé et fixé, chaque film portera une partie de notre image. Sur le film **A**, les parties rouges de la fleur apparaîtront en noir et tout le reste sera transparent. Sur le film **B**, le buisson vert aura produit un effet identique. Nous allons maintenant tirer une copie positive **A'** avec le film **A**. Cette copie étant développée et fixée, les images seront noires sauf à l'endroit de la fleur rouge qui restera transparent. Elle sera alors virée avec un bain chromogène de manière que l'argent réduit soit remplacé par un précipité vert. Les images seront ainsi entièrement vertes sauf le dessin de la fleur qui reste transparent.

Tirons de même une copie **B'** avec le film négatif **B**. Le buisson apparaîtra ici transparent sur fond noir. Cette copie est virée à son tour dans un autre bain chromogène donnant un précipité rouge. Le buisson apparaîtra alors transparent sur fond rouge. On peut remarquer que les positifs **A'** et **B'** sont virés avec les couleurs **complémentaires** de celles des filtres avec lesquels les négatifs **A** et **B** avaient été respectivement impressionnés. Les deux positifs **A'** et **B'** vont alors être collés l'un contre l'autre, aussi exactement que possible et cet ensemble, regardé en transparence reproduit à la fois les contours et les couleurs.

En effet si nous examinons notre fleur, sur le film **A'** sa surface rouge est transparente et elle se trouve après collage superposée à la partie du film **B'** qui est précisément teintée en rouge. Par transparence à travers les deux positifs à la fois, l'effet rouge est donc obtenu. Le même raisonnement s'applique au buisson vert. Partout où les deux couleurs rouge et verte se trouvent superposées et douées d'une égale intensité, l'ensemble apparaît noir par transparence puisqu'il absorbe toutes les radiations visibles de la lampe de projection. On obtient donc les couleurs en définitive.

Bien entendu, comme dans le procédé Lumière, il faut prendre aussi en considération certains détails que nous avons volontairement négligés. On devra tenir compte aussi de la grande inégalité de sensibilité du bromure d'argent aux diverses radiations. Les filtres placés devant les objectifs des deux caméras devront être soigneusement étudiés si l'on ne veut pas obtenir des couleurs complètement faussées.

Si l'on examine d'un point de vue général la méthode des plaques autochromes et la méthode des films en couleurs, on voit qu'elles ont un défaut commun. Elles utilisent en effet le bromure d'argent réduit, matière noire, pour reproduire des teintes. Il en résulte en général des images trop foncées et ce défaut est encore bien plus accusé pour les films que pour les plaques autochromes. Ces der-

nières, du reste, travaillent avec trois couleurs fondamentales et permettent une reproduction beaucoup plus exacte, surtout dans les teintes claires. Il est très regrettable qu'on ne puisse appliquer ce principe au cinématographe.

Dans la méthode des deux films que nous avons décrite, deux couches de couleurs se trouvent superposées. Les images obtenues sont d'abord beaucoup trop sombres et les tonalités sont faussées par exagération. Ce défaut apparaît moins dans les vues prises dans les studios où l'on peut régler les éclairages, quant à la couleur et l'intensité, ainsi que les teintes des costumes et des décors. Le grand film « Le Roi du Jazz » édité il y a quelque temps par la Société Universal était un cas typique de ce genre. Il fut à juste titre considéré comme un chef-d'œuvre au point de vue des effets lumineux. Cependant les vues prises à la lumière du jour sont toujours défectueuses.

Le film en couleurs est donc encore loin de sa réalisation définitive et il faudrait probablement partir d'un autre principe, par exemple, utiliser un autre produit sensible que le bromure d'argent. L'idéal serait évidemment de trouver un composé qui enregistrerait directement les couleurs. Cependant, il semble bien que les brevets pris jusqu'ici aient épousé tout le parti que l'on peut tirer des méthodes de coloration et de superposition des couleurs.

LA TELEVISION

Nous ne ferons que mentionner la télévision car c'est un sujet considérable. Il ne saurait être traité en quelques lignes, même superficiellement. Le problème de la transmission des images à distance a été étudié en plusieurs étapes successives. D'abord on a cherché à transmettre les images fixes. Il faut entendre par là une transmission pour laquelle on dispose d'un temps aussi long qu'on le désire et où, par conséquent, l'image est reçue imprimée sur un papier. Ensuite a été attaquée la question des images dites « mobiles ». Ici le poste récepteur est muni d'un écran. Un ou plusieurs rayons lumineux convenablement modulés, balayent rapidement la surface de cet écran. Grâce à la persistance des impressions lumineuses sur la rétine, l'œil a la sensation de continuité. Si on peut de cette manière transmettre plusieurs images successives dans un espace de temps assez court et si ces images représentent les phases successives d'un mouvement, on réalise le cinéma à distance ou « télécinéma ».

La transmission d'images fixes est déjà assez ancienne et peut être considérée à peu près comme résolue (Appareil Belin). On a même pu établir des lignes fonctionnant régulièrement comme le télégraphe ordinaire et mises à la disposition du public. Avec ce pro-

cédé, un télégramme écrit sur une feuille de papier est exactement reproduit à l'autre bout de la ligne. De cette manière, le destinataire reçoit une image fidèle du document qui lui a été expédié et aucune erreur n'est possible.

Le principe général repose sur l'« exploration » au moyen d'un très mince rayon lumineux de l'image à reproduire supposée placée sur un support transparent (papier mince ou celluloïd). La surface de la tache produite par ce rayon lumineux sur l'image est appelé « surface d'exploration ». Après avoir traversé l'image, ce rayon lumineux qui d'ailleurs est haché rapidement par une roue dentée, impressionne une cellule photoélectrique. On conçoit alors que la quantité de lumière frappant la cellule et par conséquent le courant anodique obtenu soient influencés suivant que le rayon tombe sur une partie noire ou une partie transparente de l'image. Ce sont ces variations de courant convenablement amplifiées et transmises qui permettent la reproduction au poste correspondant. On peut également utiliser la lumière diffusée par le papier et concentrée ensuite par un système optique convenable. On peut ainsi se passer du support transparent.

La télétransmission implique nécessairement l'existence de deux mouvements synchrones aux extrémités de la ligne. Ce résultat est obtenu, soit par branchement de deux moteurs synchrones sur un réseau de distribution commun, soit par transmission d'un courant synchronisant auxiliaire. Une reproduction d'image peut être obtenue d'une manière identique par radiotélégraphie.

Actuellement on donne plus spécialement le nom de télévision à la transmission d'images mobiles sur un écran. Ce sont, en réalité, des images fixes mais se succédant assez rapidement pour pouvoir donner l'illusion d'un mouvement, comme dans une projection cinématographique ordinaire. L'idée générale est la suivante : On a encore au poste émetteur un rayon lumineux modulé par les parties noires et transparentes de l'image. Ces variations lumineuses transformées en variation de courant sont transmises au poste récepteur. Là on utilise les variations de courant pour moduler un rayon lumineux qui balaye un écran. Supposons que le rayon lumineux du poste émetteur explore une image d'un film cinématographique. Au moment où ce rayon rencontre une partie opaque, le rayon projetant au poste récepteur, se trouve modulé par un dispositif approprié. Si les mouvements des deux rayons peuvent être parfaitement synchronisés on obtient la reproduction de l'image sur l'écran. On peut par exemple employer pour cette transmission un disque portant une série de trous en spirale (disque de Nipkow). Si on suppose en outre que le balayage de toute la surface peut être fait assez rapidement pour

que l'on puisse transmettre plusieurs images successives en une seconde à la cadence de 24 images, on réalise le cinématographe à distance. De telles installations peuvent être réalisées soit avec transmission par fils, soit avec transmission radiotélégraphique. Jusqu'à présent les meilleurs résultats ont été obtenus avec fils. Ces questions sont très étudiées actuellement surtout en Amérique. Le but pratique de la télévision serait d'établir des postes émetteurs de films cinématographiques sonores. Les abonnés pourraient ainsi assister aux représentations sans quitter leur domicile.

Que doit-on penser actuellement de la télévision et de son avenir ? Au point de vue purement scientifique les résultats déjà acquis sont assez satisfaisants. La télévision est d'ailleurs fondée sur des bases solides, seules les questions de construction peuvent encore faire obstacle. Donc seul un travail de mise au point et de perfectionnement est encore à faire (1).

Au point de vue commercial, on peut aboutir à d'autres conclusions. Les appareils établis jusqu'ici ont toujours été compliqués et coûteux, or il ne faut pas oublier que dans la pratique le côté financier prime absolument le côté scientifique. De plus les appareils actuels ne peuvent guère être manipulés que par des spécialistes. Leur débouché serait ainsi des plus restreints. C'est une nouvelle difficulté à vaincre.

De tout ce que nous avons dit ci-dessus, il résulte que le cinéma stéréoscopique, en couleurs et la télévision sont les trois questions à l'ordre du jour. Il semble que la dernière ait plus de chance de succès que les deux autres. Il est à souhaiter cependant que toutes les recherches faites actuellement puissent aboutir à d'heureux résultats.

(1) Lire l'ouvrage très complet « *Théorie et Pratique de la Télévision* », par E. AISBERG et R. ASCHEN (E. Chiron, éditeur).

APPENDICE

Instructions générales sur l'utilisation et l'entretien des appareils sonores

Dans les quelques lignes qui vont suivre, nous exposerons quelques idées concernant l'emploi pratique des installations sonores dans les salles de projection. Le montage et la disposition des appareils variant passablement d'un constructeur à l'autre, nous ne pouvons faire entrer en ligne de compte que des généralités. Nous pensons néanmoins qu'elles peuvent présenter quelque intérêt pour les directeurs et surtout pour les opérateurs.

La cabine de projection, dans un cinéma, doit être l'objet de soins tout particuliers. Un directeur prévoyant mettra tout en œuvre pour qu'elle soit aménagée le mieux possible, en personnel et en matériel. Il ne doit pas hésiter à faire les sacrifices nécessaires pour avoir un très bon opérateur, intelligent et consciencieux, et pour lui fournir ensuite tout ce qui lui est utile pour le bon entretien de ses appareils. Les dépenses ainsi consenties sont bien vite rattrapées, et au-delà. Il s'évite des ennuis de copies rayées ou salies qu'il faut ensuite rembourser aux Sociétés éditrices ; de plus, il voit augmenter ses recettes, si le public est satisfait du spectacle.

Nous passerons très rapidement sur la nécessité d'avoir une cabine assez spacieuse, bien éclairée, et pourvue d'eau courante pour que l'on puisse à chaque instant se laver les mains, lorsque l'on manipule les films.

L'installation sonore proprement dite incombe, bien entendu, à la Société qui vend ou loue les appareils. Il en est de même pour l'arrangement acoustique de la salle, s'il y a lieu.

De plus, plusieurs Sociétés ont institué un « service d'entretien ». Leurs ingénieurs passent alors périodiquement dans chaque salle, pour faire un contrôle général de l'installation ; de plus, ils sont à la disposition du directeur et peuvent être appelés à tout moment en cas d'urgence.

Un bon opérateur doit avant tout s'intéresser au travail qu'il a à faire. Il ne doit pas hésiter à poser toutes les questions qu'il juge utiles, tant aux ingénieurs d'installation qu'à ceux du service d'entretien. Pour se tenir au courant, il lira les revues ou livres qui sont à sa portée, de manière à élargir ses connaissances le plus possible. Toutefois, il évitera de se servir de l'installation sonore dont il a la garde comme champ d'expérience pour ses essais personnels. D'une manière générale, le « bricolage » donne de mauvais résultats.

Il est toujours préférable de suivre à la lettre les instructions données par les constructeurs. Cette remarque s'applique aussi bien au projecteur qu'à la machine sonore elle-même. Dans les maisons sérieuses, ces instructions ont été établies après des essais méthodiques effectués au laboratoire. Toute entorse qui leur est donnée ne peut donc, la plupart du temps, que nuire au bon fonctionnement de l'installation. De plus, les montages étrangers, faits sans le contrôle de la Société qui a livré les appareils, entraîne automatiquement de sa part le retrait de toute garantie de fonctionnement.

Ces préliminaires étant posés, nous allons passer rapidement en revue quelques conseils d'ordre très général.

Outilage : Une cabine de projection doit, bien entendu, être pourvue d'abord des quelques outils indispensables à toute personne qui doit s'occuper d'un mécanisme quelconque : pinces, étau, limes, perceuse à main, etc...

De plus, l'opérateur doit avoir sous la main les trois pièces suivantes :

Un fer à souder électrique, avec de la soudure en fil à la résine.
Un casque téléphonique.

Un voltmètre, ou, mieux encore, une petite boîte de contrôle comme en établissent plusieurs constructeurs d'appareils de mesure, et qui peuvent servir indifféremment de voltmètre, ampèremètre, et ohmmètre.

Manipulation des films et des disques : Nous pensons qu'il est inutile d'insister spécialement sur la nécessité d'observer la plus grande propreté dans les manipulations. La poussière et l'huile sont très nocifs pour les films et les disques. Nous signalerons seulement deux petits détails pratiques :

1) Lorsque l'on fait un collage pour assembler deux bouts de film, il ne faut pas se contenter d'enlever la gélatine de la surface à coller en mouillant légèrement et en grattant. Il est utile de limer ensuite le celluloïd, avec la lame d'un canif, sur les deux extrémités qui devront se superposer. On amincit les bouts du film de telle sorte que le collage, une fois terminé, ne présente presque aucune surépaisseur, et passe ensuite sans aucune difficulté sous les patins des fenêtres de projecteurs. De plus, la colle pénètre mieux dans la masse du celluloïd, et on gagne en solidité.

2) Lorsque le collage est terminé, il faut le recouvrir, sur la bande sonore, par un triangle allongé peint au vernis noir, pour éviter que son passage devant le rayon lumineux de la tête sonore ne provoque un bruit dans les hauts-parleurs. Certains appareils permettent, au lieu de peindre ce triangle, de découper sa surface dans la bande

sonore, avec un emporte-pièce. L'emploi de tels dispositifs est à déconseiller. Ce trou dans le film affaiblit en effet beaucoup sa solidité et, tôt ou tard, un collage ainsi traité provoque une déchirure en passant dans la fenêtre du projecteur.

Emploi et entretien de la partie « projection » : Pour ce qui concerne la lanterne et le projecteur, il n'y a, en général, qu'à se conformer aux indications des fabricants, pour le graissage des pièces mécaniques et l'emploi, dans la lampe à arc, de charbons de diamètre et de qualité appropriés.

Dans la lampe, l'état du miroir est très important. S'il est sale, et trop détérioré pour pouvoir être nettoyé, il ne faut pas hésiter à en acheter un autre.

Pour l'alimentation de l'arc, on peut employer, soit un groupe moteur-dynamo, soit un redresseur à valves gazeuses genre « Tungar ». Le courant qui alimente l'arc doit être en effet, sinon continu, au moins toujours de même sens. Cette condition est indispensable parce que la vraie source de lumière, dans un arc, est le cratère du charbon positif, qui, dans la lampe, est tourné face au miroir. L'utilisation des redresseurs à valves gazeuses est à recommander pour les petits projecteurs. Ils sont parfaitement silencieux et ne donnent lieu à aucun souci de graissage. Les groupes tournants sont cependant la source la plus généralement utilisée.

Il est indispensable que l'installation comporte un voltmètre indiquant la tension fournie par la dynamo, et, pour chaque lampe à arc, un ampèremètre indiquant l'intensité employée.

Pour ce qui concerne l'alimentation des arcs, une remarque importante est encore à faire. Pour « stabiliser » l'arc électrique, on est obligé de mettre, en série avec lui, une résistance qui absorbe une partie de la tension. Pour régler l'intensité dans un arc, on dispose donc de deux moyens : agir sur cette résistance de stabilisation, ou agir sur la tension fournie par la dynamo. Or, la chaleur dégagée par la résistance de stabilisation correspond à un inutile gaspillage d'énergie, et on a intérêt à la réduire autant que possible. On ne devra jamais, quelle que soit l'intensité employée, produire dans cette résistance une chute de tension supérieure à 15 ou 20 volts. Comme la tension, aux bornes de l'arc, demeure invariablement de 40 à 45 volts environ, on voit que la dynamo ne doit, en aucun cas, fournir une tension supérieure à 60 ou 65 volts.

Notons encore la nécessité, dans le projecteur, de bien régler la pression des patins presseurs de la fenêtre. De plus, partout où le film passe, il ne doit appuyer que sur ses bords, l'image elle-même ne devant jamais frotter sur aucune surface. On veillera particuliè-

rement à ce que, dans les étouffoirs, aucun grain de poussière ne vienne se loger et rayer la copie.

Pour diminuer le danger d'inflammation du film dans la fenêtre du projecteur, on peut : soit interposer sur le trajet de la lumière une cuvette d'eau, soit, par le moyen d'une pompe spéciale, souffler fortement de l'air sur le film dans la fenêtre. Le deuxième moyen est plus coûteux, mais il est bien préférable à tous points de vue. Il est beaucoup plus efficace, et n'affaiblit aucunement la lumière de la lampe.

Signalons encore, pour terminer, que la blancheur de l'écran est essentielle pour obtenir une bonne projection. Si le cinéma est équipé avec un écran d'étoffe ajourée spéciale, la direction de l'établissement doit toujours s'en procurer un autre de rechange. De cette manière, tout écran sale peut être remplacé par un propre, et envoyé à la blanchisserie. Si l'écran est en toile caoutchoutée, il suffit, pour le nettoyer, de frotter sa surface avec un linge ou une éponge imbibés d'un liquide spécial qui est toujours livré en même temps.

Emploi et entretien de la partie sonore proprement dite : Le premier souci de l'opérateur doit être, ici encore, de suivre les instructions données par le fournisseur de l'installation. Il doit particulièrement veiller au bon entretien du système optique de la tête sonore. Il doit s'assurer, avant chaque projection, du bon état de la lampe excitatrice. Sur certaines machines, ces lampes sont portées par une pièce pourvue de vis de réglage. On met alors, à la place du film, une carte blanche, et on vérifie si la tache lumineuse est bien claire. Sur d'autres machines, les lampes viennent toutes réglées de chez le fabricant. Si l'une d'elles donne un mauvais résultat, il n'y a qu'à la rejeter et en prendre un autre. Pour s'assurer que tout est normal, on met généralement le « Fader » au maximum sur la machine que l'on désire essayer. On ne doit alors entendre aucun craquement ou grattement. Tout au plus, sur les appareils utilisant des cellules photoélectriques à gaz, doit-on entendre un souffle bien régulier. Si on passe ensuite le doigt devant le rayon lumineux, dans un mouvement de va-et-vient, on doit entendre un série de claquements dans le haut-parleur témoin de la cabine.

La reproduction par disque, si l'installation en comporte une, n'exige aucun entretien spécial. La seule recommandation à faire est de ne pas serrer trop les vis fixant les aiguilles dans les pick-ups.

Si l'installation comprend une batterie d'accumulateurs, cette partie doit être l'objet de soins tout particuliers. Bien entretenue, une batterie est un excellent auxiliaire ; mal entretenue, elle est la source des pires ennuis.

Au cours d'une séance de projection sonore, l'opérateur doit

surveiller le son reproduit plus encore que l'image. Il ne perdra jamais de vue le principe, exposé dans cet ouvrage, que l'ouïe du spectateur est plus exigeante que sa vue. Si, en particulier, une partie d'un film donne une reproduction sonore franchement mauvaise, il vaut mieux la supprimer ou la jouer en muet. L'absence de son est, en général, encore préférable à une reproduction vraiment défectueuse.

Pour les mêmes raisons, une machine que l'on met en marche ne doit jamais fournir un son avant d'avoir atteint sa vitesse régulière correspondant au défilement de 24 images à la seconde. Si, pour une raison quelconque, le démarrage s'est trouvé retardé, il vaut mieux perdre quelques paroles ou quelques mesures de musique, plutôt que de soumettre les spectateurs à l'effet ridicule d'une reproduction sonore à vitesse variable.

On ne doit pas non plus faire rendre brusquement toute sa puissance à une machine. Lorsque l'on tourne la manette du « Fader », par exemple lors du passage d'une machine à l'autre, on doit agir lentement, en marquant de préférence un petit temps d'arrêt sur la position zéro.

Nous terminerons ce petit exposé par la recommandation suivante. Certains films, principalement les grands scénarios, débutent par une courte partie musicale, où il n'y a pas encore d'image projetée. Il faut alors toujours laisser un peu de lumière dans la salle, jusqu'à ce que l'image apparaisse sur l'écran. Le fait de se trouver dans une salle complètement sombre est très désagréable pour le public.

Nous allons maintenant passer en revue quels sont les pannes ou insuccès les plus fréquents sur les installations sonores. Comme nous l'avons déjà dit, les montages sont variables suivant les fabricants. Notre examen, nécessairement très succinct, se bornera donc à des généralités. Nous essaierons, tout au moins, d'y renfermer les principaux éléments de la question.

Pannes ou insuccès des installations sonores

Quelle que soit la qualité des matériaux employés à leur construction, les appareils sonores donnent lieu à des dérangements. C'est au moment où ils se produiront que le directeur de la salle se félicitera d'avoir fait le nécessaire pour se procurer un très bon opérateur. Une panne grave, si elle survient pendant une séance, peut obliger à rembourser les places aux spectateurs. En plus de la

perte pécuniaire immédiate, il en résulte un grave préjudice pour la renommée de l'établissement.

Les principales qualités d'un bon opérateur pour la recherche des dérangements, outre ses connaissances techniques, sont le sang-froid et la méthode. Il doit avoir toujours présente à l'esprit cette idée que 95 % des pannes, quelle que soit leur apparente gravité, sont réparables immédiatement, par des moyens de fortune. L'esprit méthodique est indispensable pour l'élimination des pannes, sauf pour quelques-unes dont les causes sont tellement évidentes qu'elles peuvent être déterminées sur-le-champ, sans aucune réflexion. Sauf ces cas exceptionnels, on ne doit rien faire sans suivre une idée. Une installation sonore représente une chaîne complète ; la tête sonore ou le pick-up d'une part, les hauts parleurs d'autre part, sont les deux extrémités. Il n'y a donc qu'à suivre. De plus, on profitera de toutes les circonstances pour restreindre le champ de ses recherches, et resserrer la panne dans un espace de plus en plus réduit. Supposons, par exemple, qu'il n'y ait pas de son dans la salle. S'il y en a dans la cabine, cela signifie que le haut parleur de la salle est claqué, ou qu'il y a une coupure sur la ligne qui l'alimente. S'il n'y a pas de son non plus dans la cabine, et si l'installation comporte 2 machines de reproduction, on les essaiera aussitôt l'une après l'autre. On détermine, de cette façon, si la panne se trouve sur l'amplificateur principal, commun au deux machines, ou sur l'une des machines elle-même, et ainsi de suite. En opérant logiquement, on gagne toujours beaucoup de temps, et on s'épargne un travail inutile.

Passons maintenant en revue les dérangements les plus ordinaires sur presque toutes les installations. Nous ne citerons que pour mémoire ceux qui n'intéressent que la partie mécanique, tels que la rupture d'un arbre ou d'une roue d'engrenage. Il n'y a alors aucune ambiguïté sur le remède à apporter.

Les ennuis dans la partie sonore proprement dite peuvent, dans l'ensemble, se ramener à 3 types principaux :

- (1) On n'a pas de son.
- (2) On obtient un son déformé et entaché de distorsions.
- (3) On obtient un son de bonne qualité, mais des bruits parasites se superposent à lui.

Il est très important de ne pas confondre (2) et (3), qui diffèrent totalement comme origine, et par conséquent aussi pour les mesures à prendre. Nous allons examiner successivement ces trois types de pannes.

(1) ON N'A PAS DE SON — En raison de sa netteté, un tel dérangement est, en général, relativement facile à localiser. On pratiquera

avantageusement la méthode de resserrement préconisée ci-dessus. Le point défectueux peut ainsi être situé dans une région, où les éléments seront alors examinés. Les causes peuvent être diverses : filament de lampe coupé, fil cassé, condensateur claqué faisant court-circuit, contact accidentel entre deux fils voisins, court-circuit dans une lampe, etc...

Si le défaut semble se trouver dans un étage d'amplificateur, ce qui est un cas assez fréquent, il faut toujours essayer d'abord de changer la lampe à trois électrodes qui y travaille. Si aucune amélioration n'en résulte, on vérifie ensuite si elle reçoit ses tensions normales de chauffage et de plaque. Pour ce qui concerne cette dernière, une remarque importante est d'ailleurs à faire. Dans les amplificateurs, les circuits de plaque ont toujours une résistance assez grande, même sans tenir compte de la résistance intérieure de la lampe elle-même. Si on mesure la tension de plaque en connectant un voltmètre entre le filament et la plaque de la lampe, l'appareil ainsi branché absorbe pour son propre compte un courant relativement important qui provoque une chute de tension. Cet effet est, bien entendu, encore plus marqué dans les premiers étages, où les tubes à trois électrodes sont de faible puissance. Si, par exemple, on sait que telle lampe travaille avec 100 volts de tension de plaque, il ne faudrait pas s'étonner de voir le voltmètre n'en marquer que 40. Cet instrument ne donne donc, dans ce cas particulier, que des indications qualitatives, et non quantitatives.

Dans tous les cas, le casque téléphonique rendra de grands services. On le branche successivement sur tous les étages d'amplification, pendant qu'une machine joue un film ou un disque. On arrive ainsi, de proche en proche, à trouver facilement le point où on n'a plus de son.

Signalons encore que, si l'on excepte les connexions coupées ou dessoudées, et les lampes brûlées, l'accident qui peut le plus fréquemment provoquer un manque total de son est le claquage d'un condensateur. La coupure d'un enroulement de transformateur est beaucoup plus rare.

(2) ON OBTIENT UN SON DÉFORMÉ ET ENTACHÉ DE DISTORSIONS — Ce paragraphe, ainsi d'ailleurs que le suivant, n'intéresse guère que la reproduction par le système « film ». La reproduction par disque est beaucoup moins délicate. Les causes des insuccès que nous allons examiner peuvent d'ailleurs avoir deux origines : elles peuvent exister dans la bande sonore de la copie elle-même, ou venir de l'installation. Cette discrimination est évidemment très facile à faire. Il suffit de jouer, dans les mêmes conditions, 2 films différents, et de voir si le même résultat est obtenu.

Quoi qu'il en soit, ces insuccès sont principalement les suivants :

(a) **La parole ou la musique détonne.** Il suffit, pour comprendre exactement la signification de ce terme, de s'amuser une fois à freiner avec le doigt un disque de phonographe pendant une audition.

Un pareil accident provient presque toujours d'une vitesse irrégulière de la machine sonore. Il n'arrive pour ainsi dire jamais avec les appareils entraînés par des moteurs synchrones. Il peut cependant, quoique très rarement, exister dans la copie, si la vitesse du moteur qui entraînait le mécanisme d'enregistrement a pu, accidentellement, varier à un certain momoent.

(b) **Il se produit un chevrottement.** Si le défaut n'existe pas dans la copie, il faut toujours en chercher l'origine dans la tête sonore. Cette origine peut d'ailleurs être mécanique ou lumineuse.

Dans le premier cas, le pignon denté (9) de la fig. 59 a une vitesse irrégulière qui oscille rapidement autour d'une valeur moyenne. Ce fait se constate sur les machines où l'axe portant ce pignon est entraîné par l'intermédiaire d'une chaîne. Cette dernière peut, dans le cas d'un graissage insuffisant, flotter et sauter en l'air. Il est également possible que, dans la fenêtre de la tête sonore, le film soit trop libre et flotte. La pression des patins est alors insuffisante.

Dans le second cas, le rayon lumineux arrivant sur la bande sonore est soumis à des pulsations. Cela peut provenir de causes diverses. Par exemple, le filament de la lampe excitatrice est mal attaché et vibre sous l'influence des secousses de la machine.

(c) **Le son grince ou siffle.** Le défaut se fait sentir tout particulièrement avec les fréquences élevées : prononciation des « s », ou notes aigues dans le chant, principalement avec les voix de femmes. Une actrice qui chante donne alors nettement l'impression d'avoir la gorge embarrassée.

Cet accident, contrairement au deux précédents, est très fréquemment imputable à une copie défectueuse. On le rencontre tout spécialement avec les enregistrement à densité variable et largeur constante. Les enregistrements sont bien, à vrai dire, presque toujours effectués correctement au studio, de sorte que la bande négative est généralement bonne. Mais la copie du positif joue ici un grand rôle. Nous avons signalé ce fait au cours du présent ouvrage. Les qualités de l'émulsion interviennent, et l'impression, comme le développement, doivent être dosés très exactement. Il faut malheureusement convenir que, dans la pratique, il n'en est pas toujours ainsi. Aussi les films enregistrés par le procédé à densité variable peuvent-ils donner parfois une très mauvaise reproduction, s'ils ont été tirés

et développés sans soin. Un bon opérateur doit d'ailleurs pouvoir juger, par simple observation, qu'une bande sonore à densité variable est mauvaise. Pour être bonne, elle doit présenter des hachures bien franches, montrant entre elles un contraste net, comme le dessin d'une bonne photographie ordinaire. Le fond de la bande sonore ne doit pas être transparent, mais gris (et même gris très opaque dans le cas des enregistrements sans bruit de fond). Si les régions silencieuses sont transparentes, et si les hachures semblent fondues en donnant une impression de flou, on peut affirmer d'avance que la copie donnera un son très mauvais. Le directeur du cinéma doit alors la renvoyer sans hésiter à la Société éditrice, et en exiger une autre.

Si on est certain que le film est bon, il faut chercher dans la tête sonore. La plupart du temps, c'est son système optique qui n'est plus au point. La raie lumineuse arrivant sur la bande sonore est alors trop large ou même floue ; la reproduction en est gravement endommagée. Pour régler le système optique, on passe généralement sur la machine un film à fréquence constante assez élevée, de l'ordre de 6.000 périodes à la secondes. On agit ensuite sur les lentilles jusqu'à ce que le son rendu dans le haut-parleur témoin de la cabine présente une intensité maximum. La théorie montre facilement qu'à ce moment la raie lumineuse est parfaitement mince et nette, et, de plus, qu'elle est exactement perpendiculaire à la longueur de la bande sonore.

(d) **Le son est faible**, ou donne une impression de pauvreté. Pour discerner ce défaut, il faut avoir déjà une certaine habitude. Si le système optique de la tête sonore est bien réglé, et si la lampe excitatrice a bien toute son intensité, il se produit sans doute une déformation dans un étage d'amplification. En général, on cherchera une des causes suivantes : cellule photoélectrique épuisée ; lampe à trois électrodes épuisée, ou alimentée par des tensions trop faibles ; courant continu d'excitation des hauts-parleurs trop faible ; court-circuit partiel, par exemple dans un enroulement de transformateur. Remarquons d'ailleurs que certaines de ces circonstances peuvent se présenter dans les derniers étages d'amplification ; elles peuvent donc intéresser aussi la reproduction par disques.

(3) **ON OBTIENT UN SON DE BONNE QUALITÉ, MAIS DES BRUITS PARASITES SE SUPERPOSENT A LUI.** — Ces bruits sont, la plupart du temps, des grattements ou crachements. Plus rarement, ils peuvent être des ronflements ou sons musicaux continus.

(a) **Les grattements ou crachements** peuvent se trouver dans la bande sonore. On s'en rend compte facilement s'ils existent seulement dans un film en particulier, et si les hauts-parleurs restent bien

silencieux sans lui. Si l'accident provient indubitablement de l'appareillage lui-même, il provient presque toujours de malpropretés accumulées, soit dans le logement de la cellule photoélectrique, soit sur les premiers étage d'amplification. A ces emplacements, en effet, les courants sonores sont encore si faibles que le moindre courant de fuite par défaut d'isolement prend une importance relative très grande. Aussi, la poussière, l'humidité, de la buée déposée sur le verre de la cellule, etc..., suffisent-elles pour gêner le bon fonctionnement de l'installation. Cependant l'origine du défaut peut être dans un circuit électrique. Par exemple, une connexion peut se trouver cassée ou dessoudée, et ne plus faire contact que par intermittences. Pour localiser un dérangement de ce genre, le mieux est d'allumer tous les amplificateurs, de tourner le Fader au maximum sur une machine, et de frapper ensuite assez fort sur toutes les parties de l'installation. Une secousse subie par le circuit défectueux produit alors un bruit violent.

(b) **Les ronflements, sons musicaux continus**, ou claquements ininterrompus proviennent principalement des causes suivantes :

Ils peuvent exister dans la copie ; il n'y a alors aucun remède.

La bande sonore peut être déviée de son chemin ; le rayon lumineux qui la frappe déborde alors d'un côté. Si c'est du côté des séparations des images, il en résulte, bien entendu, une série de claquements réguliers, à la fréquence de 24 à la seconde. Si c'est du côté des perforations, comme il y a 4 perforations par image, on entend un ronflement à la fréquence de 96 périodes à la seconde.

Enfin un appareil branché sur un réseau alternatif (lampe, fer à souder, etc...) peut se trouver trop près d'un étage d'amplification. Les câbles qui amènent le courant aux arcs sont capables de produire un effet du même genre. Le courant fourni par la dynamo n'est, en effet, jamais parfaitement continu, mais soumis à de petites ondulations.

En résumé, on voit que la bonne marche générale d'une installation sonore dépend principalement d'un travail soigneux et d'un entretien méticuleux. Une cabine de cinéma équipée en sonore donne plus de souci et exige plus d'attention qu'une cabine de cinéma muet. Par contre, l'opérateur qui en a la responsabilité y trouve une occupation beaucoup plus intéressante. Il a davantage l'occasion d'y faire valoir ses qualités et d'y élargir ses connaissances.

Il n'est d'ailleurs pas douteux que les applications du cinéma sonore aillent toujours en grandissant. Il est donc indispensable que tous les techniciens ou ouvriers employés dans cette branche s'y attachent en suivant attentivement l'évolution et les perfectionnements.

BIBLIOGRAPHIE

CHAPITRE I

Motion pictures with sound, par J. R. CAMERON ; (Cameron publishing Company. Manhattan Beach, N. Y., U. S. A.).

CHAPITRE II

Le nouvel Art cinématographique (45, rue du Château, Brest) ; Octobre 1929. La vérité sur l'invention du spectacle théâtral Cinématographique.

Filmtechnik, 3 August 1929. Der Tonfilm.

Transactions of the Society of Motion Picture Engineers. Vol. 12, n° 35, pp. 597-602 ; Historique des débuts du film sonore (par Terry RAMSAYE).

Die Kinotechnik, Heft 12, 20 Juni 1931 ; Zur Tonfilm-Patentlage (par Dr. K. TENCKE) ; Heft 5, März 1930, Zur Patentlage beim Tonfilm (par Dr. K. TENCKE).

CHAPITRE III

Matières et atomes, par A. BERTHOUD (Librairie Doin, 8, pl. de l'Odéon, Paris).

Elektronen-Röhren, par H. BARKHAUSER (Librairie S. Hirzel, 2, Königstraße, Leipzig, Allemagne).

L'atome de Bohr, par L. BRILLOUIN (Les Presses universitaires de France).
La lampe à trois électrodes, par C. GUTTON (Les Presses universitaires de France).

Introduction à l'étude de la mécanique ondulatoire, par Louis de BROGLIE (Librairie Scientifique Hermann et Cie).

Les cellules photoélectirques et leurs applications, par V. K. ZWORYKIN et E. D. WILSON (Dunod).

Motion picture with sound, par J. R. CAMERON (Cameron Publishing Company. Manhattan Beach N. Y., U. S. A.).

Sur l'interprétation des ondes de la mécanique ondulatoire, par F. PRUNIER (R. G. E., 14 mai 1932).

CHAPITRE IV

Journal of the Society of motion picture Engineers : Vol. XV, p. 180. Caractéristiques photographiques du film sonore.

Vol. XIV, n° 1. Quelques aspects pratiques et recommandations concernant les standards du film en grande largeur. Nécessité d'un film plus large, par A. S. HOWELL et J. A. DUBRAY).

p. 53, Juillet 1930. Contrôle du volume par étranglement (par Wesley C. MILLER).

- p. 428, Octobre 1930. Galvanomètres pour enregistrement à surface variable (par G. L. DIMMICK).
 p. 315, Mars 1931. Nouvel équipement d'enregistrement R. C. A. photophone pour studio (par W. P. DUTTON et S. READ).
 p. 41, Juillet 1930, N° 1. Support du micro (par Elmer C. RICHARDSON).
 p. 281, Septembre 1930. L'effet de Becquerel et son adaptation aux films parlants (par Rudolph MIEHLING).
 p. 345, Septembre 1930. Mesure de la densité dans les films sonores à densité variable (par Clifton TUTTLE et J. Mc. FARLANE).

Transactions of the Society of motion picture engineers :

- p. 748, N° 35. Méthode d'enregistrement sonore au moyen de la cellule de Kerr (par V. ZWORYKIN, L. B. LYNN et C. R. HANNA).
 Vol. II, N° 30, Août 1927. Quelques aspects techniques du Vitaphone (par P. M. RAINY).
 p. 150, Vol. XIII. Tireuse pour le tirage simultané des négatifs de l'image et du son (par Oscar de PUE).
 p. 173, N° 37. L'art du réglage (par C. A. TUTHILL).
 p. 633, Vol. XII, N° 35. La qualité du son en paroles et en musique (par John C. STEINBERG).
 p. 3, Vol. XVI, N° 1. Microphones à condensateur et au charbon (par W. C. JONES).
 p. 657, Vol. XII, N° 35. Principes généraux de l'enregistrement sonore (par E. C. WENTE).
 p. 133, N° 37. Camera cinématographique pour films sonores (par A. S. HOWELL et J. A. DEBRAY).
 p. 86, N° 33, Vol. XIII. Un système de film cinématographique avec sons (par H. B. MARVIN).
 p. 312, N° 38, Vol. XIII. La camera d'enregistrement Mitchell (par C. R. HANNA).

The american cinematographer, Vol. 9, N° 9, Décembre 1928. Le traitement des films sonores (par J. W. COFFMAN).

Recording sound for motion pictures (édité par Lester COWAN).

Die Kinotechnik. Heft 11. Zur Physik und Technik des Grammophons (5 Juillet 1930).

CHAPITRE V

Transactions of the Society of motion picture Engineers :

- p. 625, N° 35, Vol. XII. La situation du film parlant à Hollywood.
 p. 739, N° 6, Vol. XV. Les relations internationales dans le domaine du film parlant.
 p. 158, N° 37, Vol. XIII. Installation type de studio pour l'enregistrement du son (par H. C. HUMPHREY).
 p. 809, N° 35, Vol. XII. L'acoustique des salles pour l'enregistrement des sons (par Paul E. SABINE).
 p. 614, N° 35, Vol. XII. Le public et le film parlant.
 p. 603, N° 35, Vol. XII. La réaction du public devant le film parlant.
 p. 633, N° 35, Vol. XII. La qualité du son en parole et en musique.
 p. 268, N° 38. Orchestration, synchronisation, réenregistrement des images sonores (par K. F. MORGAN).

- Journal of the Society of motion picture Engineers :*
- p. 23, N° 1, Vol. XVI. Concentrateurs de sons pour la prise de vues sonores (par Carl DREHER).
 - p. 460, N° 4, Octobre 1930. Un type de distortion acoustique dans les sets (par R. L. HANSON).
 - p. 352, Septembre 1930. Insonorisation et traitement acoustique des scènes (par A. S. RINGEL).
 - p. 96, N° 1. Nouveaux aspects de la réverbération.
 - p. 85, N° 37. Contrôle acoustique de l'enregistrement pour les films parlants (par J. P. MAXFIELD).
 - p. 473, Octobre 1930. Aspects de la production d'un film sonore pour conférence technique (par Franklin L. HUNT).
- Le film parlant* (par le Commandant BONNEAU). Annales des P. T. T., Décembre 1930 et Janvier 1931.
- Die Kinotechnik*, 5 August 1930, 5 Februar 1931, Tonaufnahmegerät für Expeditionen.

CHAPITRE VI

- Journal of the Society of motion picture Engineers :*
- p. 603, Novembre 1930. Un nouveau système d'amplificateurs de puissance.
- Transactions of the Society of the motion picture Engineers :*
- p. 790, N° 35, Vol. XII. Etude du bruit de fond dans la reproduction du son par les méthodes cinématographiques (par Otto SANDVIK).
 - p. 458, N° 31, Vol. XI. Quelques aspects techniques du Movietone. (par Earl I. SPONABLE).
- Filmtechnik*, Heft 16, 3 August 1929. Der Tonfilm.

CHAPITRE VII

- Revue d'Optique*, Janvier et Février 1931. L'éclairage des films sonores.
- Journal of the Society of motion picture Engineers :*
- p. 495, Octobre 1930. Dispositif pour synchroniser des projecteurs en 16 mm. avec disques.
 - p. 108, N° 1. Fenêtres du projecteur et de la camera pour les films « son sur film » (par Leister COWAN).
- Transactions of the Society of motion picture Engineers :*
- p. 790, N° 35, Vol. XII. Etude du bruit de fond dans la reproduction du son par les méthodes photographiques (par Otto SANDVIK).
- Die Kinotechnik*, Heft 19, 5 Oktober 1930. Zur Mathematik des Tonarms (par le Dr Paul HATSCHER).
- Photographische Probleme des Tonfilms (par le Dr LICHTE).

CHAPITRE VIII

- Motion pictures with sound*, par J. R. CAMERON (Cameron publishing Company Beach N. Y., U. S. A.).

CHAPITRE IX

- Transactions of the Society of motion picture Engineers*, N° 35, Vol. XII. L'acoustique des salles d'audition.

Journal of the Society of motion picture Engineers :

- p. 415, Octobre 1930. Facteurs régissant la capacité de puissance de l'équipement reproducteur dans les théâtres.
- p. 550, Octobre 1930. Rapport de la commission de projection et de reproduction sonore.
- p. 320, Septembre 1930. Considérations sur le plan et les essais des écrans cinématographiques pour films sonores (par H. F. HOPKINS).

Filmtechnik, Heft 16, 3 August 1929. Der Tonfilm.

CHAPITRE X

Transactions of the Society of motion picture Engineers, Brevets concernant la photo couleur (par KELLEY).

Filmtechnik, Heft 16, August. 1929. Der Technicolor Farbenfilm auf dem Marsch.

La participation des savants russes au développement de la télévision électrique (par B. ROSING). R. G. E., 16 Avril 1932.

La transmission des images (par E. AISBERG), 1 vol. aux éditions Chiron. 1930.

Théorie et Pratique de la Télévision (par E. AISBERG et R. ASCHEN), 1 vol. aux éditions Chiron. 1933.

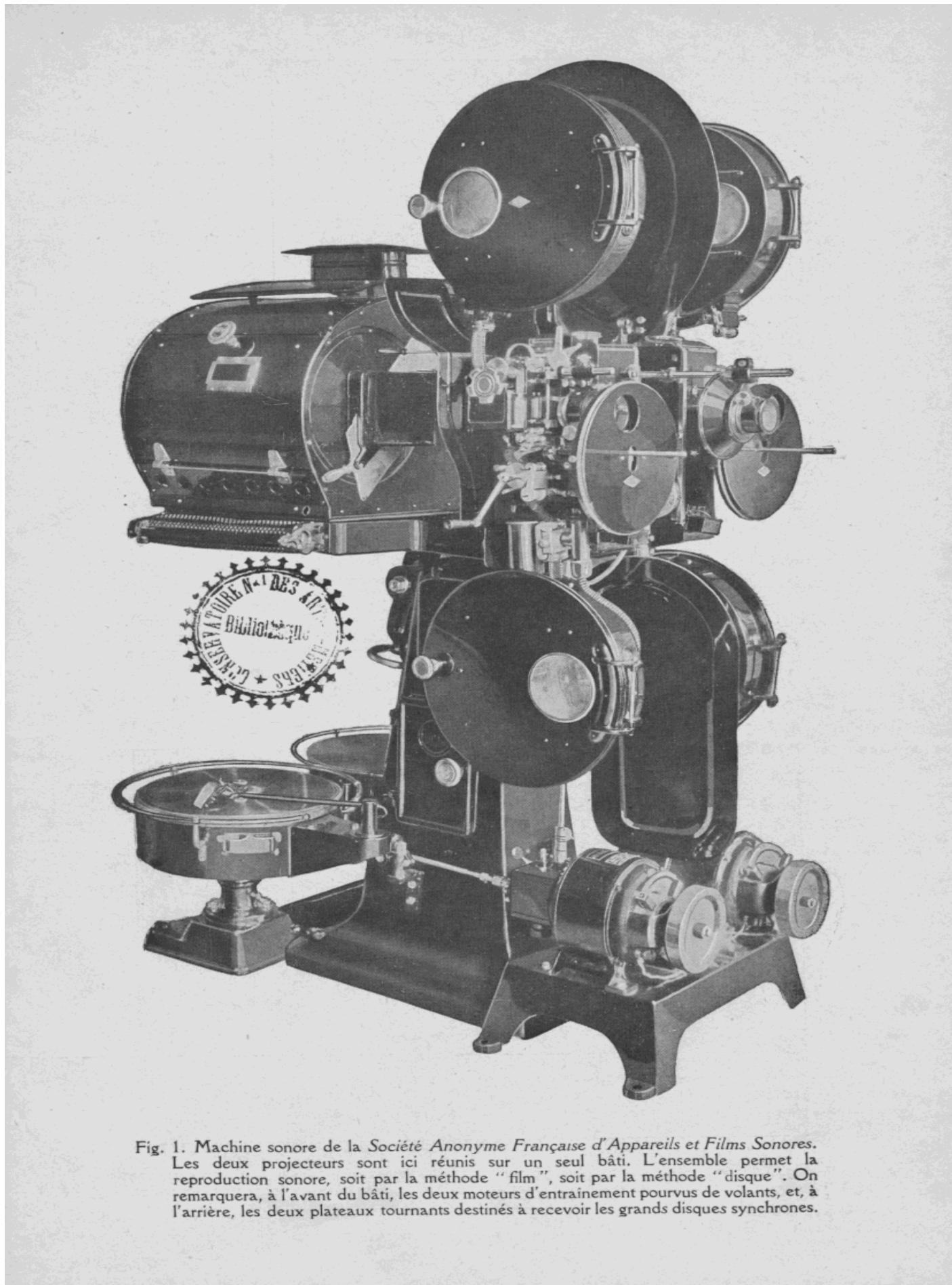


Fig. 1. Machine sonore de la Société Anonyme Française d'Appareils et Films Sonores. Les deux projecteurs sont ici réunis sur un seul bâti. L'ensemble permet la reproduction sonore, soit par la méthode "film", soit par la méthode "disque". On remarquera, à l'avant du bâti, les deux moteurs d'entraînement pourvus de volants, et, à l'arrière, les deux plateaux tournants destinés à recevoir les grands disques synchrones.

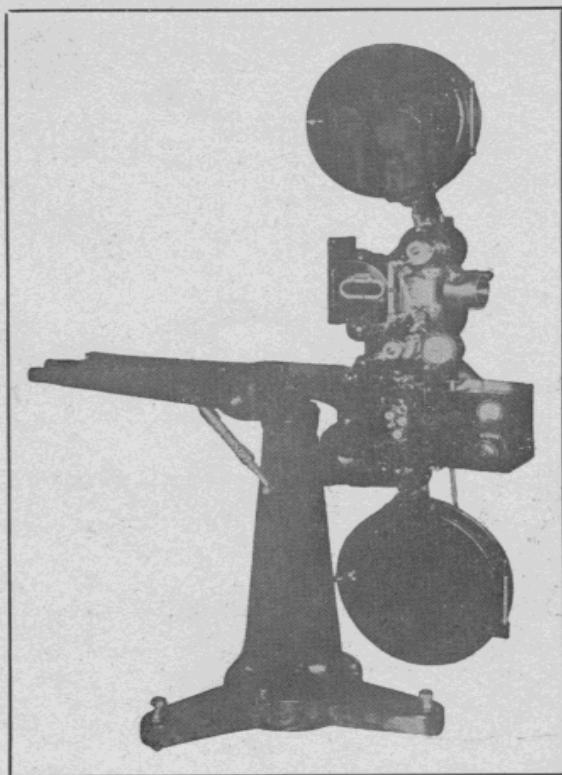


Fig. 2. Vue d'une machine sonore R. C. A. Photophone (Radio Corporation of America). On remarquera, sous le projecteur, l'ensemble de la "tête sonore". Les galets d'entraînement du film sont visibles par la porte vitrée. La lanterne de projection a été enlevée.

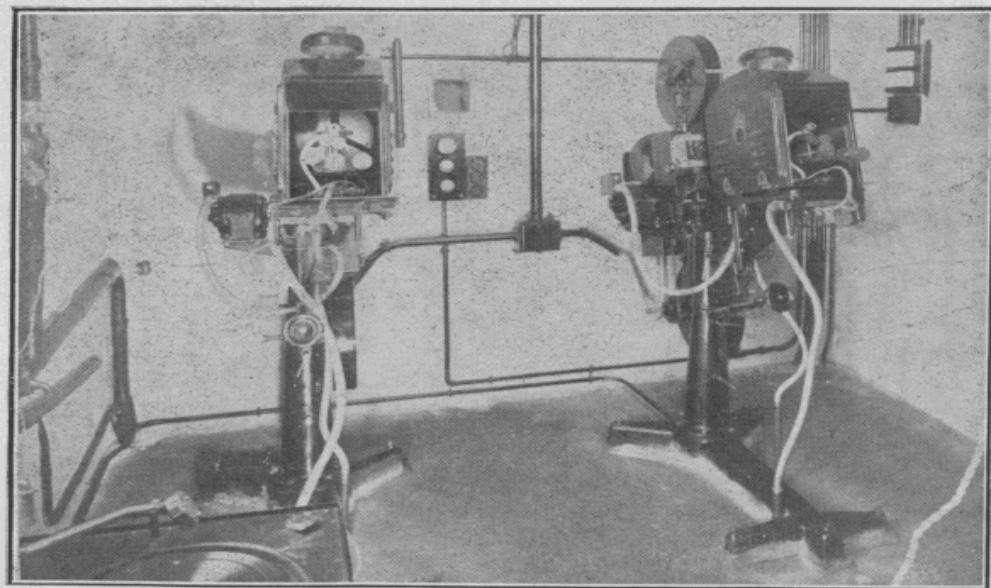


Fig. 3. Vue d'une cabine équipée avec machines sonores R. C. A. Remarquer à gauche des machines leurs moteurs d'entraînement. Les canalisations de courant sonore sont, comme on le voit, soigneusement enfermées dans des tubes d'acier.

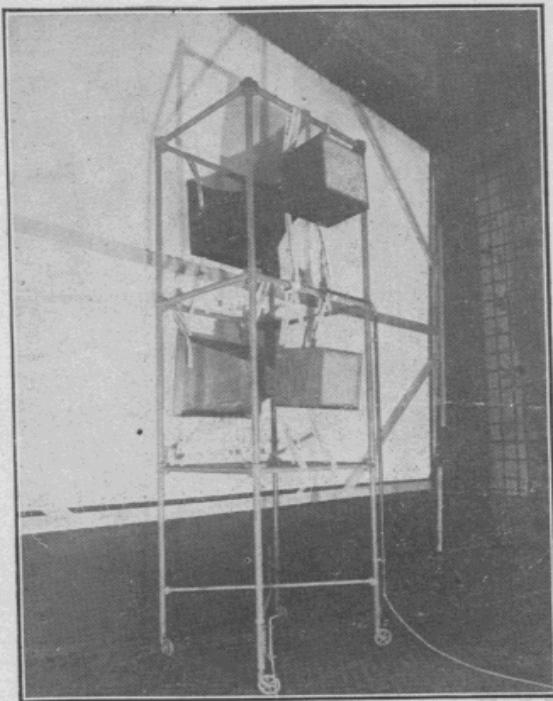


Fig. 4. Jeu de haut-parleurs d'une installation R. C. A. Ces haut-parleurs, placés derrière l'écran, sont montés dans une tour pourvue de roulettes. On peut ainsi débarrasser facilement la scène, si c'est nécessaire.

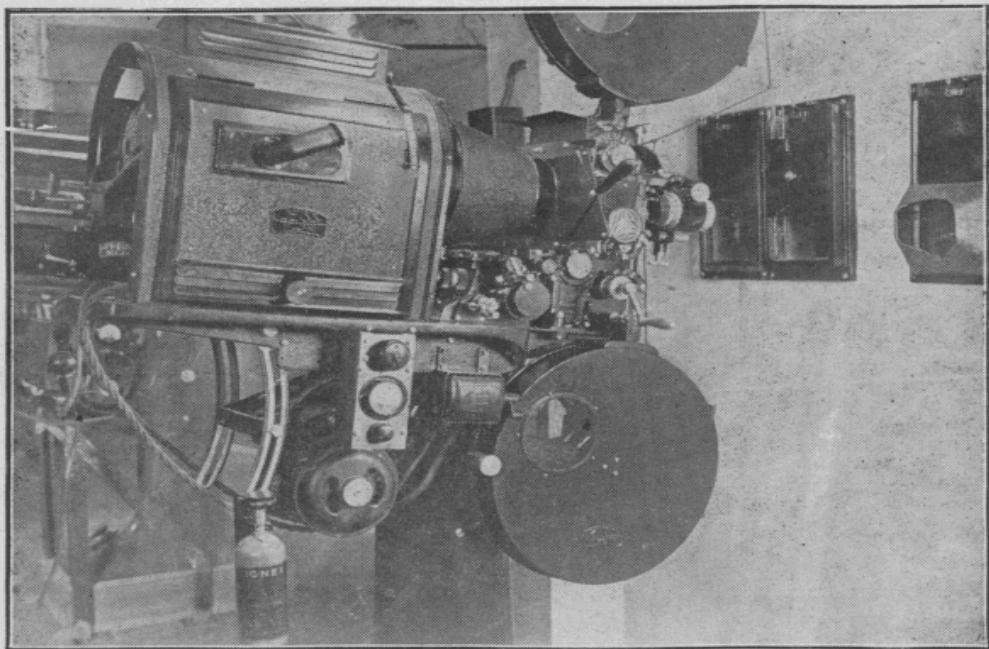


Fig. 5. Projecteur équipé avec appareillage "Kinoton". On remarquera à l'avant du projecteur la manivelle qui permet de faciliter le démarrage de la machine. À gauche de cette manivelle se trouve tout l'ensemble de la "tête sonore", ingénieusement logé dans l'espace resté libre entre le projecteur et sa lanterne. On peut ainsi transformer en installations sonores les installations muettes existantes, avec peu de frais et de modifications. Au second plan, la deuxième machine.

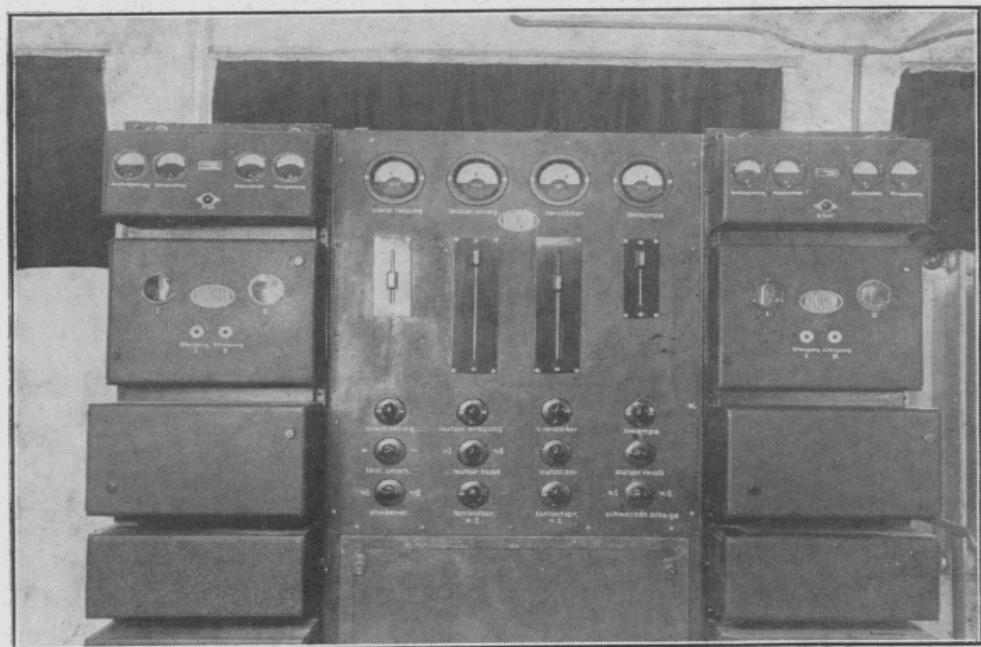


Fig. 6. Amplificateur "Kinoton", fonctionnant avec les machines de la vue précédente. L'ensemble est entièrement renfermé dans des carters métalliques. Tous les appareils de mesure se trouvent réunis de manière à pouvoir être observés d'un seul coup d'œil par l'opérateur.

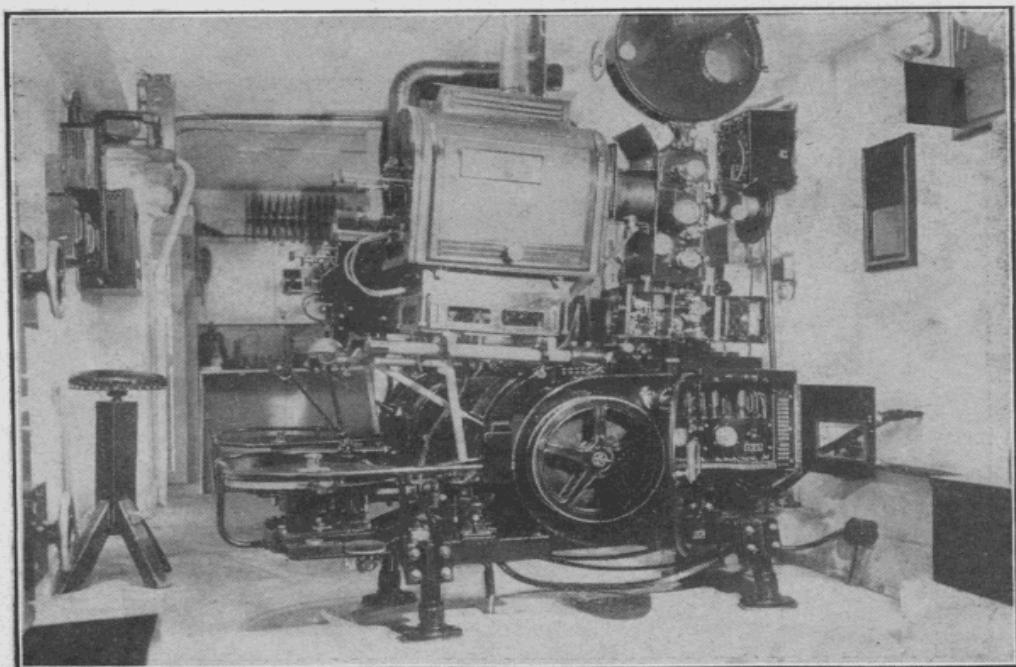


Fig. 7. Vue d'une cabine équipée avec machines sonores "Western Electric". Sur la machine en premier plan on remarquera : sous le projecteur, la "tête sonore", dont les deux portes sont ouvertes ; sous la "tête sonore", et sur le devant, le petit préamplificateur, dont la porte est également ouverte, et qui est ici porté par la machine elle-même ; à l'arrière de la machine, le plateau tournant à 33 tours 1/3 à la minute, destiné à recevoir les grands disques synchrones ; sur le mur de fond de la cabine, et entre les deux machines, remarquer la boîte carrée ou "Fader", qui contient des lignes artificielles permettant le réglage du son, ainsi que le passage d'une machine à l'autre.

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE

CHAPITRE I. — La lumière et le son. L'œil et l'oreille	7
CHAPITRE II. — Le film sonore — Son historique	15
Le cinéma muet	16
Le phonographe	19
Enregistrement par voie lumineuse	21
Le film sonore proprement dit	22
CHAPITRE III. — Exposé des idées modernes sur la constitution de la matière — Leurs applications pratiques	25
La constitution des atomes. Théorie des quanta	32
Ionisation des gaz	34
La lampe à trois électrodes	35
La cellule photo-électrique	42
CHAPITRE IV. — Enregistrement des films sonores	47
Installations des systèmes enregistreurs	48
Appareils de prise de vue (Caméras)	56
Chambre du moniteur	57
Enregistrement sur disque	57
Enregistrement sur film	66
Procédé à largeur variable et à densité constante	68
Procédé à largeur constante et à densité variable	77
Méthode de la lampe éclair (Système Fox Moviétone)	80
Méthode du galvanomètre à corde (Système Western Electric)	82
Méthode de la culture de Kerr	85
Généralités sur les enregistrements sur film. Enregistrement sans bruit de fond	94
Autres procédés d'enregistrement	96
Procédés d'enregistrement avec sillon sur film. — Procédé du film magnétique. — Procédés Piézo-électriques. — Procédé à gaz luminescents. — Procédé à cristaux luminescents. — Procédé à oscilloscopie cathodique. — Autres systèmes	97
	103

CHAPITRE V. — Quelques aspects de la technique artistique du Studio Sonore	105
Orchestration — Sonorisation — Ré-enregistrement — Revocalisation — artifices du film sonore	109
Résultats généraux d'enregistrement — Différents types de films et de scénario	118
 DEUXIÈME PARTIE	
CHAPITRE VI. — Généralités sur les amplificateurs	123
Montage des amplificateurs	131
Equilibrage des circuits. — Couplage par transformateurs. — Montages à contre-temps. — Vérification des appareils. — Mesure des puissances sonores. — Niveaux sonores. Unités.	
CHAPITRE VII. — Montage des appareils de reproduction ..	149
Reproduction par disques	162
Transmission et amplification de la puissance en courant sonore	167
CHAPITRE VIII. — Comparaison entre le système « Film » et le système « disque »	173
CHAPITRE IX. — Haut-parleurs et écrans	181
Aperçu sommaire de l'acoustique dans les salles de projection	190
CHAPITRE X. — Avenir du cinématographe	195
La cinématographie en relief	195
La cinématographie en couleurs	204
La Télévision	208
APPENDICE	211
BIBLIOGRAPHIE	221



