

ÉDITIONS EYROLLES

COLLECTION DE LA RADIODIFFUSION-TÉLÉVISION FRANÇAISE

- ANGEL. — **Les Récepteurs de radiodiffusion**, 244 pages (1949).
— **Réception radiophonique. Parasites**, 174 pages (1950).
- BARROUX. — **Cours de Radio-électricité** : Livre I : Étude de la propagation du circuit et du rayonnement, 276 pages (1949).
— Livre II : Amplification, Modulation, Oscillation et Détection, 248 pages (1949).
- BERNHART. — **Traité de prise de son**, 382 pages (1949).
- DELABY. — **Principes fondamentaux de télévision**, 198 pages (1948).
— **Bases techniques de la télévision**, 340 pages (1951).
- DAVID & RIGAL. — **Cours de Radio-électricité générale** :
Tome I : Généralités, Rayonnement, Antennes, 352 pages (1952).
Tome II : Les Lampes amplificatrices, 218 pages (1949).
Tome III : Livre I : — L'Émission, 144 pages (1951).
Livre II : — La Réception, 364 pages (1951).
Tome IV : Propagation des ondes, 102 pages (1948).
- LANGLOIS-BERTHELOT. — **Étude électromagnétique générale des machines électriques**, 284 pages (1949).
— **Étude industrielle générale des machines électromagnétiques**, 300 pages (1949).
— **Les Machines électriques des réseaux. Transformateurs statiques**, 268 pages (1949).
— **Les Moteurs électriques pour toutes applications**, 264 pages (1950).
- LA TOISON. — **Les Lampes à incandescence**, 142 pages (1951).
— **Chauffage et séchage par lampes à rayonnement infrarouge**, 112 pages (1952).
- RIGAL. — **Les Hyperfréquences** (circuits et propagations des ondes en vue de l'application au radar et aux télécommunications), 256 pages (1953).
- VOGE. — **Les Hyperfréquences** (tubes et appareils de mesures; applications aux télécommunications et au radar), 332 pages (1951).

ÉDITIONS EYROLLES

8073

19006

COLLECTION DE LA RADIODIFFUSION-TÉLÉVISION FRANÇAISE

CENTRE D'ENSEIGNEMENT

J. LANDRAC

ENREGISTREMENT
DES SONS



Eyrolles

ÉDITEUR, PARIS

J. LANDRAC

ENREGISTREMENT DES SONS

EYROLLES

CENTRE D'ENSEIGNEMENT
DE LA RADIODIFFUSION TÉLÉVISION FRANÇAISE

ENREGISTREMENT DES SONS

par

Joseph LANDRAC

*Ingénieur en Chef
à la Radiodiffusion
Télévision Française*

ÉDITIONS EYROLLES

61, Boulevard Saint-Germain, PARIS V^e

1954

tous droits réservés

AVANT-PROPOS

Le présent ouvrage est, dans ses grandes lignes, la reproduction du cours d'enregistrement des sons que je professe depuis 1947 au Centre d'Enseignement de la Radiodiffusion-Télévision française. Ce cours, préparé tout d'abord à l'intention des Contrôleurs de la Radiodiffusion, a été quelque peu étendu et il doit, sous cette forme plus large, intéresser tous ceux que leur profession ou leur curiosité incite à approfondir leurs connaissances dans le domaine de l'enregistrement des sons.

S'agissant d'une technique nouvelle particulièrement mouvante, il ne pouvait, de toute évidence, être question de donner un développement important à l'aspect technologique du problème. J'ai tenu cependant à ce que la partie théorique de cet ouvrage soit complétée, dans toute la mesure du possible, par des données pratiques d'ordre général. En outre, j'ai estimé devoir présenter quelques appareils d'un modèle ancien lorsque leur étude présentait un intérêt certain du point de vue didactique.

L'examen rapide de ce cours pourra laisser supposer qu'il est fréquemment fait appel à des développements mathématiques. En fait, il n'en est rien ; d'ailleurs, les démonstrations dont il s'agit se situent à un niveau élémentaire sauf pour quelques compléments que la présentation de l'ouvrage différencie nettement et qui ont été introduits dans le seul but de permettre au lecteur qui le désire d'approfondir l'étude de quelques points particuliers.

Les nombreux articles publiés dans des revues françaises et étrangères durant ces dernières années mettent en lumière le caractère mobile et quelque peu déconcertant de la technique de l'enregistrement des sons. Certains pourraient donc estimer que, dans l'état actuel des connaissances de ces questions, la publication de courtes monographies est la seule forme pouvant être adoptée pour la présentation de ces problèmes.

Je me garderai bien de nier les avantages évidents de ce mode d'information, mais, en présentant cet ouvrage de synthèse, je pense autant à tous ceux que l'enregistrement des sons intéresse et qui,

pour des raisons diverses, n'ont ni le temps, ni souvent la possibilité de se livrer à des recherches en vue de réunir une documentation éparsée et fragmentaire, qu'aux techniciens déjà « engagés ». Le but que je me suis proposé sera atteint si le présent ouvrage facilite tant soit peu la tâche de ces derniers et permet à tous les autres de prendre contact, dans les meilleures conditions, avec cette nouvelle technique.

J. L.

PLAN DU LIVRE

Introduction.

PREMIÈRE PARTIE. — Enregistrement sur disque.

- Chapitre 1^{er} — Etude des mouvements vibratoires.
 — 2. — Mesure et contrôle des vitesses par la méthode stroboscopique.
 — 3. — Historique.
 — 4. — Généralités.
 — 5. — Théorie de la gravure.
 — 6. — Théorie de la lecture.
 — 7. — Quelques réalisations.

DEUXIÈME PARTIE. — Enregistrement optique.

- Chapitre 1^{er} — Historique et généralités.
 — 2. — Notions de sensitométrie.
 — 3. — Procédés d'enregistrement.
 A. Densité variable.
 B. Densité fixe.
 — 4. — La lecture optique.
 — 5. — Les distorsions.

TROISIÈME PARTIE. — Enregistrement magnétique.

- Chapitre 1^{er} — Historique et généralités.
 — 2. — Notions de ferro-magnétisme.
 — 3. — Exposé général du principe de l'enregistrement magnétique.
 — 4. — Données sur le « phonogramme ».
 — 5. — Divers procédés d'enregistrement.
 — 6. — Défauts affectant le « magnétophone ».
 — 7. — Quelques réalisations.

INTRODUCTION

On appelle « enregistrement des sons » les opérations d'*inscription* et de *reproduction* ayant pour résultat final la restitution des sons enregistrés, à l'instant choisi par l'utilisateur.

La technique de l'enregistrement des sons comprend deux parties bien distinctes :

l'enregistrement proprement dit ou inscription des sons, opération appelée « gravure » dans certains cas ;

la reproduction des signes enregistrés, opération appelée généralement « lecture ».

Cette décomposition n'est nullement arbitraire et n'a pas été adoptée uniquement dans le but de faciliter l'étude qui suit. Nous verrons ultérieurement au contraire qu'elle correspond d'une part au fait qu'il existe des différences essentielles entre la « gravure » et la « lecture » — différences intéressantes dans certains cas non seulement les réalisations mais encore le principe même de fonctionnement des appareils —, d'autre part à l'ordre chronologique des découvertes se rapportant à l'enregistrement des sons.

En effet, si l'enregistrement des vibrations est connu depuis 1807, date à laquelle Thomas YOUNG réussit à les inscrire sur la surface d'un cylindre enduit de noir de fumée, le phonographe d'EDISON ne fut construit qu'en 1878. Entre temps, divers inventeurs : DUHAMEL, WERTHEIM, Léon SCOTT, Charles CROS étudièrent ces problèmes et réalisèrent des appareils permettant d'enregistrer les sons, mais non pas de les reproduire, exception faite toutefois pour Charles CROS qui eut l'idée de « transcrire » sur métal le sillon obtenu par Léon SCOTT.

Quoiqu'il en soit, notons que le problème auquel se sont heurtés les chercheurs est celui de la *reproduction des sons*.

Nous verrons par la suite que la « lecture » d'un enregistrement, bien qu'elle soit résolue par différents procédés, est en effet une opération présentant de *nombreuses difficultés*.

Principe général de l'enregistrement.

D'un point de vue très général on peut dire que l'enregistrement résulte d'une altération :

altération d'une surface : le disque ;

altération d'une opacité : le film ;

altération d'un état : le magnétophone.

Quelles que soient les normes matérielles données aux supports recevant les inscriptions ou altérations — qu'il s'agisse du cylindre (le premier en date), du disque, du film ou du ruban magnétique — tous les procédés d'enregistrement comportent une longue piste défilant à *vitesse définie*, devant une « tête de gravure » ou une « tête de lecture » selon que l'opération effectuée se rapporte à l'enregistrement proprement dit ou à la lecture.

Nous noterons au passage que la vitesse de défilement de la piste peut n'être pas constante ; ceci n'est pas un obstacle au fonctionnement du système à condition toutefois que les *vitesse instantanées* en un point soient les mêmes à l'enregistrement et à la lecture.

Enumération et classification des divers procédés d'enregistrement.

Les divers procédés d'enregistrement utilisés actuellement peuvent être classés en trois catégories.

1° Enregistrement mécanique et lecture mécanique.

A l'enregistrement, un burin, mù directement ou indirectement par les vibrations sonores à enregistrer, creuse un sillon sur un cylindre ou sur un disque.

A la lecture, une aiguille, engagée sur le sillon creusé par le burin, actionne directement ou indirectement, mais à la fréquence des sinuosités du sillon, la membrane d'un haut-parleur et reproduit ainsi les vibrations sonores initiales.

2° Enregistrement photographique et lecture optique.

Il existe plusieurs variantes de ce procédé qui est celui du cinéma sonore.

A l'enregistrement, un pinceau lumineux, modulé indirectement par les vibrations sonores, modifie l'opacité d'un film ou ruban photographique.

A la lecture, le film ainsi modifié, défilant entre une source lumineuse et une cellule photoélectrique, produit un courant d'intensité et de fréquence variables qui actionne un haut parleur.

3° Enregistrement magnétique et reproduction magnétique.

L'enregistrement s'effectue en faisant défiler à vitesse constante un film ou un ruban d'acier devant une « tête d'enregistrement ». Celle-ci provoque une magnétisation spatiale de l'acier, dont la valeur est fonction de la tension alternative appliquée à la tête d'enregistrement. La lecture s'effectue en faisant passer le ruban ainsi magnétisé devant une « tête de lecture », laquelle transforme les inscriptions magnétiques en tensions électriques qui, à leur tour, actionnent un haut parleur.

Il convient de noter, que les divers procédés d'enregistrement (exception faite pour les phonographes, d'ailleurs de plus en plus abandonnés pour les « pick-up ») comportent l'utilisation de l'électricité comme facteur intermédiaire.

Conditions d'emploi de ces différents procédés d'enregistrement.

L'enregistrement sur disques.

Malgré les progrès surprenants réalisés au cours des dix dernières années par la *technique de l'enregistrement magnétique*, le disque demeure encore à bien des égards la solution commode permettant de mettre à la disposition du public, et même des professionnels, des enregistrements de qualité.

On distingue deux sortes de disques :

Le disque dur.

Le disque dur du commerce est le résultat d'un pressage, opéré sous forme industrielle, à partir d'une « cire ». Ce procédé constitue, grâce à son faible prix de revient, la solution idéale pour la diffusion des enregistrements dans le public.

Le disque souple.

Le disque souple, par contre, est obtenu par l'action directe d'un outil, « burin » ou « saphir », sur un matériau plastique. Peu fragile et d'un maniement très commode il est utilisé par les professionnels et par la radiodiffusion pour les émissions différées, les radio-reportages et les montages.

La durée d'enregistrement sur un même support est la suivante :

Disque de 30 cm.	78 TM	3 minutes environ ;
Disque de 40 cm.	33 TM	22 minutes ;
Disque microsillon,		5 à 25 minutes selon le type.

L'enregistrement optique.

L'enregistrement optique est fidèle ; il permet de réaliser des émissions de longue durée et se prête parfaitement aux opérations de montage et de « duplicatage ». La conservation de ces enregistrements ne pose aucun problème particulier.

Toutefois, ce procédé présente l'inconvénient de nécessiter un développement du film.

Cette opération, relativement longue et délicate, limite, pour l'instant, l'intérêt que présente l'utilisation de ce système par la radiodiffusion.

L'enregistrement magnétique.

Ce procédé, dont la découverte remonte à la fin du siècle dernier — voir Brevet américain n° 661.619 pris par Poulsen le 8 juillet 1899 —, n'a guère été très utilisé jusqu'en 1940 à cause de sa qualité médiocre ; mais la mise au point du magnétophone — appareil comportant l'emploi d'une polarisation supersonique — a causé, dès 1945, une véritable révolution dans la technique de l'enregistrement des sons.

Cet appareil, fidèle, simple, robuste, peu encombrant et d'un maniement très commode, surclasse en effet tous les autres systèmes et il est très certainement appelé à jouer dans cette technique un rôle considérable. L'évolution rapide à laquelle nous assistons se trouve cependant freinée pour diverses raisons dont nous ne citerons que les deux plus importantes :

l'absence de procédés industriels de duplicatage des enregistrements originaux ;

les problèmes économiques et financiers que poserait l'abandon des systèmes utilisés actuellement.

PREMIÈRE PARTIE

L'ENREGISTREMENT SUR DISQUE

CHAPITRE PREMIER

ÉTUDE DES MOUVEMENTS VIBRATOIRES

1-1. Le mouvement en général.

Le mouvement d'un mobile est parfaitement défini si l'on connaît :

a) Sa trajectoire, c'est-à-dire la ligne qu'il décrit pendant son mouvement ;

b) Sa position sur cette trajectoire à chaque instant.

Cette position peut être repérée par l'abscisse curviligne s du mobile, sur sa trajectoire, à l'instant t .

On choisit généralement pour origine de la trajectoire le point par lequel passe le mobile, à l'instant 0.

Il suffit de connaître la loi $s = f(t)$ pour déterminer le mouvement.

La *vitesse instantanée* du mobile sur sa trajectoire a pour expression :

$$v = f'(t) = \frac{ds}{dt}$$

L'accélération a deux composantes :

une composante tangentielle (c'est le facteur variation de vitesse)

$$\gamma_t = \frac{dv}{dt} = f''(t);$$

une composante normale dirigée vers le centre de la courbe (c'est le facteur variation de direction du mobile)

$$\gamma_n = \frac{v^2}{\rho}$$

ρ étant le rayon de courbure de la trajectoire et ayant pour expression :

$$\rho = \frac{ds}{d\theta}$$

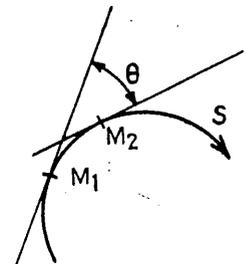


FIG. 1-1

Lorsqu'on utilise le système C.G.S. l'espace parcouru est exprimé en centimètres, le temps en secondes.

La *vitesse unité* est la vitesse d'un mobile qui parcourt 1 cm en 1 seconde.

L'*accélération unité* est l'accélération d'un corps dont la vitesse varie de 1 cm/sec par seconde.

Ces deux grandeurs n'ont pas reçu de nom.

1-2. Le mouvement périodique.

Définition. — On dit qu'un mobile est animé d'un mouvement périodique quand il repasse après des intervalles de temps égaux appelés « *périodes* » par la même position avec la même vitesse.

Le plus simple des mouvements périodiques est le mouvement circulaire.

1-3. Mouvement circulaire.

Le point M décrit une circonférence de centre O et de rayon R.

L'espace parcouru par le point M sur sa trajectoire à partir de l'origine A est donné par l'équation :

$$s = R\theta \text{ (}\theta \text{ mesuré en radians)}$$

la vitesse par :

$$v = \frac{ds}{dt} = R \frac{d\theta}{dt} = R\omega \text{ en posant } \frac{d\theta}{dt} = \omega, \text{ vitesse angulaire du mobile ;}$$

l'accélération par :

$$\gamma_t = \frac{dv}{dt} = R \frac{d^2\theta}{dt^2} = R \frac{d\omega}{dt}, \text{ accélération tangentielle ;}$$

$$\gamma_n = \frac{v^2}{R} = R\omega^2 \text{ accélération centripète.}$$

Si la vitesse angulaire ω est constante, le mouvement est uniforme et nous avons :

$$s = R\omega t \quad \theta = \omega t$$

$$v = R\omega$$

$$\gamma_t = 0 \text{ (par hypothèse — mouvement uniforme)}$$

$$\gamma_n = \frac{v^2}{R} = R\omega^2$$

1-4. Mouvement sinusoïdal.

Le mouvement sinusoïdal peut être considéré comme étant la projection du mouvement circulaire *uniforme* qui vient d'être étudié.

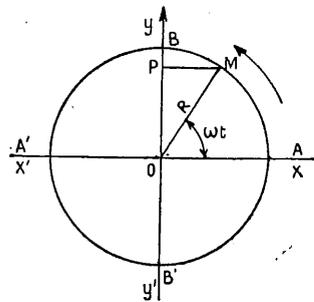


FIG. 1-2

Examinons la projection de M sur l'axe des ordonnées.

1^o Cas où l'origine des temps coïncide avec l'origine des espaces pour le point M.

A l'instant $t_0 = 0$, le mobile M part du point A, origine des espaces.

Sa projection P sur l'axe des ordonnées se déplace de O en B, puis de B en B' et enfin de B' en O lorsque le mobile M décrit respectivement les arcs :

$$\widehat{AB}, \widehat{BA'B'}, \widehat{B'A}$$

Les lois du mouvement du point P

sont les suivantes :

$$OP = y = R \sin \omega t$$

$$v = \frac{dy}{dt} = R \omega \cos \omega t$$

$$\gamma = \frac{dv}{dt} = -R \omega^2 \sin \omega t = -\omega^2 y$$

Traçons un tableau des variations de y , v et γ en fonction du temps

t	0	$\frac{\pi}{2\omega}$	$\frac{\pi}{\omega}$	$\frac{3\pi}{2\omega}$	$\frac{2\pi}{\omega}$
y	0	+R	0	-R	0
v	+	0	-	0	+
γ	0	-	0	+	0
Mouvement		Direct retardé	Rétrograde accéléré	Rétrograde retardé	Direct accéléré

Nous retiendrons notamment de tout ceci que dans le mouvement sinusoïdal, l'accélération est proportionnelle à l'élongation, mais toujours de signe contraire. On dit que le point O est un centre attractif.

2^o Cas où l'origine des temps ne coïncide pas avec l'origine des espaces.

Le mobile M passe en A à l'instant $t' = 0$ mais il a déjà parcouru l'arc

$\widehat{MOA} = \delta$ depuis l'origine des espaces :

$$OP_1 = y = R \sin (\omega t + \delta)$$

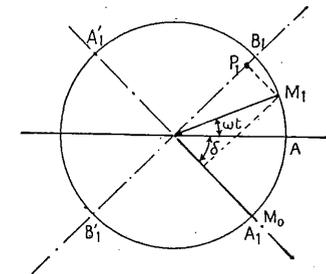


FIG. 1-3

1-5. Mouvement d'une masse liée élastiquement à un point fixe.

Pour faciliter l'étude du mouvement d'une masse liée élastiquement à un point fixe, nous la fractionnerons en quatre parties de la manière suivante :

- a) vibrations naturelles sans amortissement ;
- b) vibrations forcées sans amortissement ;
- c) vibrations naturelles avec amortissement visqueux ;
- d) vibrations forcées avec amortissement visqueux.

REMARQUE. — L'étude complète de ces phénomènes est complexe et sortirait du cadre du présent ouvrage. En conséquence, les indications qui

vont suivre auront pour *unique objet* de montrer les *résultats pratiques* obtenus à la suite de cette étude.

Toutefois, à titre d'exemple, le premier des phénomènes étudiés — qui est aussi le plus simple — sera traité en entier.

a) Vibrations naturelles sans amortissement d'un système à un degré de liberté.

Considérons le cas d'une masse m assujettie à se mouvoir sur une droite horizontale A O B sous l'action d'un ressort la soumettant à une force proportionnelle à l'*élongation* x du mouvement.

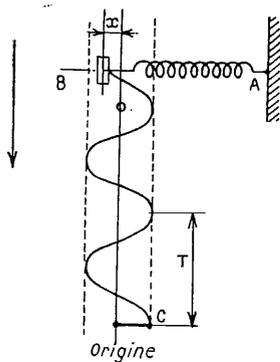


FIG. 1-4.

le cas de la figure, au point O pour lequel le ressort est complètement détendu — la force de rappel du ressort se manifeste. Cette force peut être représentée par la relation suivante :

$$F = - c x$$

(x est négatif dans le cas de la figure 1-4)

dans laquelle c caractérise la raideur du ressort de rappel ; x est la longueur dont a été déplacée la masse à partir de O.

Ce facteur c est égal à la force qu'il faut développer à l'extrémité du ressort pour obtenir l'*unité* d'allongement

$$c = \frac{\text{force appliquée}}{\text{allongement mesuré}}$$

Dans certains cas on utilise le facteur $\frac{1}{c}$ qui caractérise la souplesse du ressort.

La relation fondamentale de la mécanique : $F = m \gamma$ donne :

$$m \gamma = m \frac{d^2x}{dt^2} = - c x$$

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + c x = 0$$

Dans le cas considéré nous avons vu que x est négatif. Mais la force change de sens chaque fois que la masse m franchit sa position d'équilibre. L'équation est cependant vérifiée quelle que soit la valeur de x , x et γ étant toujours de signes contraires (voir le tableau dressé pour l'étude du mouvement sinusoïdal).

Nous supposons que les mouvements du système ne donnent lieu à aucun frottement et que la masse du ressort est négligeable.

EXPÉRIENCE. — La masse m , écartée de sa position d'équilibre (point C du graphique) puis abandonnée à elle-même, décrit une série d'oscillations qu'il est possible de mettre en évidence en inscrivant le mouvement sur un cylindre enregistreur au moyen d'une pointe fixée à cette masse. L'examen de la courbe décrite montre qu'il s'agit d'un mouvement oscillatoire périodique de période T.

Analysons ce phénomène. — Dès que nous écartons la masse m de sa position d'équilibre — position d'équilibre qui correspond, dans

Si nous posons $p^2 = \frac{c}{m}$ nous pouvons écrire l'équation sous la forme

$$\frac{d^2x}{dt^2} + p^2x = 0 \quad (1)$$

On démontre que cette équation, appelée équation différentielle du second ordre à coefficients constants, a pour solution générale :

$$x = A \cos pt + B \sin pt \quad (2)$$

Cette équation peut se mettre sous la forme :

$$x = \frac{A}{\cos \alpha} \cos (pt - \alpha) \quad (3)$$

Nous voyons d'après cette expression que le mouvement de la masse m est une fonction sinusoïdale du temps de *pulsation* p . Or nous avons posé $p^2 = \frac{c}{m}$; il nous est donc possible de calculer la *période* de vibration du système à partir de cette égalité. Nous trouvons :

$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{m}{c}}$$

d'où il vient

$$f = \frac{1}{2 \pi} \sqrt{\frac{c}{m}}$$

Cette expression montre en outre que la fréquence des vibrations du système ne dépend que de la *masse* m et de la *raideur du ressort* c et quelle est notamment indépendante de l'amplitude des oscillations.

Nous déterminerons les coefficients A et B, appelés constantes d'intégration de l'équation (2), à partir des conditions à l'origine.

Supposons qu'à l'origine des temps ($t = 0$) la masse m soit à une distance x_0 du point O (position d'équilibre) et que sa vitesse initiale soit x'_0 . En portant la valeur $t = 0$ dans l'équation (2) nous obtenons :

$$x_0 = A$$

en prenant maintenant la dérivée par rapport au temps de l'équation (2) il vient :

$$x' = - A p \sin pt + B p \cos pt$$

en faisant $t = 0$, nous avons

$$x'_0 = B p$$

d'où :

$$B = \frac{x'_0}{p}$$

*En effet, si nous posons $\text{tg } \alpha = \frac{B}{A}$, il vient :

$$x = A (\cos pt + \frac{B}{A} \sin pt) = A (\cos pt + \text{tg } \alpha \sin pt)$$

enfin en remplaçant $\text{tg } \alpha$ par sa valeur $\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$ nous obtenons :

$$x = \frac{A}{\cos \alpha} (\cos pt \cos \alpha + \sin pt \sin \alpha) = \frac{A}{\cos \alpha} \cos (pt - \alpha).$$

en portant ces valeurs de A et de B dans l'équation (1) nous avons :

$$x = x_0 \cos pt + \frac{x'_0}{p} \sin pt$$

Remarquons que les facteurs $x_0 \cos pt$ et $\frac{x'_0}{p} \sin pt$ peuvent être représentés par deux vecteurs rectangulaires animés d'une même vitesse angulaire p et d'amplitudes respectives x_0 et x'_0/p (fig. 1-5).

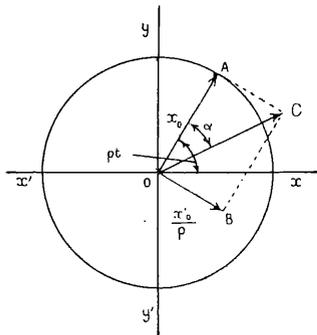


FIG. 1-5

Le vecteur résultant OC a pour module

$$\sqrt{x_0^2 + \left(\frac{x'_0}{p}\right)^2}$$

et son argument par rapport à Ox est donné par l'expression $pt - \alpha$ avec

$$\alpha = \text{arc tg } \frac{x'_0}{px_0}$$

L'équation (2) peut donc se mettre sous la forme

$$x = \sqrt{x_0^2 + \left(\frac{x'_0}{p}\right)^2} \cos(pt - \alpha), \quad (4)$$

forme plus complète de l'équation (3) donnée plus haut.

b) Vibrations forcées sans amortissement.

Dans l'étude du paragraphe précédent on a admis que le système était soumis à une seule force extérieure, celle développée par le ressort. Examinons maintenant le cas dans lequel une force perturbatrice $P \sin \omega t$ agit sur la masse m .

L'équation $m \frac{d^2x}{dt^2} = -cx$ établie précédemment devient :

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -cx + P \sin \omega t$$

ou encore

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + cx = P \sin \omega t \quad (5)$$

en posant

$$p^2 = \frac{c}{m} \text{ et } q = \frac{P}{m}$$

il vient

$$\frac{d^2x}{dt^2} + p^2x = q \sin \omega t$$

La solution générale de cette équation est donnée par l'expression :

$$x = A \cos pt + B \sin pt + \frac{q}{p^2 - \omega^2} \sin \omega t \quad (6)$$

Les deux premiers termes de cette équation représentent les vibrations naturelles qui viennent d'être étudiées et le 3^e terme la *vibration forcée du système*. On voit en effet que ce dernier a la même période $T_1 = 2\pi/\omega$ que la force perturbatrice.

Son amplitude qui a pour valeur $\frac{q}{p^2 - \omega^2}$, ou après transformation

$$\frac{p}{c} \cdot \frac{1}{1 - \frac{\omega^2}{p^2}}, \text{ est composée de deux}$$

facteurs :

l'un P/c représente la « flèche » que produirait la force perturbatrice maximum si elle *agissait statiquement*.

l'autre $\frac{1}{1 - \frac{\omega^2}{p^2}}$ provient de l'*action dynamique* de cette force.

Ce dernier facteur est généralement appelé *facteur d'amplification*. Il ne dépend que du rapport ω/p dans lequel p représente la pulsation des vibrations naturelles du système.

La figure 1-6 représente la courbe de variation de ce facteur en fonction du rapport ω/p .

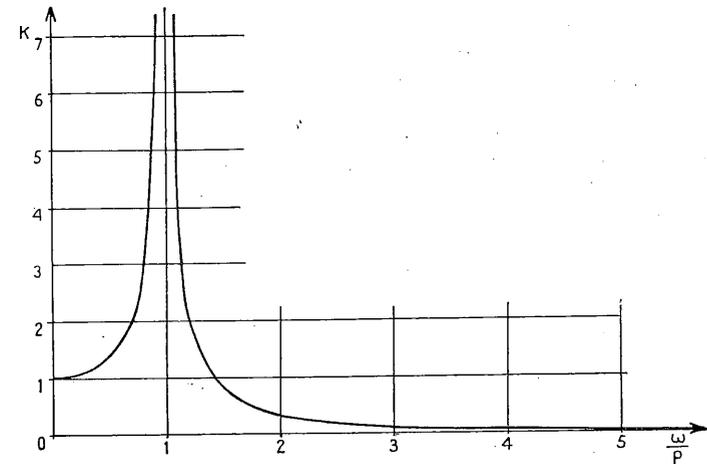


FIG. 1-6

On remarquera que :

a) Pour les faibles valeurs du rapport ω/p le facteur d'amplification est voisin de l'unité et l'élongation maximum du mouvement est sensiblement la même que si la force perturbatrice *agissait statiquement*.

b) Lorsque ω/p tend vers l'unité le facteur d'amplification augmente rapidement pour devenir infini lorsque $\omega = p$. Il y a alors *résonance*. Cette

valeur infinie prise par l'amplitude des vibrations forcées résulte du fait que nous avons supposé l'amortissement du système égal à zéro, *condition qui ne se présente jamais en pratique.*

c) Lorsque $\omega/p > 1$ la valeur du facteur d'amplification redevient finie ; sa valeur absolue — la seule qui soit intéressante, s'agissant d'une amplitude — diminue au fur et à mesure que ω/p augmente et tend vers 0.

REMARQUE. — Signe du facteur d'amplification :

Lorsque $\omega > p$ l'expression est positive ; vibrations en phase.

Lorsque $\omega < p$ l'expression est négative : vibrations en opposition.

Il convient de noter en outre que l'application d'une force perturbatrice à la masse m ne produit pas seulement des vibrations forcées mais qu'elle provoque également des vibrations naturelles dont les valeurs sont données par les deux premiers termes de l'équation (6). Dans la pratique et contrairement à l'hypothèse que nous avons faite pour établir l'équation (5), ces vibrations seront amorties assez rapidement par suite des résistances diverses qui s'opposent à elles. Mais durant la période « transitoire » qui suit l'application de la force perturbatrice, les vibrations naturelles pourront cependant avoir une certaine importance.

c) Vibrations naturelles avec amortissement visqueux.

Les résultats obtenus au cours de l'étude qui précède laissent supposer que le mouvement se poursuit indéfiniment. En réalité il n'en est rien, et tout mouvement vibratoire s'amortit sous l'influence de nombreux facteurs : frottements divers, freinage dû à l'air, etc...

Il convient donc d'ajouter à l'équation établie plus haut un terme représentant les frottements.

Un cas particulièrement intéressant à étudier est celui où la force développée par les frottements est proportionnelle à la vitesse du corps vibrant. Ce cas présente en outre l'avantage de se prêter à un calcul plus facile.

A l'équation des vibrations naturelles :

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -cx,$$

ajoutons donc un terme représentant une force de frottement proportionnelle à la vitesse.

Cette force dirigée à chaque instant en sens inverse de la vitesse peut être exprimée par $-f dx/dt$, expression dans laquelle f est la force de frottement correspondant à l'unité de vitesse.

L'équation devient alors :

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -cx - f \frac{dx}{dt}$$

ou encore :

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2n \frac{dx}{dt} + p^2x = 0, \quad (7)$$

en posant :

$$\begin{cases} f/m = 2n \\ c/m = p^2 \end{cases}$$

Le calcul montre que la solution de cette équation est différente suivant l'importance du frottement.

Pour f FAIBLE, c'est-à-dire dans le cas où la quantité n^2 dépendant de l'amortissement est inférieure à la quantité p^2 , la valeur de l'élongation est donnée par l'expression :

$$x = Ae^{-nt} \cos (p_1 t - \alpha) \quad (8) \quad \text{avec } p_1 = \sqrt{p^2 - n^2}$$

A et α , respectivement amplitude et phase du mouvement, étant deux constantes.

Cette expression montre qu'il s'agit d'un mouvement oscillatoire. Il est facile d'en calculer la période T_1

$$T_1 = \frac{2\pi}{p_1} = \frac{2\pi}{\sqrt{p^2 - n^2}} = \frac{2\pi}{p} \sqrt{\frac{1}{1 - \frac{n^2}{p^2}}}$$

$\frac{2\pi}{p}$ représentant T_0 période propre du système en l'absence d'amortissement il peut être intéressant de donner à l'expression de T_1 la forme suivante :

$$T_1 = T_0 \sqrt{\frac{1}{1 - \frac{f^2}{4mc}}} \quad (9), \quad p^2 \text{ et } n^2 \text{ ayant été remplacés par leur valeur.}$$

T_1 par analogie avec T_0 est appelée pseudo période du système. Considérons les résultats (8) et (9). Nous en déduisons que :

1° Le système étudié, considéré pour f faible ($f^2 < 4mc$) est animé d'un mouvement oscillatoire l'expression (8) comportant le facteur $\cos (p_1 t - \alpha)$ qui est une fonction périodique.

2° Ce mouvement s'amortit progressivement son amplitude ayant pour valeur Ae^{-nt} (1).

3° La pseudo période croît lorsque l'amortissement augmente.

Pour f IMPORTANT

Si $c = \frac{f^2}{4m}$ ou encore si $f^2 = 4mc$ il n'y a plus d'oscillation ; la période

devient infinie.

Pour cette valeur on dit qu'il y a amortissement critique.

Si la résistance visqueuse augmente encore, l'amortissement s'accroît ($f^2 > 4mc$) ; la masse m déplacée de sa position d'équilibre y revient graduellement ;

Sur la figure 1-7 sont tracées trois courbes relatives aux phénomènes qui viennent d'être étudiés.

(1) La courbe sinuuse décrite par le système oscillant est tangente aux deux exponentielles Ae^{-nt} et $-Ae^{-nt}$. Deux points de tangence consécutifs pris sur la même exponentielle déterminent la durée de la pseudo période. Le rapport des amplitudes correspondantes caractérise le degré d'amortissement du système. La quantité nT s'appelle le décrement logarithmique. Elle a pour valeur la différence entre les logarithmes neperiens de deux amplitudes consécutives.

$$\frac{e^{-nt}}{e^{-n(\tau + t)}} = e^{-n\tau}$$

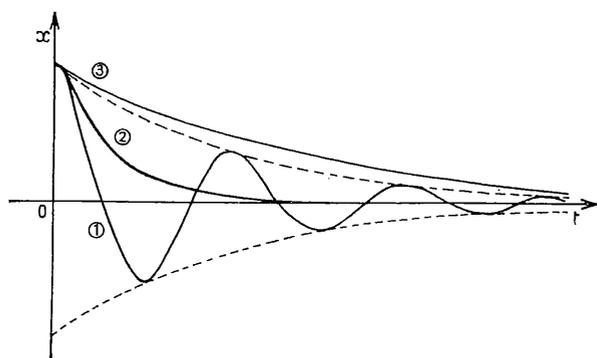


FIG. 1-7

1° $f < \sqrt{4mc}$
mouvement vibratoire amorti.
2° $f = \sqrt{4mc}$
mouvement aperiodique, retour du système au repos dans le temps le plus court (amortissement critique).
3° $f > \sqrt{4mc}$
mouvement aperiodique, retour du système au repos dans un temps relativement long.

C'est donc pour une valeur de f égale à $\sqrt{4mc}$ qu'il sera possible d'obtenir qu'un système oscillant reprenne pour la conserver sa position d'équilibre dans le temps le plus court.

Cette propriété a été utilisée pour la construction d'un grand nombre d'appareils (galvanomètres, oscillographes, microphones, graveurs etc...)

d) Vibrations forcées avec amortissement visqueux.

Pour étudier cette question on admet que le corps en vibration est soumis non seulement aux forces considérées dans le paragraphe précédent mais encore à une force perturbatrice sinusoïdale.

NOTA. — Le cas particulier d'une force perturbatrice sinusoïdale peut d'ailleurs être étendu au cas général (force représentée par une fonction périodique) par l'application du théorème de FOURIER.

L'équation du mouvement peut s'écrire :

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + f \frac{dx}{dt} + cx = P \sin \omega t \quad (10)$$

ou encore

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2n \frac{dx}{dt} + p^2x = \frac{P}{m} \sin \omega t \quad (11)$$

en posant

$$\frac{f}{m} = 2n$$

$$\frac{c}{m} = p^2$$

Cette équation admet la solution générale suivante :

$$x = e^{-nt} (A \cos pit + B \sin pit) + D \sin(\omega t - \alpha) \quad (12)$$

Le mouvement du système sera la superposition :

1° d'une vibration naturelle amortie de pulsation p , et de décrément nT ;
2° d'une vibration sinusoïdale de même pulsation que celle de la force perturbatrice.

Etudions tout d'abord ce dernier phénomène.

L'amplitude de la vibration forcée peut être représentée par l'équation suivante :

$$D = \frac{P}{c} \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{p^2}\right)^2 + \frac{4n^2\omega^2}{p^4}}}$$

dans laquelle P/c représente la flexion du ressort lorsqu'il est soumis à une force statique.

Désignons cette flexion par δ_{st} ; il vient

$$D = \delta_{st} \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{p^2}\right)^2 + \frac{4n^2\omega^2}{p^4}} \quad (13)$$

avec :

$$\begin{cases} n = \frac{f}{2m} \\ p = \sqrt{\frac{c}{m}} \end{cases}$$

Le terme par lequel il faut multiplier la flexion statique est appelé *facteur d'amplification*.

Sa valeur dépend :

1° du rapport ω/p de la pulsation de la force perturbatrice à la pulsation de la vibration naturelle sans amortissement ;

2° du rapport n/p qu'on peut encore écrire en remplaçant les lettres par leur valeur :

$$\frac{f}{\sqrt{4mc}} \quad (\text{ce rapport caractérise le degré d'amortissement})^*.$$

Le réseau de courbes de la figure 1-8 ci-après donne la valeur de ce *facteur d'amplification* en fonction du rapport $\frac{\omega}{p}$ pour différents degrés d'amortissement, le degré d'amortissement étant caractérisé dans chaque cas par le rapport $\frac{n}{p}$ ou $\frac{f}{\sqrt{4mc}}$

Cette figure montre que :

1° Pour ω faible devant p le facteur d'amplification a une valeur voisine de l'unité.

* REMARQUE. — Si $n = 0$, c'est à dire si f est nul, nous retrouvons l'expression du *facteur d'amplification* telle qu'elle figure dans l'étude consacrée aux vibrations forcées sans amortissement.

2° Pour ω grand devant p le facteur d'amplification devient très faible.

3° Les différentes courbes établies en faisant varier le facteur n/p sont très rapprochées pour les valeurs extrêmes du rapport ω/p .

Nous en concluons que pour les valeurs considérées l'effet de l'amortissement est négligeable.

4° Lorsque la fréquence de la force perturbatrice tend vers la fréquence de la vibration naturelle du système, le facteur d'amplification croît rapidement. Ainsi que le montre la figure, sa valeur est très influencée par les variations de l'amortissement.

On remarquera également que les maxima des différentes courbes ont lieu pour des valeurs de ω/p d'autant plus faibles que l'amortissement du système est plus élevé.

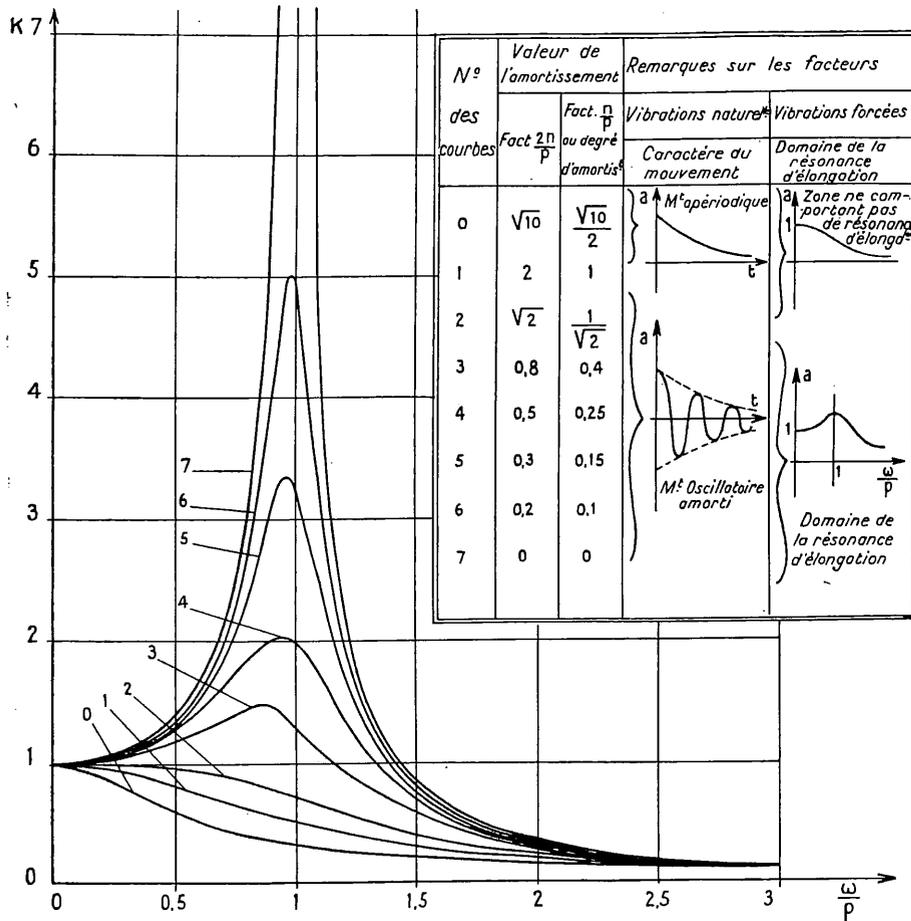


FIG. 1-8

Effectivement le calcul montre (1) que ces maxima ont pour abscisses des valeurs de $\frac{\omega}{p}$ données par l'expression :

$$\frac{\omega}{p} = \sqrt{1 - \frac{2n^2}{p^2}} \text{ ou } \sqrt{1 - \frac{f^2}{2mc}}$$

Dans l'étude qui précède (2) nous n'avons considéré que le second terme de la solution générale de l'équation. Examinons maintenant ce qui se passe si l'on tient compte des deux termes de la solution générale donnée par l'équation (12) :

$$x = e^{-nt} (A \cos p_1 t + B \sin p_1 t) + D \sin (\omega t - \alpha).$$

Nous voyons que dès que la force perturbatrice commence à agir des oscillations naturelles de pulsation p_1 viennent se superposer aux oscillations forcées et ceci pendant un temps d'autant plus court que le facteur d'amortissement du système est plus important. La période durant laquelle le système est soumis à l'action des deux pulsations s'appelle période « transitoire » (3).

Ce phénomène montre l'importance que revêt le facteur amortissement pour tous les appareils électro-acoustiques et notamment pour les graveurs.

En général ceux-ci sont réglés au voisinage de l'amortissement critique; la période transitoire est ainsi très réduite.

Pour pallier les difficultés résultant de l'existence de la résonance d'élongation et de la période transitoire, on pourrait imaginer de repousser au delà de la bande des fréquences utiles la pulsation p_1 correspondant aux vibrations naturelles du système. Nous verrons par la suite pourquoi, dans la pratique, une telle solution ne peut généralement pas être adoptée.

(1) Il suffit d'annuler la dérivée du facteur d'amplification

$$\frac{1}{\sqrt{(1 - \frac{\omega^2}{p^2})^2 + \frac{4n^2\omega^2}{p^4}}}$$

(2) Exception faite pour le tableau donnant la valeur du degré d'amortissement qui comporte des indications sur les caractères des vibrations naturelles.

(3) On admet habituellement que l'oreille n'est pas sensible aux « transitoires » si leur durée est inférieure à 14 millisecondes.

CHAPITRE 2.

MESURE ET CONTROLE DES VITESSES PAR LA MÉTHODE STROBOSCOPIQUE

2-1. Importance du contrôle de la vitesse de défilement de la piste enregistrée.

La vitesse de défilement de la piste a une importance capitale en matière d'enregistrement puisque de sa valeur dépend la hauteur des sons reproduits.

En effet :

L'enregistrement d'un son — que nous supposons pur pour simplifier l'exposé de la question — est matérialisé par l'inscription de sinusoïde, sur le disque.

La longueur d'onde de ces sinusoïdes a pour expression :

$$\lambda = \frac{V_{dg}}{f_g} \quad \left| \begin{array}{l} V_{dg} \text{ vitesse de défilement de la piste à la gravure,} \\ f_g \text{ fréquence enregistrée.} \end{array} \right.$$

La lecture, obtenue par l'exploration de la piste gravée lors de l'enregistrement, produit un son dont la fréquence f_l est liée à la longueur d'onde enregistrée λ et à la vitesse de défilement à la lecture V_{dl} par l'expression suivante :

$$f_l = \frac{V_{dl}}{\lambda}$$

Il vient finalement $f_l = f_g \times \frac{V_{dl}}{V_{dg}}$

Bien qu'un mauvais « calage » de la vitesse de lecture n'affecte pas les intervalles musicaux, les musiciens y sont cependant très sensibles et il a été constaté que, dans certains cas, des écarts de fréquence de l'ordre de 2 à 3 pour mille étaient perceptibles.

Il est donc très important de pouvoir contrôler, aussi fréquemment que possible, la valeur de défilement de la piste enregistrée.

La méthode stroboscopique, que nous allons étudier succinctement, est le moyen le plus simple d'effectuer ce contrôle.

2-2. Méthode stroboscopique.

La stroboscopie est basée sur la propriété que possède notre œil de conserver une impression lumineuse pendant un temps relativement long, 1/15 de seconde environ (cette durée varie avec la source lumineuse et avec chaque sujet). Si l'on trace un rayon noir sur un disque blanc et si l'on fait tourner ce disque, on constate que :

1° Si le disque tourne à vitesse réduite, l'œil apprécie sans difficulté les différentes positions du rayon.

2° Si le disque tourne rapidement, les différentes positions occupées par le rayon se fondent en une plâge d'un gris uniforme en raison de la persistance des impressions lumineuses sur la rétine.

Supposons que notre disque soit maintenant placé dans une chambre noire et qu'il soit possible à l'aide d'un projecteur d'éclairer le disque un court instant chaque fois que le rayon passe à la verticale. Si le temps qui s'écoule entre deux passages successifs du rayon dans cette position est inférieur à la persistance rétinienne nous aurons l'impression que le disque est immobile.

Si maintenant, sans toucher au réglage du projecteur, nous faisons varier très légèrement la vitesse du disque nous constaterons que le rayon semble se déplacer lentement dans le sens de la rotation si la vitesse est plus grande que précédemment, ou dans l'autre sens dans le cas contraire.

En pratique, au lieu de tracer un seul repère on dessine un grand nombre de secteurs noirs et blancs que l'on éclaire au moyen d'une lampe à faible inertie calorifique branchée sur le *secteur alternatif*.

L'intensité du courant traversant la lampe s'annulant deux fois par période, le disque se trouvera éclairé à une fréquence double de celle du secteur.

Appelons N le nombre de barres que doit porter le disque, f la fréquence du courant, V le nombre de tours-minute effectués par le disque.

Pour que le disque semble immobile à un observateur, nous devons avoir entre ces trois grandeurs N, f et V la relation suivante :

$$\frac{1}{VN} = \frac{1}{2f} \quad \text{ou encore} \quad N = \frac{2f \times 60}{V}$$

2-3. Application au contrôle de la vitesse de rotation des disques.

Chacun sait que la vitesse de rotation des disques a été fixée arbitrairement à 78 TM

Lorsque les appareils d'enregistrement et de lecture étaient mus à l'aide de dispositifs mécaniques (manivelle-ressort ou poids) le choix de la valeur de cette vitesse était sans importance particulière.

L'adoption de systèmes actionnés par moteurs synchrones a conduit les constructeurs pour simplifier le dispositif de transmission à remplacer cette vitesse théorique de 78 TM par une vitesse approchée dont la valeur exacte est 78 TM 1/8.

Calculons, au moyen de la formule établie plus haut, le nombre de barres noires qu'il y a lieu de tracer sur un disque pour pouvoir en contrôler la vitesse par la méthode stroboscopique :

$$N = \frac{2 \times 50 \times 60}{78 \frac{1}{8}} = 76 \text{ barres } \frac{4}{5}$$

Généralement les fournisseurs de disques, tracent 77 barres.

La faible erreur commise en adoptant ce chiffre (3 pour 1.000) ne gêne pas le contrôle de la vitesse.

Un observateur attentif pourrait constater que l'image du disque n'est pas absolument immobile. Elle se déplace en effet très lentement dans le sens du mouvement à une vitesse inférieure à 1/4 de tour par minute.

2-4. Normes.

L'Association Nationale des Broadcasters (N.A.B.) réunie en avril 1949 a fixé les normes suivantes pour les vitesses de rotation des disques et pour le contrôle de ces vitesses :

Vitesse : la vitesse moyenne des tourne disques sera de 33 tours 1/3 ou de 78 tours 26 par minute $\pm 0,3$ %.

Contrôle de cette vitesse : disque stroboscopique (1) 216 raies par 360° pour 33 T 1/3 ; 92 raies par 360° pour 78 T,26.

Le N.A.B. précise en outre : que la vitesse soit de 33 1/3 ou de 78,26 tours par minute le point de référence ne doit pas avoir plus de 21 raies de battement par minute dans un sens ou dans l'autre.

(1) La différence avec le chiffre donné plus haut s'explique par le fait que la fréquence du secteur américain est de 60 pps et non de 50 comme en France.

CHAPITRE 3.

HISTOIRE CONCERNANT L'ENREGISTREMENT SUR DISQUE

Les premiers essais d'enregistrement de la parole sont dus à Léon Scott, ouvrier typographe français, qui a consacré une partie de sa vie à la recherche d'un procédé permettant à la parole de « s'inscrire d'elle-même ».

Partant des expériences du physicien anglais YOUNG (1807), qui était parvenu à tracer sur un cylindre métallique les vibrations d'une tige de métal, il réalisa en 1857 un appareil permettant d'enregistrer les vibrations sonores. Mais cet appareil appelé « phonotaugraphe » ne permettait pas la reproduction des sons.

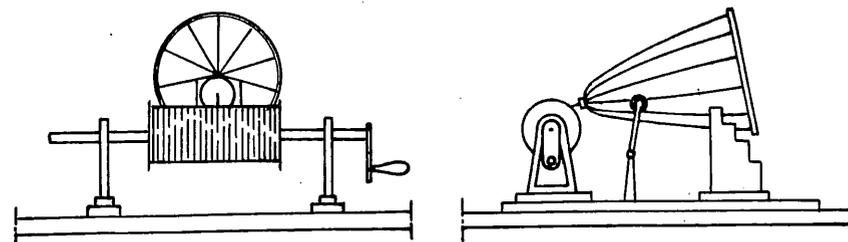


FIG. 3-1. — Phonotaugraphe de Scott.

Charles CROS, chercheur français, s'est également attaché à résoudre le problème. En 1877 il dépose sur le bureau de l'Académie des Sciences de Paris un projet d'appareil qui malheureusement, faute de moyens, ne fut jamais construit.

C'est finalement EDISON qui, le premier, en 1878 parvint effectivement à reproduire les sons enregistrés.

La figure 3-2 représente schématiquement la première réalisation du phonographe d'EDISON.

L'invention est décrite de la manière suivante dans le brevet français N° 124.974 du 7 juin 1878 :

« Les vibrations du son agissent sur un diaphragme ou autre organe susceptible de mouvement. Ce diaphragme est monté à l'arrière d'une chambre, percée d'une ouverture servant d'embouchure et il est armé d'une pointe. J'appelle cet instrument « phonographe ».

Le phonographe est monté en position avec sa pointe en contact avec une substance appropriée... La surface sur laquelle la feuille est montée est préalablement entaillée spiralement et la pointe produit des dépressions de la feuille métallique en suivant cette spirale, au fur et à mesure que le diaphragme est actionné par les vibrations du son. Ces dépressions constituent un enregistrement des ondes sonores et sont des caractères qui servent à reproduire ces sons. Je donne le nom de phonogramme à la feuille portant ces dépressions.

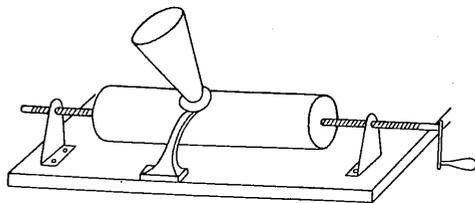


FIG. 3-2.

celle du phonographe étant pourvue d'un diaphragme et d'une pointe, mais son embouchure affecte préférentiellement la forme d'un entonnoir afin d'intensifier le son et le rendre plus distinct.

Les sons sont reproduits en ajustant le phonet en place de manière que la pointe de son diaphragme se présente au commencement de la ligne spirale portant les dépressions et au fur et à mesure du déplacement de la surface contenant la feuille métallique portant ces dépressions. Le diaphragme est vibré par le passage de sa pointe d'une de ces dépressions ou cavités à l'autre, d'où il résulte que le même mouvement n'est transmis au diaphragme par les dépressions que lorsqu'il produit lui-même ces dépressions, et, par conséquent, les sons produits par le phonet sont les mêmes que ceux qui ont actionné le diaphragme du phonographe.

La matière sur laquelle l'inscription est faite peut être un métal tel que l'étain, le fer, le cuivre, le plomb, le zinc, l'aluminium ou un alliage composé de ces métaux. Le papier (ou autre matière) peut être employé étant revêtu d'une couche de paraffine ou autre hydrocarbure, *cire, gomme*, ou laque...

Si on fait usage d'une feuille de cuivre ou d'étain, revêtu d'une pellicule de cuivre, et, si une matrice en fer ou en acier est faite sur le phonogramme par le procédé de l'électrotypie ou autre, cette matrice peut être trempée ou durcie et employée pour imprimer une feuille ou un rouleau de métal. D'où il suit que le phonogramme primitif peut être reproduit d'une manière indéfinie... »

D'autres chercheurs continuèrent les travaux entrepris par EDISON ; BEL et TAINTE, deux Américains, remplacèrent la « pointe » utilisée par EDISON par un véritable outil creusant dans la cire un sillon de profondeur variable. Ils construisirent le graphophone sensiblement plus simple et plus pratique que le phonographe. Cet appareil avait en outre l'avantage d'être d'un prix de revient moins élevé.

Cependant tous ces appareils présentaient de nombreuses imperfections. L'une des plus caractéristiques était leur manque de sensibilité. Il fallait en effet parler très fort dans un cornet, pour que l'enregistrement ait lieu.

Ce défaut faillit avoir un résultat fâcheux lorsque le phonographe d'EDISON fut présenté à l'Académie des Sciences le 11 mars 1879. Les académiciens sceptiques firent fonctionner l'appareil et constatèrent que celui-ci ne « répondait » pas. Tout d'abord ils se crurent mystifiés mais constatèrent par la suite que l'appareil, très peu sensible, ne fonctionnait que si l'on parlait fort et très près de la membrane.

En 1887, BERLINER, comparant l'écriture latérale du phonotaugraphe de SCOTT et l'écriture en profondeur du phonographe d'EDISON, acquit la conviction que l'écriture latérale exigeait moins de puissance que l'écriture en profondeur. Il conclut également qu'il était plus commode de graver sur disque que sur rouleau — ou cylindre — et construisit un appareil simple et pratique auquel il donna le nom de *gramophone* (FIG. 3-3).

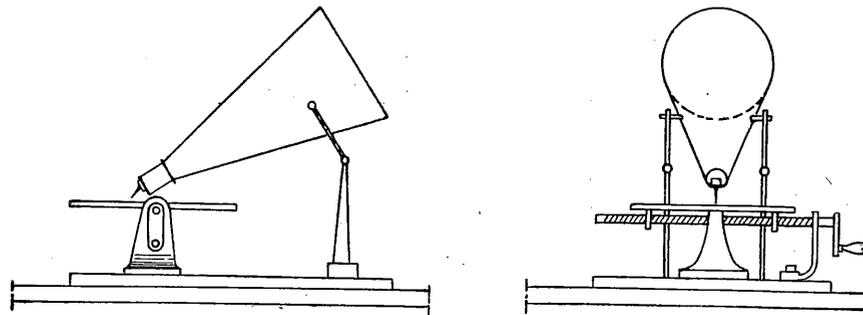


FIG. 3-3. — Gramophone.

Notons que BERLINER fut le premier à construire des appareils uniquement destinés à la lecture. Ces appareils étaient vendus au public avec un jeu de trois « rondelles ». De nombreux enregistrements en profondeur ont cependant été effectués postérieurement à la réalisation du gramophone.

Depuis des progrès incessants ont été accomplis. Les plus marquants sont dus :

A EDISON qui mit au point la multiplication des disques.

A RONDALL, 1888, RIVAUX, 1907, VORBECK, 1915, qui ont tenté de réaliser la gravure électro-mécanique (ce n'est cependant que vers 1925, après la mise au point des amplificateurs à tubes, qu'il a été possible d'obtenir des résultats vraiment satisfaisants).

Aux firmes américaines — Columbia et R.C.A. — qui, utilisant des matériaux sans « grain » tels que les chlorures de polyvinyles, ont mis au point l'enregistrement « microsillon ».

CHAPITRE 4.

GÉNÉRALITÉS

L'enregistrement mécanique direct a été abandonné depuis 1926. Actuellement, on n'enregistre plus sans avoir au préalable transformé les vibrations acoustiques en oscillations électriques ayant les mêmes fréquences composantes, mais dont les amplitudes peuvent être accrues à volonté au moyen d'un amplificateur. La tension alternative recueillie à la sortie de ce dernier est appliquée à un moteur électro-mécanique dont le rôle est de transformer les impulsions électriques qu'il reçoit en vibrations mécaniques. Celles-ci sont finalement transmises à un outil — saphir ou burin — qui trace un sillon sinueux sur le disque, le cylindre ou la galette de cire.

Pour souligner les aspects multiples de ce problème d'enregistrement, il nous a paru intéressant de rassembler sous forme schématique les éléments essentiels sur lesquels a porté le choix des chercheurs et des techniciens et de préciser les solutions qui ont finalement été adoptées. Nous noterons tout d'abord que la quasi-obligation d'utiliser l'électricité comme intermédiaire au lieu de rétrécir le champ des possibilités l'accroît au contraire de manière sensible. Les éléments essentiels de tout système d'enregistrement sont au nombre de quatre :

Le phonogramme et le mode d'écriture ;

Le graveur et son alimentation ;

Le lecteur et son amplificateur ;

L'ensemble des systèmes mécaniques utilisés pour obtenir le défilement de la piste, le déplacement du graveur ou du lecteur.

Les trois derniers points feront l'objet de développements ultérieurs ; nous nous bornerons au cours des présentes généralités à donner quelques précisions concernant : le *phonogramme* et le *mode d'écriture*.

4-1. Le phonogramme.

Le phonogramme est caractérisé par sa forme et par le matériau qui le constitue.

a) *Sa forme*. Deux formes ont successivement été données au phonogramme : la forme cylindrique et la forme plate ou disque.

Forme cylindrique : la première en date, abandonnée pour des raisons d'encombrement et de fragilité.

La piste affecte la forme d'une hélice à « pas » réduit et recouvre en fait toute la surface latérale extérieure du cylindre. La rotation de celui-ci à vitesse uniforme assure à cette piste un « défilement » constant.

Forme plate ou disque : manipulation particulièrement commode ; encombrement réduit ; facilite la constitution de discothèques. Par contre la piste EN FORME DE SPIRALE ne défile pas à vitesse constante lorsque le disque est animé d'un mouvement de rotation uniforme.

b) *Le matériau*. On a utilisé successivement avec plus ou moins de bonheur divers métaux, la paraffine, la gomme laque, etc... Pratiquement on n'utilise actuellement que deux sortes de disques :

les disques durs du commerce et les disques souples dont se servent les professionnels. Nous verrons pages 102 et suivantes comment ces disques sont réalisés.

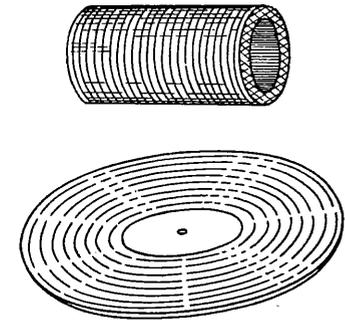


FIG. 4-1.

4-2. Le mode d'écriture.

Le mode d'écriture est défini par le mouvement de l'outil graveur. Nous distinguerons d'une part le plan dans lequel s'effectue ce mouvement et d'autre part ses caractéristiques « dynamiques ».

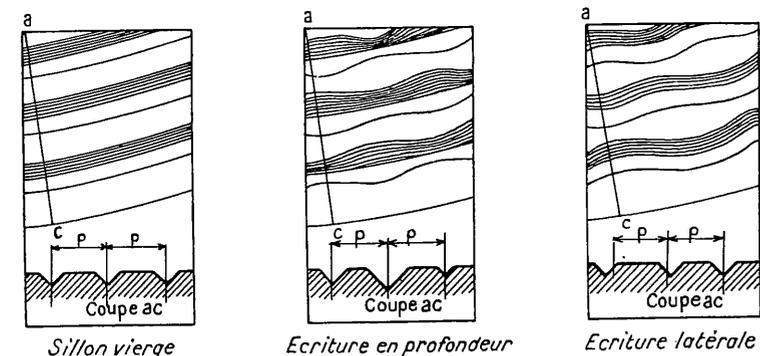


FIG. 4-2.

a) *Plan du mouvement*. — En l'absence du signal, quel que soit le système considéré, l'outil creuse dans le phonogramme un sillon de caractéristiques

moyennes rigoureusement constantes. Un tel sillon est généralement appelé « sillon vierge ».

On se trouve en présence de l'écriture en profondeur si l'outil se déplace de part et d'autre de sa position moyenne (sillon vierge) dans le plan vertical, ou plus exactement dans le plan perpendiculaire à la surface du disque, et de l'écriture latérale si, au contraire, le déplacement a lieu dans le plan horizontal, c'est-à-dire dans un plan parallèle à cette même surface du disque.

L'écriture en profondeur, remplacée par l'écriture latérale en raison de l'insuffisance de sensibilité du premier appareil Edison, pourrait être utilisée de nouveau sans que le même inconvénient soit à redouter. De nombreux chercheurs y ont songé, mais les avantages offerts par ce système — en particulier une plus grande densité de sillons — ne justifient pas le bouleversement technique qu'entraînerait le changement de mode d'écriture.

Dans un but de simplification, nous limiterons donc désormais notre exposé, au cas de l'enregistrement latéral.

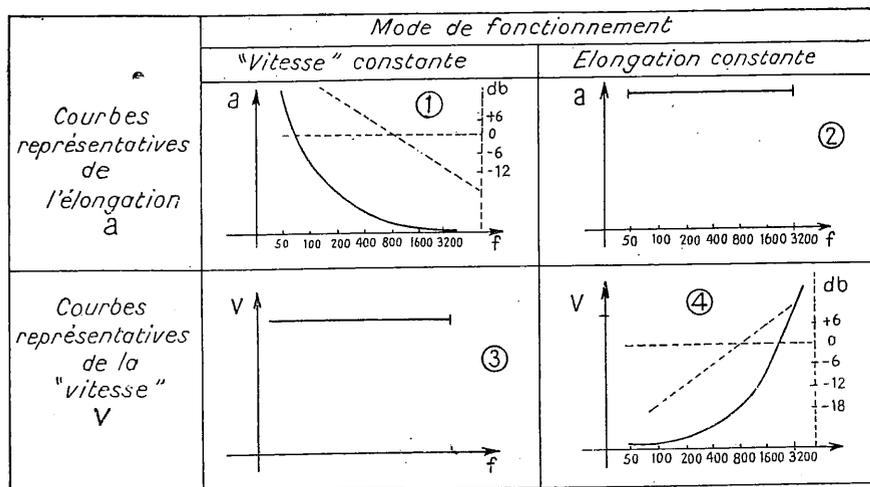


FIG. 4-3.

b) Caractéristiques « dynamiques » du mouvement.

Dès l'application d'une tension alternative sinusoïdale au graveur, et si l'on fait abstraction du déplacement latéral du chariot porte graveur, la pointe du burin se déplace de part et d'autre de sa position moyenne dite aussi position de repos.

Deux des éléments caractéristiques de ce mouvement sont :

L'élongation ou amplitude du déplacement ;

La vitesse maximum ou amplitude de vitesse de ce déplacement.

On peut, à l'aide de divers artifices, réaliser des dispositifs électromécaniques tels que l'un ou l'autre de ces éléments soit constant quelle que soit la fréquence d'excitation du système.

On dira que l'enregistrement est effectué à « élancement constant » ou à « vitesse constante » (1) selon qu'il s'agit du premier ou du second de ces facteurs.

La figure 4-3 donne une représentation schématique de ces phénomènes (2) :

4-3. L'enregistrement à vitesse constante est celui qui se rapproche le plus des phénomènes physiques naturels, tant à la gravure qu'à la lecture.

Pour le montrer nous nous bornerons à signaler qu'à la « reproduction » la f.e.m. recueillie à la sortie des lecteurs — pour les types électromagnéti-

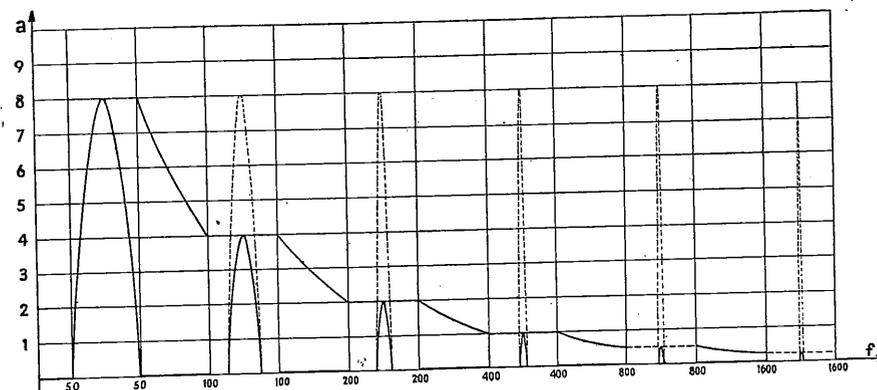


FIG. 4-4. - Schéma représentant superposées par la base — ce qui définit le λ — les demi-sinusoïdes se rapportant à l'enregistrement à vitesse constante (trait gras) et à l'enregistrement à élancement constant (trait pointillé). La courbe enveloppe $a = k|f$ a été fractionnée (trait gras) pour faciliter la représentation.

ques et électrodynamiques tout au moins — résulte d'une variation de flux. Pour obtenir une f.e.m. constante à toutes fréquences il faut donc que la vitesse de variation de ce flux soit également constante :

$$\frac{d\phi}{dt} = \text{constante.}$$

(1) Bien entendu ce n'est pas la vitesse qui est constante — elle varie à chaque instant — mais l'amplitude de cette vitesse. Nous conserverons cependant cette expression abrégée qui bien qu'incorrecte a été consacrée par l'usage.

(2) On a coutume d'adopter des coordonnées logarithmiques pour la représentation des courbes tracées fig. 4-3. Dans ce cas les variations de l'élongation ou de la vitesse affectent la forme de droites inclinées de 6 db par octave. Elles sont représentées en 1 et 4 par des lignes pointillées.

Cette condition n'est satisfaite, ainsi que nous le verrons par la suite, que pour les enregistrements effectués à « *vitesse constante* ».

En outre, et c'est peut-être là que réside l'inconvénient majeur du système d'enregistrement à élongation constante, nous verrons par la suite que la gravure et la lecture ne demeurent fidèles, nous devrions même écrire *possibles*, que si, pour un système donné, le rapport λ/a de la longueur d'onde à l'amplitude de la sinusoïde inscrite est *supérieur à une valeur déterminée*.

La figure 4-4 illustre de manière frappante cette nécessité.

En résumé.

On pratique actuellement l'enregistrement sur disque. Celui-ci, animé d'un mouvement de rotation de vitesse angulaire constante, est entaillé par un outil — burin ou saphir — se déplaçant latéralement de part et d'autre de sa position de repos, à une vitesse dont l'amplitude est indépendante de la fréquence.

Ce système est généralement désigné par les deux caractéristiques essentielles suivantes : *Ecriture latérale — vitesse constante*.

CHAPITRE 5.

THÉORIE DU FONCTIONNEMENT DES GRAVEURS

Il existe différents types de graveurs :

- 1° Les graveurs mécaniques mus acoustiquement ;
- 2° Les graveurs électro-mécaniques. Ceux-ci peuvent être :
 - a) électro-dynamiques ;
 - b) électro-magnétiques.

5-1. Graveurs mécaniques.

Ces appareils étant complètement abandonnés leur fonctionnement ne sera pas étudié dans le présent cours.

5-2. Graveurs électro-mécaniques.

Quel que soit le principe de fonctionnement d'un graveur il est toujours possible de rapporter la solution adoptée au cas simple suivant un équipage mobile maintenu dans une position dite de repos au moyen d'un ressort de rappel.

L'étude de « l'amortissement visqueux des vibrations forcées » nous a montré que pour un tel système excité par une force sinusoïdale $P \sin \omega t$ l'équation du mouvement avait pour expression :

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + f \frac{dx}{dt} + cx = P \sin \omega t$$

Cette étude a montré également qu'en régime permanent pour f différent de zéro, la pulsation et l'amplitude du mouvement étaient représentées respectivement par :

$$D = \frac{P}{C} \cdot K$$

| même pulsation que la force perturbatrice ;
 | P étant l'amplitude de la force perturbatrice
 | C la raideur du système
 | K le facteur d'amplification dont la valeur a été définie précédemment (1).

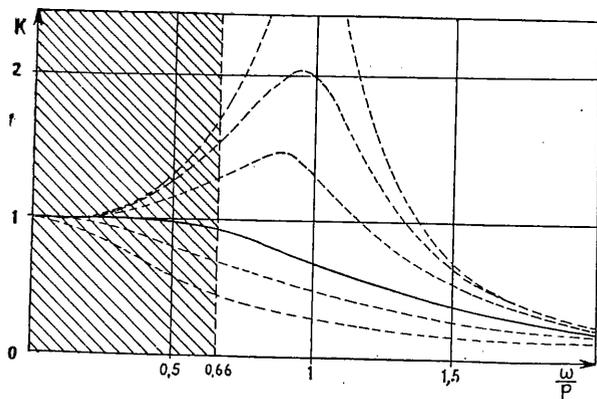


FIG. 5-1.

tre de fréquence correspond à la partie hachurée de la figure 5-1).

Dans ces conditions — nous verrons plus loin que malheureusement elles ne peuvent pas toutes être entièrement respectées — l'amplitude du mouvement dépend directement de la valeur de P.

A P important correspond de grandes amplitudes et à P faible des amplitudes réduites.

Avant d'étudier les variations du facteur P nous allons déterminer sa valeur pour les deux types de graveurs qui nous intéressent.

REMARQUE. — Les études complètes concernant les graveurs et en général tous les systèmes vibrants sont longues et délicates ; elles sortiraient du cadre limité du présent ouvrage. Dans ce qui suivra, nous nous contenterons donc d'une théorie simplifiée destinée uniquement à saisir l'un des aspects essentiels du phénomène : l'action du courant électrique sur l'outil graveur.

5-3. Graveurs électro-dynamiques.

Diverses dispositions matérielles peuvent être adoptées pour construire les graveurs électro-dynamiques. Une solution simple est représentée par

(1) Voir page 25.

les figures 5-2 et 5-3.

Il est aisé de remarquer que le mécanisme de ce graveur est analogue à celui d'un appareil de mesure à cadre mobile. Un cadre rigide est placé dans le champ d'un puissant aimant de telle sorte que, dans la position de repos, le plan des spires soit parallèle aux lignes de force.

Ce cadre peut pivoter autour de l'axe X X' en entraînant dans son déplacement un dispositif sur lequel est fixé un burin.

Un système élastique maintient l'équipage mobile dans la position de repos définie plus haut et un autre système permet d'obtenir l'amortissement voulu.

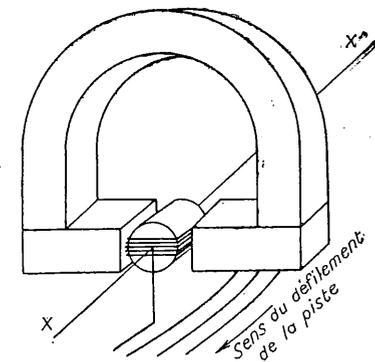


FIG. 5-2.

Dans ce cas l'équation du mouvement prend la forme :

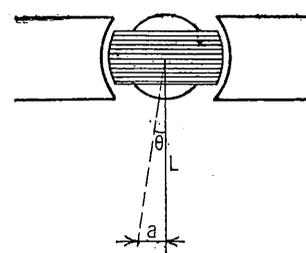


FIG. 5-3.

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} + f \frac{d\theta}{dt} + C\theta = P$$

forme analogue à celle que nous avons rencontrée précédemment et dans laquelle

- I représente l'inertie de l'équipage mobile par rapport à l'axe XX'
- f les forces de frottement supposées proportionnelles à la vitesse
- C la raideur du système
- P le couple moteur ou perturbateur.

Nous savons que dans un tel appareil le couple est proportionnel au courant d'excitation :

$$P = ki \sin \omega t$$

Si nous considérons l'amplitude de rotation du système, il vient :

$$\theta_0 = \frac{P}{C} \cdot K, \quad K \text{ étant le facteur d'amplification défini précédemment}$$

d'où enfin

$$\theta_0 = K'i$$

D'autre part s'agissant de petites amplitudes, nous pouvons également écrire :

$$a = L \cdot \theta_0, \quad \theta_0 \text{ étant exprimé en radians}$$

On en déduit immédiatement :

$$a = K''i$$

L'élongation a du burin est à chaque instant proportionnelle au courant traversant le cadre.

En faisant traverser le cadre de l'équipage mobile par un courant alternatif dont l'amplitude est inversement proportionnelle à la fréquence, nous obtiendrons un enregistrement dit « à vitesse constante » ($af = \text{constante}$).

Nous verrons plus loin, comment il est possible d'obtenir un tel courant.

En pratique, le graveur électrodynamique est cependant très peu utilisé ; pourquoi ?

On démontre (1) que l'amplitude maximum du burin ou du saphir équipant ce type d'appareil est faible — de l'ordre de 5 microns — et que, sauf artifices (2), elle est indépendante des dimensions du système.

Or une reproduction correcte ne s'obtient qu'en gravant des signaux d'amplitude suffisante ; les inscriptions utiles devant de toute évidence avoir un niveau sensiblement supérieur à celui des inscriptions parasites (voir page 101, bruit de fond)

Calcul de l'amplitude du mouvement du graveur électrodynamique (3).

Considérons le mouvement d'un cadre rigide ABCD placé dans un champ constant et traversé par un courant sinusoïdal de pulsation ω .

Dans ce système oscillant à un degré de liberté, désignons par K le moment d'inertie ; f les frottements ; C la raideur ; P l'amplitude de la force perturbatrice ; θ le déplacement angulaire et v la vitesse de ce déplacement.

L'équation du mouvement peut alors se mettre sous la forme

$$jKv\omega + f v - j C \frac{v}{\omega} = P$$

ou encore

$$\left[f + j \left(K\omega - \frac{C}{\omega} \right) \right] v = P$$

à la résonance $v_0 = \frac{P}{f}$; d'autre part nous savons que $v_0 = \theta_0 \omega_0$

Il vient donc $\theta_0 = \frac{P}{f\omega_0}$; or le couple P a pour expression

$$P = \frac{1}{10} \cdot I \cdot n \cdot \mathcal{H} \cdot a \cdot b \cdot \begin{cases} I & \text{courant} \\ n & \text{nombre de spires} \\ \mathcal{H} & \text{champ} \\ a \text{ et } b & \text{côtés du cadre} \end{cases}$$

Si le réglage est effectué au voisinage de l'amortissement critique il vient

$$f^2 = 4 K C ; \text{ d'autre part } \omega_0 = \sqrt{\frac{C}{K}}$$

d'où

$$f^2 = 4 K \omega_0^2 \text{ et } f = 2 K \omega_0$$

(1) Voir : Calcul de l'amplitude du mouvement du graveur électrodynamique.

(2) Pour certains appareils on dépasse volontairement les densités habituellement admises dans les conducteurs de l'équipage mobile. Mais dans ce cas on a soin de limiter l'élévation de température qui en résulte en soufflant de l'air frais sur les parties chaudes du système.

(3) Voir Revue Technique Philips (mai 1936), p. 132.

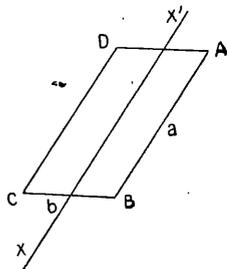


FIG. 5-4.

Enfin si dans l'expression $\theta_0 = \frac{P}{f\omega_0}$ nous remplaçons f par sa valeur nous avons :

$$\theta_0 = \frac{P}{2 K \omega_0^2}$$

Posons $I = i q$ { i étant la densité du courant
q la section en mm²

L'inertie du système peut sans trop grande erreur être supposée constituée essentiellement par les conducteurs AB et CD. Nous aurons donc

$$K = \Sigma m \frac{b^2}{4} = 2 a n \rho q \frac{b^2}{4} \left\{ \begin{array}{l} \rho \text{ densité du conducteur} \\ 2 \text{ étant le facteur matérialisant les deux moitiés du cadre} \end{array} \right.$$

il vient finalement :

$$\theta_0 = \frac{i \mathcal{H} l}{10 \rho b \omega_0^2}$$

Enfin le déplacement du côté « a » du cadre aura pour expression

$$x_a = \theta_0 \cdot \frac{b}{2} = \frac{i \mathcal{H} l}{20 \rho \omega_0^2}$$

nous noterons que cette expression est indépendante des dimensions du système. Sa valeur sera maximum pour i et \mathcal{H} maxima et pour ρ et ω_0 minima.

Si l'on prend $\left\{ \begin{array}{l} \mathcal{H} \text{ max.} = 15.000 \text{ gauss.} \\ i \text{ densité max.} = 10 \text{ A mm}^2 \\ \rho \text{ densité min.} = 3 \text{ gr/cm}^3 \\ f_0 = 3.500 \text{ p.p.s.} \end{array} \right.$

$x_a \neq 5$ microns.

5-4. Graveur électro-magnétique.

Diverses dispositions matérielles peuvent également être adoptées pour construire les graveurs électro-mécaniques ; le chapitre 7 « Quelques réalisations » traitera cette question. Pour l'étude théorique du système nous nous contenterons du schéma de principe représenté par la Fig. 5-5.

On y voit une palette P dont l'une des extrémités est encastrée et dont l'autre, prolongée d'un burin, peut se déplacer dans l'entrefer d'un aimant bipolaire.

Une bobine B entourant cette palette peut y faire naître une force magnétomotrice à chaque instant proportionnelle au courant qui y circule.

Sous l'action de cette force magnétomotrice la palette se déplace à gauche ou à droite de sa position de repos selon le sens du courant circulant dans la bobine B.

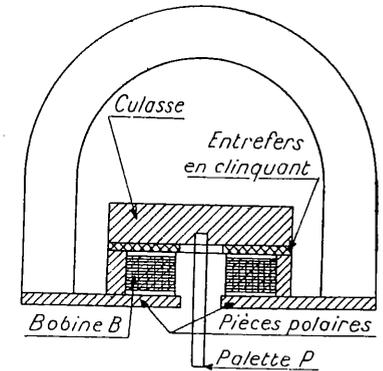


FIG. 5-5.

REMARQUE.

Cette bobine ne faisant pas partie de l'équipage mobile il est donc possible de modifier la valeur de la force magnétomotrice sans augmenter la masse du système vibrant. C'est

là un des principaux avantages du graveur électro-magnétique. Les appareils de ce type sont les seuls utilisés par la Radiodiffusion Française.

Tout comme pour le graveur électro-dynamique il est possible de se faire une idée du fonctionnement du graveur électro-magnétique par le développement ci-dessous.

Traçons schématiquement un circuit « magnétique » équivalent à celui du système étudié. Adoptons pour la commodité de la représentation graphique les équivalences bien connues entre circuit électrique et circuit magnétique.

Tableau rappelant les équivalences.

Grandeurs électriques	Symbole	Grandeurs magnétiques	Symbole
Intensité	I	Flux magnétique	Φ
Force électro-motrice	E	Force magnétomotrice	\mathcal{F}
Résistance	R	Réductance	\mathcal{R}
Conductibilité	$1/\rho$	Perméabilité	μ

Remarquons tout d'abord :

1° Que la réductance des circuits magnétiques pourra être négligée devant celle des entrefers en raison de la différence de perméabilité de ces circuits : ($\mu = 1$ pour le vide, l'air et tout corps non magnétique $\mu = 2000$ et même 2500 pour l'acier doux).

2° Que les amplitudes des déplacements de la palette (20 microns au maximum) sont faibles comparées à la valeur de l'entrefer (100 microns en général).

On pourra donc admettre :

- Que le flux Φ_0 de l'aimant permanent reste constant ;
- Que les faces de chaque entrefer pourront être considérées comme gardant leur parallélisme durant les déplacements de la palette ;
- Que, du fait des petites dimensions des entrefers, les fuites magnétiques sont négligeables.

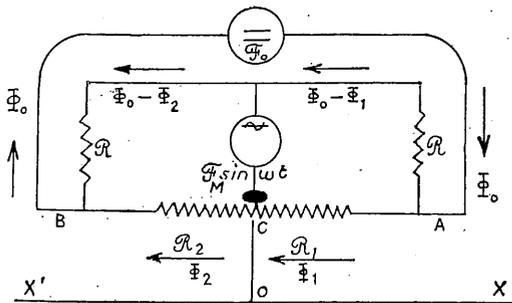


FIG. 5-6. — (Schéma circuit magnétique équivalent) graveur fig. 5-5.

x le déplacement de la palette les valeurs de \mathcal{R}_1 et de \mathcal{R}_2 peuvent être exprimées de la manière suivante :

$$\mathcal{R}_1 = \frac{l-x}{\mu s} = \varphi (l-x)$$

en posant $\varphi = \frac{1}{s}$ étant donné que $\mu = 1$ dans l'entrefer.

$$\mathcal{R}_2 = \varphi (l+x)$$

Appliquons les lois de KIRCHOFF aux circuits magnétiques du schéma ; considérons successivement les circuits ACD et CBD il vient :

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{R}_1 \Phi_1 - \mathcal{F} - \mathcal{R} (\Phi_0 - \Phi_1) &= 0 \\ \mathcal{R}_2 \Phi_2 - \mathcal{R} (\Phi_0 - \Phi_2) + \mathcal{F} &= 0 \end{aligned} \right\} (1)$$

d'où nous tirons en remplaçant \mathcal{R}_1 et \mathcal{R}_2 par leur valeur et en posant $\mathcal{R} + \varphi l = \beta$

$$\Phi_1 = \frac{\mathcal{R}\Phi_0 + \mathcal{F}}{\mathcal{R} + \mathcal{R}_1} = \frac{\mathcal{R}\Phi_0 + \mathcal{F}}{\beta - \varphi x}$$

$$\Phi_2 = \frac{\mathcal{R}\Phi_0 - \mathcal{F}}{\mathcal{R} + \mathcal{R}_2} = \frac{\mathcal{R}\Phi_0 - \mathcal{F}}{\beta + \varphi x}$$

Nous avons indiqué en commençant cette démonstration que l , longueur de l'entrefer, était suffisamment faible pour que l'on puisse négliger les fuites magnétiques. Dans ces conditions la force à laquelle se trouve soumise la palette peut être calculée en utilisant la formule de la force portante

$$F_1 = \frac{\mathcal{B}^2 S}{8\pi} = \frac{\Phi^2}{8\pi S}$$

Φ étant le flux traversant les entrefers considérés.

Nous pouvons simplifier cette formule en écrivant :

$$F_1 = k\Phi^2$$

Revenons au schéma équivalent au graveur.

La palette est soumise à deux forces ayant même direction mais de sens opposés, leur résultante F , somme algébrique de ces deux composantes, peut être calculée au moyen de l'expression :

$$F = F_1 + F_2 \quad (2)$$

avec

$$F_1 = k\Phi_1^2$$

$$F_2 = -k\Phi_2^2$$

$$F = k(\Phi_1^2 - \Phi_2^2) = k(\Phi_1 + \Phi_2)(\Phi_1 - \Phi_2) \quad (3)$$

Calculons

$$\Phi_1 + \Phi_2 \quad \text{et} \quad \Phi_1 - \Phi_2$$

$$\Phi_1 + \Phi_2 = \frac{\mathcal{R}\Phi_0 + \mathcal{F}}{\beta - \varphi x} + \frac{\mathcal{R}\Phi_0 - \mathcal{F}}{\beta + \varphi x} = \frac{2(\mathcal{R}\Phi_0 \beta + \mathcal{F}\varphi x)}{\beta^2 - \varphi^2 x^2}$$

$$\Phi_1 - \Phi_2 = \frac{\mathcal{R}\Phi_0 + \mathcal{F}}{\beta - \varphi x} - \frac{\mathcal{R}\Phi_0 - \mathcal{F}}{\beta + \varphi x} = \frac{2(\mathcal{R}\Phi_0 \varphi x + \mathcal{F}\beta)}{\beta^2 - \varphi^2 x^2}$$

Si nous remarquons que :

1° $\mathcal{F}\varphi x$ peut être négligé devant $\mathcal{R}\Phi_0\beta$ (ceci est possible, il suffit de donner à \mathcal{R} une valeur convenable).

2° les termes comportant le facteur x^2 peuvent également être négligés ; il vient :

$$\Phi_1 + \Phi_2 = \frac{2\mathcal{R}\Phi_0}{\beta}$$

$$\Phi_1 - \Phi_2 = \frac{2(\mathcal{R}\Phi_0 \varphi x + \mathcal{F}\beta)}{\beta^2}$$

En remplaçant dans l'équation (3) les expressions $\Phi_1 + \Phi_2$ et $\Phi_1 - \Phi_2$ par leurs valeurs, nous obtenons :

$$F = k \frac{2 \mathcal{R} \Phi_0}{\beta} \cdot \frac{2}{\beta^2} (\mathcal{R} \Phi_0 \varphi x + \mathcal{F} \beta)$$

En remarquant que \mathcal{F} peut être remplacé par KI (la force magnétomotrice produite par une bobine est proportionnelle au courant qui le traverse $\mathcal{F} = 0,4 \pi NI$, I étant exprimé en ampères) et en posant :

$$\frac{k_1 4 \mathcal{R} \Phi_0}{\beta^2} = A \quad \frac{k 4 \mathcal{R}^2 \Phi_0^2 \varphi}{\beta^3} = B$$

nous obtenons finalement l'équation simplifiée suivante :

$$F = AI + BX$$

La force F qui agit sur la palette comprend deux facteurs ; l'un dépend de l'intensité du courant qui traverse la bobine, l'autre est proportionnel à l'élongation du mouvement.

Si nous reprenons l'équation générale (10) et si nous remplaçons la force perturbatrice appelée P par la valeur de F trouvée plus haut il vient :

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + f \frac{dx}{dt} + cx = AI \sin \omega t + Bx$$

ou encore :

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + f \frac{dx}{dt} + (c - B) x = AI \sin \omega t$$

nous retrouvons bien la forme générale de l'équation du mouvement vibratoire établie précédemment, le terme Bx ayant pour unique conséquence une modification de la raideur de la palette.

La force perturbatrice est donc proportionnelle à i comme dans le cas graveur électro-dynamique.

on en déduit immédiatement $P = K' i$ et $a = K'' i$

L'élongation « a » du burin est donc à chaque instant proportionnelle au courant traversant la bobine excitatrice.

Le graveur électro-magnétique est actuellement le plus employé, la palette mobile étant susceptible d'atteindre des amplitudes qui au niveau de l'entrefer sont de l'ordre de 30 microns.

L'expression obtenue par le calcul ci-dessous (1) montre que l'amplitude

(1) Calcul de l'amplitude du graveur électro-magnétique.

Comme dans le cas du calcul concernant le graveur électrodynamique (voir page 42) nous avons à la résonance et pour un réglage voisin de l'amortissement critique :

$$v_0 = a \omega_0 = \frac{P}{f} = \frac{P}{2m\omega_0} \quad \left\{ \begin{array}{l} a \text{ amplitude du déplacement de la palette} \\ a \text{ constante ayant la dimension de l'inverse} \\ \text{d'une longueur (établi compte tenu des} \\ \text{équations pages 45 et 46)} \\ \mathcal{H}_0 \text{ champ produit par l'aimant permanent} \\ \mathcal{H}_v \text{ valeur maximum du champ variable pro-} \\ \text{duit par la bobine excitatrice} \\ d \text{ densité de la palette mobile} \\ \omega_0 \text{ pulsation de résonance.} \end{array} \right.$$

d'où

$$a = \frac{P}{2m\omega_0^2}$$

ou encore :

$$a = \alpha \frac{\mathcal{H}_0 \mathcal{H}_v}{d \cdot \omega_0^2}$$

de la palette mobile du graveur électromagnétique croît lorsque les dimensions de ce graveur sont réduites. Bien entendu ceci n'est vrai que dans certaines limites : la réduction exagérée des dimensions de l'entrefer limitant nécessairement le déplacement de la palette qui précisément oscille dans une fraction de cet entrefer.

5-5. Courbe de réponse du graveur.

Nous avons déjà montré :

d'une part que si l'équipage mobile (ou la palette) est :

1° réglé à l'amortissement critique ;

2° calculé de telle sorte que la plus haute fréquence à enregistrer soit inférieure ou au plus égale aux 2/3 de la fréquence des vibrations naturelles du système, le mouvement du burin aura la même pulsation que celle de la force perturbatrice et une élongation proportionnelle à l'amplitude de cette même force (c'est-à-dire à i dans les deux cas qui viennent d'être étudiés).

d'autre part que pour obtenir un enregistrement à « vitesse constante » l'amplitude de la force perturbatrice (toujours le courant i dans les cas considérés) doit varier en raison inverse de la fréquence.

La valeur du courant étant essentielle comme nous venons de le voir, calculons-la.

Représentons tout d'abord très schématiquement le dispositif :

Dans ce schéma E représente la f.e.m. de la source, e la force contre électromotrice développée par le graveur, R_i la résistance interne de la source, R et L respectivement la résistance et la self du graveur.

En pratique la force contre électromotrice du graveur est faible et dans un but de simplification nous négligerons ce facteur.

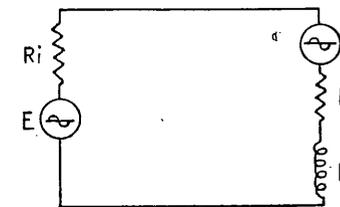


Fig. 5-7.

Il vient donc :

$$i = \frac{E}{Z_i} = \frac{E}{\sqrt{(R_i + R)^2 + L^2 \omega^2}}$$

ou encore :

$$i = \frac{E}{L\omega} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{R_i + R}{L\omega}\right)^2 + 1}}$$

Cette formule montre que le courant i sera inversement proportionnel à la fréquence si $(R_i + R)/L\omega \neq 0$, c'est-à-dire si R_i et R sont faibles devant la réactance du graveur. Pratiquement les constructeurs réussissent à donner à ces trois facteurs des valeurs permettant d'obtenir ce résultat.

La valeur de R_i est généralement voisine de 30 ohms.

A titre documentaire la courbe représentant la valeur de l'impédance d'un graveur a été reproduite ci-dessous (Fig. 5-8).

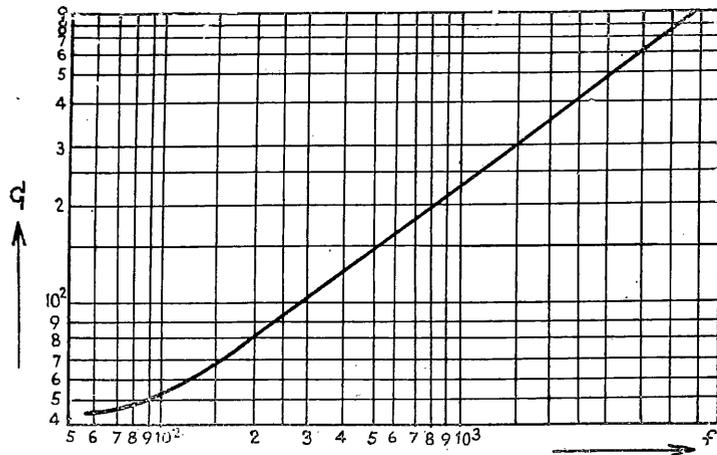


FIG. 5-8.

Compte tenu de ce qui précède, nous pouvons maintenant tracer la courbe de réponse du graveur-amplitude de la vitesse du burin en fonction de la fréquence.

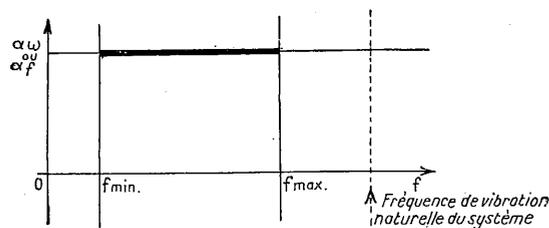


FIG. 5-9.

a) Cas des basses fréquences.

Graver à amplitude de vitesse constante l'ensemble des fréquences du spectre à enregistrer conduirait, si l'on a pris soin de donner une valeur suffisante aux élancements correspondant aux fréquences élevées, à admettre pour le burin des déplacements nettement exagérés aux fréquences basses.

En pratique, il n'est pas possible de conserver cette *courbe de réponse idéale* :

- aux basses fréquences ;
- aux fréquences élevées.

EXEMPLE. — A une élancement de 4 microns à 4 000 périodes correspondrait une élancement de 324 microns à 50 périodes.

Il en résulterait :

une très mauvaise utilisation de la surface du disque, le « pas » de la spirale décrite par le burin devant être accru pour éviter les chevauchements des sillons et le phénomène « d'écho » ;

un accroissement considérable des distorsions non linéaires (une telle élancement ne pourrait d'ailleurs pas être obtenue à l'aide des graveurs réalisés actuellement).

Pour les fréquences basses — généralement au-dessous de 250 périodes — on est donc conduit à maintenir constantes les amplitudes du mouvement du burin.

Dans ce cas, l'enregistrement est dit : à élancement constante. Cette modification de la courbe de réponse est obtenue à l'aide d'un « coupe-graves ». Ce dispositif modifie la courbe de variation du courant et tend tout simplement à le *maintenir constant*.

REMARQUE. — Il convient d'ailleurs de noter que même sans « coupe-graves » l'amplitude du courant, et par voie de conséquence l'élancement du burin, se trouverait cependant limitée *automatiquement* aux basses fréquences. En effet pour ces fréquences la réactance du graveur diminue et la valeur ne peut plus être considérée comme variant proportionnellement à la fréquence. *i tend donc vers une valeur constante*.

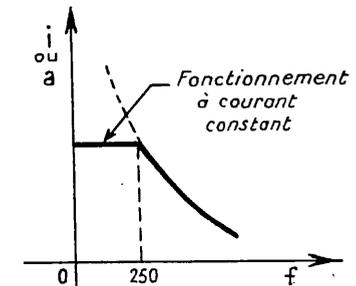


FIG. 5-10

b) Cas des fréquences élevées.

Pour ces fréquences deux aspects d'un même phénomène sont à considérer :

- une « remontée » de la courbe de réponse ;
- une « chute » rapide du tracé de cette même courbe.

Cet accident de la courbe de réponse du graveur est dû au fait que la fréquence des vibrations naturelles du système est incluse dans le spectre des fréquences à enregistrer.

Remontée de la courbe. — Lors de l'étude du mouvement vibratoire forcé avec amortissement visqueux nous avons noté que la valeur de l'amplitude était égale à :

$$D = \frac{P}{C} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1 - \omega^2}{p^2}\right)^2 + \frac{4n^2\omega^2}{p^4}}}$$

P et ω respectivement amplitude et pulsation de la force perturbatrice.
 C raideur de l'équipage ; p la pulsation des vibrations naturelles, dont la valeur est égale à $\sqrt{C/m}$; f forces de frottement avec $n = f / 2m$

Il serait donc possible, tout au moins en principe, de donner à p et δ_{st} et par voie de conséquence à D , des valeurs convenables en agissant sur les différents paramètres ($P.C.m.f$). Dans les études qui précèdent nous avons admis que ces paramètres étaient indépendants. Pratiquement il n'en n'est pas ainsi et la valeur de l'un d'entre eux réagit plus ou moins directement sur la valeur des autres.

Citons quelques exemples pour illustrer ceci :

VARIATION DE LA FORCE PERTURBATRICE :

La force perturbatrice P varie comme i , courant traversant le graveur. Une augmentation de i ne sera donc possible ou efficace qu'en augmentant le poids du cuivre pour le graveur électro-dynamique, ou la section de la palette mobile dans le cas du graveur magnétique. Ce faisant nous aurons agi sur m et par conséquent sur p (pulsation de résonance du système).

VARIATION DE LA RAIDEUR C :

Pour compenser l'augmentation de m en vue de conserver la même valeur à p , on peut songer à augmenter C de telle sorte que le rapport $\frac{m}{C}$ demeure constant. L'examen de la formule $D = \frac{P}{C} \cdot K$ nous montre qu'en agissant ainsi nous aurons bien conservé la même valeur à K mais que nous aurons réduit la valeur du facteur P/C , c'est-à-dire la *sensibilité de l'appareil*.

VARIATION DE f :

La valeur de f doit être telle que les mouvements de l'équipage soient freinés au voisinage de l'amortissement critique. En pratique on donne à f une valeur légèrement inférieure à celle qui caractérise cet « amortissement critique ».

En conclusion si, pour éviter d'inclure la fréquence des vibrations naturelles du système dans le spectre de fréquence enregistré, et obtenir ainsi une courbe de réponse idéale, nous donnons à C une valeur élevée, notre appareil sera peu sensible. Nous verrons par la suite qu'un tel appareil ne pourrait donner des résultats très satisfaisants, la qualité d'un enregistrement étant liée *directement* à l'amplitude du signal gravé, donc en fait à sa sensibilité.

Pour cette raison les constructeurs d'appareils ont été conduits à *inclure la fréquence de vibration naturelle dans le spectre des fréquences utiles*.

En règle générale cette fréquence est comprise entre 3 500 et 5 000 périodes.

Chute rapide de l'élongation au-delà du spectre musical considéré.

Reportons-nous à la figure où se trouve tracée la courbe représentant les variations du facteur d'amplification K en fonction du rapport ω/p (page 25) nous voyons que la valeur de K diminue *très rapidement* lorsque $\omega/p > 1,5$. La chute rapide de l'élongation du burin aux fréquences élevées est la conséquence de ce phénomène.

Tracé de la courbe de réponse du graveur (1).

Après cette étude, nous sommes maintenant en mesure de tracer la courbe de réponse du graveur. Voici son allure générale :

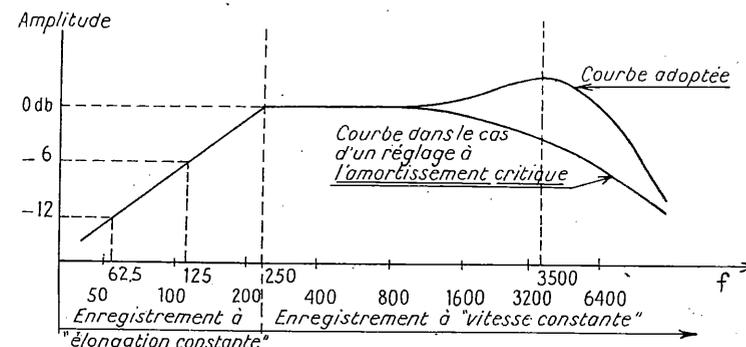


FIG. 5-11.

5-6. Relevé de la courbe de réponse du graveur.

L'étude que nous venons d'effectuer nous montre que le graveur est un appareil délicat, dont les caractéristiques peuvent varier sensiblement en fonction des divers facteurs tels que le temps et la température.

Il est donc nécessaire de contrôler ses caractéristiques et, pour cela, de relever fréquemment sa courbe de réponse.

Ces relevés de courbes de réponse peuvent s'effectuer au moyen de deux méthodes essentiellement différentes :

- 1° La méthode de BUCHMANN et MEYER ;
- 3° La méthode de GUTWEIN.

La première, qui est aussi la plus simple, est la seule qui soit utilisée par les exploitants.

La seconde, qui nécessite l'emploi d'un matériel assez important est très intéressante car elle permet *d'apprécier la réaction du disque*.

1° Méthode de MEYER ou encore du spectre lumineux.

Si nous éclairons un disque gravé à l'aide d'un faisceau de lumière parallèle, et si nous regardons ce disque après nous être placé du même côté que la

(1) Pour l'enregistrement standard 78 TM.

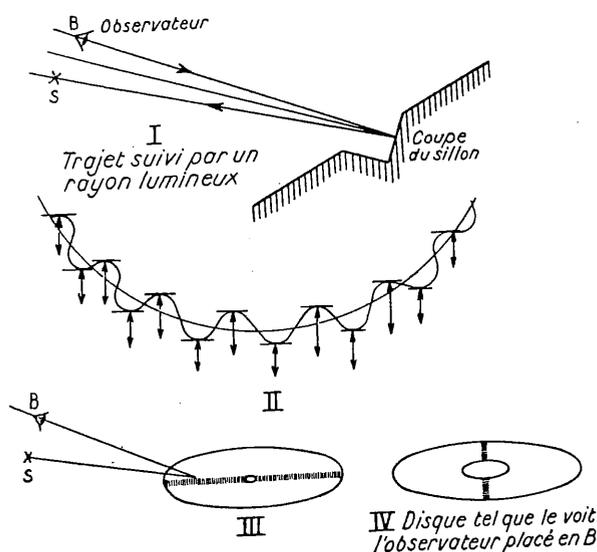


FIG. 5-12.

tons que les bandes lumineuses réfléchies par ce disque ont des largeurs dont le rapport est le même que celui des niveaux d'excitation correspondants.

Prenons un deuxième disque et gravons deux fréquences différentes le niveau d'excitation du graveur étant conservé. Nous constatons que les largeurs des deux bandes lumineuses ont également la même valeur.

Ces essais et ceux de même nature qui peuvent être effectués pour diverses fréquences montrent d'une part que la largeur de la bande lumineuse varie proportionnellement au niveau appliqué à l'entrée du graveur, mais que, d'autre part, pour un niveau constant, elle est indépendante de la fréquence (à condition toutefois de prendre des fréquences suffisamment éloignées de la fréquence de vibration naturelle du système). Le calcul de la largeur de la bande lumineuse figurant ci-après permet d'expliquer ces résultats.

CALCUL DE LA LARGEUR DE LA BANDE LUMINEUSE. — Si nous considérons une fraction de sillon limitée à une sinusoïde éclairée en « lumière parallèle », nous constatons qu'il existe deux points lumineux A et B correspondant aux deux positions pour lesquelles la tangente de la courbe est perpendiculaire aux rayons lumineux incidents (FIG. 5-13 a).

Faisons pivoter la sinusoïde autour du point O et observons ce qui se passe :

Appelons θ l'angle de rotation de l'ensemble et α l'angle de la tangente à la courbe au point d'inflexion.

1° Pour θ croissant d'une manière continue tout en demeurant inférieur à α (FIG. 5-13 b).

Les deux points lumineux (A' et B') convergent vers O mais demeurent distincts.

source lumineuse par rapport au disque, nous observons sur toute la surface enregistrée de nombreux points brillants. Si le disque tourne, les points brillants d'un même sillon se fondent et forment des bandes lumineuses. Ce phénomène est dû à la persistance rétinienne.

Prenons maintenant un disque vierge et enregistrons la même fréquence à deux niveaux différents.

Nous constatons

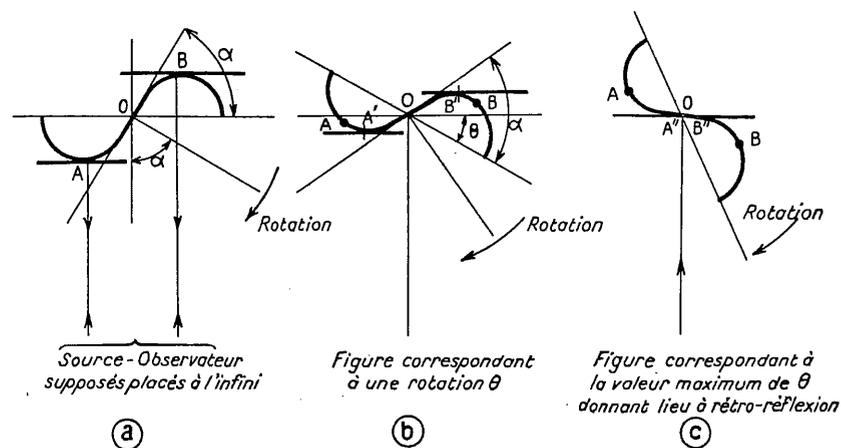


FIG. 5-13.

2° Pour $\theta = \alpha$ (FIG. 5-13 c).

Les points A'' et B'' sont confondus en O.

3° Pour $\theta > \alpha$.

Les points lumineux A'' et B'' ont disparu, le phénomène de rétro-réflexion n'existe plus, aucune tangente à la sinusoïde ne pouvant occuper une position perpendiculaire à la direction des rayons lumineux.

Donc si nous traçons, de part et d'autre de l'axe passant par le centre du disque et l'œil de l'observateur, des droites formant avec cet axe un angle α , nous aurons partagé le disque en deux secteurs ; le secteur d'angle au centre 2α est le seul donnant lieu au phénomène de rétro-réflexion (les points O₁ et O₂ correspondent à la position limite déjà représentée ci-dessus, FIG. 5-13 c).

L'angle α jouant un rôle capital dans ce domaine, précisons sa valeur en fonction des éléments que nous connaissons déjà (1).

Supposons que la sinusoïde développée ci-dessus soit l'image exacte du sillon enregistré dont il s'agit d'étudier le spectre lumineux. Nous remarquons qu'aux points $t_0, t_2, t_4, t_6 \dots$

— l'amplitude a s'annule

(1) Autre démonstration :

La figure 5-14 représente la courbe $a = a_0 \sin \frac{\omega x}{V_{def}}$ avec $x = v_{def} \times t$.

La dérivée de a donne la pente en chaque point de la courbe :

$$\text{tg } \alpha_x = a_0 \frac{\omega}{V_{def}} \cos \omega \frac{x}{V_{def}}$$

pour les points $t_0; t_2; t_4; t_6$ etc. qui correspondent à des valeurs nulles de $\sin \omega \frac{x}{V_{def}}$ nous avons : $\cos \omega \frac{x}{V_{def}} = 1$;

donc $\text{tg } \alpha = \frac{a_0 \omega}{V_{def}}$ aux points d'inflexion.

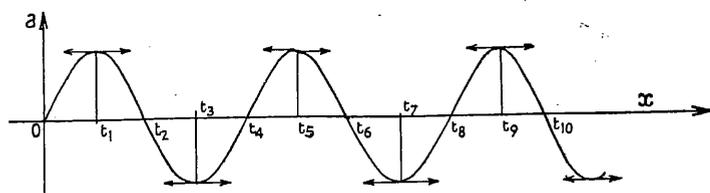


FIG. 5-14.

- la vitesse latérale passe par un maximum ($v_m = a_0 \omega$)
- la vitesse de défilement $V_{\text{def}} = \frac{x}{t} = 2 \pi R \frac{N}{60}$ est constante (1).

En composant ces deux vitesses—les seules qui caractérisent le mouvement du burin aux points d'inflexion— nous aurons la vitesse du mobile en grandeur et en direction.

Nous en tirons :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v}{V_{\text{def}}} = \frac{a_0 \omega}{2 \pi R \frac{N}{60}}$$

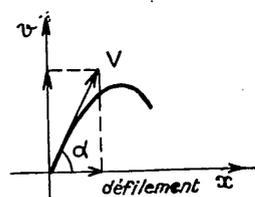


FIG. 5-15.

- a_0 et ω amplitude et pulsation du mouvement
- R rayon du cercle, axe des sinusoides
- N nombre de tours minutes.

Calculons la largeur de la bande lumineuse $O_1 O_2$ (FIG. 5-16) :

$$O_1 O_2 = 2 O_1 D = b$$

$$O_1 D = R \sin \alpha$$

d'où

$$b = 2 R \sin \alpha$$

d'autre part

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_{\text{lat}}}{V_{\text{def}}}$$

il vient donc

$$\sin \alpha = \frac{v_{\text{lat}}}{V_{\text{def}}} \cos \alpha$$

en remplaçant $\sin \alpha$ par sa valeur nous devons avoir finalement :

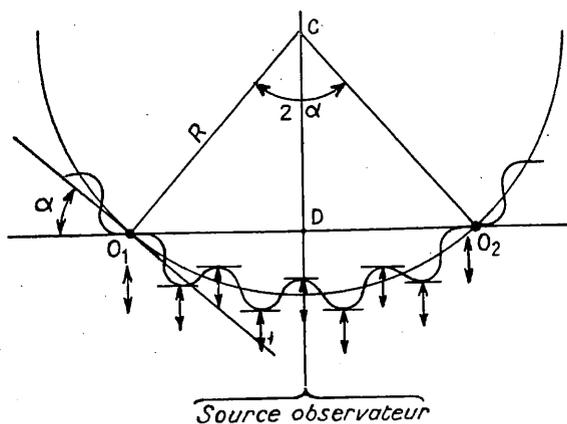


FIG. 5-16.

$$b = \frac{2 R v_{\text{lat}}}{V_{\text{def}}} \quad \cos \alpha = \frac{2 a f \cdot 60}{N} \cos \alpha$$

pratiquement α étant très faible on peut admettre que $\cos \alpha$ est égal à 1 (1) ; on en tire :

$$b \approx \frac{2 a f \cdot 60}{N} \quad \left| \begin{array}{l} a \text{ amplitude du burin} \\ f \text{ fréquence enregistrée} \\ N \text{ nombre de TM du disque} \end{array} \right.$$

Cette expression confirme les deux propriétés suivantes qui peuvent être très commodément déduites de l'examen attentif des spectres lumineux :

La largeur de la bande lumineuse est indépendante de la position du sillon sur lequel elle apparaît.

Cette même largeur est proportionnelle à la « vitesse » de gravure.

MATÉRIEL DE MESURE. La méthode de MEYER permet de contrôler rapidement la courbe de réponse d'un graveur par l'utilisation du matériel suivant :

une hétérodyne musicale, source fournissant une tension de sortie sinusoïdale de niveau constant pour toutes les fréquences ;

un dispositif automatique permettant d'obtenir une variation logarithmique des fréquences du spectre à enregistrer en fonction du temps ;

des repères dans ce spectre de fréquence au moyen de coupures du circuit de sortie (ceci a pour effet de ramener à 0 la longueur de la bande lumineuse). Les points de repère sont généralement les suivants : 62,5 — 125 — 250 — 500 — 1000 — 2000 — 3000 — 4000 — 5000 — 6000.

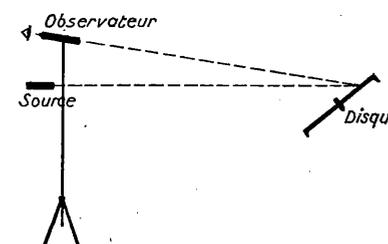


FIG. 5-17.

un tourne disque dont l'inclinaison est variable ;

une lampe à rayons lumineux parallèles ;

une lunette d'approche.

Le « Waxograph » ou disque de fréquence, enregistré à l'aide de l'hétérodyne et du dispositif automatique mentionné plus haut, est mis en rotation par le tourne disque et éclairé par la lampe à rayons parallèles.

L'observateur pourra relever à l'aide de la lunette d'approche la largeur de la bande lumineuse pour les fréquences repères et tracer ensuite la courbe de réponse du graveur.

(1) Peut tout au moins être considérée comme telle, R étant pratiquement constant sur une courte distance.

(1) Le terme correctif $\cos \alpha$ est d'autant plus important que l'on se rapproche du centre du disque. Pour $R = 5$ cm et $b = 20$ mm, $\cos \alpha = 0.9798$, soit pratiquement 2 pour cent.

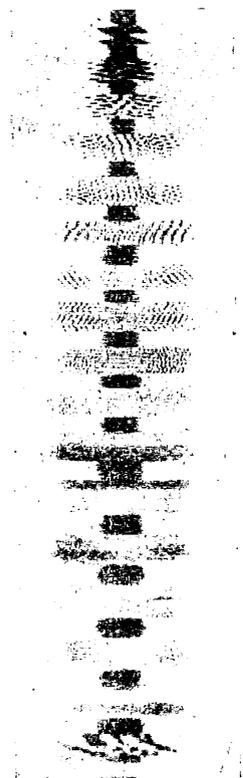


FIG. 5-18.

L'examen du spectre permettra en outre à l'observateur averti, non pas de mesurer la distorsion affectant les signaux enregistrés mais cependant dans une certaine mesure d'apprécier la distorsion aux basses fréquences.

La distorsion à ces fréquences se manifeste en effet par des raies plus lumineuses ou plus sombres balafrant le spectre dans le sens longitudinal.

Aux fréquences moyennes et aux fréquences élevées ces indications qualitatives ne peuvent malheureusement pas être observées, des interférences lumineuses masquant ces phénomènes.

Une observation attentive du spectre révélera également que celui-ci est entouré d'une frange qui de sombre devient brillante lorsque l'on franchit son contour de l'extérieur vers l'intérieur.

Il est aisé de comprendre que le contour du spectre correspond à une zone de luminosité accrue ; les deux points A et B de rétroflexion, bien que distincts, étant alors accolés (fig. 5-19 c).

Remarque. — La photographie peut être utilisée pour relever la courbe de réponse des graveurs. Il suffit de remplacer la lunette de l'observateur par un appareil photographique convenablement réglé (fig. 5-18).

MESURE DANS LE CAS OU L'ON NE DISPOSE PAS DE LUNETTE D'APPROCHE.

Dans la pratique on ne dispose pas toujours du matériel qui vient d'être énuméré et en particulier de la lunette d'approche qui permet à l'opérateur de faire une observation dans des conditions voisines des conditions théoriques choisies pour le calcul de la largeur de la bande lumineuse savoir : rayon incident et rayon réfléchi parallèles ou confondus.

L'observation et la mesure de cette bande lumineuse *b* se font alors dans des conditions différentes précisées ci-après et schématisées par la figure 5-20.

La source lumineuse — si possible une lampe à « faisceau parallèle » — est placée à deux ou trois mètres du disque et l'éclaire sous incidence rasante. L'observateur, placé à une distance de 50 cm environ du disque, procède alors, à l'aide d'une simple régle graduée, à la mesure des deux bandes lumineuses radiales existant en deçà et au delà du centre du disque.

On démontre (1) que si *be* et *bi* désignent respectivement les longueurs de

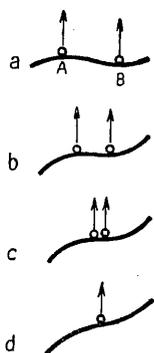


FIG. 5-19.

bandes lumineuses relevées sur le disque dans les conditions fixées ci-dessus, la valeur de *b* est donnée par l'expression suivante :

$$b = \frac{2 b_i \times b_e}{b_i + b_e}$$

be correspond à la rétroflexion sur la face externe du sillon dont l'allure générale est concave ;
bi correspond à la rétroflexion sur la face interne du sillon symétrique du premier et dont l'allure générale est convexe.

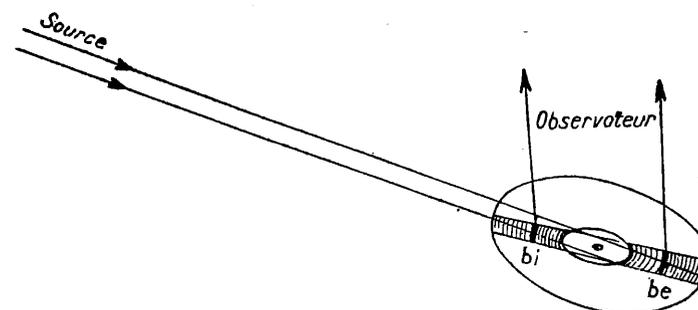


FIG. 5-20.

Voici à titre documentaire la courbe de réponse d'un graveur convenablement réglé.

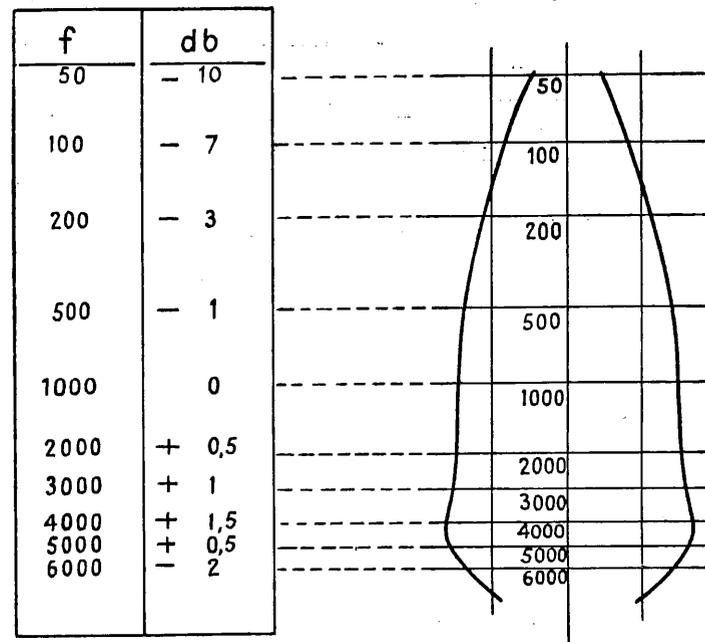


FIG. 5-21.

(1) B. B. BAUER, The Journal of the Acoustical Society of America. Volume XVIII, pp. 387 à 395, october 1946.

2^o Méthode de GUTWEIN.

Si nous serrons de plus près l'étude qui précède, nous constatons que le mouvement du burin dépend non seulement des caractéristiques du graveur — caractéristiques désignées par les coefficients constants m , f , c , de l'équation générale du mouvement — mais encore de la force qui doit être développée par le système moteur pour permettre à l'outil de se déplacer dans le milieu visqueux que constitue le matériau support de gravure. Cette force, égale et opposée à chaque instant à la *réaction du disque*, est fonction de la composition du vernis (ou de la cire), de la température, de la position du graveur par rapport au disque (gravure périphérique, gravure centrale), du voilage du disque.

On peut donc craindre que les conclusions auxquelles nous avons abouti au cours de l'étude théorique du fonctionnement du graveur ne soient faussées en raison de la variation des divers facteurs qui viennent d'être énumérés. Fort heureusement il n'en est rien et dans ce qui suit nous verrons que les effets de la *réaction du disque* sont négligeables.

La méthode d'essai que nous nous proposons d'étudier ci-dessous a été imaginée par GUTWEIN (1).

L'appareillage utilisé est représenté schématiquement par la figure 5-22.

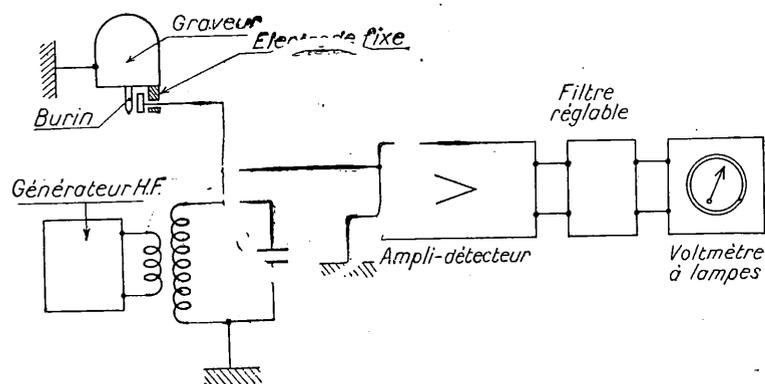


FIG. 5-22.

Une électrode isolée, placée à faible distance du burin, constitue, avec celui-ci, un condensateur γ , dont la valeur peut être représentée en fonction de e_0 , distance des deux électrodes (le burin et l'électrode fixe), par :

$$C_0 = k \cdot 1/e_0$$

L'excitation du graveur, provoque un déplacement du burin, qui se traduit par une variation de la capacité γ . On démontre que, pour de faibles elongations du burin $\Delta e/e_0 \ll 1/10$, les variations de γ ont même pulsation

(1) Gunter GUTWEIN A. Z., 6, 1940, page 330. Enregistrement du son sur disques. Distorsions linéaires et non linéaires.

et même amplitude (à un coefficient de proportionnalité près) que la *f.e.m.* d'excitation.

Le condensateur variable γ est monté en dérivation aux bornes de la capacité c d'un circuit oscillant.

Désignons, par f_0 la fréquence de résonance de l'ensemble C.O. capacité γ au repos, et par f la fréquence de la tension H. F. fournie par le générateur.

Si nous choisissons f de telle sorte qu'elle soit située à mi-hauteur de l'une des branches de la courbe de résonance du C. O., les variations de γ produiront une véritable modulation de la tension H. F. La modulation étant effectuée au moyen de caractéristiques linéaires, après détection, il sera possible d'obtenir un courant B. F. reproduisant fidèlement le mouvement du burin.

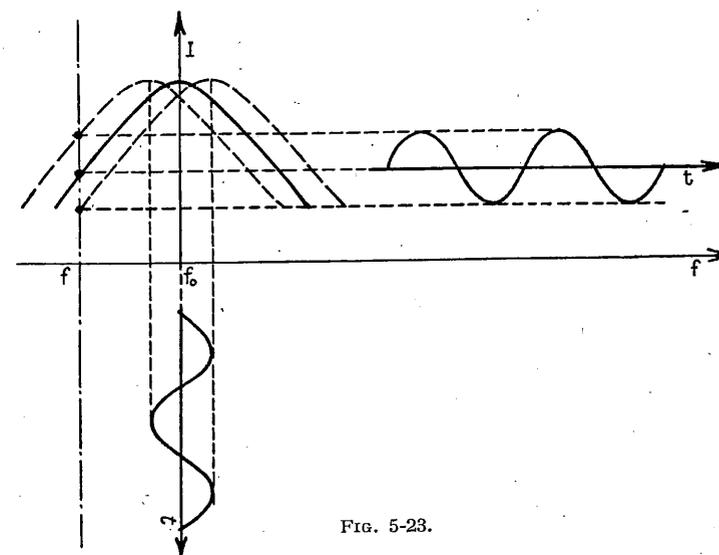


FIG. 5-23.

Le relevé des amplitudes de ce courant B. F. pour diverses valeurs de la pulsation de la *f.e.m.* d'excitation du graveur permet de tracer la courbe de réponse de ce dernier.

5-7. Réaction du disque.

Si nous comparons la courbe de réponse d'un graveur relevée au moyen de la méthode de MEYER à la courbe de réponse du même graveur relevée par la méthode de GUTWEIN, nous constatons qu'elles coïncident, sauf au voisinage de la fréquence des vibrations naturelles.

Ceci n'est pas surprenant et si nous nous reportons une fois encore à la figure 1-8, nous constatons que la variation de l'amortissement de ce système est *particulièrement sensible* au voisinage de la résonance.

Examinons de plus près comment se manifeste la réaction du disque (Fig. 5-24). Considérons un burin B, creusant un sillon dans un matériau donné. L'arrachement du copeau, provoque, sur l'outil, une réaction dans une direction sensiblement opposée à celle de sa vitesse par rapport au disque.

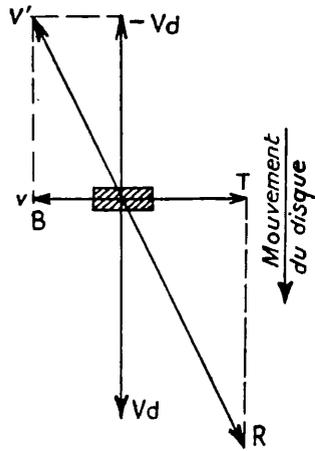


Fig. 5-24.

Soit V_d le vecteur vitesse de défilement du sillon sous le burin B.

V_d représenterait alors la vitesse de B par rapport au disque, si ce dernier était immobile.

D'autre part le burin B est animé d'une vitesse latérale v dont nous avons vu que la valeur est liée à l'amplitude et à la fréquence de la f.e.m. d'excitation du graveur $v = a\omega$. En réalité la vitesse de B par rapport au matériau support de gravure est donc V' composition de $-V_d$ et de v .

La réaction du disque sur le burin peut être représentée par un vecteur BR , tracé dans le sens opposé à V' et ayant une

valeur définie pour un matériau support de gravure donné.

La vitesse v (10 cm/s environ) étant faible devant V_d (118 à 415 cm/s), nous pouvons admettre que V reste constant et égal à V_d , quelle que soit la position du burin.

Si nous projetons BR , sur les directions V et v , nous faisons apparaître une force de freinage BT , à chaque instant opposée à la vitesse v .

GUTTWEIN a constaté que cette force est sans action pratique sur la courbe de réponse du système, si l'amortissement artificiel — c'est-à-dire le terme f de l'équation générale du mouvement — est suffisant. Pratiquement c'est toujours le cas, car pour réduire les transitoires et pour éviter la « chandelle » de la résonance, on règle les graveurs au voisinage de l'amortissement critique.

5-8. Distorsions non linéaires à la gravure.

Les distorsions non linéaires à la gravure peuvent être classées en quatre catégories :

Distorsions dues :

- 1° à la tête de gravure ;
- 2° à la taille du sillon ;
- 3° à la position du burin par rapport au centre de rotation du disque ;
- 4° à des défauts divers.

1° Distorsions dues à la tête de gravure.

Les distorsions dues à la tête de gravure ont pour causes principales :

1° la saturation des circuits magnétiques. *L'armature* y est particulièrement sensible du fait de ses petites dimensions (ces dimensions doivent obligatoirement être petites pour éviter de donner à la palette une *masse* trop importante).

2° la non linéarité des forces agissant sur la palette, si les déplacements du burin atteignent de grandes amplitudes.

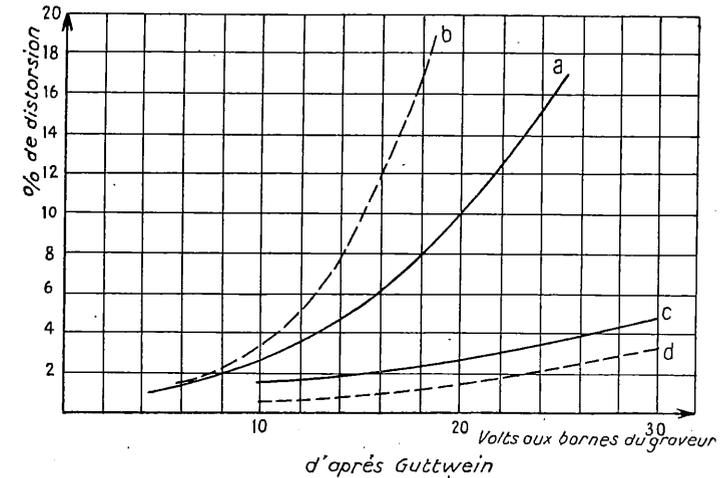


Fig. 5-25.

- Courbe a. — Gravure sur disques souples 250 p.p.s.
 Courbe b. — Gravure sur cire 250 p.p.s.
 Courbe c. — Gravure sur disques souples 800 p.p.s.
 Courbe d. — Distorsion de l'ampli.

GUTTWEIN a tracé les courbes de distorsion non linéaire d'un graveur sur cire et d'un graveur sur disque souple (Fig. 5-25). Ces courbes mettent en évidence l'accroissement des distorsions non linéaires aux *grandes amplitudes de la palette*, que celles-ci résultent d'une augmentation de la tension d'excitation du graveur, ou de son utilisation dans la partie basse du spectre des fréquences à enregistrer.

2° Distorsions dues à la taille du sillon.

Si nous appliquons à un graveur une tension croissante de pulsation constante, que constatons-nous, lorsque nous observons le disque en « rayons parallèles » ?

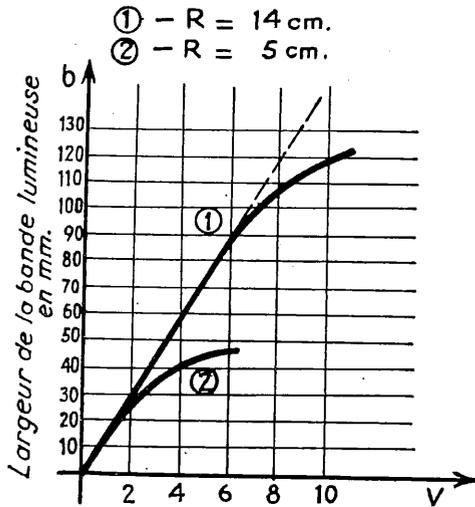


FIG. 5-26. — Courbes de la valeur des bandes lumineuses pour 2 vitesses de défilement (graveur non amorti à la fréquence de résonance.

l'effet observé à une sorte de *talonnement du burin*.

Pour comprendre ce phénomène, déterminons, tout d'abord, si la « saturation » constatée ne se produit pas dès que la pente de la tangente à la sinusoïde enregistrée atteint une certaine valeur.

Considérons la figure 5-27, représentant une sinusoïde quelconque et désignons par α l'angle maximum que fait la tangente à la courbe avec l'axe de la sinusoïde, ou axe de la « piste ».

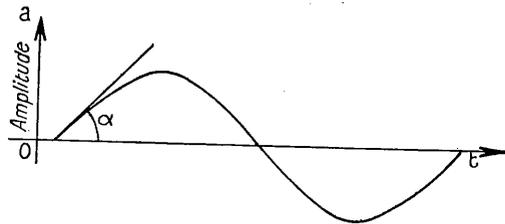


FIG. 5-27.

Nous avons vu pages 53 et suivantes que :

α était caractérisé par sa tangente : $\text{tg } \alpha = \frac{vl}{V_{\text{def}}}$.

b , largeur de la bande lumineuse, avait pour expression : $b = 2R \sin \alpha$ α étant toujours inférieur à 20 degrés on peut pratiquement assimiler le sinus à la tangente (1) ; il vient alors

$$\text{tg } \alpha \approx \frac{b}{2R}$$

(1) L'erreur commise est au plus de 6 %.

Appliquons cette formule aux deux cas étudiés par GUTTWEIN (figure 5-26).

$$\begin{array}{l} \text{Courbe (1)} \quad \text{tg } \alpha_1 = \frac{10}{28} = 0,357 \quad \alpha_1 = 19^{\circ}30' \\ \text{Courbe (2)} \quad \text{tg } \alpha_2 = \frac{3}{10} = 0,30 \quad \alpha_2 = 17^{\circ} \end{array} \quad \left| \begin{array}{l} \alpha \text{ moyen } \approx 18^{\circ} \end{array} \right.$$

Divers essais analogues conduisant sensiblement aux mêmes résultats, nous sommes tentés de conclure : pour un type de burin déterminé les distorsions apparaissent toujours lorsque l'angle α atteint une certaine valeur (18 degrés dans le cas considéré ci-dessus).

Étudions successivement les caractéristiques du burin et les positions qu'il occupe dans le sillon.

A. CARACTÉRISTIQUES DU BURIN.

a) Calcul de l'angle δ (1).

$$\begin{aligned} \text{tg } \delta &= \frac{t}{c} & t &= h \text{tg } (\beta + \eta) - h \text{tg } \eta \\ c &= \frac{h}{\cos \eta} \text{tg } \frac{\gamma}{2} \\ \text{tg } \delta &= \frac{\text{tg } (\beta + \eta) - \text{tg } \eta}{\text{tg } \frac{\gamma}{2}} \cos \eta \end{aligned}$$

ou encore après transformations

$$\text{tg } \delta = \frac{\sin \beta}{\text{tg } \frac{\gamma}{2} \cos (\beta + \eta)}$$

Les valeurs données à η (angle de dégagement) β et γ sont généralement les suivantes :

$$\begin{aligned} \eta &= 5 \text{ degrés} \\ \beta &= 56 \text{ degrés} \\ \gamma &= 90 \text{ degrés} \end{aligned}$$

On en déduit la valeur de l'angle de coupe δ . Dans le cas considéré $\delta = 60^{\circ}$.

(1) Voir article GUTTWEIN déjà cité page 58.

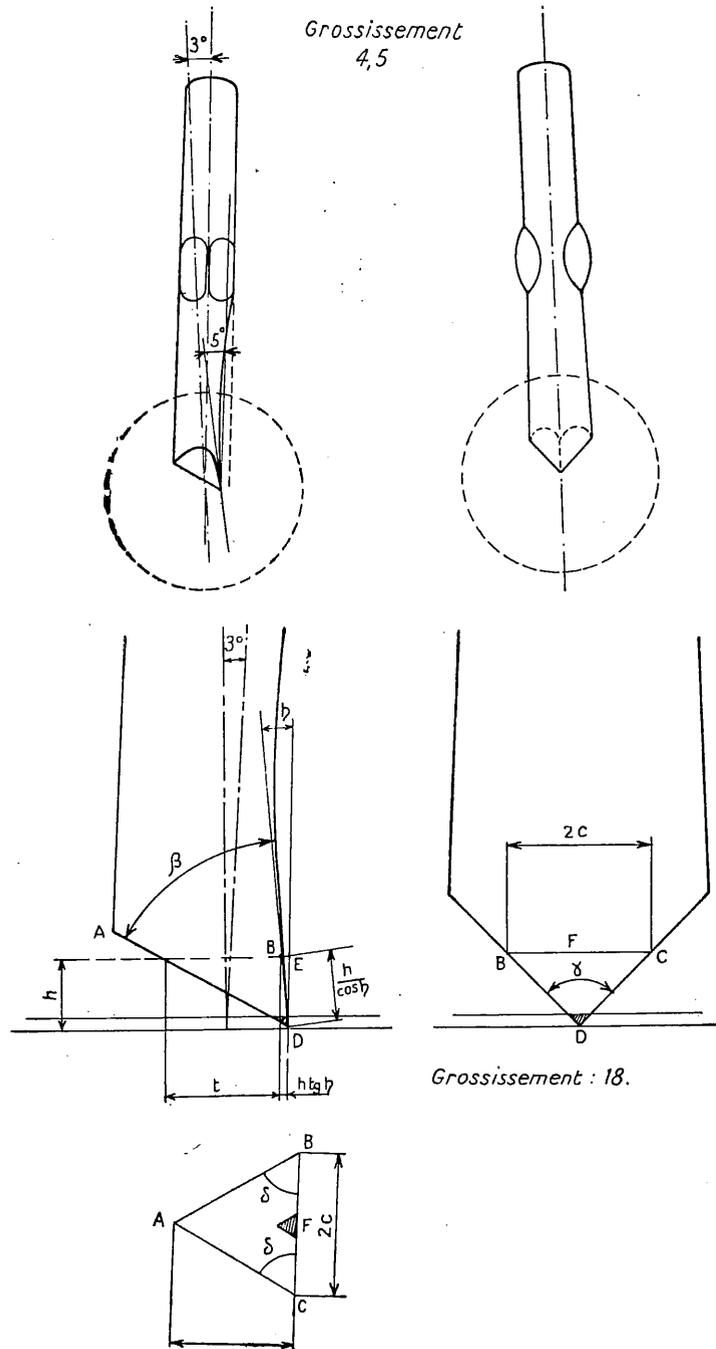


FIG. 5-28.

Voir également les burins page 113.

b) Burins spéciaux.

Il est bien connu que le tranchant d'un outil, pour soigné qu'il soit, n'est pas et ne peut pas être parfait, c'est-à-dire tel qu'un grossissement important ne révèle aucun défaut. S'agissant de la gravure de faibles ampli-

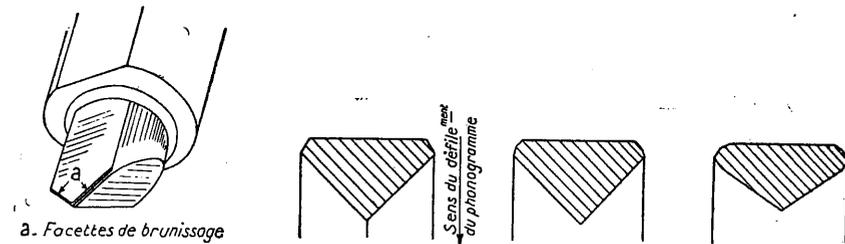


FIG. 5-29.

tudes, le travail de l'outil risque de produire de légers arrachements des flancs du sillon. Ce phénomène peut effectivement être observé au microscope et nous verrons, par la suite, que c'est une des causes du bruit de fond.

On sait, d'autre part, que la matière semi-dure du phonogramme peut être repoussée après avoir été tranchée. Dans ce cas, la matière, en l'occurrence le flanc du sillon, conserve tout son poli.

Cette constatation a servi de base à la construction de *burin spéciaux*, dits à *facettes de brunissage*.

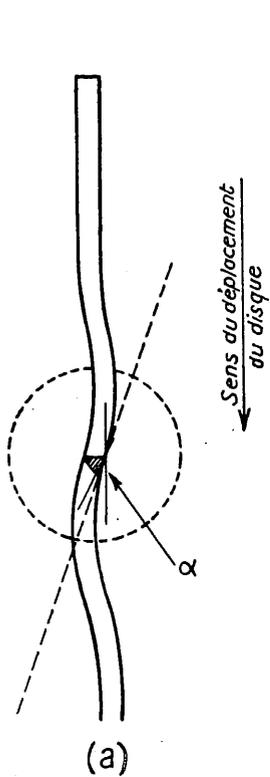
Les divers types de ces burins sont représentés par la figure 5-29 : on remarquera qu'il en existe à une, deux et même trois facettes.

Malheureusement, de tels burins ne présentent pas que des avantages. En effet, un tranchant moins effilé donne inévitablement des inscriptions moins fines, les fréquences élevées du spectre ne sont donc pas enregistrées, les facettes de brunissage se comportant, du point de vue de la courbe de réponse du graveur, comme un véritable filtre passe-bas, dont la fréquence de coupure varie selon leurs caractéristiques.

Généralement cette fréquence de coupure se situe vers 4000 p.p.s et le bruit de fond est dans ces conditions réduit de 10 à 15 db.

B. POSITIONS DU BURIN DANS LE SILLON (Fig. 5-30 a, b, c).

La figure (a) représente la position du burin dans le sillon de 125μ de largeur et ayant les caractéristiques suivantes :



$$\lambda = 2 \text{ mm} \quad \left\{ \begin{array}{l} V \text{ défilement} = \\ 50 \text{ cm/s} \\ f \text{ fréquence de} \\ \text{la tension d'ex-} \\ \text{citation} = 250 \\ \text{p.p.s} \end{array} \right.$$

La figure (b) représente le détail de la figure grossi 200 fois.

La figure (c) représente un sillon pour lequel le rapport λ/a a été *exagérément réduit* dans le but de mettre en évidence :

1° l'étranglement du sillon aux points où celui-ci coupe le tracé de la piste vierge (c'est le point de V_{lat} max) ;

2° l'impossibilité matérielle de graver

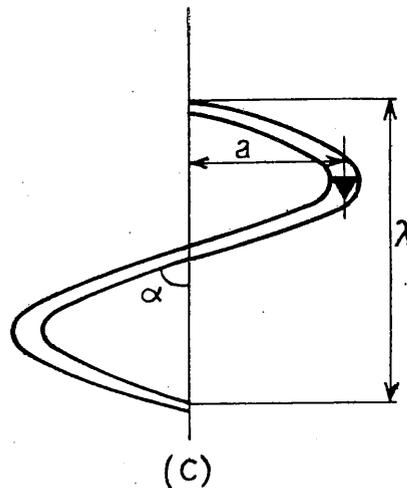
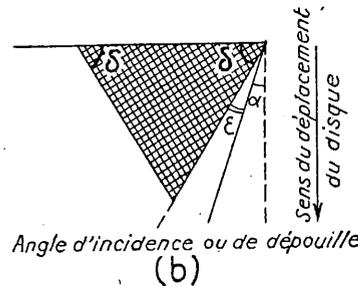


FIG. 5-30.

un tel sillon au moyen d'un burin ayant les caractéristiques que nous avons données plus haut. On remarque en effet que la partie arrière du burin talonnerait le flanc du sillon bien avant que cette pente α de la sinusoïde puisse être atteinte.

Reportons-nous à la figure (b) et additionnons δ et α . Nous trouvons pour les cas choisis par GUTWEIN et présentés plus haut : $60 + 18 = 78^\circ$

Il ne devrait donc pas y avoir talonnement, la somme de ces angles étant inférieure de 12 degrés à un « droit ».

En fait cependant, il en est

bien ainsi et dès que l'angle « d'incidence » ϵ atteint une dizaine de degrés le burin ne travaille plus dans des conditions satisfaisantes, la matière « bourrant » le tranchant de l'outil. Nous noterons enfin que la *valeur limite* de cet « angle d'incidence » ou, de dépouille, *varie* avec la constitution du matériau support de gravure.

Tenant compte de ce qui précède et aussi par mesure de sécurité, les *normes* d'enregistrement ont été établies en réduisant l'angle α de 18° à 14° environ.

Calculons ces normes.

$$\text{tg } \alpha = \frac{v_{lat}}{V_{def}} \leq 0,250 \quad \text{pour } \alpha = 14 \text{ degrés}$$

$$v_{lat} \leq 0,250 V_{def}$$

$$V_{def} \text{ variant de } 118 \text{ cm/s pour } R = 14 \text{ cm } 5$$

$$\text{à } 41 \text{ cm/s pour } R = 5 \text{ cm}$$

nous choisirons la valeur la plus faible (41 cm) pour que l'inéquation soit toujours satisfaite

$$v_{lat} \leq 0,250 \times 41, \text{ soit pratiquement } v_{lat} \leq 10 \text{ cm/s } (1)$$

Considérons maintenant la courbe de réponse du graveur. Nous savons que le mode d'enregistrement se fait à « vitesse constante » ou à « amplitude constante » selon qu'il s'agit des fréquences supérieures ou inférieures à une certaine valeur que nous appellerons *fréquence de cassure* f_c .

Nous pouvons très simplement, à l'aide de deux droites, représenter ces deux modes de fonctionnement (Fig. 5-31) :

courbe 1, fréquences élevées, $v = \text{constante} = 10 \text{ cm/s}$;

courbe 2, fréquences basses, $v = 2\pi a f$

avec a constant et égal à 65 microns. Le point d'intersection de ces deux courbes est obtenu en éliminant v entre ces deux équations. Il vient :

$$f_c = \frac{10}{2\pi a} \approx 250 \text{ p.p.s.}$$

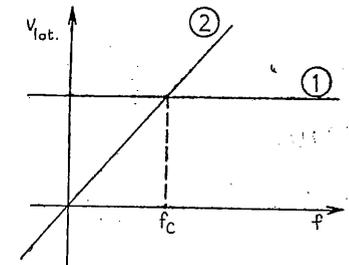


FIG. 5-31.

3°. Distorsion due à la position du burin par rapport au centre de rotation du disque.

Dans ce qui précède nous avons supposé que le burin se déplaçait suivant l'un des diamètres du plateau de gravure. En réalité, on a coutume, pour faciliter le dégagement du « copeau » et aider au déplacement du bras de lecture de l'extérieur vers le centre lors de l'exploration du disque, de faire

(1) La Radiodiffusion a adopté une vitesse un peu plus faible : 8 cm 2 se réservant ainsi la possibilité d'enregistrer correctement des pointes de modulation.

mouvoir l'outil suivant une droite parallèle au diamètre considéré, située 3 à 4 mm en avant de ce dernier (FIG. 5-32 a).

Toutefois, nous signalerons que cette pratique tend à disparaître, en raison de l'accroissement de distorsion harmonique qui en résulte (2 à 3 %).

Actuellement on préfère utiliser la solution qui consiste à imprimer au burin une très faible inclinaison (FIG. 5-32 b). Cet artifice, qui ne crée aucune distorsion harmonique appréciable, résout cependant de manière satisfaisante le problème de dégagement du copeau.

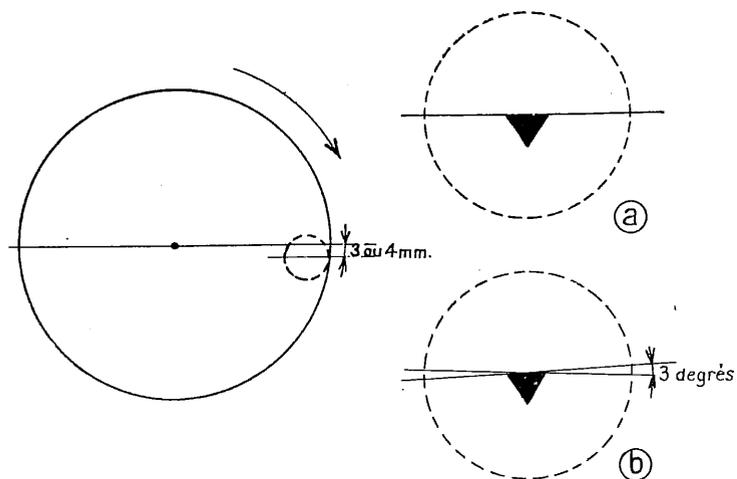


FIG. 5-32.

4°. Distorsions diverses.

Outre les phénomènes de distorsion examinés plus haut, les opérations de gravure peuvent être affectées de défauts divers, dont les trois principaux sont : le « pleurage », le « moirage » et le « broutement ».

« **Le pleurage** ». — Le pleurage est une *variation accidentelle* de la vitesse de défilement de la « piste ». Cette variation pouvant se produire tant à la gravure qu'à la lecture, l'étude concernant ce phénomène a été repoussée à la page 95 ci-après.

« **Le moirage** » (1). — Le moirage est le nom donné au défaut d'aspect présenté par la surface d'un phonogramme gravé en « blanc » et examiné en lumière parallèle. Ce défaut résulte d'une modulation en « profondeur » du sillon vierge tracé par le burin. Il est provoqué soit par les oscillations naturelles du support de graveur, soit, parfois, par une légère oscillation du disque, lorsque l'axe du plateau support du phonogramme comporte un « jeu » exagéré.

(1) Renseignements empruntés à une étude de M. BUCCHINI, Ingénieur au Service Matériel B. F. de la Radiodiffusion-Télévision Française.

Le moirage présente trois inconvénients à la lecture :
 accroissement du bruit de fond, bien que les lecteurs soient, en principe, insensibles aux composantes verticales du déplacement de l'aiguille ;
 efforts dynamiques supplémentaires sur les flancs du sillon ;
 risque de *chevauchement de sillons voisins* dans les zones correspondant aux parties les plus profondes de la piste (coïncidence de sillons « gros ») et de « *déraillement* » du *pick up* dans les parties les moins creuses (sillons fins).

Il est toujours facile de remédier au jeu excessif des organes tournants ; par contre la suspension des graveurs pose des problèmes que nous examinerons succinctement ci-après.

Deux dispositifs peuvent être utilisés pour supporter le graveur :
 le système avec appui sur le disque appelé « *advancing ball* » par les Américains ;

le système à fléau libre (FIG. 5-33).

Le premier de ces systèmes, pour séduisant qu'il paraisse, présente des inconvénients qui lui font généralement préférer le dispositif à fléau libre.

L'étude détaillée de ce dispositif sortirait du cadre du présent ouvrage, nous nous bornerons donc à signaler les principaux points que les constructeurs s'efforcent de régler.

a) Calage de la fréquence d'oscillation naturelle du fléau (f_0), en dehors des plages de fréquences perturbées par les vibrations développées par les organes tournants (notamment du 25 et du 100 périodes dus à la rotation du moteur). Pratiquement, on donne à f_0 une valeur se situant soit entre 15 et 20 périodes soit un peu au-dessus de 30 périodes.

b) Amortissement à l'aide de divers artifices des vibrations naturelles. Il est d'ailleurs difficile de progresser dans cette voie en raison de la nécessité de laisser au fléau une mobilité suffisante pour qu'il puisse « suivre », sans retard, les variations de niveau de la surface du disque.

c) Maintien d'une valeur convenable au rapport d/h , c'est-à-dire n'exigeant pas du disque une réaction excessive, tout en limitant, cependant, l'importance de la composante horizontale de déplacement de la pointe du burin.

On donne généralement à d/h une valeur voisine de 2.

« **Le broutement** » (1). — L'expérience montre que si l'on réduit l'inclinaison (2) du graveur :

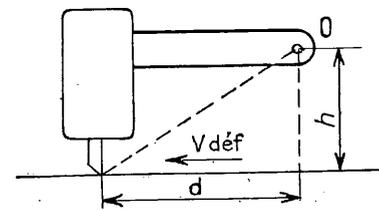


FIG. 5-33.

(1) Renseignements empruntés à une étude faite par M. GALLET, Ingénieur au Service Matériel B. F. de la Radiodiffusion-Télévision Française.

(2) On désigne par inclinaison du graveur l'angle αOy .

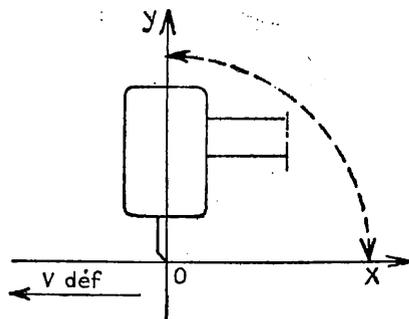


FIG. 5-34.

1° la coupe s'améliore et corrélativement il en est de même du bruit de fond ;

2° un phénomène de broutement apparaît à partir d'une valeur critique de cette inclinaison.

Comment peut-on définir le broutement ? Le broutement est une vibration de l'outil (burin ou saphir) à fréquence élevée (variant généralement de 12000 à 25000 périodes) qui a pour effet la modulation du sillon en profondeur.

Quelles sont les manifestations du broutement ? Les principales manifestations du broutement sont les suivantes :

A la gravure :

L'outil fait entendre un sifflement ;

Le copeau qu'il détache du phonogramme est friable ou pulvérulent ;

Le sillon est strié ;

Le faisceau lumineux réfléchi par un disque gravé en blanc présente des franges colorées radiales.

A la lecture :

Le bruit de fond est augmenté de plusieurs décibels et au centre du disque la fréquence de broutement devient même parfois audible.

L'apparition du phénomène de broutement est variable avec le type d'outil et avec la nature du phonogramme utilisés.

Voici à titre purement indicatif quelques valeurs adoptées par les services de la Radiodiffusion-Télévision Française :

Burins L non polis	87°
Burins P polis	96°
Saphirs	87°

5-9. Nouveaux standards. Gravure « 33 tours » et « microsillon ».

Les principes de fonctionnement, énoncés au cours de ce chapitre, sont valables pour les divers systèmes d'enregistrement sur disques. Ils s'appliquent, tels quels, aux enregistrements classiques « 78 tours » mais exigent quelques indications complémentaires, concernant l'enregistrement « 33 tours » et le système d'enregistrement de grande durée, connu sous le nom de « microsillon ».

Avantages et inconvénients présentés par ces systèmes dérivés.

a) Avantages.

Les avantages présentés par ces deux systèmes d'enregistrement sont le corollaire de la plus grande « durée de jeu » du phonogramme :

- 4 minutes pour le 78 tours standard ;
- 22 minutes pour le 33 tours (disque de 40 cm) ;
- 25 minutes pour le microsillon formule Columbia (33 tr/mn) ;
- 5 minutes pour le microsillon formule RCA (45 tr/mn.).

Parmi ces avantages nous signalerons en particulier :

La possibilité, d'enregistrer et de reproduire, commodément, sans manipulation de disques, des œuvres de longue durée ;

La réduction du volume des discothèques à laquelle s'ajoute pour la Radiodiffusion les facilités d'envoi de programmes enregistrés vers les territoires de l'Union Française et vers l'étranger ;

Les économies d'exploitation résultant du prix de revient moins élevé de ces types d'enregistrement.

b) Inconvénients.

Les deux principaux inconvénients présentés par ces deux types d'enregistrement concernent leurs « performances » et leur « exploitation ».

Les performances sont inférieures à celles des enregistrements 78 tr/mn. Il faut en chercher la raison dans le fait que leur vitesse de défilement est plus faible :

- (40 et 120 cm) pour le 78 tr/mn (disque de 30 cm) ;
- (34 et 70 cm) pour le 33 tr/mn (disque de 40 cm) ;
- (20 et 50 cm) pour le micro sillon 33 et 45 tr/mn ;
- (30 et 40 cm).

« L'exploitation » est difficile, lorsque la diffusion exige des repérages précis, rendus malaisés par le sillonnage serré et la longue durée d'un « tour » du disque (près de 2 secondes).

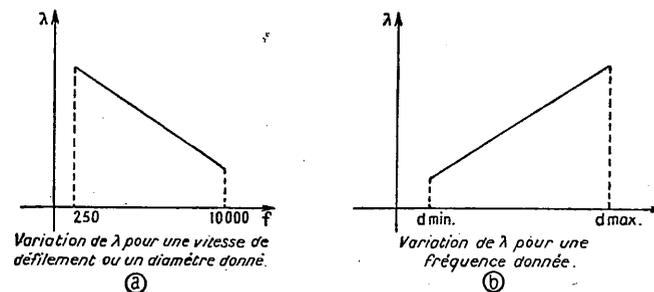


FIG. 5-35.

Pour améliorer, dans toute la mesure du possible, la qualité de ces enregistrements à vitesse de rotation réduite, deux artifices ont été utilisés. Il s'agit de deux corrections connues sous le nom de :

Préaccentuation.

Correction de diamètre (pour le 33 tr/mn professionnel).

Ces deux corrections ont pour origine les constatations suivantes :

Le bruit de fond des disques a pour valeur le rapport exprimé en db de l'amplitude du signal utile enregistré à l'amplitude des signaux parasites

$$20 \log. \frac{\text{ampl signal niveau 0}}{\text{ampl. signaux parasites}}$$

Le dénominateur de cette expression ayant une valeur sensiblement constante pour un matériau donné, la valeur du « bruit de fond » sera d'autant plus intéressante que le signal aura une amplitude élevée.

L'énergie mise en jeu dans les cas habituels est plus faible dans l'aigu que dans le médium et le grave (1).

La vitesse de rotation plus faible du disque se traduit ainsi que nous l'avons signalé plus haut par une vitesse de défilement réduite de la piste. Ce défaut qui affecte principalement les fréquences aiguës (λ faible) enregistrées est encore aggravé au centre du disque (voir courbe ci-dessus).

Préaccentuation.

Le bruit de *fond apparent*, le seul qui compte en définitive, sera donc amélioré si l'on procède aux deux opérations complémentaires suivantes : Accentuation des aiguës avant l'enregistrement (d'où le nom de préaccentuation).

Affaiblissement de ces mêmes fréquences à la lecture de telle sorte que les courbes de réponse de l'ensemble (enregistrement + lecture) soient droites.

Si l'on considère le fait que la « vitesse » du burin ne doit guère excéder 10 cm/s on se rend compte que la préaccentuation n'a été possible qu'en raison de la faible énergie mise en jeu dans l'aigu.

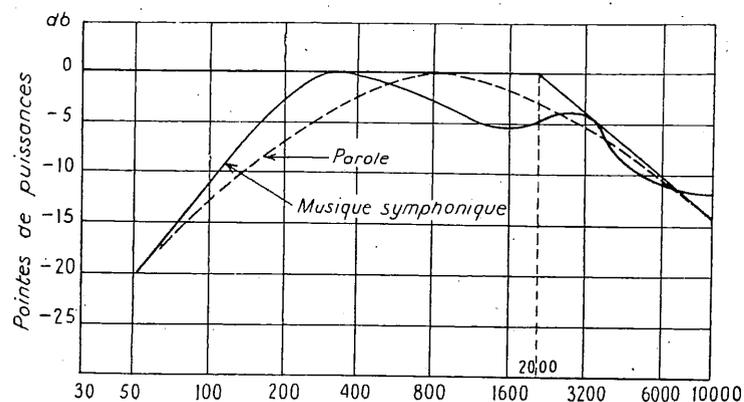


FIG. 5-36. — Pointes de puissance en fonction de la fréquence (d'après les données de SIVIAN, DUNN et WHITE, Journal de la Société des Ingénieurs du Cinéma, août 1938).

Cette courbe montre que, pratiquement, les puissances décroissent de 5 db par octave au-dessus de 2000 p.p.s. Il serait donc illogique de conserver, pour les fréquences supérieures à cette valeur, des possibilités qui, en fait, ne sont jamais utilisées.

(1) Voir fig. 5-36.

Correction de diamètre.

L'altération provoquée par la réduction du « diamètre » n'est pas la même pour toutes les fréquences. Les fréquences élevées sont de toute évidence celles qui sortent les plus affaiblies à la lecture.

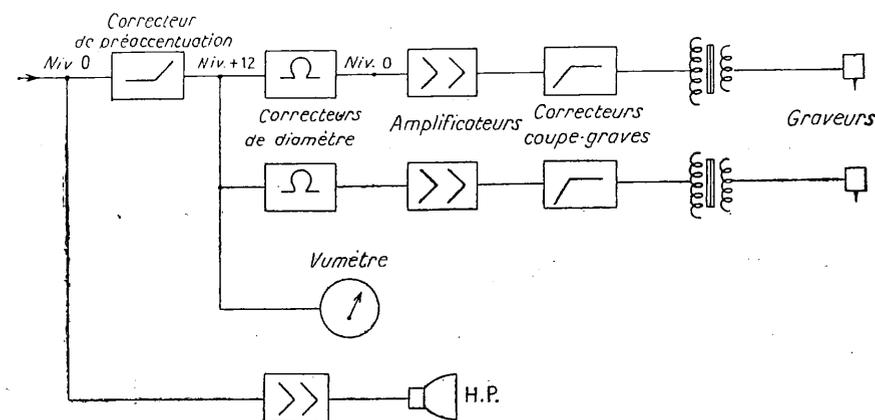


FIG. 5-37.

Le dispositif de « correction de diamètre » devra donc avoir une double action, corriger en fonction : de la fréquence, ce qui est obtenu statiquement à l'aide de circuits accordés ;

du diamètre, ce qui exige la commande mécanique d'un potentiomètre.

En résumé, la chaîne de gravure « 33 tr/mn » est constituée par un ensemble d'éléments dont les principaux sont représentés schématiquement par la figure 5-37 ci-dessus.

Renseignements concernant les principales caractéristiques des enregistrements sur disque

	Enregistrements standards		Enregistrements « microsillon » (1)		Observations
Vitesses de rotation en tr/m	78,26	33 1/3	33 1/3	45	
Sens de rotation	celui des aiguilles d'une montre				
Diam. du disque en cm	25 ou 30,5	40,6	17 ou 25 ou 30	17	Ces valeurs varient d'un producteur à l'autre
Diam. du sillon périphérique en cm	24 ou 29,5	39,4	16,8 24,8 ou 29,8	16,8	
Diam. du sillon central en cm	9,5	19	11	11,50	
Diam. du trou central en mm	7,24	7,24	7,24	38,5	
Position du sillon de départ	extérieur	ext. ou int.	extérieur	extérieur	
Nombre de sillons p. cm	34	48 à 54	100	108	
Largeur du sillon en microns	147 à 170	150 env.	70	58	
Rapport entre la largeur de l'intersillon et du sillon %	100	35	40	60	On tend actuellement à généraliser l'utilisation du burin chauffant
Durée de jeu minutes	4	22	25	5	
Nature du matériau constituant l'outil graveur	acier ou saphir	saphir	saphir	saphir	
Pleurage inférieur à %	± 0,1	± 0,1	± 0,1	± 0,1	
Niveau (2) d'entrée pour le relevé de la courbe de réponse db	0	+ 20			
Préaccentuation des fréquences aiguës (20000 c.s) db	0 à 7	16 (à 10000)	16 ± 2		Des pointes de modulation dépassent bien entendu ces vitesses
Fréquence de « cassure » de la courbe de réponse en cycles/sec	250	500	500	500	
Vitesse latérale max. du burin cm/s	8,2	8,2	4 à 5		
Largeur du faisceau lumineux p. le niveau max. normal appliqué à l'entrée du graveur (f = 1000 c/s) en mm.	20	47	25 env.	20 env.	
Rayon de la sphère terminale de l'aiguille de lecture en microns	70 à 75		25		

Nota. — Ce tableau est donné à titre purement indicatif, les normes concernant l'enregistrement sur disque, et tout particulièrement celles se rapportant au microsillon, n'ayant pas été établies.

Nous signalerons, cependant, qu'aux U. S. A., l'Association Nationale des Broadcasters connue sous le nom de N. A. B. a adopté une série de normes en avril 1949. Le tableau ci-dessus tient compte de la plupart des valeurs fixées par cette association.

(1) Il existe également un système microsillon 78. T.M. (Philips disques de 17 cm 3).

(2) Le niveau 0 est celui qui correspond à 0 V, 775 dans 600 ohms.

CHAPITRE 6.

THÉORIE DE LA LECTURE

6-1. Principe de fonctionnement des lecteurs.

Une aiguille engagée dans le sillon creusé par le burin, actionne soit un diaphragme s'il s'agit d'un phonographe, soit un équipement mobile analogue à celui des graveurs s'il s'agit au contraire d'un pick-up et reproduit ainsi, directement ou indirectement, au moyen d'un haut parleur, les ondes sonores enregistrées.

Il existe différents types de lecteurs :

1° les lecteurs mécaniques ;

2° les lecteurs électro-mécaniques, ceux-ci utilisant les phénomènes : électro-magnétiques, électro-dynamiques, piezo-électriques.

D'un point de vue très général, si l'on examine le processus de la lecture, on constate que la puissance mise en jeu à cette occasion *trouve son origine dans la pression des flancs du sillon sur l'extrémité de l'aiguille.*

Un des aspects de la lutte pour l'amélioration des qualités de la lecture consiste en la *réduction toujours plus grande de l'énergie empruntée au tourne disques, par l'intermédiaire du phonogramme.*

A l'origine, c'est-à-dire avant 1926, la puissance sonore rayonnée *était fournie exclusivement par le disque.* Il est aisé de comprendre que dans ces conditions l'usure du phonogramme était grande, d'autant plus grande même que la charge du « moteur » acoustique était plus élevée.

En outre, et ceci résulte de cela, la puissance sonore disponible était limitée et relativement faible, sauf à recourir à des dispositifs spéciaux dont certains comportaient l'emploi de l'air comprimé !

Actuellement, la lecture mécanique directe est pratiquement abandonnée. Les reproductions de qualité sont obtenues à l'aide d'appareils électro-mécaniques appelés, généralement, « pick-up ».

Renseignements concernant les principales caractéristiques des enregistrements sur disque

	Enregistrements standards		Enregistrements « microsillon » (1)		Observations
Vitesses de rotation en tr/m	78,26	33 1/3	33 1/3	45	
Sens de rotation	celui des aiguilles d'une montre				
Diam. du disque en cm	25 ou 30,5	40,6	17 ou 25 ou 30	17	Ces valeurs varient d'un producteur à l'autre
Diam. du sillon périphérique en cm	24 ou 29,5	39,4	16,8 24,8 ou 29,8	16,8	
Diam. du sillon central en cm	9,5	19	11	11,50	
Diam. du trou central en mm	7,24	7,24	7,24	38,5	
Position du sillon de départ	extérieur	ext. ou int.	extérieur	extérieur	
Nombre de sillons p. cm	34	48 à 54	100	108	
Largeur du sillon en microns	147 à 170	150 env.	70	58	
Rapport entre la largeur de l'intersillon et du sillon %	100	35	40	60	On tend actuellement à généraliser l'utilisation du burin chauffant
Durée de jeu minutes	4	22	25	5	
Nature du matériau constituant l'outil graveur	acier ou saphir	saphir	saphir	saphir	
Pleurage inférieur à %	± 0,1	± 0,1	± 0,1	± 0,1	
Niveau (2) d'entrée pour le relevé de la courbe de réponse db	0	+ 20			
Préaccentuation des fréquences aiguës (20000 c.s.) db	0 à 7	16 (à 10000)	16 ± 2		Des pointes de modulation dépassent bien entendu ces vitesses
Fréquence de « cassure » de la courbe de réponse en cycles/sec	250	500	500	500	
Vitesse latérale max. du burin cm/s	8,2	8,2	4 à 5		
Largeur du faisceau lumineux p. le niveau max. normal appliqué à l'entrée du graveur (f = 1000 c/s) en mm.	20	47	25 env.	20 env.	
Rayon de la sphère terminale de l'aiguille de lecture en microns	70 à 75		25		

Nota. — Ce tableau est donné à titre purement indicatif, les normes concernant l'enregistrement sur disque, et tout particulièrement celles se rapportant au microsillon, n'ayant pas été établies.

Nous signalerons, cependant, qu'aux U. S. A., l'Association Nationale des Broadcasters connue sous le nom de N. A. B. a adopté une série de normes en avril 1949. Le tableau ci-dessus tient compte de la plupart des valeurs fixées par cette association.

(1) Il existe également un système microsillon 78. T.M. (Philips disques de 17 cm 3).

(2) Le niveau 0 est celui qui correspond à 0 V, 775 dans 600 ohms.

CHAPITRE 6.

THÉORIE DE LA LECTURE

6-1. Principe de fonctionnement des lecteurs.

Une aiguille engagée dans le sillon creusé par le burin, actionne soit un diaphragme s'il s'agit d'un phonographe, soit un équipement mobile analogue à celui des graveurs s'il s'agit au contraire d'un pick-up et reproduit ainsi, directement ou indirectement, au moyen d'un haut parleur, les ondes sonores enregistrées.

Il existe différents types de lecteurs :

1° les lecteurs mécaniques ;

2° les lecteurs électro-mécaniques, ceux-ci utilisant les phénomènes : électro-magnétiques, électro-dynamiques, piezo-électriques.

D'un point de vue très général, si l'on examine le processus de la lecture, on constate que la puissance mise en jeu à cette occasion *trouve son origine dans la pression des flancs du sillon sur l'extrémité de l'aiguille.*

Un des aspects de la lutte pour l'amélioration des qualités de la lecture consiste en la *réduction toujours plus grande de l'énergie empruntée au tourne disques, par l'intermédiaire du phonogramme.*

A l'origine, c'est-à-dire avant 1926, la puissance sonore rayonnée *était fournie exclusivement par le disque.* Il est aisé de comprendre que dans ces conditions l'usure du phonogramme était grande, d'autant plus grande même que la charge du « moteur » acoustique était plus élevée.

En outre, et ceci résulte de cela, la puissance sonore disponible était limitée et relativement faible, sauf à recourir à des dispositifs spéciaux dont certains comportaient l'emploi de l'air comprimé !

Actuellement, la lecture mécanique directe est pratiquement abandonnée. Les reproductions de qualité sont obtenues à l'aide d'appareils électro-mécaniques appelés, généralement, « pick-up ».

LECTEURS ÉLECTRO-MAGNÉTIQUES.

6-2. Lecteur électro-dynamique.

Le lecteur électrodynamique est constitué assez sensiblement des mêmes éléments que le graveur électrodynamique étudié précédemment.

La figure 6-1 représente en élévation et en coupe un des lecteurs utilisés par la Radiodiffusion Française (1).

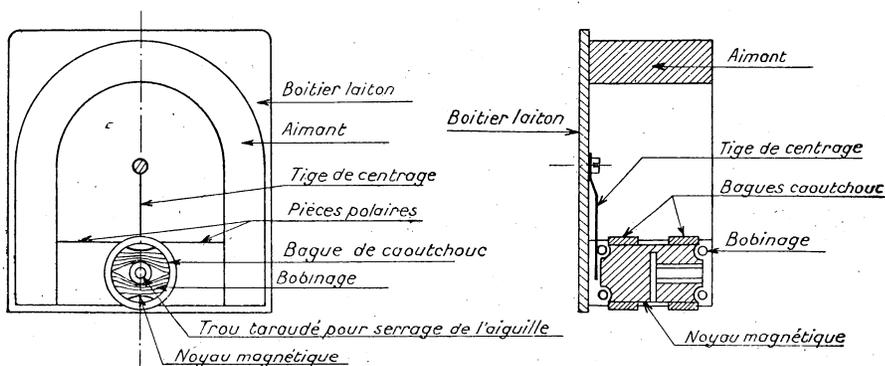


FIG. 6-1.

Considérons la partie « active » du lecteur représentée schématiquement par la figure 6-2.

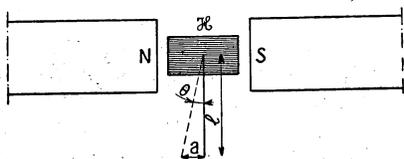


FIG. 6-2.

Le sillon, étant supposé décrire une sinusoïde parfaite, nous voyons que l'aiguille va non seulement se déplacer de part et d'autre de sa position initiale d'équilibre, mais encore imprimer à la bobine mobile un mouvement de rotation de faible

amplitude. Ce mouvement est lié aux inscriptions du phonogramme par la relation simple suivante :

$$\theta = \frac{a}{l} \sin \omega t$$

θ angle de rotation exprimé en radians
 a et ω respectivement *amplitude* et *pulsation* de la *sinusoïde tracée* sur le phonogramme
 l longueur de l'aiguille

D'autre part, la rotation θ induit une f.e.m. dans la bobine. Cette f.e.m. a pour expression :

$$e = - \frac{d\varphi}{dt}, \quad \varphi \text{ étant le flux coupé par les spires de la bobine}$$

(1) L'évolution de la technique conduit de plus en plus à remplacer ces lecteurs par des appareils électrodynamiques ou électromagnétiques ultra légers.

Ce flux peut aisément être exprimé en fonction de certains éléments composant le lecteur. En effet :

$$\varphi = \mathcal{R} S \sin \theta \quad \left\{ \begin{array}{l} \mathcal{R} \text{ champ de l'aimant} \\ \text{avec } S \text{ surface totale des spires} \end{array} \right.$$

ou même :

$$\varphi \approx \mathcal{R} S \theta \quad \theta \text{ étant très faible}$$

En remplaçant θ par sa valeur il vient :

$$\varphi = \mathcal{R} S \frac{a}{l} \sin \omega t$$

Enfin nous en tirons la valeur de e

$$e = - \mathcal{R} S \frac{a}{l} \omega \cos \omega t$$

$$E_{\max} = \mathcal{R} S \frac{a}{l} a \omega = K v_{\text{lat}}$$

La f.e.m. engendrée par le lecteur est donc *proportionnelle à* $a \omega \cos \omega t$, vitesse instantanée du burin lors de la gravure du « phonogramme ».

Le lecteur électro-dynamique permet donc d'obtenir une « reproduction » *fidèle*.

NOTA. — En principe les résultats théoriques auxquels nous venons d'aboutir ne sont valables que pour un appareil fonctionnant à *vide* ou très peu « chargé ». Pratiquement la courbe de réponse n'est pas sensiblement modifiée lorsque l'on passe d'une valeur d'impédance de charge relativement élevée à une valeur voisine de l'impédance interne de la source (voir courbes, FIG. 6-7).

6-3. Lecteur électro-magnétique.

Le lecteur électro-magnétique est le premier en date des lecteurs électro-mécaniques. L'aiguille entraîne une armature, laquelle fait varier la réluctance du ou des circuits constitués par les épanouissements polaires d'un aimant en fer à cheval.

Nous donnons ci-contre à titre d'exemple divers modes de réalisations de lecteurs électro-magnétiques.

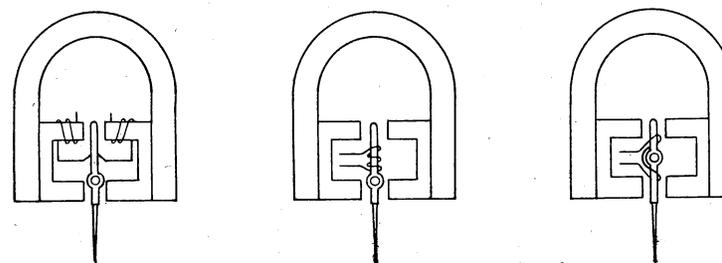


FIG. 6-3.

Toutes ces réalisations sont basées sur le même principe, à savoir : la création d'une f.e.m. induite dans une bobine par des variations de flux

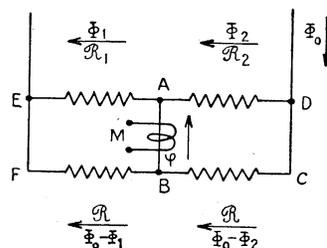
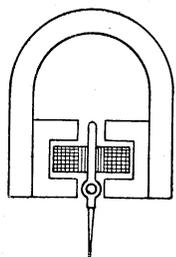


FIG. 6-4.

page 44, concernant les graveurs électro-magnétiques, permet de donner une explication simplifiée de ce phénomène et de montrer finalement que la variation du flux dans la palette est donnée par l'expression :

$$\frac{d\varphi}{dt} = A \frac{dx}{dt}$$

Elle est donc également proportionnelle, à chaque instant, à la vitesse de déplacement de l'aiguille. Cette dernière décrivant une sinusoïde, $x = a \sin \omega t$, la force électromotrice induite aura pour valeur :

$$e = - \frac{d\varphi}{dt} = K a \omega \cdot \cos \omega t \quad E_{\max} = K a \omega$$

6-4. Lecteur piézo-électrique.

Rappel des propriétés fondamentales du cristal de quartz piézo-électrique.

Considérons une plaquette de quartz ou de sel de Rochelle (appelé également sel de seignette, tartrate double de sodium et de potassium) de telle sorte que quatre de ses faces soient parallèles à l'axe optique, deux d'entre elles étant perpendiculaires à un des axes électriques du cristal (voir la figure ci-contre). Si nous recouvrons ces deux

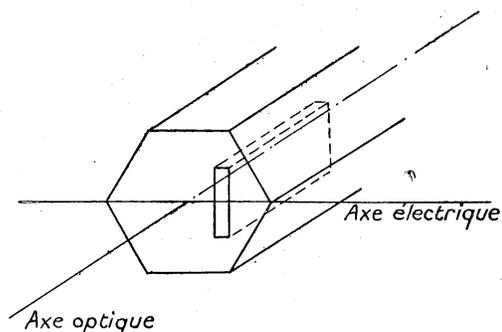


FIG. 6-5.

dernières faces de deux électrodes métalliques, nous pouvons alors observer notamment les phénomènes suivants :

Si le cristal est comprimé au moyen de ces deux électrodes, des charges électriques égales et de signes contraires apparaissent sur chacune d'elles.

Ces charges disparaissent avec la pression qui les avait fait naître.

$$Q = Kf \quad \begin{array}{l} Q \text{ charge électrique UESCGS} \\ f \text{ force en dynes} \\ K 6,45 \times 10^{-8} \end{array}$$

Inversement si on applique aux électrodes une tension U le quartz se contracte ou se dilate selon la polarité de cette tension d'excitation. On sait que ces phénomènes piézo-électriques — phénomène direct et phénomène inverse — sont à la base de très nombreuses et très curieuses applications industrielles.

Le premier de ces phénomènes qui permet la transformation directe de l'énergie mécanique en énergie électrique, a été utilisé pour la construction du lecteur piézo-électrique.

Celui-ci est généralement réalisé de la manière suivante : Un élément bimorphe de sel de seignette — ainsi appelé parce que constitué par deux prismes accolés — sur lequel se trouvent fixées deux pinces métalliques dont l'une est solidaire du bras support du pick-up et dont l'autre reçoit l'aiguille de lecture, est placé entre les armatures d'un condensateur.

L'aiguille, en suivant le sillon tracé à la surface du disque, imprime aux cristaux un mouvement de flexion de part et d'autre de leur position d'équilibre. En reliant les armatures à un amplificateur on peut recueillir une différence de potentiel alternative, proportionnelle à la pression exercée sur les cristaux c'est-à-dire pratiquement aux déplacements de l'aiguille. L'amplitude de la tension alternative fournie par un tel système de reproduction peut donc être représentée — en première approximation tout au moins — par l'équation suivante, dans laquelle k représente un coefficient de proportionnalité et x la valeur instantanée de la distance de l'aiguille à sa position de repos :

$$E = kx$$

6-5. Courbe de réponse.

Compte tenu de ce qui précède et du fait que les caractéristiques du « phonogramme » normalisé sont les suivantes :

$$x = \text{constante pour } f \leq 250 \text{ ou } 500 \text{ c/s}$$

$$x = \frac{k}{f} \quad \text{pour } f > 250 \text{ ou } 500 \text{ c/s}$$

nous obtiendrons une « réponse » satisfaisante des lecteurs, c'est-à-dire des tensions de sortie proportionnelles aux tensions enregistrées, si le système de reproduction comporte :

Un relèvement « graves » pour les fréquences inférieures à 250 ou 500 c/s s'il s'agit des lecteurs électro-magnétiques et électro-dynamiques.

Un relèvement « hautes » pour les fréquences supérieures à 250 ou 500 c/s, s'il s'agit, au contraire, de lecteurs piézo-électriques (1).

(1) Ceci n'est exact que pour un lecteur travaillant à circuit ouvert. Or même si, comme c'est généralement le cas, l'appareil attaque la grille d'entrée d'un amplificateur, cette impédance de charge cependant élevée est néanmoins faible devant l'impédance de la source, laquelle est imaginaire et varie en raison inverse de la fréquence. On peut donc admettre en première approximation que le système est pratiquement autocorrigé. Des schémas du relèvement graves et du filtre d'aiguille seront donnés plus loin.

Schéma de principe des chaînes utilisées par la Radiodiffusion Française.

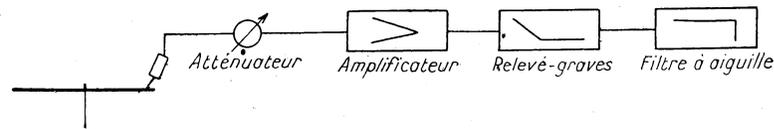


FIG. 6-6.

6-6. Conditions d'emploi des têtes de lecture.

Les principales caractéristiques d'une tête de lecture, peuvent être groupées sous les trois intitulés suivants :

- 1° Fidélité ;
- 2° Action sur le disque ;
- 3° Sensibilité.

Examinons successivement les différents types de « lecteur » à ce triple point de vue.

Lecteurs électro-magnétiques.

La construction des lecteurs électro-magnétiques est entrée, depuis quelques années en Amérique et plus récemment en France, dans une voie nouvelle. Les performances de cet appareil en ont été bouleversées, ce qui corrélativement conduit à des modifications radicales de ses conditions d'emploi. Voici donc, scindés en deux parties, les renseignements généraux se rapportant à ce type de lecteur.

a) Lecteurs ancien modèle.

La courbe de réponse des lecteurs électro-magnétiques comporte de nombreux points de résonance et des distorsions harmoniques importantes ayant même origine que celles du graveur construit sur le même principe.

L'inconvénient majeur présenté par le lecteur électro-magnétique réside dans le fait que le principe même de fonctionnement de ce lecteur impose une grande « raideur » de la palette mobile (1), ce qui implique une pression élevée sur le disque (100 à 120 gr). Il en résulte, inévitablement, une usure relativement rapide de celui-ci. Il est bien évident qu'un tel lecteur ne peut être utilisé pour la reproduction des enregistrements sur disques souples.

Enfin, il convient de noter que ce lecteur présente cependant l'avantage de fournir des tensions de sortie assez élevées, variant de 0,1 à 1 volt. Ceci explique en particulier le fait que des appareils de ce type soient encore utilisés par certains amateurs et qu'ils équipaient autrefois la plupart des « pick-up » vendus dans le commerce.

b) Lecteurs nouveau modèle.

Les nouveaux lecteurs dits lecteurs légers ont une courbe de réponse nettement améliorée (ils atteignent 15000 c/s).

Leurs poids varient de 15 ou 20 gr s'il s'agit d'un enregistrement standard 78 tr/mn à 6 ou 8 gr pour les disques « microsillon ». Il va sans dire que

(1) Pour éviter son collage sur les pièces polaires.

dans ces conditions l'usure des disques est très sensiblement réduite, mais qu'en contre-partie de ces avantages, leur sensibilité s'est trouvée fortement diminuée. (1).

Enfin, nous noterons que ces nouveaux appareils sont, généralement, dotés d'une aiguille permanente.

Lecteurs électro-dynamiques.

La courbe de réponse de ces lecteurs (Fig. 6-7) accuse une résonance vers 4 à 6000 p.p.s. mais les résultats obtenus sont néanmoins très satisfaisants. De même les distorsions non linéaires produites par ces appareils sont relativement faibles.

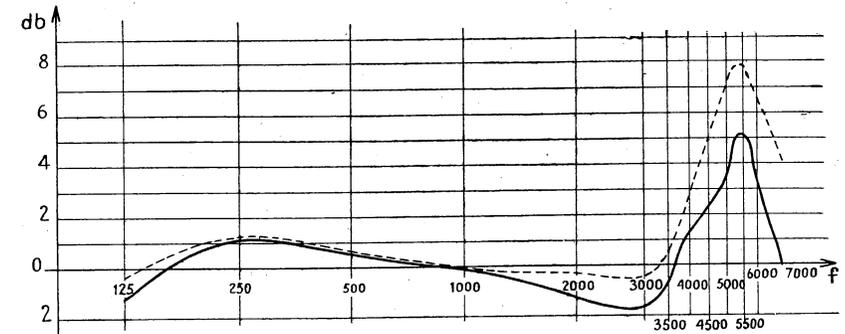


FIG. 6-7. — Courbe de réponse d'un lecteur électrodynamique.
Impédance de charge 200 Ω. — Impédance de charge 1200 Ω.

Enfin la souplesse de l'équipage mobile est relativement grande. De ce fait, le poids de la tête de lecture, mesuré sous la pointe de l'aiguille à l'aide d'un peson, peut être ramené à 60 gr, parfois même à une valeur un peu moindre.

Ce type de lecteur, très utilisé jusqu'en 1948, est maintenant de plus en plus abandonné au profit de lecteurs ultra légers, généralement magnétiques.

Nous signalerons, cependant, qu'il existe des lecteurs électro-dynamiques légers dont les performances sont sensiblement équivalentes à celles des lecteurs magnétiques citées plus haut.

Lecteurs piézo-électriques.

Ce que nous disions des lecteurs électro-magnétiques, est également vrai pour les lecteurs piézo-électriques. Nous donnerons donc, de la même façon que ci-dessus, des renseignements sur les lecteurs anciens et sur les lecteurs les plus récents.

a) Lecteurs ancien modèle.

La courbe de réponse des lecteurs de ce type est satisfaisante.

La raideur du « moteur » est évidemment très grande, son fonctionnement résultant de la flexion de lamelles constituées de cristaux. La pression

(1) Ceci n'apporte d'ailleurs aucune gêne, les chaînes d'amplification des appareils professionnels étant étudiées et réalisées pour des tensions d'entrée sensiblement plus faibles.

exercée sur le disque est donc relativement élevée — 100 gr environ — et, de ce fait, l'usure du phonogramme est sensible. A l'avantage du système, il faut inscrire son efficacité — le lecteur piézo-électrique fournit une f.e.m. de quelques volts —, ce qui le fait apprécier pour les équipements sommaires.

b) Lecteurs récents.

Un système de leviers permet de donner aux lecteurs piézo-électriques, une souplesse qu'ils n'avaient pas à l'origine.

Ces nouveaux appareils peuvent même être utilisés pour la lecture des disques « microsillon ».

Dans ce cas, tout comme pour les appareils électromagnétiques, ils sont dotés d'une aiguille permanente.

6-7. Etude des principaux facteurs produisant des distorsions à la lecture.

La distorsion à la lecture a des causes multiples et variées dont les principales sont les suivantes :

- vibrations du « bras » support de lecteur ;
- erreur de piste ;
- effet de « pince » ;
- déformation du sillon ;
- influence des caractéristiques de l'aiguille ;
- pleurage et scintillement ;
- bruit de fond.

a) Influence du bras support de lecteur.

Dans tout ce qui précède nous avons considéré la reproduction d'une sinusoïde ou d'une succession de sinusoïdes sans nous préoccuper de savoir comment le lecteur pourrait explorer la surface du disque support de gravure.

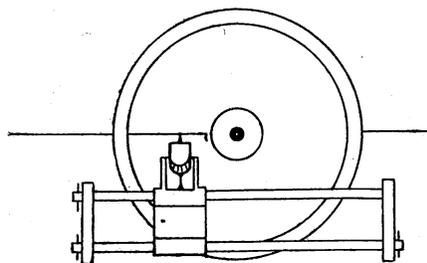


FIG. 6-8.

—une mise en place de l'aiguille fort correcte, le plan de vibration de celle-ci étant, à chaque instant, perpendiculaire à l'axe de la sinusoïde enregistrée.

Exception faite pour les tout premiers appareils qui, nous l'avons vu, servaient indifféremment à la gravure et à la lecture et de certains appareils utilisés en Angleterre, le dispositif suivant, jugé plus simple, a été adopté par tous les constructeurs (FIG. 6-9).

Une solution naturelle de ce problème peut être obtenue, très simplement, en substituant le lecteur au graveur de la table de gravure (FIG. 6-8).

Ce faisant nous obtenons :
— la translation du lecteur de l'extérieur du disque vers le centre ou inversement selon le principe adopté.

Le lecteur est fixé à l'extrémité d'un bras mobile dont la longueur, déterminée comme nous allons le voir, permet « l'exploration complète de la surface du disque.

Il est assez facile d'imaginer que ce système de suspension puisse, si aucune précaution spéciale n'est prise pour l'éviter, modifier assez sensiblement la courbe de réponse du lecteur. En effet dans ce qui précède nous avons montré que la f.e.m. produite

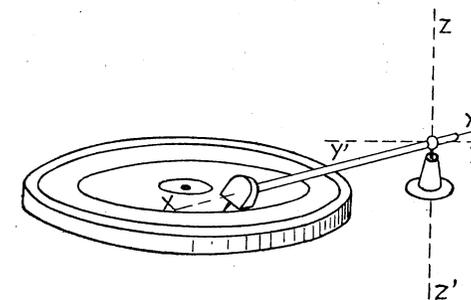


FIG. 6-9.

par un lecteur (1) était proportionnelle à la vitesse de l'aiguille, par rapport à la masse des autres organes de l'appareil. Or, il se trouve que du fait du mode de suspension cette masse n'est pas absolument *immobile*. La f.e.m. fournie par le lecteur sera donc proportionnelle à la *vitesse relative* de l'aiguille v' et non pas à sa *vitesse absolue* v ainsi que nous l'avons admis précédemment, considérant que les deux vitesses étaient égales par suite de l'immobilité du lecteur.

La différence entre v et v' sera d'autant plus grande que la raideur de l'équipage mobile sera plus importante (couplage plus serré) et que la masse du lecteur sera plus faible (inertie réduite).

D'autre part le bras lui-même peut provoquer des résonances résultant de la torsion ou de la flexion de ses éléments. Nous voyons par cette seule énumération, qui n'est d'ailleurs pas limitative, combien il peut être imprudent de tracer la courbe de réponse d'un lecteur sans avoir pris les précautions nécessaires pour éliminer les perturbations que peut introduire son « bras » support.

Examinons maintenant très succinctement par quel mécanisme le « bras » produit des perturbations néfastes à la lecture et déterminons les moyens susceptibles de pallier ces défauts.

Limitons notre étude à l'examen des trois mouvements ayant pour axe : XX' , YY' et ZZ' .

MOUVEMENTS AUTOUR DE XX' . — Les mouvements ayant pour axe XX' sont dits de torsion.

La fréquence des vibrations naturelles de ce système généralement comprise entre 200 et 500 p.p.s, dépend :

- du moment d'inertie de la tête de lecture par rapport à XX' ;
- de l'élasticité du bras.

Dans ces conditions la valeur de cette fréquence de vibration et l'amplitude du mouvement peuvent être réduits par les artifices suivants :

Adoption de lecteurs ayant un équipage très souple. Le couplage entre les deux systèmes vibrants étant « lâche » la force *perturbatrice* agissant sur le

(1) Il est question ici des lecteurs magnétiques et dynamiques. S'il s'agissait d'un lecteur piézo-électrique nous remplacerions *vitesse* par *elongation*.

CHAPITRE 4.

LA LECTURE OPTIQUE

Du point de vue théorique tout se passe comme si un mince pinceau lumineux — épaisseur 20 microns — explorait le film à vitesse constante. Ainsi que nous l'avons déjà vu, la cellule photoélectrique reçoit un flux lumineux variable, dont la valeur instantanée dépend de l'opacité de la zone explorée, dans le cas du procédé à densité variable, ou de la largeur vierge de la piste, dans le cas du procédé à densité fixe.

Nous n'insisterons donc pas davantage sur cet aspect de la question et nous nous bornerons à donner quelques indications sur :

- les cellules photoélectriques ;
- le dispositif d'entraînement du film ;
- le bloc son.

4-1. Les cellules photoélectriques.

Les radiations lumineuses ⁽¹⁾ sont susceptibles, dans certaines conditions, de modifier l'équilibre électrique des corps soumis à leur action. Ce phénomène très général est connu sous le nom d'*effet photo électrique*.

Cet effet peut se manifester sous des formes très différentes :

Modification de la conductivité d'un corps : effet *photoconductif* ;
Transformation de l'énergie chimique en énergie électrique : effet *photo-voltaïque* ;

Libération d'électrons : effet *photo émissif*.

L'effet *photo émissif* est le seul qui soit utilisé pour la lecture optique : nous n'étudierons donc que les cellules utilisant ce phénomène.

Les cellules photo-électriques modernes se composent d'une ampoule de verre ou de quartz de forme sphérique ou cylindrique dans laquelle règne soit un vide poussé — cellules à vide —, soit une très faible pression résultant de la présence d'un gaz rare : néon, argon ou hélium — cellules à gaz (Fig. 4-1).

Les électrodes sont au nombre de deux :

- la cathode formée d'une très mince couche de métal alcalin, généralement du césium, déposée sur la paroi intérieure de l'ampoule ou sur une électrode en forme de gouttière ;

— l'anode, située au centre de l'ampoule et constituée par un élément métallique — généralement du tungstène — en forme d'anneau, de simple fil, de grillage ou de rectangle.

Les radiations lumineuses pénètrent dans les cellules par la fenêtre ou pupille P qui est la partie non métallisée de l'ampoule.

Certains électrons, libérés à la surface de la cathode par l'action de ces radiations, sont collectés par l'anode ; mais le courant qui en résulte est faible. Il est possible de l'amplifier en portant l'anode à un potentiel positif au moyen d'une source continue. Une résistance élevée R, placée dans le circuit ainsi constitué, permet de recueillir une différence de potentiel, dont la composante alternative, la seule qui nous intéresse ici, peut être amplifiée.

Ainsi que nous l'avons vu plus haut, il existe deux types de cellules : les cellules à vide et les cellules à gaz.

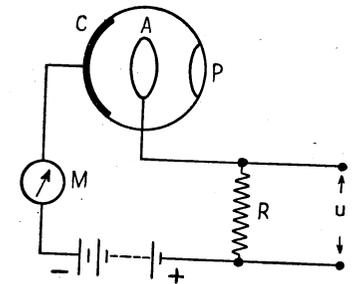


FIG. 4-1.

Cellules à vide.

Ces cellules sont dites à vide, parce que la pression résiduelle qui y règne est extrêmement faible. La tension recueillie aux bornes de la résistance R ne dépend que de deux facteurs : le flux lumineux — à condition de considérer que sa composition spectrale est constante — et la tension de polarisation.

Supposons \mathcal{F} constant. La courbe représentant la variation du courant produit par la cellule est donnée ci-après (Fig. 4-2). Nous remarquerons : le courant croît tout d'abord, avec la tension, puis il se produit, vers 50 à 60 volts, une sorte de saturation. Lorsque la tension atteint cette valeur on peut donc considérer que tous les électrons libérés par la cathode sont

pratiquement captés par l'anode ; il n'y a par conséquent, dans ce cas, aucun avantage à accroître la tension de polarisation, cette augmentation ne produisant pas d'effet sensible.

Si maintenant nous supposons la tension V constante et assez élevée pour provoquer la saturation et si nous faisons varier le flux lumineux dirigé vers la cellule, le courant anodique variera proportionnellement à ce flux lumineux. De plus la vitesse

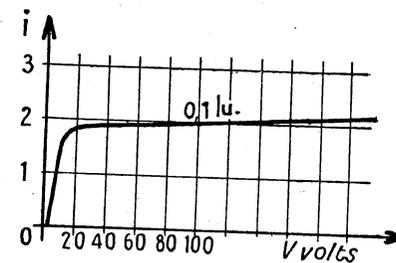


FIG. 4-2.

des électrons est telle à l'intérieur du tube qu'aucune inertie sensible n'est constatée dans son fonctionnement en régime variable. Enfin, nous notons que le fait de travailler dans la zone de saturation rend le système pratiquement indépendant de la valeur instantanée de la tension V de polarisation.

(1) Radiations électromagnétiques serait plus exact.

Cellules à gaz.

Les cellules à vide étant peu sensibles, on a songé à accroître leur efficacité en y introduisant un gaz (1) sous faible pression, de l'ordre de 1 mm de mercure. L'effet amplificateur constaté après cette préparation est dû au phénomène bien connu d'émission secondaire provoqué par des chocs entre les atomes de gaz et les électrons libérés par la cathode.

La courbe représentant la variation du courant anodique de ces cellules, en fonction de la tension (Fig. 4-3), est très différente de celle des cellules à vide. En effet le phénomène de saturation signalé plus haut pour les cellules à vide n'apparaît pas ici ; tout au contraire, pour les cellules de ce

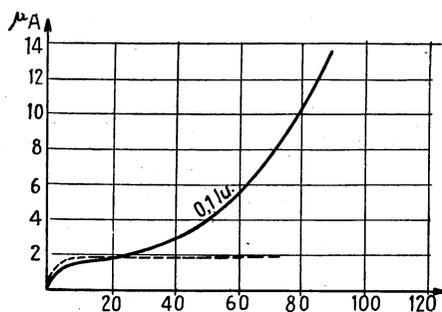


FIG. 4-3.

type le courant croît de plus en plus rapidement jusqu'à une tension relativement élevée, 130 à 150 volts, à partir de laquelle se produit une décharge. La tension provoquant ce phénomène s'appelle potentiel disruptif ou d'illumination. Si le circuit n'est pas protégé par une forte résistance, la cellule est, alors, mise hors d'usage, la partie active de la cathode étant pratiquement détruite par un bombardement ionique intense. La courbe ci-contre montre que

« l'amplification » maximum est obtenue pour une tension de polarisation aussi élevée que possible. Pratiquement, pour éviter les risques de décharge, on adopte un point de fonctionnement inférieur de 20 à 30 volts à la tension d'illumination.

Enfin, ces indications sommaires doivent être complétées sur deux points :

- la variation du potentiel d'anode en fonction du débit ;
- l'inertie de la cellule.

Une proportionnalité convenable, entre le flux lumineux et l'intensité fournie par la cellule, sera obtenue si la résistance de charge n'est pas trop élevée — on donne généralement à cette résistance une valeur de l'ordre de 0,5 à 1 mégohm.

D'autre part, la cellule à gaz présente une certaine inertie due, pour une grande part tout au moins, au phénomène d'ionisation — masse relativement élevée des ions et lenteur de leur déplacement — ; cette inertie provoque une baisse d'intensité aux fréquences élevées. L'affaiblissement qui en résulte vers 10000 p.p.s. est, dans l'état actuel de la technique, de 0,6 db environ.

Nous noterons, en outre, pour en terminer avec cette question, que les cellules à gaz ne sont pas parfaitement stables dans le temps et qu'elles

(1) Gaz rare, généralement de l'argon, pour éviter toute action chimique sur les électrodes.

donnent lieu au phénomène de « fatigue », c'est-à-dire que leur efficacité baisse après un certain temps de fonctionnement.

Malgré ces quelques défauts, la cellule à gaz est cependant utilisée pour le cinéma sonore de préférence à la cellule à vide, en raison du fait que, compte tenu des multiples facteurs devant être pris en considération, son efficacité est plus grande de 15 à 20 db.

4-2. Le dispositif d'entraînement du film (1).

Nous rappellerons que les images se succèdent, devant la fenêtre de projection, à la vitesse de 24 par seconde, ce qui implique pour le film standard de 35 mm — hauteur de l'image 19 mm, 4 perforations — une *vitesse moyenne* de défilement de 456 mm seconde. Nous disons bien *vitesse moyenne*, le déplacement du film s'effectuant en fait de manière saccadée : immobile pendant le 1/32 de seconde que dure la projection, il se déplace ensuite très rapidement, de telle sorte qu'en 1/96 de seconde, il y ait substitution d'image et ainsi de suite.

La lecture du son qui, pour cette raison, ne peut se faire dans cette zone du film, s'effectue donc, sans qu'il en résulte d'ailleurs le moindre inconvénient, en un autre point du parcours. La valeur standard donnée au décalage entre les points de projection image et de lecture du son, a été fixée à 19 images 1/3.

Les premières réalisations, utilisant un système d'entraînement par roues dentées, donnèrent lieu à de sérieuses difficultés, du fait du rétrécissement,

plus ou moins important, du film. En effet, on sait que le transfert de celui-ci s'effectue par pénétration de la denture d'un cylindre dans des perforations pratiquées de chaque côté de l'image à emplacements fixes. Ce procédé permet donc d'obtenir, et c'est le but recherché, que quel que soit le rétrécissement du film la projection image n'en soit pas affectée. Il n'en va malheureusement pas de même pour la lecture son, le tambour denté donnant lieu, malgré toutes les précautions pouvant être prises, à une variation de la vitesse du film, lorsque l'entraînement, se faisant par une dent en contact, se fait ensuite, après glissement, en un autre point (Fig. 4-4).

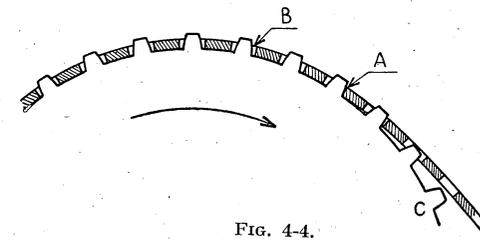


FIG. 4-4.

Tout se passe donc comme si, à la vitesse moyenne $V = 45 \text{ cm } 6$, se superposait un mouvement d'amplitude et de sens variables. Ce mouvement se traduit, à l'écoute, par l'apparition d'une modulation parasite appelée « modulation de perforation ».

EXEMPLE : Le film entraîné par pression d'une dent sur la perforation en A subira une variation instantanée de vitesse, lorsque cette dent A s'échappant en C, la traction se fait ensuite en un autre point, B par exemple.

(1) Les dispositions matérielles adoptées pour éviter les variations de vitesse instantanée du film à la lecture sont également valables pour les dispositifs d'enregistrement.

Pour éviter cet inconvénient la plupart des nouvelles réalisations comportent un dispositif (Fig. 4-5) basé sur les remarques suivantes :

Pour que le synchronisme entre l'image et le son soit respecté, il faut et il suffit que la *valeur moyenne* de défilement du film soit la même aux deux points d'exploration.

Le son n'est pas affecté de manière sensible par de faibles variations de vitesse, *lorsqu'elles s'étalent sur un temps relativement long*.

Ce dispositif comportera donc deux parties, dont le rôle sera de satisfaire à ces deux remarques :

Maintien de la vitesse moyenne au moyen de roues dentées, synchrones des roues dentées image.

Maintien de la vitesse instantanée à une valeur pratiquement fixe (parce que ne variant que très lentement), par volant fou entraîné sans glissement par le film lui-même.

Pour éviter tout flottement du film et bénéficier pleinement de la régulation produite par le volant, la lecture se fait au niveau du tambour T d'entraînement de la bande.

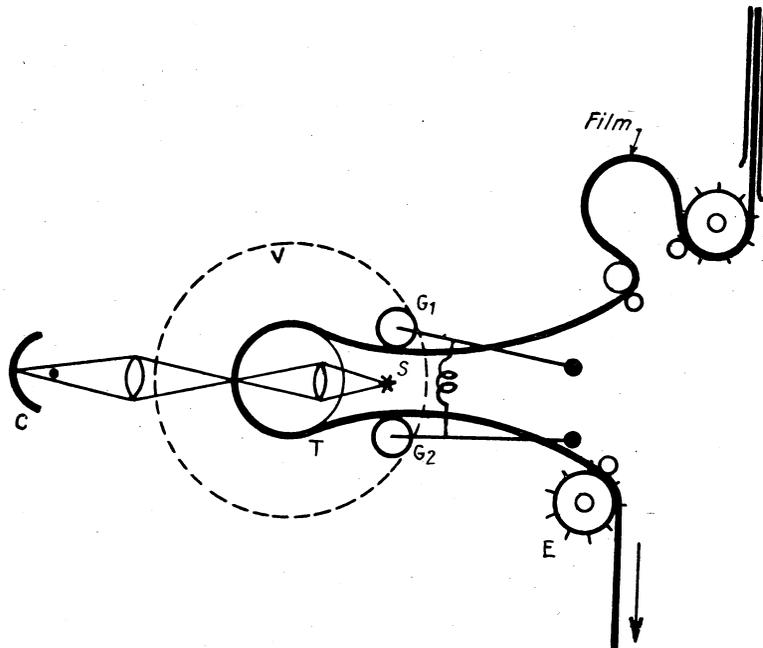


FIG. 4-5. — C Cellule photoélectrique ; S source lumineuse ; T tambour à rotation libre ; V volant assurant l'inertie de ce tambour ; G₁ et G₂ galets tendeurs ; E roue dentée d'entraînement du film.

Diverses dispositions ont été adoptées pour rendre progressive l'action du volant. Dans tous les cas la masse de celui-ci est couplée élastiquement au tambour de défilement du film.

4-3. Le dispositif de lecture ou bloc son.

L'appareil de lecture comprend les divers éléments figurés sur le schéma de principe suivant.

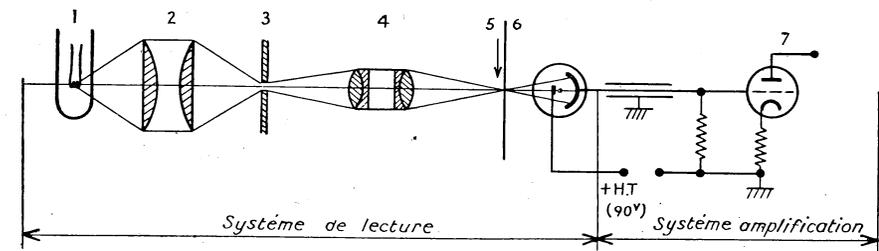


FIG. 4-6. — 1 Source lumineuse ; 2 condensateur de lumière ; 3 fente ; 4 objectif. (L'objectif projette sur le film une image très fine et très brillante) ; 5 film (vu de champ) ; 6 cellule photoélectrique ; 7 système amplificateur.

Du point de vue théorique tout se passe comme si un mince pinceau lumineux — hauteur 20 à 25 microns — explorait le film à vitesse constante.

La cellule photoélectrique reçoit un flux lumineux variable, dont la valeur instantanée dépend de l'opacité de la zone explorée dans le cas du procédé à densité variable, ou de la largeur vierge de la piste dans le cas du procédé à densité fixe. Ce problème de modulation du flux lumineux ayant déjà été abordé page 135, nous n'insisterons pas davantage sur cet aspect de la question.

exercée sur le disque est donc relativement élevée — 100 gr environ — et, de ce fait, l'usure du phonogramme est sensible. A l'avantage du système, il faut inscrire son efficacité — le lecteur piézo-électrique fournit une f.e.m. de quelques volts —, ce qui le fait apprécier pour les équipements sommaires.

b) Lecteurs récents.

Un système de leviers permet de donner aux lecteurs piézo-électriques, une souplesse qu'ils n'avaient pas à l'origine.

Ces nouveaux appareils peuvent même être utilisés pour la lecture des disques « microsillon ».

Dans ce cas, tout comme pour les appareils électromagnétiques, ils sont dotés d'une aiguille permanente.

6-7. Etude des principaux facteurs produisant des distorsions à la lecture.

La distorsion à la lecture a des causes multiples et variées dont les principales sont les suivantes :

- vibrations du « bras » support de lecteur ;
- erreur de piste ;
- effet de « pince » ;
- déformation du sillon ;
- influence des caractéristiques de l'aiguille ;
- pleurage et scintillement ;
- bruit de fond.

a) Influence du bras support de lecteur.

Dans tout ce qui précède nous avons considéré la reproduction d'une sinusoïde ou d'une succession de sinusoïdes sans nous préoccuper de savoir comment le lecteur pourrait explorer la surface du disque support de gravure.

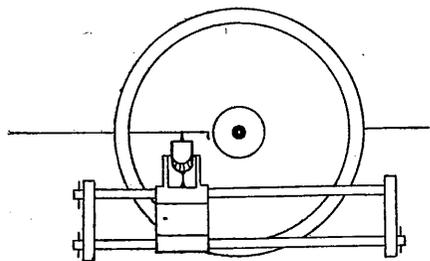


FIG. 6-8.

Une solution naturelle de ce problème peut être obtenue, très simplement, en substituant le lecteur au graveur de la table de gravure (Fig. 6-8).

Ce faisant nous obtenons : — la translation du lecteur de l'extérieur du disque vers le centre ou inversement selon le principe adopté.

— une mise en place de l'aiguille fort correcte, le plan de vibration de celle-ci étant, à chaque instant, perpendiculaire à l'axe de la sinusoïde enregistrée.

Exception faite pour les tout premiers appareils qui, nous l'avons vu, servaient indifféremment à la gravure et à la lecture et de certains appareils utilisés en Angleterre, le dispositif suivant, jugé plus simple, a été adopté par tous les constructeurs (Fig. 6-9).

Le lecteur est fixé à l'extrémité d'un bras mobile dont la longueur, déterminée comme nous allons le voir, permet « l'exploration complète de la surface du disque.

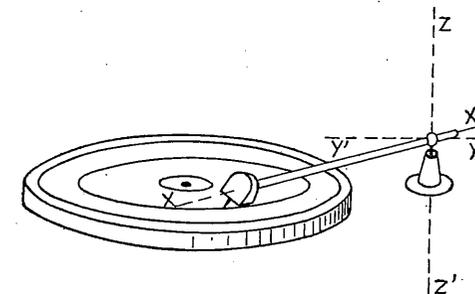


FIG. 6-9.

Il est assez facile d'imaginer que ce système de suspension puisse, si aucune précaution spéciale n'est prise pour l'éviter, modifier assez sensiblement la courbe de réponse du lecteur. En effet dans ce qui précède nous avons montré que la f.e.m. produite

par un lecteur (1) était proportionnelle à la vitesse de l'aiguille, par rapport à la masse des autres organes de l'appareil. Or, il se trouve que du fait du mode de suspension cette masse n'est pas absolument immobile. La f.e.m. fournie par le lecteur sera donc proportionnelle à la vitesse relative de l'aiguille v' et non pas à sa vitesse absolue v ainsi que nous l'avons admis précédemment, considérant que les deux vitesses étaient égales par suite de l'immobilité du lecteur.

La différence entre v et v' sera d'autant plus grande que la raideur de l'équipage mobile sera plus importante (couplage plus serré) et que la masse du lecteur sera plus faible (inertie réduite).

D'autre part le bras lui-même peut provoquer des résonances résultant de la torsion ou de la flexion de ses éléments. Nous voyons par cette seule énumération, qui n'est d'ailleurs pas limitative, combien il peut être imprudent de tracer la courbe de réponse d'un lecteur sans avoir pris les précautions nécessaires pour éliminer les perturbations que peut introduire son « bras » support.

Examinons maintenant très succinctement par quel mécanisme le « bras » produit des perturbations néfastes à la lecture et déterminons les moyens susceptibles de pallier ces défauts.

Limitons notre étude à l'examen des trois mouvements ayant pour axe : XX' , YY' et ZZ' .

MOUVEMENTS AUTOUR DE XX' . — Les mouvements ayant pour axe XX' sont dits de torsion.

La fréquence des vibrations naturelles de ce système généralement comprise entre 200 et 500 p.p.s, dépend :

- du moment d'inertie de la tête de lecture par rapport à XX' ;
- de l'élasticité du bras.

Dans ces conditions la valeur de cette fréquence de vibration et l'amplitude du mouvement peuvent être réduits par les artifices suivants :

Adoption de lecteurs ayant un équipage très souple. Le couplage entre les deux systèmes vibrants étant « lâche » la force perturbatrice agissant sur le

(1) Il est question ici des lecteurs magnétiques et dynamiques. S'il s'agissait d'un lecteur piézo-électrique nous remplacerions vitesse par elongation.

pendule de torsion constitué par la tête de lecture et le bras est pratiquement très réduite.

Accroissement de l'inertie de la tête de lecture : soit en abaissant le centre de gravité du lecteur par rapport à l'axe XX' , soit en ajoutant des masselottes de part et d'autre du lecteur (voir les figures suivantes).

MOUVEMENTS AUTOUR DE ZZ' . — La pulsation de ces vibrations est fonction :

- du moment d'inertie de la tête de lecture par rapport à ZZ' ;
- de la raideur de l'équipage mobile.

On réduit la fréquence de ces vibrations en augmentant la masse du système.

MOUVEMENTS AUTOUR DE YY' . — Par suite du voilage des disques et de « l'effet de pince » (phénomènes que nous étudierons plus loin) un mouvement vertical est communiqué à l'aiguille et par suite à l'ensemble du système duquel cette aiguille est solidaire.

Si l'équipage n'est pas étudié spécialement pour « boire » cette sorte d'obstacle que constitue le mouvement vertical, le « bras » tout entier sera assujéti à se déplacer dans le plan vertical.

Si son inertie est grande — nous venons de voir qu'il y a intérêt à ce qu'il en soit ainsi — le lecteur exercera par instants des pressions exagérées sur le sillon et par conséquent provoquera des distorsions et peut-être même du « pleurage ».

Pour éviter ces inconvénients sans réduire l'inertie par rapport à XX' et ZZ' on a imaginé de fractionner le « bras ».

Les résultats ainsi obtenus sont satisfaisants. Nous donnons ci-dessous une série de schémas concernant différents types de bras de lecture.

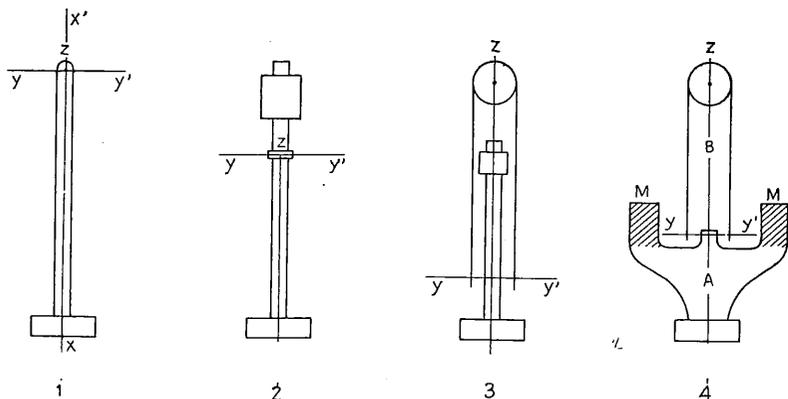


Fig. 6-10.

Bras 1. — Bras réalisé sans précaution préalable.

Bras 2. — Bras ayant une grande inertie, satisfaisant pour les vibrations intéressant les axes ZZ' et XX' (lecteur susbaissé).

Bras 3. — Bras dont l'inertie par rapport à YY' a été réduite tout en conservant les avantages du bras 2.

Bras 4. — Ce bras comporte les perfectionnements suivants : inertie par rapport à XX' accrue au moyen des masselottes M disposées de chaque côté de « l'avant-bras ».

réduction des vibrations par l'adoption de pièces rigides et massives.

couplage élastique des pièces A et B (d'où réduction des énergies transmises d'une pièce à l'autre).

Le type de bras n° 4 équipait il y a relativement peu de temps encore la plupart des « tables » de lecture de la Radiodiffusion Française. Mais dans ce domaine également les progrès accomplis en matière de « lecture » provoquent un véritable bouleversement technique.

En effet, nous savons que le « pick-up » est le siège d'un travail dont l'importance décroît lorsque l'on passe des systèmes anciens (lecteurs lourds) aux systèmes récents (lecteurs légers). En bref, l'excitation du système oscillant complexe que constitue le bras de lecture est de plus en plus faible au fur et à mesure des progrès techniques. On peut donc de ce seul fait utiliser actuellement des « bras simplifiés » comportant des vices qui eussent été jugés rédhibitoires il y a seulement quelques années.

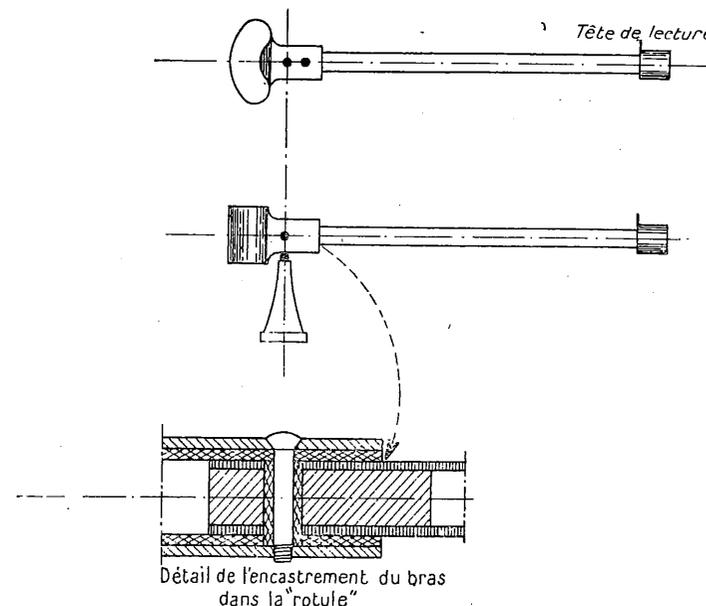


Fig. 6-11. — Caractéristiques particulières

Bras équilibré par contrepoids.

Pression sur la pointe de l'aiguille :

16 gr pour disque ordinaire ;

7 gr pour disque microsillon.

Cette variation est obtenue par changement de tête. Les vibrations de torsion du bras (se situant vers 250 à 300 p.p.s.) ont été pratiquement éliminées.

Les vibrations de flexion sont également faibles et se produisent pour des fréquences très basses de l'ordre de 16 p.p.s.

Enfin les lecteurs de ce type accusent des résonances d'équipage pour 15000 p. p.s. environ.

La correction de l'erreur de piste est réalisée par la position donnée à l'aiguille ou plus exactement au levier porte-saphir.

b) Erreur de piste.

Au début de l'étude précédente nous avons admis que, pour simplifier le mécanisme des tables de lecture et surtout pour en rendre l'exploitation plus commode, l'exploration de la surface du disque était effectuée au moyen d'un « bras » de lecture pivotant autour d'un axe fixe.

Représentons schématiquement (FIG. 6-12), vus en plan, le plateau tourne disques et le bras support de lecteur.

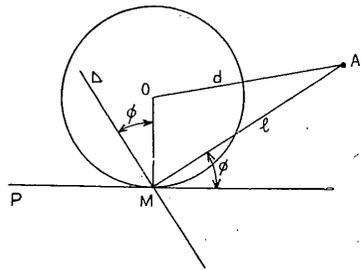


FIG. 6-12.

P et Δ sont deux plans perpendiculaires au disque. Ils représentent respectivement le plan tangent à l'axe du sillon, supposé décrire un cercle, et le plan dans lequel s'effectuent les déplacements de l'aiguille.

A la gravure, le plan tangent au sillon et le plan déterminé par les mouvements du burin sont perpendiculaires. Chaque fois qu'il n'en est pas de même à la lecture, les

mouvements de l'aiguille ne sont pas la reproduction exacte des mouvements initiaux du burin et il y a distorsion.

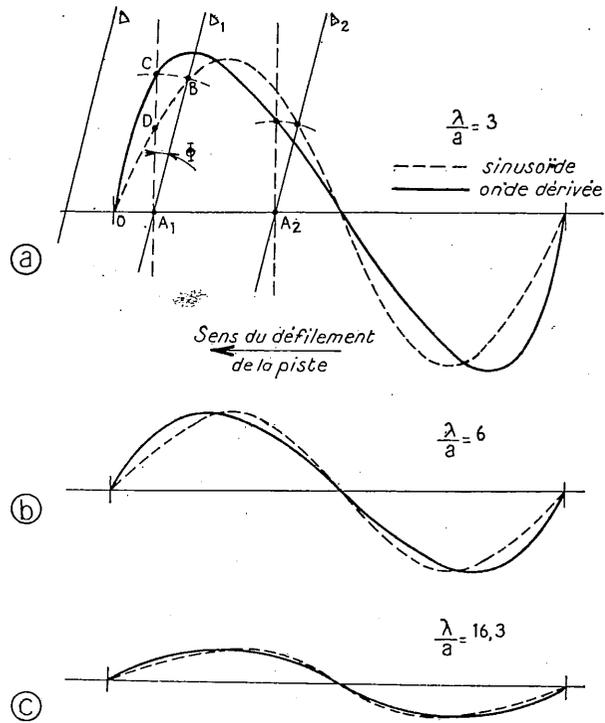


FIG. 6-13.

L'écart entre la perpendiculaire MO et la trace de Δ dans le plan du disque — écart mesuré par l'angle φ — définit l'erreur de piste.

ÉTUDE GRAPHIQUE DE L'ERREUR DE PISTE. — Voyons, tout d'abord, par quoi se traduit graphiquement l'erreur de piste. Considérons une sinusoïde de longueur λ et d'amplitude a dont le rapport λ/a est égal à 3 (FIG. 6-13 a).

Si l'erreur de piste est nulle, la pointe de l'aiguille, guidée par le sillon, aura glissé de O jusqu'en D, lorsque la sinusoïde se sera déplacée d'une longueur OA₁, dans le sens du défilement de la piste. Le déplacement latéral A₁D de l'aiguille correspondra alors, très exactement, à la valeur instantanée de la sinusoïde enregistrée.

Au contraire, si l'erreur de piste n'est pas nulle pour la portion de disque considérée (nous verrons par la suite que la valeur de l'erreur de piste varie avec la position du bras de lecture), l'aiguille se déplacera, non plus perpendiculairement à l'axe de la sinusoïde, mais parallèlement à la droite Δ, faisant un angle Φ avec cette direction (la figure 6-13 a été construite pour Φ = 15°).

L'extrémité de l'aiguille se trouvera donc en B et non pas en D, lorsque la sinusoïde se sera déplacée de la longueur OA₁, choisie plus haut comme exemple.

Tout se passe donc, pour le lecteur, comme si au point A₁ correspondait un déplacement AB. Pour représenter ce fait dans le système de coordonnées rectangulaires que nous avons adopté, il suffit de rabattre AB₁ sur la parallèle à l'axe des ordonnées passant par A₁. En effectuant la même opération pour tous les points A₂, A₃, A₄... de la sinusoïde, nous obtenons une série de points qui définissent une nouvelle courbe. Cette courbe, qui a reçu le nom d'onde dérivée, est représentée en trait plein sur la figure.

$\frac{\lambda}{a}$	Pourcentage d'harmoniques et rang de ceux-ci			
	2	3	4	5
3	24,7	8,9	3,3	1,4
6	12,6	2,2		
16,3	4,1			

A titre indicatif, nous donnons ci-dessus un tableau, dressé par OLNEY (1), relatif aux trois ondes dérivées définies plus haut.

ÉTUDE ANALYTIQUE DE L'ERREUR DE PISTE (FIG. 6-14). — Les propriétés du triangle quelconque MOA nous permettent d'écrire :

$$d^2 = r^2 + l^2 - 2rl \cos \theta$$

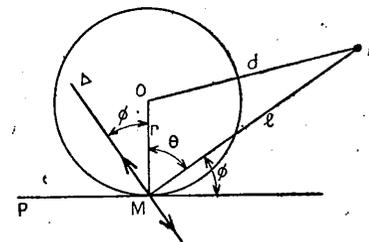


FIG. 6-14.

On remarquera tout de suite, que pratiquement, d et l ont des valeurs voisines. Il pourra donc être avantageux d'éliminer l'un de ces paramètres et de faire apparaître leur différence l - d = D.

Il vient alors :

$$\cos \theta = \sin \Phi = \frac{r}{2l} + \frac{2lD - D^2}{2rl}$$

Finalement, en considérant d'une part que l'angle Φ représentant l'erreur de piste est faible, d'autre part que D est également faible

(1) OLNEY (Electronics, nov. 1937).

devant l , l'équation peut être simplifiée, ce qui donne le résultat suivant :

$$\Phi \text{ radians} = \frac{r}{2l} + \frac{D}{r}$$

En partant de cette équation, il est possible de tracer l'abaque des valeurs de l'angle Φ pour un bras donné et un « dépasement » D donné, la variable indépendante étant le rayon r .

L'abaque ci-dessous (Fig. 6-15) a été tracé pour :

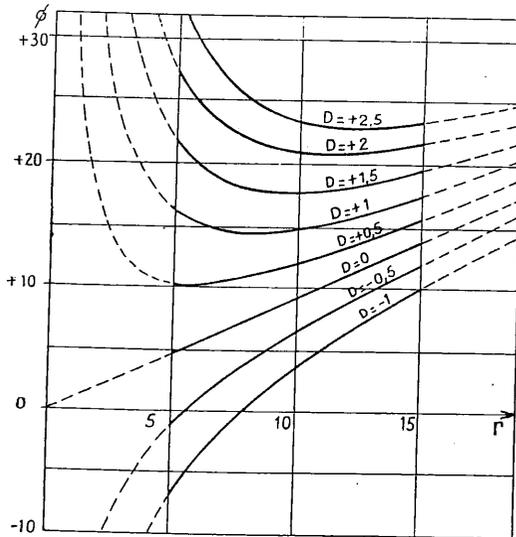


FIG. 6-15.

Cette deuxième propriété peut être mise à profit pour réduire la valeur de l'erreur de piste (Fig. 6-16).

Il suffit, en effet, d'imprimer au lecteur un mouvement de rotation β de valeur et de sens convenables, pour abaisser considérablement les valeurs de α angle caractérisant l'erreur de piste résiduelle. Dans ce cas : $\alpha = \Phi - \beta$.

Donnons un exemple concret :

Pour $D = +0,5$ les valeurs extrêmes de Φ sont $10^{\circ}20'$ et $15^{\circ}25'$.

Une rotation β du lecteur, égale à la 1/2 somme de ces valeurs, $\frac{10^{\circ}20' + 15^{\circ}25'}{2} \neq 12^{\circ}50'$,

permet de constater que la valeur de l'erreur de piste résiduelle α est très sensiblement réduite, varie dans l'intervalle $\pm 2^{\circ}30'$ et qu'elle s'annule deux fois.

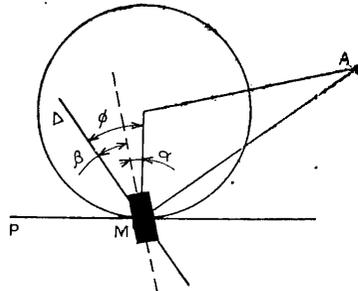


FIG. 6-16.

— un bras de 31,27 cm
— un « dépasement » ayant successivement pour valeur : - 1 ; - 0,5 ; 0 ; + 0,5 ; + 1 ; + 1,5 ; + 2 ; + 2,5 cm ;
— des valeurs du rayon répondant à la double inégalité $5 \text{ cm} \leq r \leq 14 \text{ cm}$

L'examen de ces courbes montre que :

1° Pour $D \leq 0$ Φ s'annule une fois et sa variation est importante.

2° Pour $D > 0$ Φ ne s'annule plus, sa valeur passe par un minimum et sa variation est relativement faible.

Il apparaît donc que pour réduire et même supprimer pratiquement les effets de l'erreur de piste, il suffit de coucher légèrement le lecteur sur son support. Ce sont ces considérations qui ont donné naissance aux trois types de bras représentés par la figure 6-17.

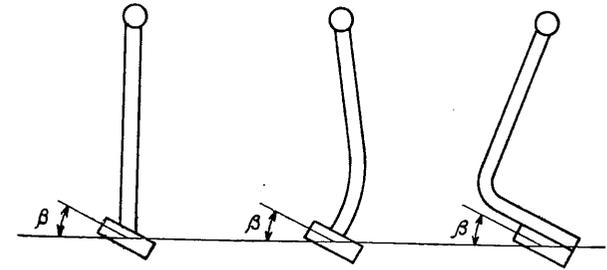


FIG. 6-17.

L'exposé ci-dessus, bien qu'incomplet, est cependant suffisant pour une étude d'ensemble de « l'erreur de piste ». Nous donnerons néanmoins quelques renseignements complémentaires puisés dans une étude de B. B. BAUER (1).

On démontre que pour les faibles valeurs de α — ce qui est toujours le cas — la distorsion est due presque exclusivement au deuxième harmonique. Nous savons en effet que l'aiguille au lieu de suivre fidèlement la sinusoïde gravée dans le phonogramme — sinusoïde représentée par $y = a \sin \omega t$ — décrit une onde dérivée. Cette onde a pour expression :

$$y_1 \neq \frac{a}{\cos \alpha} \left(\sin \omega t + \frac{\omega a \alpha}{2V} \sin 2\omega t \right) \left\{ \begin{array}{l} \omega \text{ et } a \text{ respectivement pulsation et amplitude du signal enregistré ;} \\ V \text{ vitesse de défilement de la piste ;} \\ \alpha \text{ angle, exprimé en radians, de l'erreur de piste compte tenu de la correction } \beta \text{ (} \alpha = \Phi - \beta \text{).} \end{array} \right.$$

On en déduit le pourcentage du 2^e harmonique, relativement à l'amplitude et à la vitesse.

Pourcentage du 2^e harmonique concernant :

$$\text{l'amplitude : } K_a = \frac{\omega a \alpha}{2V} \times 100$$

$$\text{la vitesse : } K_v = \frac{\omega a \alpha}{V} \times 100$$

La tension fournie par les lecteurs (sauf pour les « piézo ») étant proportionnelle à la vitesse, c'est cette deuxième expression que nous retiendrons après l'avoir transformée :

$$K_v = \frac{\omega a \alpha}{\omega_r r} \left\{ \begin{array}{l} \omega_r \text{ vitesse angulaire de rotation du plateau} \\ r \text{ rayon} \end{array} \right.$$

Cette expression montre que la distorsion dépend de trois facteurs :

1° Le rapport $\frac{\alpha}{r}$, et non α , comme on pourrait être tenté de le croire a priori.

2° La vitesse d'écriture « $a\omega$ ».

3° La vitesse angulaire de rotation du plateau.

Les deux derniers facteurs nous sont déjà familiers ; nous nous bornons donc à étudier la variation de la distorsion, en fonction du rapport $\frac{\alpha}{r}$.

(1) Etude parue dans Electronics de mars 1945, p. 110.

Nous avons déjà vu, que pour réduire la distorsion initiale, caractérisée par Φ , il suffit d'imprimer un mouvement de rotation β , au lecteur.

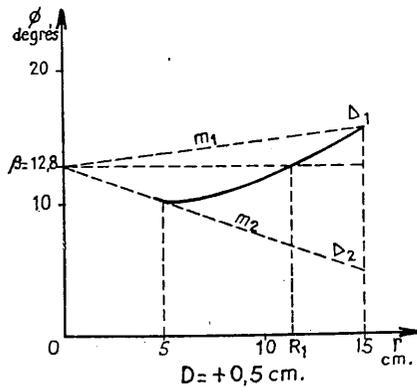


FIG. 6-18.

Supposons cette opération réalisée et observons la figure ci-contre. La distorsion est supprimée en un point d'abscisse R_1 , mais sa valeur devant rester acceptable pour l'ensemble de la plage enregistrée — de $r = 5$ à $r = 14,7$ par exemple — c'est davantage les points de distorsion maximum, qu'il convient de déterminer.

Notons tout d'abord, que sur cette figure, les points d'une droite quelconque ayant pour expression $\Phi = m r + \beta$ sont des points correspondant à un α/r constant. Ils sont donc des points d'égale distorsion, toutes choses demeurant égales par ailleurs. Nous en déduisons, en outre, que la portion de plan

que cette droite limite, soit au-dessus de l'horizontale d'ordonnée β si m est positif, soit au-dessous de ce même axe si m est négatif, correspond à une zone de distorsion moindre que celle définie par la droite elle-même. Dans ces conditions réduire la distorsion due à « l'erreur de piste » revient finalement à rechercher un triangle circonscrivant la courbe $\Phi = f(r)$ et dont les deux côtés ayant β pour sommet aient des pentes m aussi faibles que possible.

Les courbes ci-après (Fig. 6-19) mettent également en évidence le fait que les pentes des droites m_1 et m_2 , liées directement, ainsi que nous l'avons vu, à α/r , sont non seulement fonction de β mais également de D .

La recherche de la solution la meilleure au problème de la distorsion provoquée par le phénomène « erreur de piste » comporte donc deux aspects :

- Valeur optimum à donner à l'angle β ;
- Valeur optimum à donner au dépassement D du bras.

Valeur optimum de β .

Il est facile de remarquer que pour une valeur de D donnée, la pente la plus faible est obtenue lorsque $m_1 = -m_2$.

Valeur optimum de D .

Il est également aisé d'observer, que les pentes sont minima, lorsque les deux extrémités de la courbe $\Phi = f(r)$ (Φ et Φ_2 correspondant respectivement à r_1 et r_2) sont situées sur la droite m_1 .

Des calculs basés sur ces deux considérations conduisent aux valeurs optima de β et de D exprimées par les deux expressions suivantes :

$$\beta = \frac{r_1 \left(1 + \frac{r_1}{r_2}\right)}{l \left[\frac{1}{4} \left(1 + \frac{r_1}{r_2}\right)^2 + \frac{r_1}{r_2} \right]}$$

$$D = \frac{r_1^2}{l \left[\frac{1}{4} \left(1 + \frac{r_1}{r_2}\right)^2 + \frac{r_1}{r_2} \right]}$$

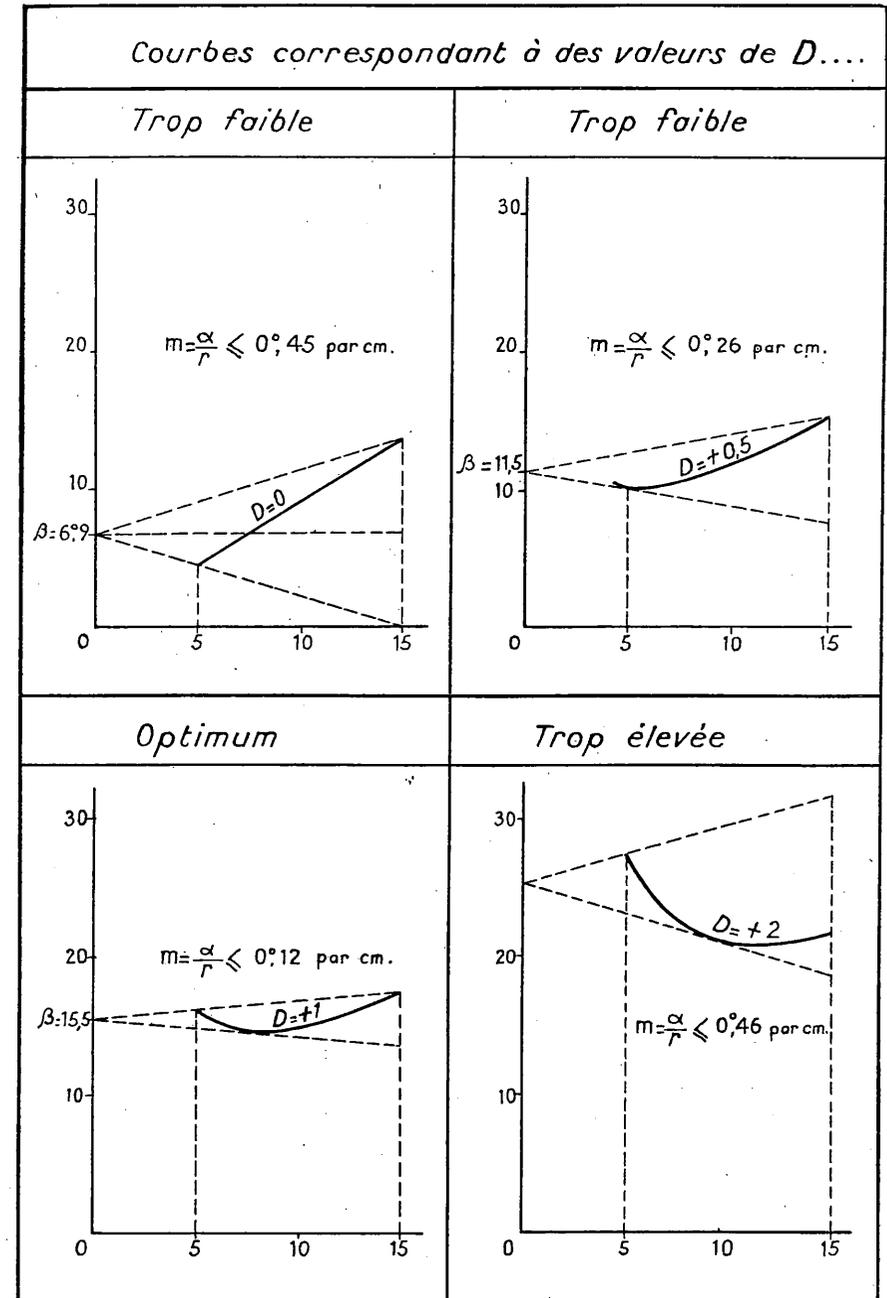


FIG. 6-19.

c) Effet de pince.

Si nous examinons la sinusoïde décrite par le burin (Fig. 6-20), nous constatons que sa largeur dépend de la pente du front d'onde. Cette largeur sera maximum en A₁, A₂, ... et minimum en B₁, B₂, ... etc...

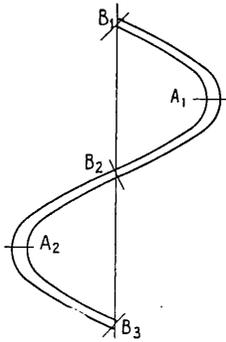


FIG. 6-20. — L'élongation nettement exagérée a été amplifiée à dessein pour mieux faire voir le phénomène.

Le sillon ayant une section triangulaire, la pointe de l'aiguille, que nous pouvons assimiler à une sphère, sera contrainte, pour rester constamment tangente aux flancs du sillon, à se soulever deux fois par période.

Ce déplacement vertical aura une fréquence double de l'onde enregistrée et une amplitude exprimée par la demi-différence des positions extrêmes occupées par la sphère terminale dans le plan vertical :

$$\frac{h_2 - h_1}{2}$$

Si, comme c'est souvent le cas, pour les lecteurs ancien modèle, l'équipage mobile n'est pas conçu pour permettre ce mouvement vertical, l'aiguille prendra une hauteur moyenne. Dans cette position il se produira :

1° des distorsions dues aux « flottements » de l'aiguille lorsqu'elle ne sera plus guidée (nous avons vu en effet qu'elle perd contact avec les flancs du sillon durant deux courts instants à chaque période) ;

2° des déformations du sillon, les parties « pinçant » l'aiguille subissant de fortes pressions.

d) Déformation du sillon.

Reportons-nous à la figure 6-21 représentant la position de l'aiguille dans le sillon. Nous remarquons que, théoriquement, l'aiguille n'est en contact avec le « phonogramme » qu'en deux points p₁ et p₂ disposés symétriquement sur chaque flanc du sillon. Mais pratiquement nous savons bien qu'il ne peut en être ainsi. En effet, les pressions développées en ces points étant à certains moments considérables, le matériau support de gravure — qu'il s'agisse de laque ou de vernis — subit une déformation permanente résultant d'une répartition des poussées f₁ et f₂, sur une plus grande surface des flancs du sillon.

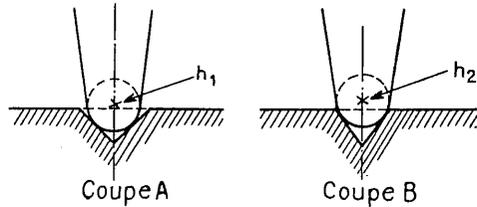


FIG. 6-20.

La lecture d'un disque a donc pour effet de tendre à régulariser le profil du sillon. Cette opération ne s'effectue pas sans dommage pour les sinuosités du sillon, notamment pour celles qui correspondent aux fréquences élevées dont les longueurs d'onde sont très faibles. Les réactions f₁ et f₂ qui prennent naissance aux surfaces de contact de l'aiguille et du disque ont pour :

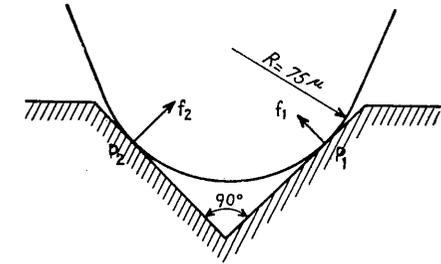


FIG. 6-21.

résultante verticale la force qui contrebalance le poids du lecteur ;

résultante horizontale la force nécessaire au déplacement de l'équipage mobile (la force développée pour la rotation du « bras » est faible et peut être négligée devant les autres facteurs).

GUTTWEIN, déjà cité (1), a effectué une étude détaillée de ces questions de déformations du sillon. Nous donnerons ci-dessous (Fig. 6-22) quelques-unes des courbes illustrant cette étude :

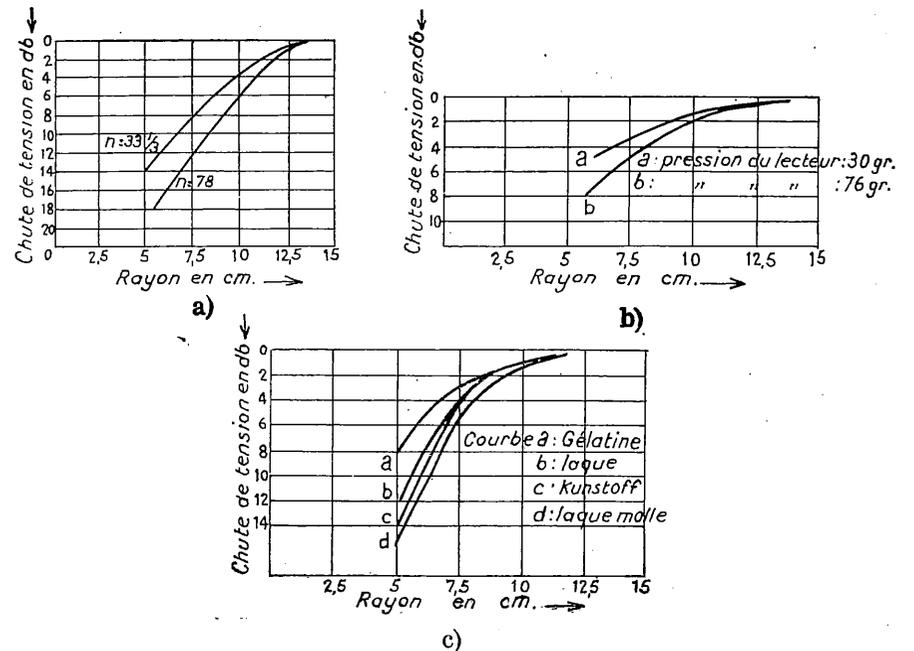


FIG. 6-22. — a) Influence de la vitesse de défilement ; b) influence de la pression verticale ; c) influence de la nature du phonogramme.

(1) Gunter GUTTWEIN, A. Z., 6.1940.

Ces courbes permettent de constater, ce qui est d'ailleurs audible, que l'efficacité de l'enregistrement est réduite au centre du disque et ceci est d'autant plus sensible que les fréquences sont plus élevées.

Nous noterons en outre :

1° que l'efficacité du lecteur décroît lorsque la pression moyenne augmente ;

2° que l'efficacité décroît également lorsque la dureté du phonogramme diminue.

Pour réduire la déformation du sillon, on peut songer à :

1° Augmenter le rayon de la pointe de l'aiguille.

Mais cette augmentation se ferait au détriment de l'exploration des sinusoides de pulsation élevée, qui ont par conséquent un λ faible (1).

D'une part, avec les normes actuelles concernant le « 78 tours » il ne serait guère possible de progresser très sensiblement dans cette voie. (La figure 6-21 représentant, vue en coupe, la position occupée dans un sillon de 147 microns par une aiguille de disque souple $R = 75$ microns le montre nettement).

D'autre part pour le « 33 tours » et le « micro sillon » on tend au contraire à réduire les dimensions de l'extrémité de l'aiguille ($R = 25$ microns environ) pour les raisons qui ont déjà été exposées.

2° Réduire le poids apparent du lecteur.

Cette réduction pourra être opérée, dans la mesure où les deux conditions suivantes seront remplies :

(1) Indications simplifiées sur l'exploration d'un sillon sinusoïdal par une sphère de rayon r .

Nous avons comme précédemment (page 53) :

$$y = a \sin \omega \frac{x}{V_{\text{def}}}$$

Le rayon de courbure minimum, celui qui constitue donc une limite pour l'exploration correcte du sillon (limite définie par $\rho = r$), a pour expression :

$$\rho = \frac{V_{\text{def}}^2}{\gamma_n} \quad \left| \begin{array}{l} V_{\text{def}} = 2\pi R \frac{N}{60} \\ \gamma_n \text{ accélération normale égale à } : a\omega^2 \text{ pour le point considéré} \end{array} \right.$$

en remplaçant les lettres par leur valeur il vient :

$$\rho = \frac{\left(2\pi R \frac{N}{60}\right)^2}{a \omega^2} \text{ soit encore après transformation } \rho = \frac{2\pi R^2 N^2}{3600 v_{\text{lat max}}^2}$$

Cette expression montre que, pour les enregistrements à vitesse constante, la distorsion due au rayon de courbure qui apparaît pour $\rho < r$:

- croît, lorsque le rayon du disque diminue (c'est la raison pour laquelle il faut laisser une glace au centre des disques) ;

- croît, lorsque la vitesse du plateau est faible (c'est pourquoi la qualité des disques 78 T est supérieure à celle des disques 33 T) ;

- croît avec la fréquence enregistrée.

Exemple : aiguille 75 microns ; $v_{\text{lat max}} = 10 \text{ cm}$; $R = 5 \text{ cm}$

$f = 5000 \text{ p.p.s}$ $\rho = 50 \text{ microns}$

$f = 10000 \text{ p.p.s}$ $\rho = 25 \text{ microns}$

Enfin nous noterons que pour $f = 3500 \text{ p.p.s}$ $\rho = 75 \text{ microns environ}$, soit la dimension de la sphère terminale utilisée pour la lecture de ces disques.

Grande souplesse de l'équipage mobile (les progrès accomplis ces dernières années dans la réalisation des lecteurs permettent de dire que cette condition est en grande partie satisfaite).

Planéité des disques et régularité de la profondeur du sillon.

e) Influence de l'aiguille.

Nous avons vu que tracer la courbe de réponse d'un lecteur sans tenir compte du bras qui le supporte est assez illusoire, de même pour ces mesures il serait absurde de ne point préciser le type d'aiguille utilisé, la flexion de celle-ci pouvant pour certaines fréquences modifier assez sensiblement la courbe de réponse de l'appareil essayé.

On notera que les principaux facteurs agissant sur la flexibilité de l'aiguille sont la longueur, le diamètre, la nature du matériau qui la constitue.

Les aiguilles rigides sont celles qui reproduisent le mieux les fréquences élevées.

Position de l'aiguille. — Pour éviter le « broutage » de l'aiguille, on l'incline généralement d'une vingtaine de degrés comme le montre la figure 6-23.

Le frottement de l'aiguille sur les flancs du sillon provoque non seulement la déformation et une sorte d'érosion de ce dernier, mais également une usure de la pointe de l'aiguille. Sur la sphère terminale se forme donc un méplat (voir figure 6-24).

Ce méplat possède des arêtes, qui pourraient endommager assez gravement le disque lu, au cas où un opérateur non averti reprendrait une aiguille usée pour « armer » son lecteur.

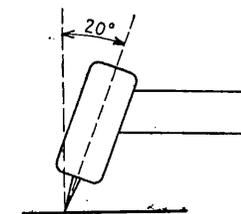


FIG. 6-23.

Règle à suivre. — Ne jamais réutiliser une aiguille ayant déjà servi.

Nous noterons enfin, que si, en principe, la rotation de la partie active de l'aiguille par rapport au sillon, due à l'erreur de piste, peut provoquer une usure supplémentaire de celui-ci, pratiquement d'après OLNEY (1) cette usure n'est guère appréciable, même après plus de cent lectures d'un disque, soumis à des essais systématiques.

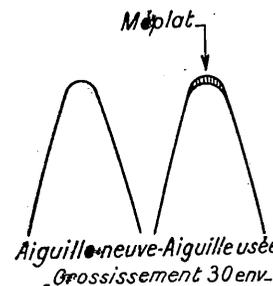


FIG. 6-24.

f) Pleurage et scintillement.

Si respecter aussi scrupuleusement que possible la valeur nominale de la vitesse de défilement de la piste — certains musiciens qui ont l'oreille dite absolue réussissent à déceler des écarts de fréquence de 3 pour mille — est un des facteurs permettant d'obtenir l'excellente reproduction d'un enregistrement, éviter les variations de vitesse doit être un des principaux soucis

(1) OLNEY, Electronics, novembre 1937 déjà cité.

des exploitants, l'oreille étant particulièrement sensible à ces variations.

Définition du pleurage et du scintillement :

On appelle pleurage une variation de vitesse ayant une durée appréciable, généralement de l'ordre de grandeur de la seconde.

On appelle scintillement une variation de vitesse de très courte durée.

Déterminons, tout d'abord, quelles sont les causes de ces variations de vitesse, nous verrons, ensuite, comment on peut les mesurer et quelles sont les tolérances admises.

CAUSES DES VARIATIONS DE VITESSE :

- 1° Irrégularité de la rotation des plateaux ;
- 2° Excentrement des disques ;
- 3° Voilage des disques.

NOTA. — Ces défauts se manifestent non seulement à la lecture mais également à la gravure. Les problèmes posés par ces deux opérations seront donc traités simultanément.

1° *Irrégularité de la rotation des plateaux.* — Pour que les plateaux d'une table de gravure ou d'une table de lecture tournent à une vitesse parfaitement constante il faut :

- d'une part que le couple moteur soit constant, ou que le système moteur ait une très grande inertie ;
- d'autre part que le couple résistant soit, lui aussi, constant ou très faible, par rapport au couple moteur.

Le couple résistant est constitué par l'ensemble des frottements des organes tournants de la machine et par l'énergie absorbée par le travail du burin ou celui de l'aiguille.

Nous avons vu que ces derniers facteurs ne sont pas constants — l'énergie absorbée est accrue dans les fortes — ; nous savons par ailleurs qu'une machine présente toujours des « durs ».

Pour obtenir cependant que la rotation des plateaux soit régulière, les constructeurs adoptent généralement les dispositions suivantes :

- Augmentation de la masse des organes tournants, notamment des plateaux.

- Augmentation du couple moteur, correspondant à une surpuissance.

Enfin, il est bien évident que la réalisation mécanique des divers organes constituant les machines doit être particulièrement soignée pour éviter les « durs ».

2° *Excentrement du disque.* — Soit un plateau de centre O (1) sur lequel se trouve posé un disque de centre O' (Fig. 6-25).

Considérons les points M' et M'' symétriques par rapport à O', centre du disque.

Lorsque le plateau tournera la vitesse de défilement V, donnée par l'expression générale

$$V = \frac{2 \pi N}{60} \cdot R$$

(1) Nous appelons O et O' les centres déterminés par la rotation des plateaux respectivement à la lecture et à la gravure.

sera pour la position

$$M' \quad V' = \frac{2 \pi N}{60} (R + d)$$

$$M'' \quad V'' = \frac{2 \pi N}{60} (R - d)$$

Enfin, la variation relative de vitesse sera égale à :

$$\frac{V' - V''}{V} = \frac{2 d}{R}$$

pour les points M' et M'' considérés.

Nous avons vu que des auditeurs avertis appréciaient des variations de vitesse de $\frac{3}{1000}$.

On doit donc avoir :

$$\frac{2 d}{R} \leq \frac{3}{1000}$$

Si l'on donne à R sa plus petite valeur (50 mm) de telle sorte que l'inégalité soit toujours vérifiée, il vient :

$$d \leq 75 \text{ microns}$$

Les normes des tétons des tables de gravure et de lecture de la Radio-diffusion Française ont été fixées à 7 mm 24 $\left\{ \begin{array}{l} + 0,05 \\ - 0,00 \end{array} \right.$

REMARQUE. — Notons enfin que l'excentrement du disque provoque un balancement du bras de lecture. Ce phénomène produit également des distorsions par suite des pressions latérales exercées alternativement de chaque côté de l'équipage mobile.

3° *Voilage des disques.* — Le voilage produit un pleurage dans le cas où l'enregistrement a été effectué à l'aide d'un graveur surélevé.

La figure 6-26, représente très schématiquement la partie mobile du chariot porte graveur.

Les positions N₁ et N₂ correspondent respectivement au graveur surélevé et au graveur surbaissé.

Un simple examen du schéma, montre, qu'au passage d'une dénivellation Δh, le burin décrit un arc de cercle, dont les composantes sont différentes selon le mode de suspension adopté.

a) *Graveur surélevé N₁.*

Dans ce cas, la pointe de l'outil effectue un déplacement horizontal se traduisant par une compression du λ enregistré, au moment de l'attaque de la dénivellation, et, au contraire, par une dilatation au moment où le burin quitte « l'obstacle ».

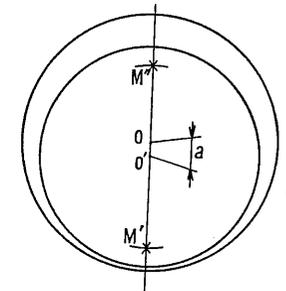


FIG. 6-25.

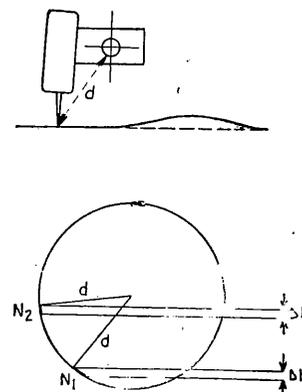


FIG. 6-26.

b) Graveur surbaissé N_2 .

La composante horizontale du mouvement est très faible.

REMARQUE. — Nous noterons cependant que si le graveur surbaissé ne produit pas de pleurage, il présente cependant l'inconvénient grave de « moirer » les disques (1). En effet, lors du passage d'une dénivellation il tend à conserver sa position et produit donc un sillon dont la profondeur est constamment variable. Très importante dans les parties convexes, elle est au contraire faible, voire nulle, dans les parties concaves. Des disques enregistrés dans de telles conditions peuvent provoquer des incidents.

Nous ajouterons enfin que les ressorts servant au réglage de la pression du burin sur le vernis doivent être suffisamment longs pour éviter que le rapport $\Delta l/l$ de l'allongement ou du raccourcissement résultant des mouvements imprimés au graveur par le voilage des disques, à la longueur totale du ressort, ne viennent, encore, aggraver ce phénomène de *plongée* que nous signalions plus haut.

MESURE DU PLEURAGE ET DU SCINTILLEMENT.

Principe de la Mesure (voir figure 6-27). — Un disque, portant une fréquence musicale constante — 3000 p.p.s — enregistrée dans des conditions idéales, sera placé sur le plateau dont on désire effectuer le contrôle. Si celui-ci tourne parfaitement « rond », c'est-à-dire sans variation de vitesse, la fréquence recueillie à la sortie de la tête de lecture utilisée pour la vérification (qu'il s'agisse d'une table de gravure ou d'une table de lecture) sera constante et voisine de 3000 p.p.s.

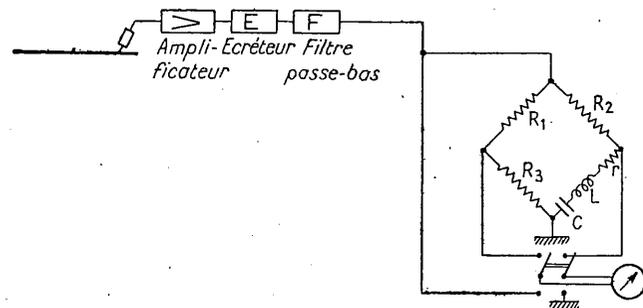


FIG. 6-27.

Dans le cas contraire, l'opérateur obtiendra une fréquence, dont la valeur sera également voisine de 3000 p.p.s mais variera à chaque instant mettant ainsi en évidence le « pleurage » ou le « scintillement » dont la machine est affectée.

Pour mesurer celui-ci on procède généralement de la manière suivante :

La fréquence produite par le lecteur est appliquée, après amplification, écrêtage et filtrage, à l'une des diagonales d'un pont que l'opérateur doit accorder. La valeur maximum de l'élongation de l'appareil indicateur, placé dans l'autre diagonale, donne le « pleurage » en % si on a pris soin de l'étalonner au préalable (voir la courbe d'étalonnage d'un de ces appareils, FIG. 6-28).

(1) Voir page 68.

La valeur minimum de cette élongation donne une indication sur l'importance du scintillement.

Le pleurage doit être inférieur à $\pm 0,1$ %.

La valeur maximum du scintillement n'a pas encore été fixée.

REMARQUES. — 1° Une des conséquences du pleurage est de rendre impossible la mesure des distorsions harmoniques des signaux enregistrés au moyen d'un pont K.F. ordinaire.

2° L'écrêteur et le filtre introduits dans le circuit d'alimentation du pont résonant ont respectivement pour rôle :

l'élimination des fluctuations d'amplitude de la tension de sortie du lecteur résultant des variations de la vitesse de défilement de la piste ;
l'élimination des harmoniques produits par l'action de l'écrêteur.

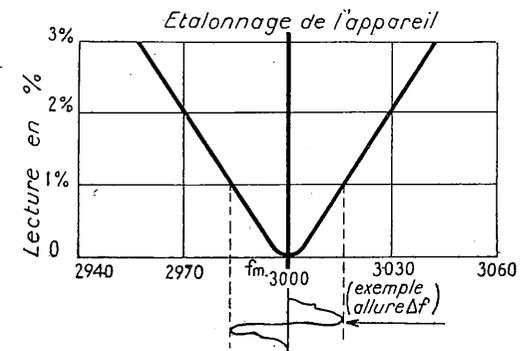


FIG. 6-28.

g) Bruit de fond.

SA DÉFINITION ET SES ORIGINES. — Dans la mesure où le bruit de fond de lecture peut être défini, nous dirons que c'est l'ensemble des bruits qui se superposent à la modulation et paraissent d'autant plus gênants que le signal enregistré est plus faible. La valeur du bruit de fond est donc liée à la valeur du signal maximum enregistré ; elle sera, de ce fait, représentée par un rapport, rapport exprimé en décibels, de l'amplitude du signal maximum à l'amplitude résultante des divers bruits.

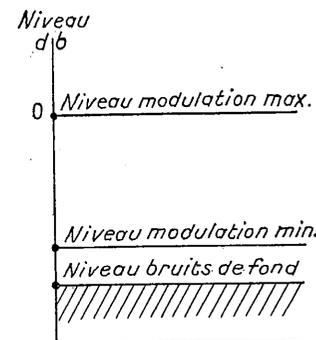


FIG. 6-29.

Cette définition peut paraître satisfaisante a priori ; elle est, en fait, très décevante. Comment peut-on, en effet, comparer pratiquement un signal sinusoïdal, ou tout au moins périodique, à des éléments non définis, comme le sont les bruits divers produits par l'opération de lecture ? Le seul processus valable pour chiffrer, même approximativement, la valeur du bruit de fond, serait de comparer par écoutes successives,

les bruits parasites produits par la lecture du disque à mesurer, à un

« bruit composé », de même tonalité générale, constitué par un ensemble de signaux périodiques et par conséquent mesurables.

Avant d'examiner de plus près ce problème de la mesure du bruit de fond, étudions les principaux facteurs qui sont à l'origine de ce défaut.

1° Ronflements induits.

Nous avons vu que les lecteurs, notamment les lecteurs électro-dynamiques et les lecteurs légers, produisent des tensions faibles (1). Ces tensions peuvent être perturbées par des inductions parasites de toutes sortes (parasites provenant de transformateurs, de moteurs, de circuits mal établis, formant boucle au voisinage de l'appareil par exemple). Ces accidents sont cependant assez rares, étant donné les dispositions adoptées, pour le câblage et l'implantation des divers organes de ces appareils.

2° Vibrations.

Le lecteur est un appareil extrêmement sensible aux vibrations ; des dispositions spéciales sont généralement prises pour éviter que celles qui se produisent inévitablement au voisinage de l'appareil lui soient transmises.

Ces dispositions sont d'ordinaire les suivantes (2) :

- utilisation de bâtis lourds posés sur amortisseurs en caoutchouc ;
- transmission du mouvement moteur à travers des filtres mécaniques ;
- réglage minutieux des moteurs et des réducteurs ;
- réalisation soignée de tous les organes tournants, notamment des dispositifs de synchro.

3° Bruit d'aiguille ou bruit de surface.

Ce qu'il est convenu d'appeler le bruit d'aiguille résulte en réalité de la « lecture » :

des aspérités de la surface du sillon. Ces aspérités constituent une véritable modulation parasite du signal enregistré.

des poussières venant se coller sur la surface du disque. Ce phénomène de collage des poussières est souvent accentué, pour les disques « souples », par l'électrisation des sillons produite par la gravure.

La fréquence de cette « modulation parasite » n'est pas définie ; elle varie d'ailleurs avec le matériau employé et la vitesse de défilement de la piste. Ses fréquences composantes sont le plus souvent groupées entre 4 et 6000 p.p.s pour les vitesses habituelles de 78 tr/mn.

Son niveau varie entre 35 et 40 db par rapport au niveau 0 de référence (0 V 775 dans 600 ohms).

SA MESURE. — La mesure du bruit de fond sur disque s'effectue de la manière suivante :

On « lit » successivement à l'aide d'un même dispositif :

un sillon modulé à la fréquence de 1000 p.p.s, le niveau 0 étant appli-

(1) De 10 à 100 mV selon le cas.

(2) Pour éviter les vibrations dues aux moteurs électriques certaines firmes d'édition de disques vont même jusqu'à utiliser des systèmes d'entraînement à poids, avec transmission par courroies élastiques.

qué à l'entrée de l'amplificateur de gravure (1) ;
un sillon vierge.

La différence entre ces deux lectures donne, exprimé en db, le chiffre représentant le bruit de fond du phonogramme considéré.

Voir ci-après le détail des opérations :

A Enregistrement.

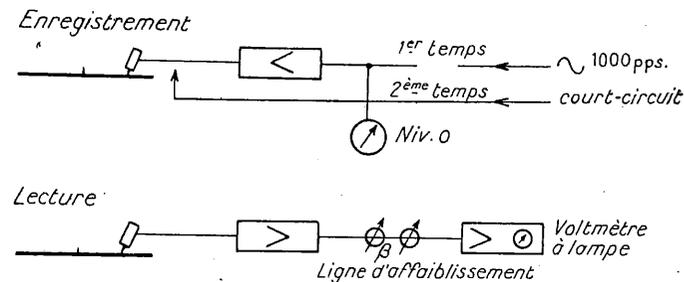


FIG. 6-30.

B. Lecture du disque.

1^{er} temps : lecture 1000 p.p.s. On cale le voltmètre de sortie sur une valeur fixe A et on note la valeur β_1 de la ligne d'affaiblissement.

2^e temps : lecture sillon vierge. On cale le voltmètre de sortie sur la même valeur A en réduisant la valeur de l'affaiblissement β_1 . On note la valeur β_2 donnant ce résultat. La différence $\beta_1 - \beta_2$ donne la valeur du bruit de fond (3).

Cette mesure pour imparfaite qu'elle soit, ainsi que nous l'avons laissé entendre au début du paragraphe, permet néanmoins d'opérer un contrôle de la qualité des disques.

Les résultats obtenus devront néanmoins être considérés avec une certaine prudence, leur valeur pouvant être influencée de manière sensible par les caractéristiques de l'appareil de mesure, par celles du lecteur et par la qualité de coupe de l'outil graveur.

Diverses analyses oscillographiques (3) ont montré, en effet, que le bruit de fond comportait, d'une part une sorte de « friture » située à un niveau voisin de — 50 db pour un burin acier et de — 60 db pour un saphir, d'autre part une série de pointes très brèves (une dizaine par seconde) atteignant — 38 db, tant pour la gravure à l'aide d'un burin que pour la gravure à l'aide d'un saphir. Il est bien évident que, dans ces conditions, la valeur mesurée du bruit de fond dépend de l'inertie de l'appareil de mesure utilisé. Un appareil type modulomètre (à faible inertie) donnera des indications se rapportant aux pointes de l'amplitude des bruits parasites, alors

(1) Ce qui correspond, pour les graveurs 78 TM utilisés par la Radiodiffusion Française, à 20 mm de faisceau lumineux.

(2) On réduit son importance en intercalant un filtre d'aiguille dans la chaîne de reproduction (voir les pages consacrées aux réalisations).

(3) Analyses effectuées en juin 1949 par M. F. GALLET, Ing. au Service du matériel de la Radiodiffusion-Télévision Française.

que des indicateurs moins rapides (type vumètre) n'en tiendront pas compte (la déviation de ces appareils est généralement plus faible de 10 à 15 db).

A ce sujet nous remarquerons que :

— les indications fournies par le « vumètre » semblent caractériser la *qualité générale* du matériau constituant le phonogramme et la qualité de coupe de l'outil graveur.

— la déviation du « modulomètre » donne, au contraire, une indication sur la quantité d'impuretés disséminées dans la masse du disque.

6-8. La fabrication des disques.

Ainsi que nous l'avons déjà indiqué, il existe deux catégories de disques : les disques « durs » du commerce et les disques « souples » des professionnels.

Les disques « durs » résultant d'opérations de « duplicatage » effectuées à partir de « cires » ou, exceptionnellement, à partir de disques souples, nous étudierons tout d'abord ces deux éléments de base.

1° La cire.

La cire est une sorte de grande galette de 3 à 4 cm d'épaisseur, constituée par un matériau homogène, assez tendre et ne *comportant aucune impureté*. Sa composition, variable selon les fabricants, est à base de produits tels que la cire du Japon, la paraffine, la stéarine, etc...

Préalablement à tout enregistrement, la cire est polie au saphir sur un tour vertical, ce qui permet de donner au phonogramme un *glacage* parfait. Elle est ensuite placée dans une armoire chauffante, portée à une température de 30 à 40°, ce qui réduit sa dureté et facilite le travail de l'outil graveur.

La cire peut être « lue » directement, à l'aide d'un lecteur très léger, mais presque toujours on s'en sert comme première épreuve galvanoplastique en vue du « duplicatage ».

2° Le disque souple.

Le disque souple ⁽¹⁾, par contre, est par excellence le disque d'enregistrement direct, c'est-à-dire qui peut être « lu » sans aucune autre transformation. Nous verrons plus loin qu'il peut également être utilisé pour l'obtention des disques pressés.

La mise au point du disque souple a exigé de nombreux travaux. Les principaux problèmes à régler ont porté sur les facteurs suivants : matière à graver ; support du phonogramme ; méthode de fabrication.

La matière à graver est généralement constituée par un vernis nitrocellulosique, dont la dureté doit répondre à deux conditions quelque peu contradictoires : ne pas être excessive, de telle sorte que le burin puisse

(1) Terme impropre consacré par l'usage et que nous conserverons. Ce qui caractérise de tels disques est moins leur souplesse qui ne présente aucun avantage particulier que le fait qu'ils permettent la *gravure directe* et la lecture immédiate.

l'entailler facilement et y inscrire les modulations les plus fines, mais demeurer, cependant, suffisante pour que la lecture puisse avoir lieu sans déformation du sillon et donc sans dommage pour ces inscriptions.

Enfin, bien qu'il ne présente actuellement qu'un simple intérêt rétrospectif, nous croyons utile de donner quelques indications rapides sur un procédé visant à satisfaire de manière aussi parfaite que possible aux deux exigences contraires que nous venons de signaler. Ce procédé comportait une préparation chimique du phonogramme avant utilisation. Celui-ci ramolli par cette préparation se travaillait mieux et acquérait, après séchage, une dureté comparable à celle des disques du commerce. Ce procédé, séduisant dans son principe, s'est finalement révélé assez peu pratique à l'usage.

Le support du phonogramme a pour rôle essentiel de donner au disque une rigidité suffisante. Le matériau le constituant doit, en outre, pour des raisons évidentes d'ordre pratique, être aussi léger et aussi peu fragile que possible. Enfin, l'expérience montre que la régularité de réaction opposée par le vernis au travail du burin est fonction de la régularité de surface du support. Celui-ci devra être aussi plan que possible et présenter une *surface polie*.

On a essayé diverses substances : le carton, le carton bakérisé, le zinc, l'aluminium. Le choix s'est finalement porté sur l'aluminium qui, comme il est aisé de le constater, satisfait à toutes les conditions énumérées plus haut. Il constitue actuellement le support idéal, d'ailleurs universellement adopté ⁽¹⁾.

Les disques souples sont fabriqués à la chaîne. Les supports ou « flans » d'aluminium sont soigneusement contrôlés avant d'être enduits de vernis nitrocellulosique. Il s'agit notamment de vérifier leur planéité générale et l'absence de tout défaut de surface. Ce contrôle est fait optiquement ; le « flan » qui, grâce à son poli constitue un véritable miroir, est animé d'un mouvement de rotation et placé de telle sorte qu'il renvoie, en permanence, vers l'opérateur de contrôle l'image d'un quadrillage fixe. Le moindre défaut fait immédiatement apparaître une déformation de cette image.

Les flans, ainsi contrôlés, sont enduits de vernis selon une méthode qui se révéla difficile à mettre au point et dont les détails sont tenus secrets par les fabricants.

On essaya, tout d'abord, d'enduire le flan d'aluminium en l'immergeant dans le vernis, puis, ce procédé n'étant pas pleinement satisfaisant, on utilisa la pulvérisation. Finalement c'est la méthode suivante, encore utilisée actuellement, qui a donné les meilleurs résultats :

Les flans, disposés sur une sorte de tapis sans fin, sont entraînés à vitesse uniforme vers des verseurs calibrés, qui recouvrent leur face supérieure d'une couche de vernis d'épaisseur constante. Les disques sont ensuite guidés vers une étuve, où ils sont séchés au degré voulu et à l'abri des poussières.

(1) Pour être complet nous noterons que le support de *verre* n'a cependant pas été totalement abandonné. A signaler notamment certains disques « Presto » de 40 cm.

3° Le disque dur.

Le disque dur est le résultat du duplicatage de disques originaux, réalisés sur cire ou sur vernis. Il y a peu de temps encore, tous les disques durs étaient réalisés à partir de « cires ». La qualité des disques « souples » fabriqués actuellement permet, sous réserve de quelques précautions, d'utiliser également ce procédé d'enregistrement pour le duplicatage.

Les opérations industrielles de fabrication en série sont les mêmes, que l'on emploie l'un ou l'autre des phonogrammes. Par contre, le détail de certaines opérations destinées à la préparation des matrices de pressage est différent.

Les principales phases de la préparation de ces matrices sont les suivantes :

a) PRÉPARATION DES PHONOGRAMMES EN VUE DE LA GALVANOPLASTIE.

La cire et le vernis n'étant pas conducteur de l'électricité, les opérations de galvanoplastie doivent être précédées d'un traitement de la surface des phonogrammes. Ce traitement ainsi que nous venons de le signaler est différent selon qu'il s'agit de la « cire » ou du « vernis ».

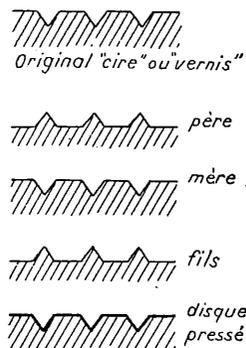


FIG. 6-31.

Cas de la cire. On emploie le bronzage qui s'effectue au pinceau — opération délicate — ou plus généralement la dorure, obtenue par pulvérisation d'or, dans une enceinte maintenue à faible pression.

Cas du vernis. Après décapage, le disque est trempé dans un bain de cyanure d'argent. Ce produit est ensuite réduit, de telle sorte que le phonogramme se trouve finalement être recouvert d'une mince couche d'argent.

b) PRÉPARATION DU « PÈRE », DE LA « MÈRE » ET DU « FILS ».

Après ce premier traitement le disque est suspendu dans un bain de sulfate de cuivre où il joue le rôle de cathode. Une lente électrolyse y dépose une épaisse couche de cuivre. Après décollage de cette première galvanoplastie on obtient ce que l'on nomme le « père ».

Les sillons étant en relief, cette pièce pourrait donc servir de matrice de pressage. En pratique, elle s'userait très vite et l'original serait alors détruit. Pour éviter une telle destruction, le « père » est reproduit de nouveau par galvanoplastie. La première opération donnant des sillons en creux — la pièce ainsi obtenue s'appelle la « mère » — il est nécessaire d'effectuer une deuxième opération qui donnera des sillons en relief — cette nouvelle pièce s'appelle le « fils ».

c) « DUPLICATA » EN SÉRIE.

Le « fils », dont l'épaisseur est de 1 mm environ, est renforcé et sert de matrice de pressage.

Chaque presse comporte deux matrices, une pour chaque face du disque.

Le disque dur est constitué, soit par un matériau homogène (1), soit composé d'un support (carton bakélinisé) recouvert d'une laque de consistance et de finesse de grain convenables.

Les multiples opérations résumées plus haut risquant d'altérer la qualité de l'enregistrement, il importe qu'elles soient conduites avec le plus grand soin et qu'en particulier, le centrage des matrices soit aussi parfait que possible, toute erreur importante risquant de provoquer un « pleurage » très désagréable.

(1) *Ancienne formule* : disque constitué par le mélange d'éléments tels que laque, spath, poudre de schiste et de graphite, des fibres de coton ou d'amiante servant de liant.

Nouvelle formule : disque constitué uniquement par des résines vinyliques dont le grain permet d'obtenir des bruits de fond très réduits.

CHAPITRE 7.

QUELQUES RÉALISATIONS (1)

7-1. Chaînes de gravure.

I. Chaînes classiques 78 TM.

La chaîne de gravure 78 TM utilisée à la Radiodiffusion Française comporte un amplificateur — Type E ou P — et un coupe-graves branché conformément au schéma 7-1.

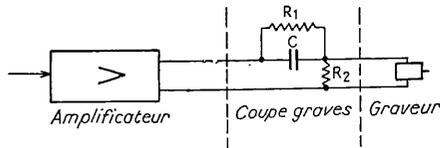


FIG. 7-1.

Pratiquement, il n'est pas possible d'obtenir que la courbe de réponse de ce coupe-graves coïncide exactement avec la courbe théorique définie précédemment. On estime que les résultats obtenus sont satisfaisants si, en agissant sur C, R₁ et R₂, la courbe d'affaiblissement du dispositif correcteur est voisine de celle qui est représentée figure 7-2.

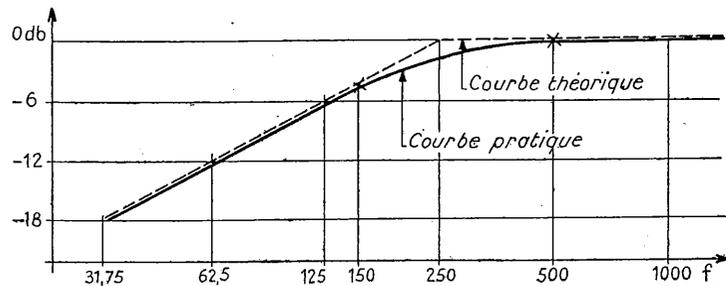


FIG. 7-2.

(1) Ce chapitre n'est pas et ne peut pas être un cours de « technologie ». Il tentera, plus modestement, de fixer les quelques traits caractéristiques de diverses réalisations.

Nous signalons que les valeurs des trois paramètres (C, R₁ et R₂) varient selon l'impédance interne de la source et les caractéristiques du graveur utilisé. A titre d'exemple voici les valeurs qu'il convient de donner à ces paramètres dans quelques cas particuliers.

Impédance interne de la source		Graveur Neumann R 12 a	Graveur P. C.
30 ohms	C	16 μF	4 μF
	R ₁	150 ohms	150 ohms
	R ₂	100 ohms	100 ohms
200 ohms	C	ne peut être alimenté au moyen d'une source de 200 ω (1)	16 μF
	R ₁		300 ohms
	R ₂		185 ohms

Les amplificateurs de gravure utilisés actuellement à la Radiodiffusion-Télévision Française, sont au nombre de deux :

- ampli E, 2 sorties indépendantes de 30 ohms donnant chacune 1 W ;
- ampli P, 1 sortie de 50 ohms (on emploie un amplificateur par graveur) donnant 4 W.

PREMIÈRE REMARQUE.

En l'absence d'amplificateurs dits « d'enregistrement » il est possible d'utiliser d'autres appareils notamment l'ampli P 4, à condition, toutefois, d'abaisser son impédance de sortie à une valeur inférieure à 50 ohms. En règle générale on adopte le montage représenté fig. 7.3.

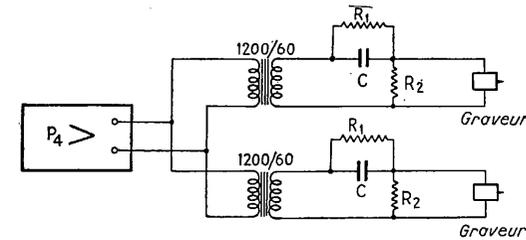


FIG. 7-3.

DEUXIÈME REMARQUE.

Il est possible de réaliser un coupe graves en utilisant simplement un condensateur shunté par une résistance. Le schéma devient alors celui de la fig. 7.4.

(1) L'auto-correction, due au rapport des impédances $z_{source}/z_{graveur}$, étant supérieure à la valeur théorique de correction définie précédemment (6 db par octave). Le phénomène d'auto-correction a été signalé page 49.

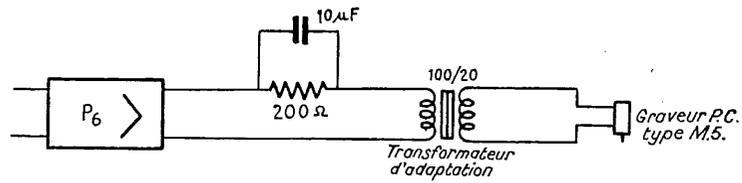


FIG. 7-4.

II. Nouvelles chaînes 33 TM.

Pour ces nouvelles chaînes les normes adoptées sont celles du N.A.B. dont il a déjà été question page 73.

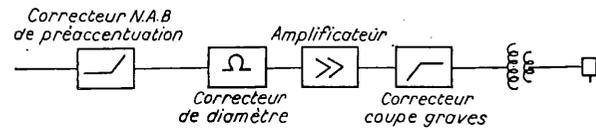


FIG. 7-5.

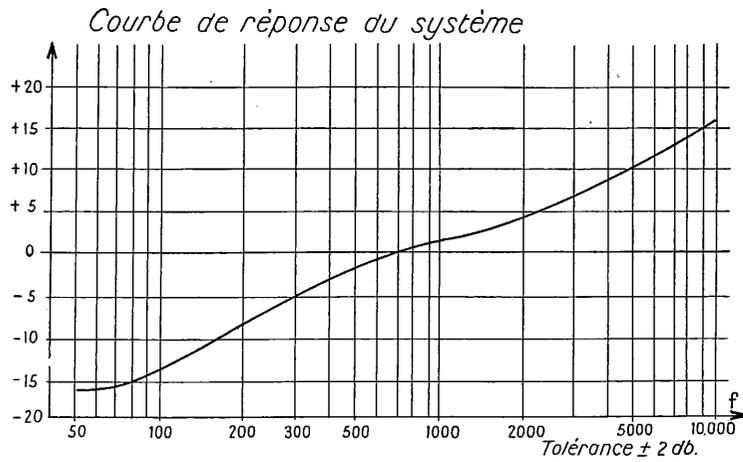


FIG. 7-6.

7-2. Chaînes de lecture.

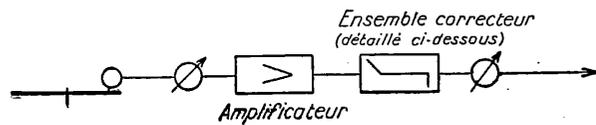


FIG. 7-7.

Réalisation donnée à titre d'exemple.

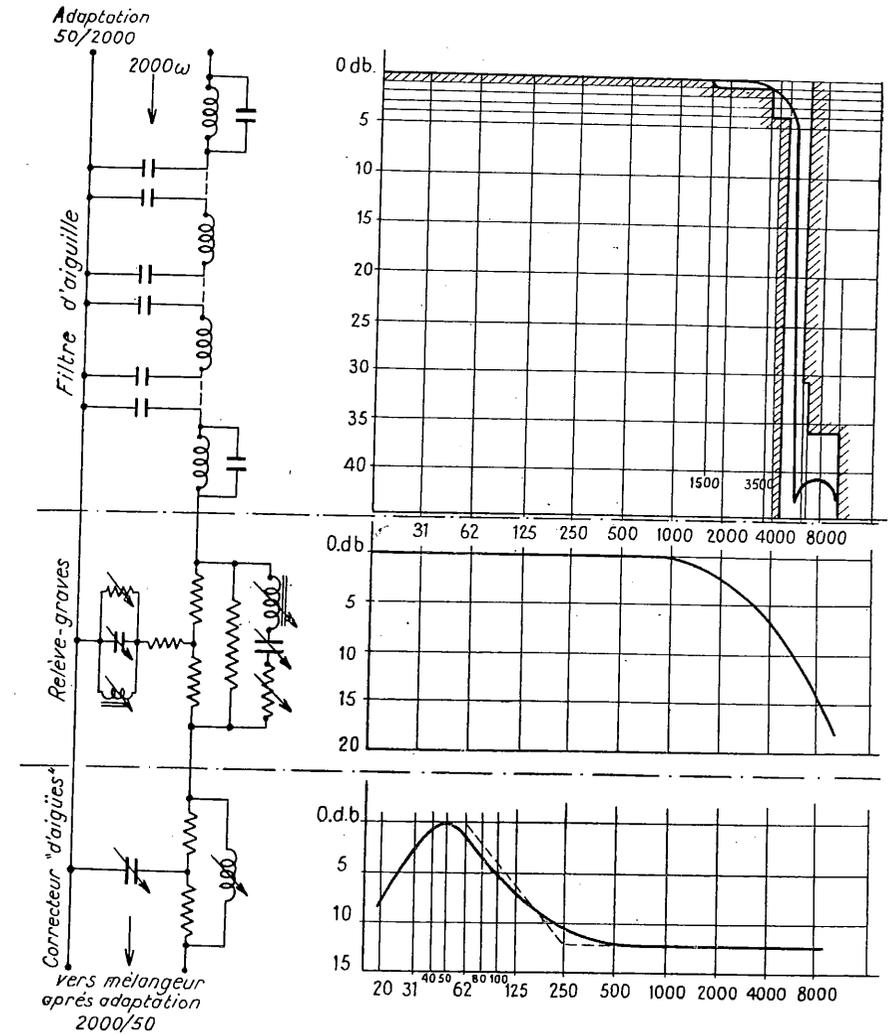


FIG. 7-8.

7-3. Graveurs. — Burins. — Saphirs. — Aiguilles.

Nous donnons ci-après les détails de réalisation de graveurs, de burins, de saphirs et d'aiguilles utilisés à la Radiodiffusion Française.

Graveurs électro-magnétiques.

GRAVEUR P. C.

ATELIERS PIERRE CLÉMENT 106 RUE DE LA JARRY, VINCENNES.

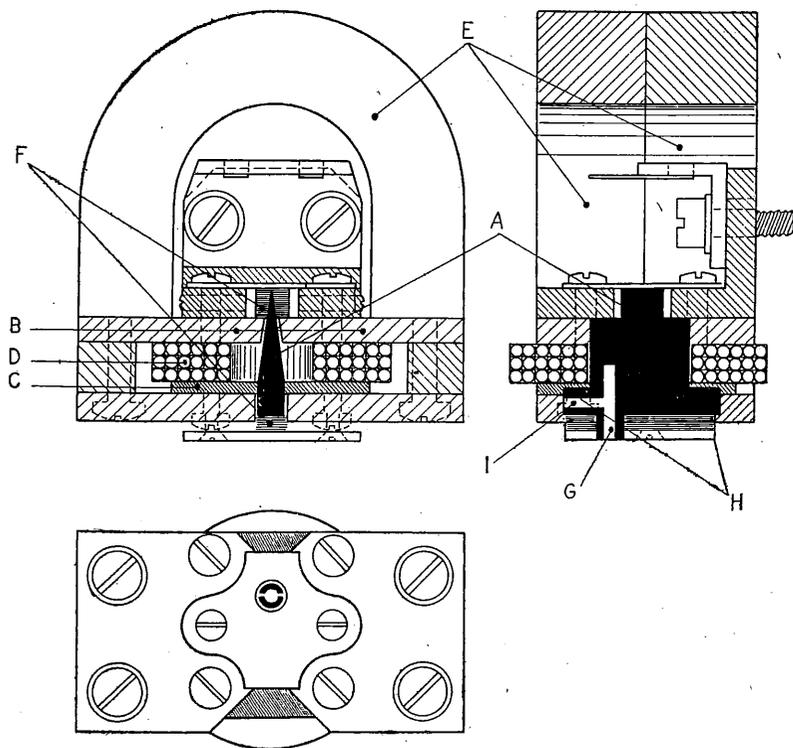


FIG. 7-9. — A. Palette. — B. Pièces polaires. — C. Laiton. — D. Bobinage (la représentation des spires est conventionnelle). — E. Aimants. — F. Caoutchouc. — G. Logement du burin. — M. Couteaux servant de pivot à la palette. — I. Pièce recevant la vis de serrage.

(Production 1940. — Un autre modèle est actuellement en cours de fabrication dans les ateliers Pierre Clément).

GRAVEUR PRESTO 1. B

PRESTO RECORDING 242 WEST 55 TH STREET. NEW-YORK.

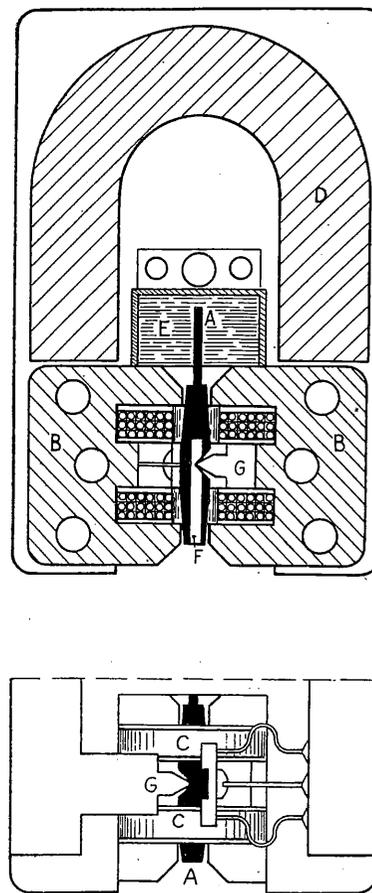
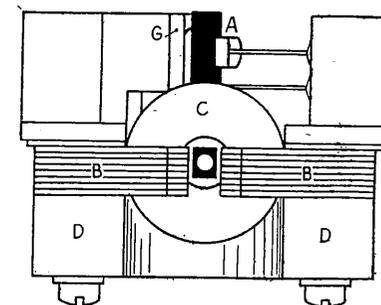


FIG. 7-10.

A. Palette. — B. Pièces polaires. — C. Bobinage. — D. Aimant. — E. Matériau plastique. — F. Logement du burin. — G. Couteau servant de pivot à la palette.



Les graveurs Presto type 1 B et 1 C sont actuellement remplacés par le graveur 1 D dont les performances sont assez sensiblement supérieures :

Courbe de réponse : 50 à 10000 p.p.s \pm 2 db

Puissance absorbée : 0 \approx 6 pour une vitesse de burin de 5 cm 5.

GRAVEUR MOTOSACOCHÉ

M.A.G. (SUISSE) 56, ROUTE DES ACACIAS, GENÈVE.

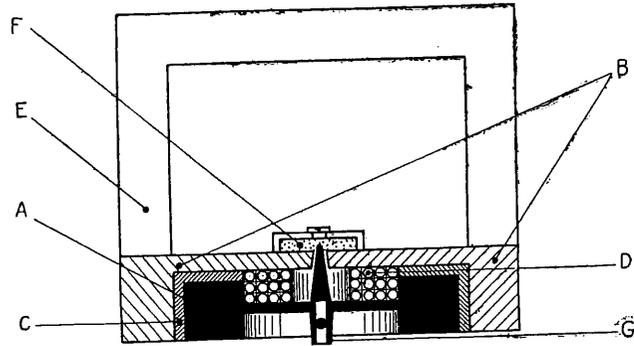


FIG. 7-11. — A. Palette. — B. Pièces polaires. — C. Laiton. — D. Bobinage. — E. Aimant. — F. Graisse. — G. Logement du burin ou du saphir.

Courbe de réponse du graveur électromagnétique M.A.G. 2370.

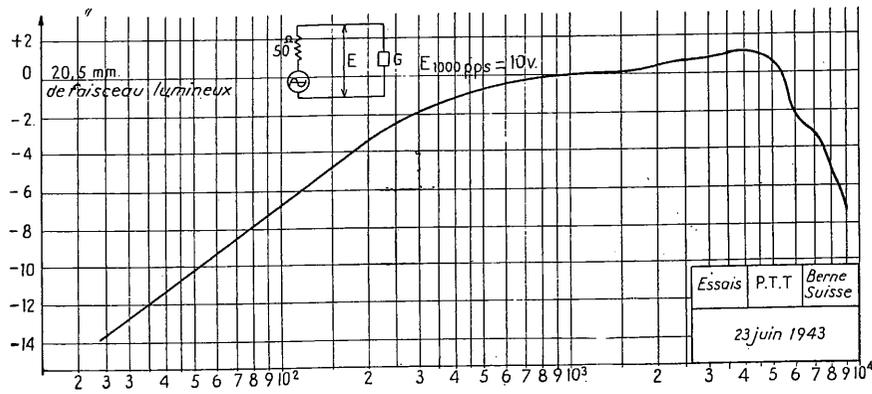


FIG. 7-12. — La courbe de réponse a été mesurée au moyen de la méthode de MEYER (reflet lumineux).

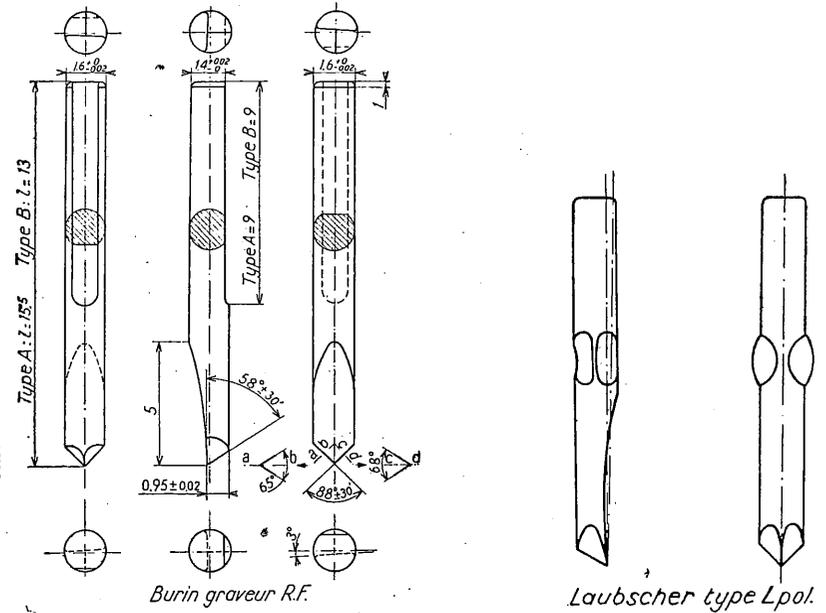
L'impédance du graveur est de 155 Ω à 1000 p.p.s.

La puissance nécessaire pour graver une largeur de bande lumineuse de 20,5 mm s'élève à 0,64 VA

Distorsion non linéaire.

Fréquence	Tension au graveur	Largeur de la bande lumineuse	Facteur de distorsion non linéaire	
			Oscillateur + ampli d'enregistrement	Idem + graveur + disque + pick-up + ampli de reproduction
60 p.p.s	3,5 V	3 mm	2,3 %	6,2 %
100	4	6,5	2	3,8
400	9	16	1,2	2,9
1000	10	18	0,74	1,8

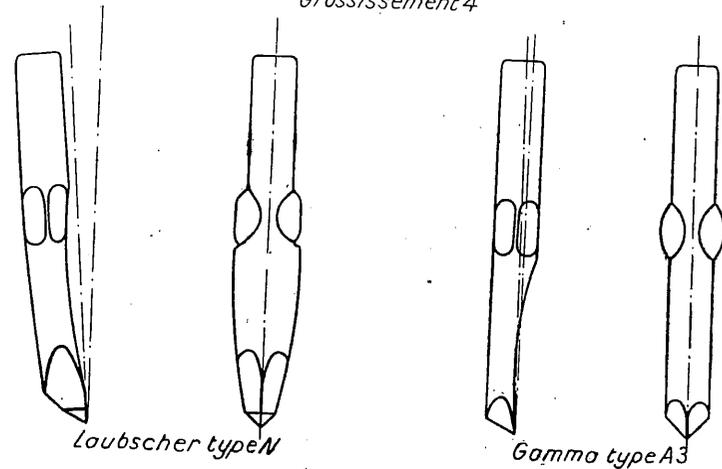
BURINS



Burin graveur R.F.

Laubscher type Lpol.

Grossissement 4



Laubscher type N

Gamma type A3

FIG. 7-13.

SAPHIRS ET AIGUILLES

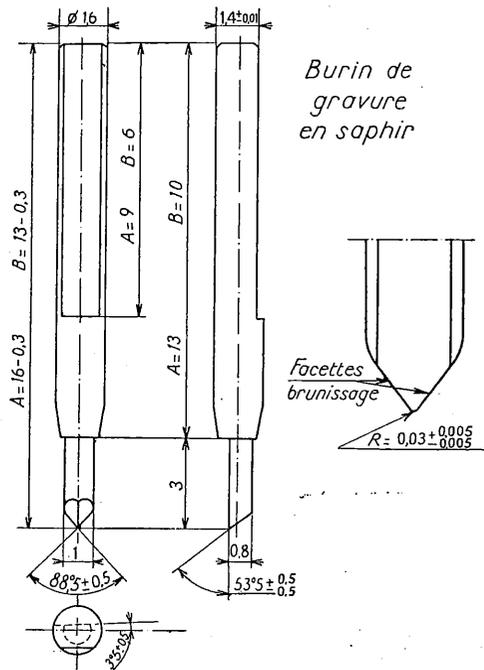
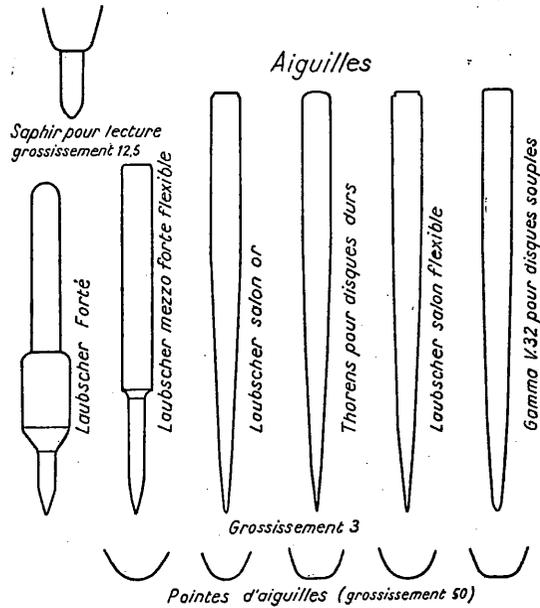
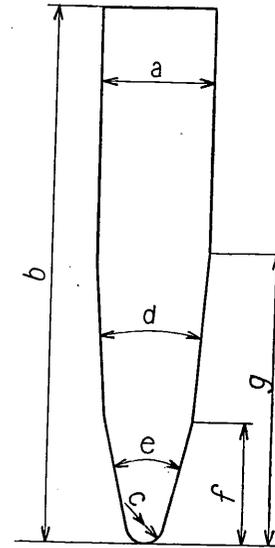


FIG. 7-14.



	a	b	c	d	e	f	g
Aiguilles P.C. léger	$0,9 \pm 0,02$	$10 \begin{matrix} +0 \\ -0,5 \end{matrix}$	$R \begin{matrix} 0,06 \pm 0,01 \end{matrix}$	$14^\circ \pm 1$	20 ± 1	1 à 1,2	2,8 à 3
Aiguilles standard	$1,5 \begin{matrix} +0 \\ -0,04 \end{matrix}$	19	$R \begin{matrix} 0,075 \pm 0 \\ 0,003 \end{matrix}$	<i>Aiguilles acier pour disques souples</i>			

FIG. 7-14.

7-4. Tables de gravure.

Les tables de gravure comprennent, essentiellement un dispositif tourne disques et un pont support chariot de gravure.

Elles peuvent être, à un ou deux plateaux.

Nous avons vu que le tracé moyen de la piste enregistrée affectait la forme d'une spirale décrite autour du centre du disque.

Deux solutions peuvent être adoptées pour obtenir ce tracé :

1° Faire avancer le graveur vers le centre du disque en animant le chariot porte-graveur d'une vitesse régulière, l'axe de rotation du disque conservant une position fixe dans l'espace.

2° Faire avancer le dispositif tourne-disques vers le graveur, celui-ci demeurant immobile.

La première de ces deux solutions est la seule qui soit utilisée par la Radiodiffusion Française.

a) Dispositif tourne-disques.

Le dispositif tourne-disques se compose lui-même :
d'un support de disque ou plateau ayant, sauf dans les appareils portatifs, une masse importante ;

d'un mécanisme d'entraînement, constitué par un moteur électrique — dans certains cas on utilise encore le mouvement produit par un ressort ou par des poids — couplé soit directement à l'axe du plateau, soit indirectement par pignon, courroie ou réducteur.

TYPE DE TABLE

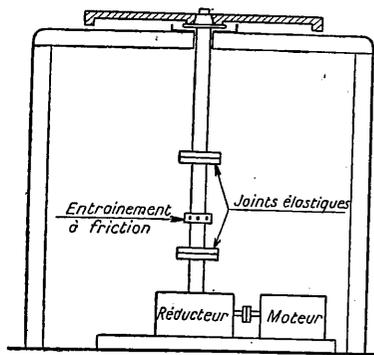


FIG. 7-15.

TABLE DE GRAVURE BOURDEREAU

262, RUE DE BELLEVILLE, PARIS.

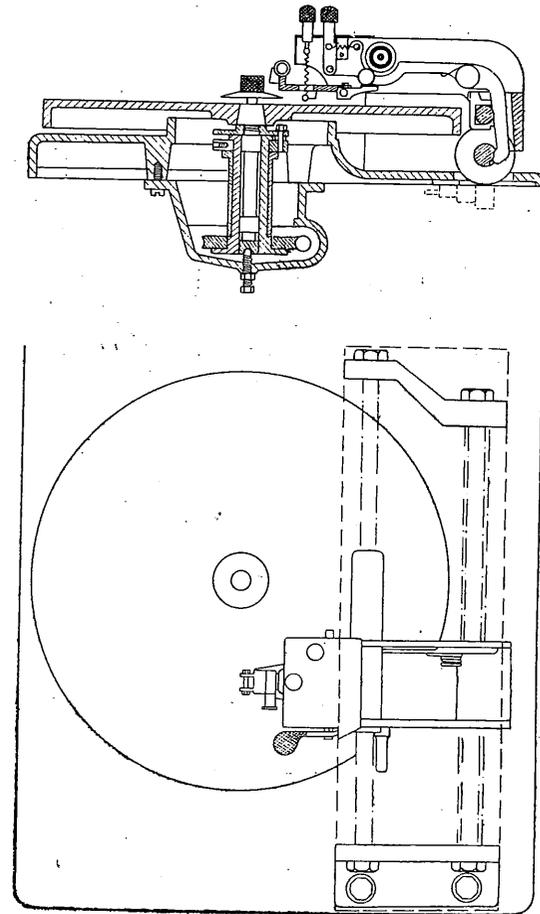


FIG. 7-16.

TABLE DE GRAVURE TOLANA

126, RUE RÉAUMUR, PARIS.

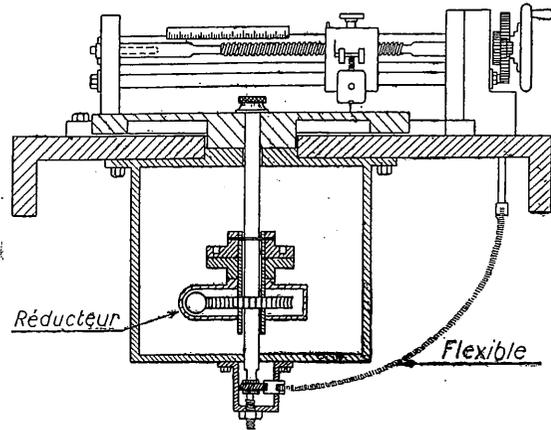


FIG. 7-17.

SUPPORT ORIENTABLE POUR TABLE DE GRAVURE

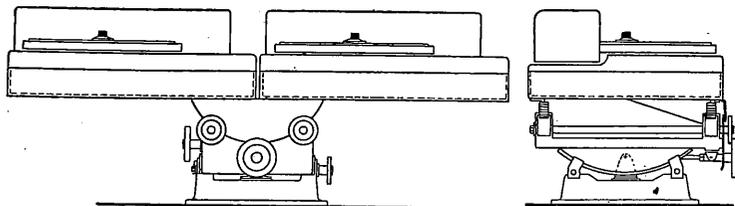


FIG. 7-18.

b) Pont support chariot de gravure.

Chaque pont est pourvu soit d'un volant, soit d'un levier permettant d'augmenter, instantanément mais généralement pendant un temps relativement court, la vitesse de déplacement du chariot. Cette opération, qui a pour effet d'élargir la place vierge existant entre deux sillons, peut être effectuée simultanément sur les deux plateaux d'une même machine. Les deux repères que constituent ces plages ou « glaces » rendent plus aisées les opérations d'enchaînement lorsqu'il s'agit, comme c'est très souvent le cas, d'enregistrements d'une durée supérieure à 3 minutes (1).

Nous donnons ci-après une représentation très schématique de divers ponts support de chariot équipant les tables de gravure utilisées par la Radiodiffusion Française.

NOTA. — Les ponts des machines Bourdureau et Tolana ont été représentés page 118. Nous n'y reviendrons pas.

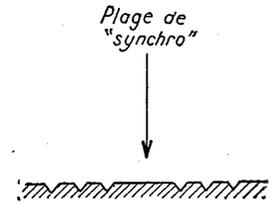


FIG. 7-19.

PONT GRAVURE SUR CIRE

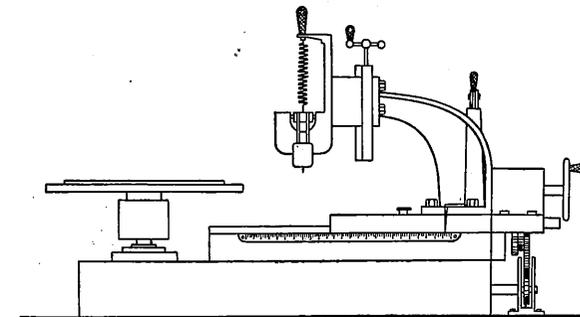


FIG. 7-20.

(1) Il s'agit, bien entendu, de disques enregistrés à 78 TM ; nous savons qu'en 33 tours, il est possible d'obtenir des durées bien supérieures.

PONT DE MACHINE POUR DISQUE SOUPLE

et dispositif d'entraînement (représentation schématique)

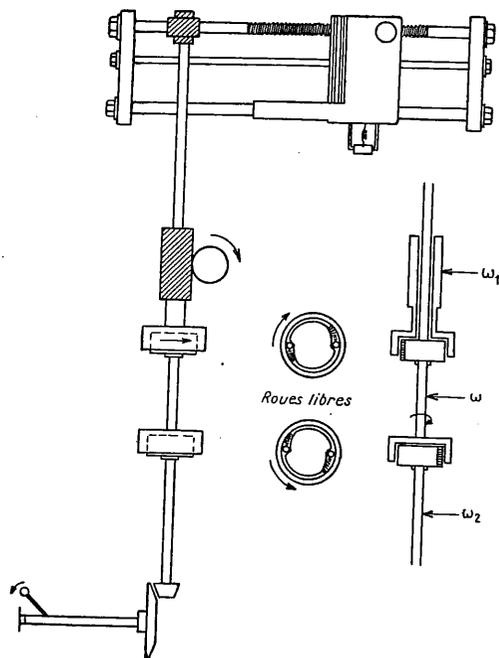


FIG. 7-21.

ω vitesse angulaire de l'axe commandant la vis mère ;
 ω_1 vitesse angulaire constante communiquée par le moteur ;
 ω_2 vitesse angulaire instantanée communiquée par le levier de Synchro

Si $\omega_2 < \omega_1$, $\omega = \omega_1$;
 si $\omega_2 > \omega_1$, $\omega = \omega_2$;

mais du fait des dispositifs roues libres, ω_1 demeure indépendant de ω_2 et réciproquement.

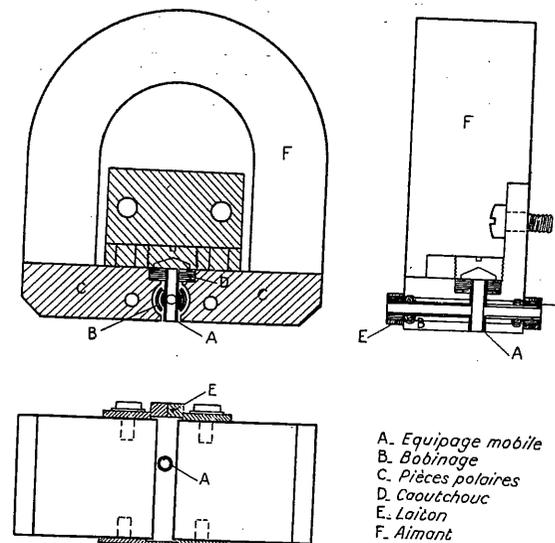
Il convient de noter que ω_1 est constant mais que ω_2 peut être :

positif : durant le mouvement du levier d'arrière en avant ;
 négatif : durant le mouvement inverse ;
 nul : lorsque le levier est immobile.

7-5. Lecteurs.

Lecteur électro-dynamique (type lourd.)

LECTEUR P. C. (1)

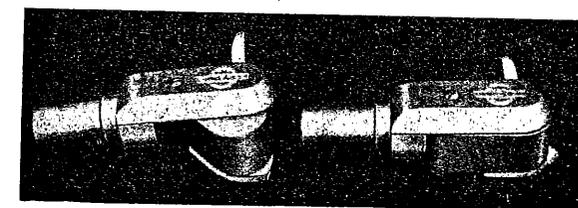
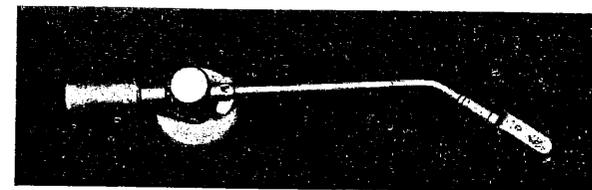


A. Equipage mobile
 B. Bobinage
 C. Pièces polaires
 D. Caoutchouc
 E. Laiton
 F. Aimant

FIG. 7-22.

Lecteur électro-dynamique (type léger).

LECTEUR NEUMANN D. Z. T. (2)



(1) 106, rue de la Jarry, Vincennes.

(2) Berlin Schöneberg, Geneststrasse 5.

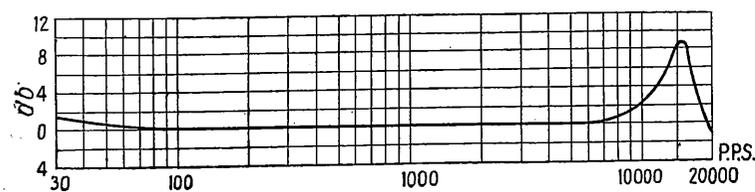


FIG. 7-23.

Le lecteur D.Z.T. se compose de deux systèmes séparés qui permettent par simple rotation du boîtier de passer de la lecture du sillon normal au microsillon.

Son équipement mobile ($\varnothing = 1,6$ mm; longueur 10 mm) est monté dans l'entrefer d'un aimant puissant au moyen de pièces élastiques en matière plastique.

A l'extrémité de l'équipage mobile est fixé le saphir au moyen de ressorts en bronze.

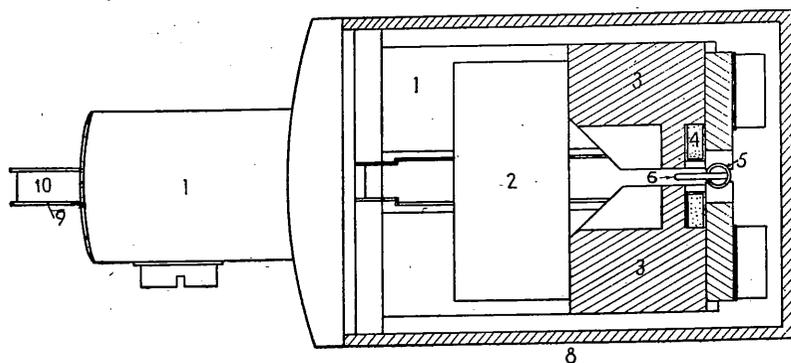
Cette suspension confère au système une raideur convenable dans le plan d'oscillation et une grande élasticité dans le plan vertical.

Le bras de lecture est monté sur des roulements à billes dans le plan vertical et horizontal.

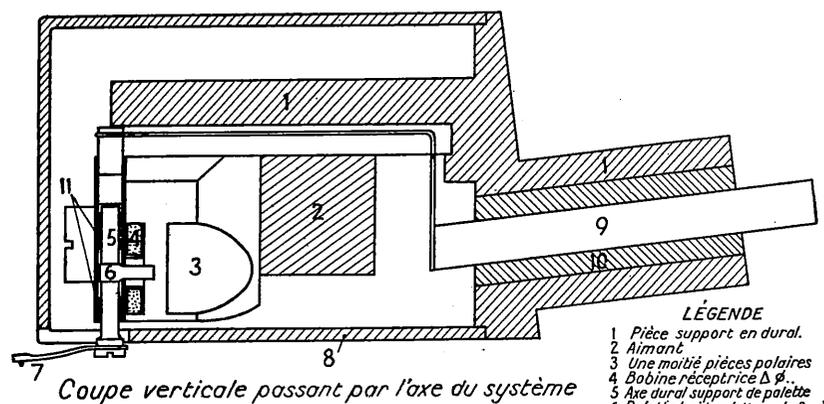
Le réglage du contre poids est possible entre 7 et 12 gr.

Lecteur électro-magnétique (type léger).

LECTEUR P.C., TYPE L 5.



Coupe horizontale au niveau de la palette



LÉGENDE

- 1 Pièce support en dural.
- 2 Aimant.
- 3 Une moitié pièces polaires.
- 4 Bobine réceptrice $\Delta \varphi$.
- 5 Axe dural support de palette.
- 6 Palette (poids palette seule: 8mg).
- 7 Saphir et son support.
- 8 Boîtier dural.
- 9 Conducteurs de sortie.
- 10 Isolant.
- 11 Bagues en caoutchouc.

FIG. 7-24.

Impédance : 200 ohms à 1000 p.p.s. — 400 à 6000 p.p.s. —

Niveau : — 32 db (20 mV) pour reflet de 20 mm.

Pression sur le disque : Sillonnage normal, 15 grammes ; microsillon, 6 grammes.

Sa résonance de palette a été repoussée en dehors de la bande des fréquences audibles.

Pour obtenir ce résultat il a fallu réduire à l'extrême l'inertie de l'équipage mobile, et pour cela abandonner l'emploi d'aiguilles interchangeables. La pointe saphir est sertie sur un support extra-léger, lui-même immobilisé sur l'axe de la palette par une vis permettant son remplacement facile.

La souplesse du porte-saphir dans le plan perpendiculaire au disque rend le lecteur insensible aux modulations en profondeur, élimine ainsi une partie du bruit de surface et réduit l'effet vertical des vibrations de moteur. Le contact sur le disque est plus doux, les irrégularités de surface n'ayant à vaincre qu'une inertie très faible par rapport à celle de la tête.

Le fait de ne pouvoir changer rapidement la pointe saphir lors du passage d'un enregistrement normal (rayon de pointe : 60 microns) à un microsillon (rayon de pointe : 20 microns) oblige à remplacer la tête entière; cette opération se fait très facilement ; la tête porte une fiche qui vient en contact avec les deux lames d'un jack placé à l'intérieur de l'extrémité du bras, elle est immobilisée par un écrou moleté.

La différence de poids des deux têtes assure automatiquement la pression nécessaire.

La forme de la tête permet une bonne visibilité de la pointe lectrice sur le disque.

La sensibilité aux champs extérieurs a été notablement réduite ; la distorsion harmonique est inférieure à 1 % à 300 p.p.s.

Courbe de réponse.

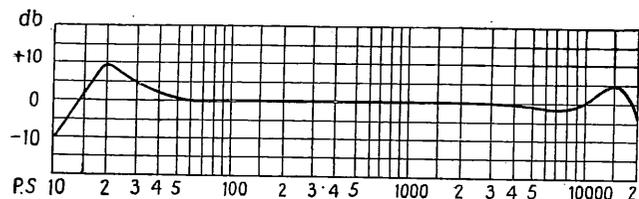


FIG. 7-25.

Lecteur électro-magnétique (type léger).

LECTEUR G. E. (U. S. A.)

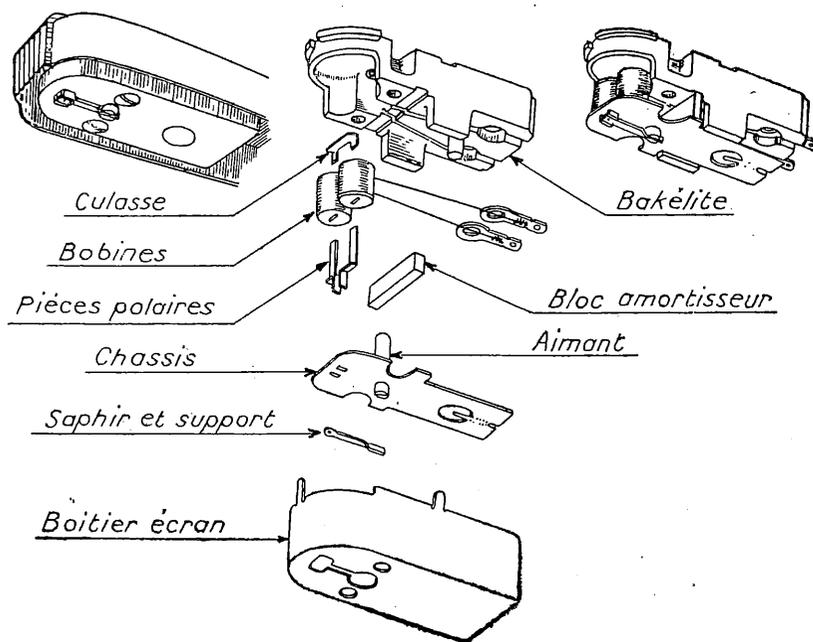


FIG. 7-26.

Extrait de l'article *The Recording and Reproduction of Sound* par Oliver READ, Radio New, novembre 1947.

Lecteur piézo-électrique (type léger).

LECTEUR BRUSH P. L. 1 (U. S. A.)

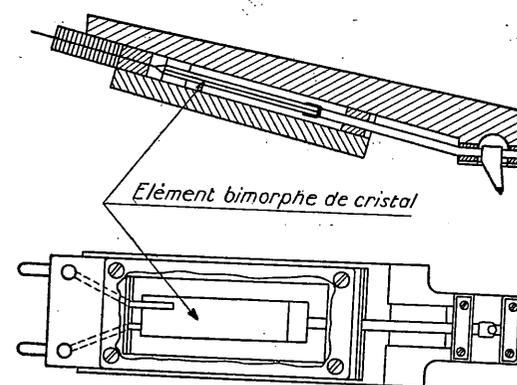


FIG. 7-27.

Extrait de *New Piezoelectric Devices of Interest to the Motion Picture Industry*, A. L. WILLIAMS, Journal of the Society of Motion Picture Engineers, may 1939.

7-6. Tables de lecture.

Les tables de lecture peuvent comporter un, deux, trois et même quatre plateaux tourne-disques.

Chacun des éléments constituant les tables comprend :

- a) un dispositif tourne-disques;
- b) un bras support de lecteur

et un ensemble d'organes accessoires tels que dispositifs synchro, secteur gradué pour le repérage des sillons, dispositif de démarrage automatique etc.

a) Dispositif tourne-disques.

La rotation des plateaux tourne-disques, peut être réalisée selon deux procédés différents :

- par entraînement direct ou indirect de l'axe support de plateau (système classique) ;
- par entraînement périphérique de ce plateau au moyen d'un galet (systèmes utilisés notamment par les Ets Tolana et Presto).

Nous noterons, en outre, que les installations dites « synchro » sont munies de dispositifs permettant de modifier à volonté la vitesse de rotation des plateaux (variations en plus ou en moins) en vue de réaliser, par enchaînement de disque à disque, une diffusion ininterrompue.

1^o SYSTÈME D'ENTRAÎNEMENT PAR L'AXE DU PLATEAU.

Le dispositif d'entraînement des tables de ce type est analogue à celui des tables de gravure sauf qu'il s'y ajoute un dispositif de « synchro » dit différentiel, dont une réalisation est figurée ci-dessous.

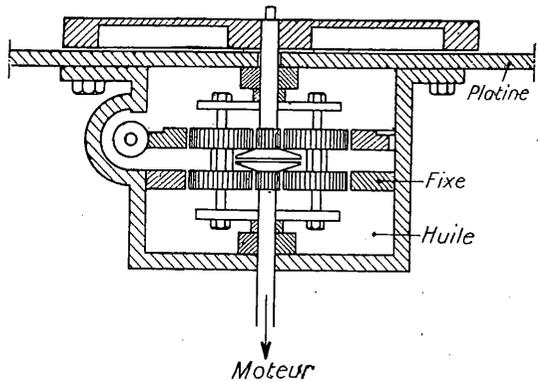


FIG. 7-28.

2^o SYSTÈME D'ENTRAÎNEMENT PÉRIPHÉRIQUE.

Un système d'entraînement périphérique est représenté ci-après. Cette réalisation, due aux Ets Tolana, comporte un dispositif « synchro » (la variation de vitesse est, dans ce cas, obtenue par simple rotation du stator du moteur d'entraînement) et un dispositif de démarrage automatique que nous nous bornerons à signaler ici.

Table de lecture Tolana.

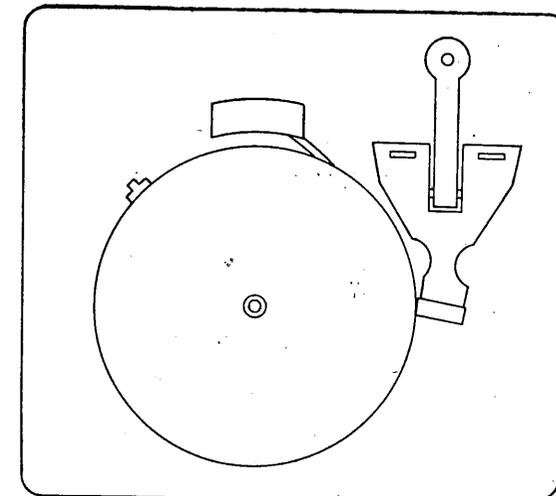
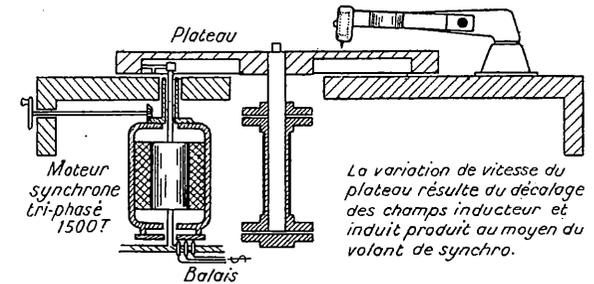


FIG. 7-29.

b) Bras support de lecteur.

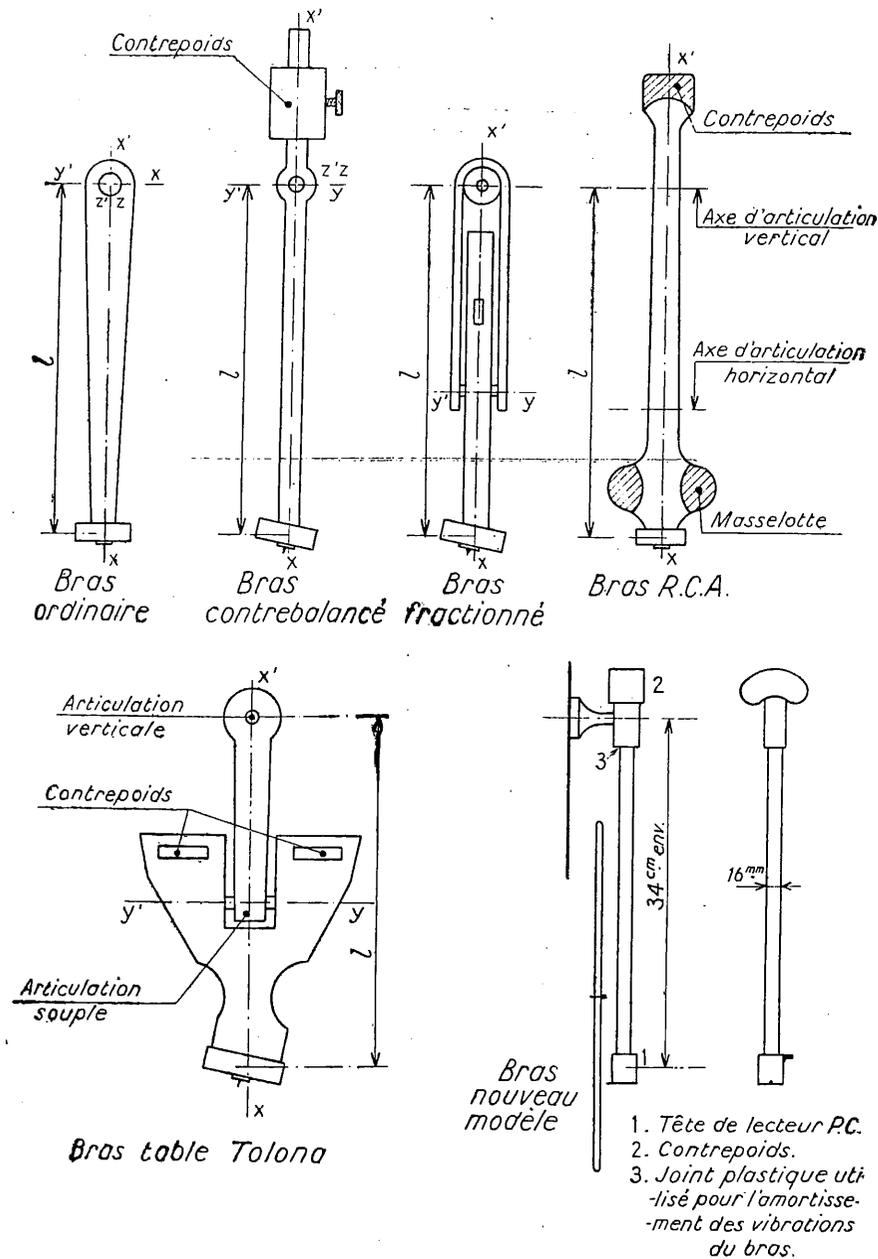


FIG. 7-30.

Bibliographie

- MAXFIELD et HARRISON. — *Méthode d'enregistrement de haute qualité et de reproduction de la musique et de la parole*. Journal of the A.I.E.E., mars 1926.
- BUCHMANN et MEYER. — *Nouvelle méthode de mesure optique pour enregistrements phonographiques*. Elektrische Nachrichten-Technik, 1930.
- VAN URK. — *Enregistrement des sons par le système Philips Miller*. Revue technique Philips, mai 1936.
- OLNEY. — *Erreur de piste des lecteurs de disques ; distorsion et usure de l'enregistrement*. Electronics, novembre 1937.
- PIERCE et HUNT. — *Distorsion dans la reproduction des sons*. Journal of the Society of Motion Picture Engineers, août 1938.
- GUTTWEIN. — *Distorsions linéaires et non linéaires dans l'enregistrement sur disques*. Akust Zeitschrift, 1940, n° 6.
- BEGUM et LYNCK. — *Relation entre la déformation élastique et les forces verticales dans l'enregistrement latéral*. J.A.S.A., volume XIII, p. 284, 1942.
- BAUER. — *Erreur de piste dans la lecture des disques*. Electronics, mars 1945.
- BAUER. — *Mesure des caractéristiques d'enregistrement au moyen du reflet lumineux*. J.A.S.A., octobre 1946.
- GOLDMARK SUEPVAUGERS, BACHMAN. — *Le système d'enregistrement microsilicon longue durée de jeu*. Columbia Proceedings of the I.R.E., août 1949.
- GILOTAUX. — *Tendances nouvelles en matière d'enregistrement sur disques*. L'Onde Electrique, juillet 1950.

OUVRAGES

- ANGEL. — *Cours de Contrôleurs Radiodiffusion Française*, 1944.
- FRAYNE et WOLF. — *Eléments of sound recording*. John Wiley et Sons Editeurs. New-York, 1946.
- LAMARCHE. — *Cours Ingénieurs de la Radiodiffusion Française*, 1947.
- MATRAS. — *Cours Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications*.

DEUXIÈME PARTIE

NOTIONS D'ENREGISTREMENT OPTIQUE

CHAPITRE PREMIER

GÉNÉRALITÉS

1-1. Aperçu historique.

Dans l'état actuel des « Techniques » de l'enregistrement on peut considérer, comme le font d'ailleurs certains auteurs, que cinéma sonore et enregistrement optique sont synonymes.

Il n'en a pas toujours été ainsi et l'on peut même conjecturer que, dans un avenir plus ou moins lointain, le « cinéma sonore » utilisera, comme à ses débuts, d'autres procédés d'enregistrement, notamment l'enregistrement magnétique dont le récent développement offre des possibilités nouvelles.

Il n'est que de faire un bref historique du cinéma sonore pour s'en convaincre. Sans d'ailleurs vouloir entrer dans le détail de cet historique, sujet délicat s'il en fut, en raison du grand nombre d'inventeurs qui ont contribué de près ou de loin à cette réalisation de synthèse, nous donnerons, ci-après, quelques renseignements qui nous paraissent fondamentaux.

De 1889 — date à laquelle DICKSON, collaborateur d'EDISON, met au point le « Kinétophone » — jusqu'en 1927 — année marquée par la présentation du premier grand film sonore — diverses solutions ont été utilisées pour « sonoriser la projection des images ». Durant ce que nous appellerons la *première étape* on songea tout d'abord à utiliser le cylindre puis le disque comme supports du « son ».

Ces systèmes, qui, du domaine du laboratoire ou de « l'attraction », passèrent brusquement dans celui de l'exploitation de 1926 à 1930 grâce à la lampe à trois électrodes et aux amplificateurs, se révélèrent rapidement peu pratiques et ceci pour des raisons dont la fragilité, l'encombrement des disques et les défauts de synchronisme sont les principales.

Cependant les principes de l'enregistrement et de la lecture optique avaient été posés depuis fort longtemps, puisque, dès 1880, FRITTS faisait breveter un procédé de lecture optique utilisant une cellule au sélénium.

Ce que nous appellerons la *seconde étape*, caractérisée non seulement par l'avènement de l'enregistrement optique mais encore par l'élimination des autres procédés d'enregistrement, s'étend de 1927 à 1946. Durant cette

période, le cinéma sonore a fait des progrès incessants grâce au travail des techniciens et chercheurs comme en témoigne le nombre élevé des brevets pris de 1930 à nos jours concernant l'enregistrement des sons (1).

Enfin, bien qu'il ne soit pas encore possible de le fixer d'une manière précise, il semble qu'une troisième étape ait commencé en 1946 avec les premiers essais d'application de l'enregistrement magnétique à l'industrie du cinéma.

1-2. Opérations nécessitées par l'enregistrement sur film.

Contrairement à ce que nous avons déjà vu pour l'enregistrement mécanique, l'enregistrement optique comprend trois séries d'opérations bien distinctes :

1° l'enregistrement, lequel comprend l'impression et le développement du film; ces deux opérations donnent un « négatif »;

2° le tirage; cette opération donne un « positif »;

3° la lecture du « positif »; opération de traduction lumière-courant laquelle restitue la modulation enregistrée.

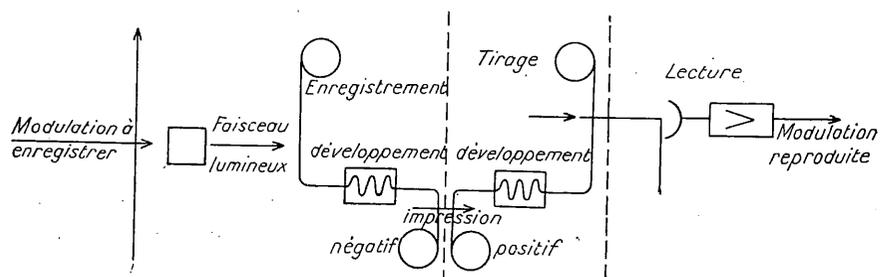


Fig. 1-1.

L'ordre logique des opérations d'enregistrement — ce mot étant pris dans son acception la plus générale — est celui qui vient d'être énoncé, à savoir : *enregistrement* : « impression de la pellicule vierge et développement » ; *tirage* ; *lecture*. Pour faciliter l'exposé du problème, nous nous trouvons contraints d'étudier tout d'abord les principes fondamentaux de la lecture optique, les méthodes d'enregistrement étant fonction des solutions adoptées pour la traduction lumière-courant.

1-3. Principes fondamentaux de la lecture optique.

Les divers appareils de lecture, si l'on néglige momentanément pour simplifier le problème les détails de réalisation, peuvent être ramenés au schéma représenté figure 1-2.

(1) De 1930 à 1940 il a été pris une moyenne de près de 100 brevets par an.

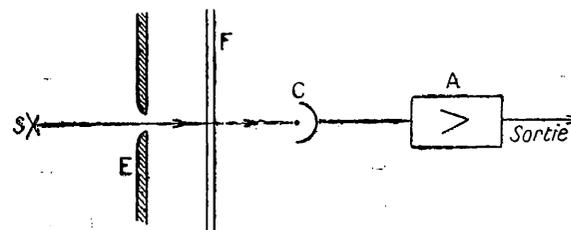


Fig. 1-2.

Le flux lumineux constant, émergeant de la fente ménagée dans l'écran E , est modulé par le film F , avant d'atteindre la cellule photo-sensible C . Cette dernière restitue ensuite, sous forme de modulation électrique, la modulation lumineuse reçue.

Le problème étant ainsi posé dans sa généralité, étudions comment le film peut moduler le flux constant, émis, dans sa direction, par une source lumineuse.

Si nous appelons flux incident le flux lumineux qui atteint à un instant donné une surface ΔS du film et flux émergeant ou encore flux utile, le flux qui la traverse, nous pouvons définir l'opacité du film comme étant le rapport F_i/F_u et écrire :

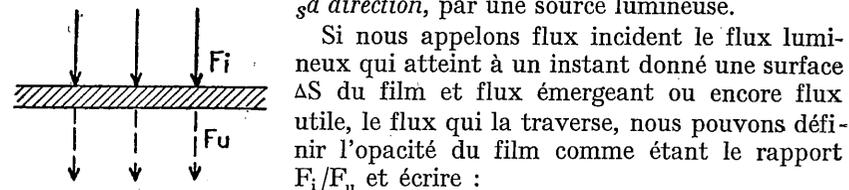


Fig. 1-3.

$$O = \frac{F_i}{F_u}$$

On appellera *transparence* T , le rapport $1/O$, inverse de l'opacité.

On utilisera également le terme *densité* pour désigner le logarithme décimal de l'opacité.

$$D = \text{Log}_{10} \frac{F_i}{F_u}$$

Pour l'ensemble des corps, D varie de 0 à ∞ , lorsqu'on passe du corps transparent au corps opaque. Par exemple, si un film ne laisse passer que la centième, puis la millième partie du flux lumineux, on dira que sa densité est de 2, puis de 3.

Dans ces conditions, pour reproduire un son pur $a \sin \omega t$, nous devons faire en sorte que le flux utile soit de la forme :

$$F_u = F_0 (1 + K \sin \omega t), \text{ avec } K \leq 1$$

La transparence de la bande aura alors pour expression :

$$T = \frac{F_0}{F_i} (1 + K \sin \omega t)$$

ce qui montre, F_i étant constant, que cette transparence devra varier, dans le temps, d'une manière sinusoïdale.

Comment obtenir ce résultat ?

Rappelons simplement qu'il existe deux moyens de modifier le flux lumineux émis, par une source, dans une direction donnée :

- 1° par interposition de couches absorbantes d'opacité variable ;
- 2° par variation d'ouverture d'un diaphragme.

L'une et l'autre de ces deux solutions sont utilisées en pratique et elles ont donné naissance à deux systèmes fondamentaux d'enregistrement :

La première, à l'enregistrement à *densité variable* dit encore à *élongation fixe* ;

La seconde, à l'enregistrement à *densité fixe* dit encore à *élongation variable*.

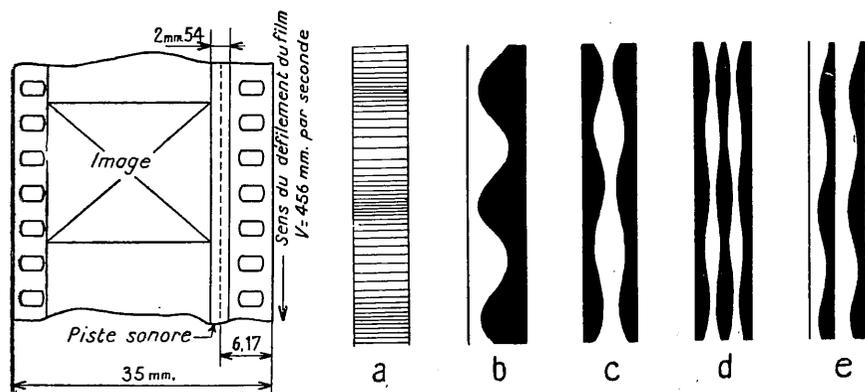


FIG. 1-4.

Ci-dessus sont représentés (FIG. 1-4) :
le film (vu côté gélatine) et les positions respectives de l'image et de la piste sonore ;

différents types de pistes sonores :

1° densité variable (a) ;

2° densité fixe :

latérale (b) ;

bilatérale (c) ;

double bilatérale (d) ;

duolatérale (e).

1-4. Le film.

Le film est constitué par une longue bande de celluloïd — remplacé parfois par un matériau à base d'acétate de cellulose moins inflammable et donc moins dangereux mais présentant d'autres défauts tels que le manque de transparence et de solidité — recouverte d'une pellicule de gélatine photo-sensible. Lorsque la pellicule est vierge, la gélatine tient en suspension une émulsion à base de bromure d'argent. Après la prise de vue, le bromure se trouve partiellement décomposé partout où *un éclairage suffisant* l'a impressionné. Le développement s'opère en plongeant le film dans un bain contenant le révélateur (hydroquinone-acide pyrogallique...). Sous l'action de celui-ci, le bromure d'argent impressionné, lors de la prise de vue, est réduit à l'état d'argent pur finement divisé. Le bromure inaltéré est ensuite dissous par l'action d'un bain d'hyposulfite de sodium et les produits chimiques résiduels imprégnant la bande sont éliminés par un

rinçage à l'eau courante. Il ne reste plus qu'à sécher la bande pour obtenir le « négatif ». Les opérations pour l'obtention des « positifs » sont, dans leur principe, absolument identiques à celles qui viennent d'être décrites.

Le film utilisé dans le cinéma sonore comporte deux formats :

16 mm, utilisé par certains amateurs et les cinémas ruraux. ;

35 mm, utilisé par tous les professionnels et généralement désigné par l'appellation *film standard*.

La figure 1-5 montre, de manière schématique, la position du film dans le « projecteur à images » et dans le « lecteur de son » (décalage entre les deux positions : 19 images 1/3).

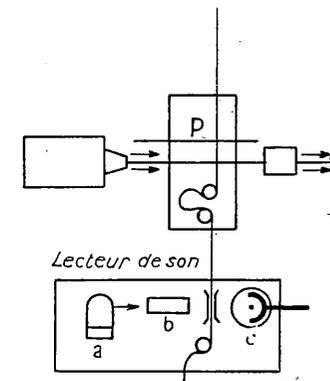


FIG. 1-5.

a : Source lumineuse ; b : système optique ;
c : cellule photoélectrique ;
p : projecteur à images.

CHAPITRE 2.

ÉLÉMENTS DE SENSITOMÉTRIE

2-1. Définitions.

Rappelons tout d'abord quelques définitions :

Flux lumineux.

Le flux lumineux est la puissance rayonnée évaluée d'après la *sensation lumineuse* qu'elle produit.

L'unité de flux, ou « lumen », est le flux émis par une source ponctuelle d'intensité lumineuse égale à l'unité, dans un angle solide de 1 stéradian dont la source occupe le sommet.

Intensité lumineuse.

L'intensité lumineuse est définie par la relation suivante :

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad \begin{array}{l} I \text{ intensité lumineuse (bougie)} \\ \Phi \text{ flux lumineux (lumen)} \\ \Omega \text{ angle solide (stéradian).} \end{array}$$

Il existe de nombreuses unités d'intensité lumineuse. Nous nous bornons à citer :

La *bougie décimale* ou « pyr ». L'étalon représentant cette unité d'intensité, est constitué par des lampes à incandescence, conservées dans les grands laboratoires photométriques — le Conservatoire des Arts et Métiers pour la France.

La *bougie normale ou nouvelle* valant 98/100 de la précédente, définie comme suit par le Comité International des poids et mesures :

« L'unité d'intensité lumineuse sera telle, que la brillance du radiateur intégral (corps noir) à la température de solidification du platine (2046° K) soit de 60 unités d'intensité lumineuse par cm² ».

Brillance.

La brillance d'une surface dans une direction donnée Δ est définie par le rapport suivant :

$$B = \frac{dI}{ds \cos \theta} \quad \left\{ \begin{array}{l} B \text{ brillance en « stilbs »} \\ I \text{ intensité lumineuse en bougies} \\ s \text{ surface en cm}^2 \\ \theta \text{ angle que fait la normale à } s \text{ avec la direction } \Delta. \end{array} \right.$$

L'unité de brillance est la bougie par cm² ou « *stilb* ».

Eclairement.

L'éclairement en un point d'une surface est la *densité* du flux lumineux reçu en ce point.

$$F = \frac{d\Phi}{ds}$$

L'unité d'éclairement est le *lux*, ou lumen, par mètre carré ; c'est l'éclairement produit par un flux lumineux de 1 lumen, uniformément réparti sur une surface de 1 mètre carré.

On emploie également le « *phot* » : 1 phot = 10⁴ lux

Eclairage.

L'éclairage est la *quantité* de lumière reçue par une surface :

$$Q = \Phi \times t$$

L'unité d'éclairage n'a pas reçu de nom ; on l'exprime simplement par les unités composantes : *lumen seconde*.

Excitation.

L'excitation ou *lumination* est la *quantité* d'éclairement reçue par une surface

$$I = E \times t$$

L'unité de lumination n'a pas reçu de nom ; on la désigne également par les unités de ses composants : *lux seconde*.

2-2. Quel est l'objet de la sensitométrie ?

La sensitométrie a pour principal objet, d'une part, l'étude de l'action de la lumière sur les émulsions photographiques et, d'autre part, la mesure de la sensibilité de ces émulsions.

Nous sommes donc tout naturellement conduits à considérer deux éléments fondamentaux du problème :

- la lumination subie par l'émulsion ;
- les résultats photochimiques de cette lumination.

2-3. La lumination subie par l'émulsion.

La lumination est elle-même fonction de trois facteurs :

- la composition spectrale de la lumière excitatrice ;
- la durée de son action t ;
- la valeur de l'éclairement E .

Nous laisserons de côté le premier point, sur lequel nous reviendrons au moment de l'étude des distorsions, pour ne considérer que les deux facteurs : t et E .

Loi de réciprocité de Bunsen et Roscoe : l'exposition est égale au produit de l'éclairement par le temps d'exposition ($I = E \times t$). Cette loi, valable en photographie courante, c'est-à-dire dans des limites relativement

étroites, n'est pas applicable sans correction à l'enregistrement sonore, l'excitation lumineuse correspondant, dans ce cas, à des intensités d'éclairage souvent élevées et à des temps de pose extrêmement brefs. Une correction satisfaisante de cette loi de réciprocité est donnée par la relation empirique de Schwarzschild :

$$l = E \times t^p$$

sous réserve de donner à p des valeurs différentes selon l'intensité d'éclairage.

Pour les intensités faibles $p < 1$
 Pour les intensités moyennes $p = 1$ (ce qui correspond à la loi de réciprocité)
 Pour les intensités élevées $p > 1$

2-4. Les résultats photochimiques de la lumination.

Nous savons déjà, que le film, après développement, se présente sous l'aspect suivant : les zones n'ayant subi aucune exposition sont pratiquement transparentes ($D \neq 0$), celles qui ont reçu une excitation importante, présentant, au contraire, une opacité élevée ($D \neq 3$ ou 4).

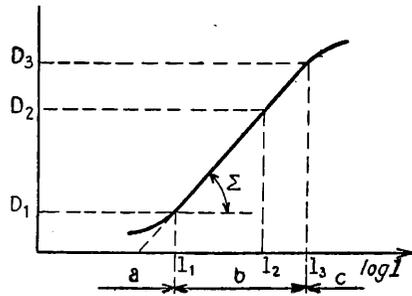


FIG. 2-1.

appelé zone de sous exposition ;
 — le coude supérieur « c » correspondant à une zone de sur exposition ;
 — une partie « b » sensiblement rectiligne caractérisant une plage dans laquelle la densité D varie proportionnellement au logarithme de la lumination.

Si nous faisons des relevés avec différentes émulsions nous constatons que si les diverses courbes comportent les trois zones dont il vient d'être question, leur forme et leur position, par rapport aux coordonnées, sont variables. Mais ce sont là des éléments relativement secondaires ; il est, en effet, possible d'obtenir de bonnes reproductions à partir d'émulsions différentes. Le facteur fondamental à considérer est la pente de la partie rectiligne de la courbe. Cette pente, appelée facteur de contraste ou « gamma », a pour expression :

$$\text{tg } \epsilon \text{ ou } \gamma = \frac{dD}{d \log l}$$

On retiendra également que ce résultat peut être énoncé sous une autre forme parfois fort utile :

$$O = A l^\gamma \quad (1) \quad \text{dans laquelle} \quad \begin{cases} O & \text{opacité} \\ A & \text{constante} \\ l & \text{lumination} \\ \gamma & \text{facteur de contraste} \end{cases}$$

Mais on notera que pour une même émulsion la pente n'est pas constante et dépend dans une très large mesure du développement (composition du révélateur et durée du développement).

Nous donnons ci-dessous (FIG. 2-2) l'allure des « courbes de réponse » obtenues lorsque la durée du développement varie.

Ces courbes montrent :

1° que le « gamma » croît, tout d'abord, lorsque la durée du développement augmente;

2° qu'il se produit, ensuite, une sorte de saturation, la pente des courbes de réponse tendant vers une valeur limite à partir d'une certaine durée de développement.

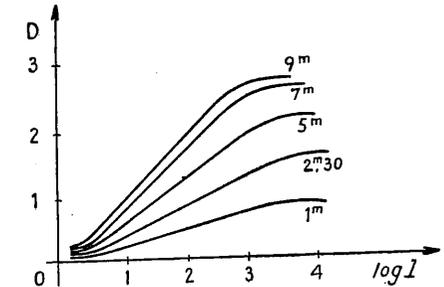


FIG. 2-2.

Le gamma correspondant à cette valeur limite, a reçu le nom de « gamma infini ».

Cette valeur, pratiquement indépendante de la nature et de la concentration du révélateur, est donc une des caractéristiques des émulsions ; elle indique leur aptitude plus ou moins grande à donner des inscriptions contrastées.

(1) Cette expression résulte du calcul simple suivant :

$$\gamma = \frac{D_2 - D_1}{\log l_2 - \log l_1} \quad \text{ou, en remplaçant } D_2 \text{ et } D_1 \text{ par leur valeur :}$$

$$\gamma = \frac{\log O_2 - \log O_1}{\log l_2 - \log l_1} = \frac{\log \frac{O_2}{O_1}}{\log \frac{l_2}{l_1}}$$

$$\text{ou encore } \left(\frac{l_2}{l_1} \right)^\gamma = \frac{O_2}{O_1}$$

enfin, en considérant que O_1 et D_1 , limite inférieure de la caractéristique, sont constants, il vient :

$$O = A l^\gamma$$

CHAPITRE 3.

PROCÉDÉS D'ENREGISTREMENT

Les procédés d'enregistrement peuvent être classés en deux grandes familles correspondant aux deux principes fondamentaux d'inscription des signaux définis plus haut :

- enregistrement à densité variable. ;
- enregistrement à densité fixe.

ENREGISTREMENT A DENSITÉ VARIABLE

3-1. Considérations préliminaires.

L'enregistrement à densité variable se présente sous forme de piste portant des inscriptions de largeur constante. Ces inscriptions sont constituées par une succession de traits ou de bandes horizontales de hauteur et de transparence variables. Ce sont ces variations de transparence qui sont utilisées pour la modulation du flux lumineux émis dans la direction de la cellule photoélectrique de lecture.

Pour que le système soit fidèle, il faut donc — en supposant pour l'instant que les traductions « courant-lumière » et « lumière-courant » s'effectuent sans distorsion — que les variations du flux lumineux, à l'enregistrement, soient exactement reproduites à la lecture. Ces transformations globales comportent deux suites d'opérations, la première déterminant le « flux d'excitation du positif transmis au travers du négatif », la seconde le « flux transmis par le positif après développement ».

Reprenons, sous forme schématique (FIG. 3-1 et 3-2) et dans l'ordre où elles s'effectuent, ces diverses opérations.

1° Flux transmis au travers du négatif.

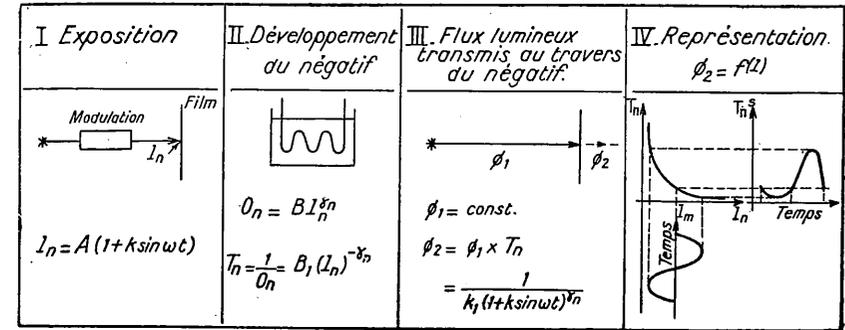


FIG. 3-1.

L'expression de ϕ_2 et la représentation graphique montrent que le film négatif ne peut donner de reproduction satisfaisante (1). Fort heureusement, ainsi que nous allons le voir, l'inversion des transparences, provoquée par le tirage du positif, permet de résoudre le problème posé : $\Phi_{\text{positif}} = k I_n$.

2° Flux transmis par le positif après développement.

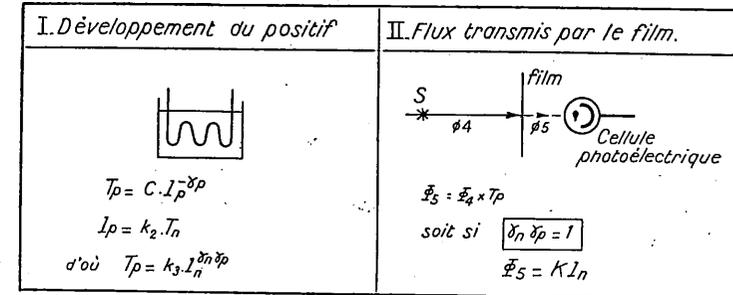


FIG. 3-2.

3-2. Procédés d'enregistrement.

Diverses solutions peuvent être adoptées pour obtenir des enregistrements à densité variable. On a coutume de les classer en deux familles distinctes selon que « l'exposition » est : à flux variable et à temps fixe, ou au contraire à flux constant et à temps variable.

Dans la première catégorie nous classerons les procédés utilisant : la « lampe à lueur », la « cellule de Kerr », le galvanomètre de pénombre et dans la seconde le procédé du galvanomètre à corde (light-valve).

(1) Il s'agit ici du procédé utilisant les parties rectilignes des courbes $D = f(\log I)$. On peut également, sous certaines réserves, utiliser les courbures inférieures des caractéristiques. Dans ce cas $T_n = f(I)$. Cette dernière solution, qui est basée sur l'utilisation des zones sous exposées, est avantageuse dans le cas de modulateurs peu lumineux.

Procédé de la lampe à lueur.

Les lampes à gaz sous faible pression présentent la propriété de fournir une intensité lumineuse, dont la valeur instantanée correspond assez sensiblement (pour une certaine plage de fonctionnement tout au moins) à la tension excitatrice. Cette propriété a été utilisée dans le système d'enregistrement dit : par « lampe à lueur » (glow-lamp).

Rappelons, tout d'abord, brièvement, comment sont constituées les lampes à lueur (Fig. 3-3).

Une enveloppe de verre, ou mieux de quartz (le quartz permet le passage du rayonnement ultra-violet), remplie de gaz (néon, argon ou hélium) sous faible pression, abrite deux électrodes : une cathode généralement recouverte d'oxydes alcalino-terreux et une anode en forme de cylindre qui l'entoure. Cette disposition permet à l'arc de se former à l'extrémité de l'anode,

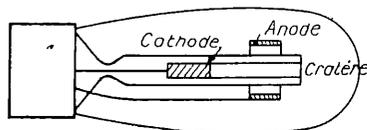


FIG. 3-3.

en une zone appelée cratère, et d'apparaître comme une source de petite dimension très lumineuse.

Il existe plusieurs types de ces lampes. Nous signalerons les lampes à faible consommation (une vingtaine de milliampères fonctionnant sous

150 volts environ) et les lampes de consommation normale (50 à 100 mA fonctionnant sous tension variant de 200 à 300 volts).

La courbe de réponse $E = f(V)$ est à peu près satisfaisante pour les types de lampes employées.

Il existe deux schémas de montage des lampes à lueur.

1^{er} MONTAGE.

Dans un premier montage, la lampe est presque directement accolée au film. On a alors le dispositif très simple représenté par la figure 3-4. Le film

glisse entre un tambour d'entraînement T et un guide G parfaitement poli pour éviter toute rayure du film. Ce guide comporte une ouverture F (de 15/1000 de mm de hauteur et de 2 mm 5 de largeur) à hauteur du cratère de la lampe à lueur L. Cette dernière, alimentée par une batterie de 300 volts environ et par un transformateur de modulation, émet un flux lumineux variable au rythme

de la tension de modulation. La valeur moyenne de ce flux correspond aux périodes de silence, c'est-à-dire aux périodes durant lesquelles il résulte de la seule action de la batterie.

Cette disposition est principalement utilisée pour les enregistrements de reportage et d'actualités qui peuvent s'accommoder d'une qualité relativement médiocre.

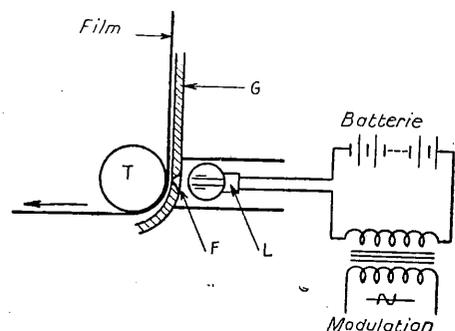


FIG. 3-4.

2^e MONTAGE.

Dans ce système, l'exploration du film par la fente, au lieu de s'opérer par contact direct, est réalisée optiquement, par projection d'une image. La figure 35 montre, sans qu'il soit nécessaire de l'expliquer, la méthode employée pour impressionner l'émulsion.

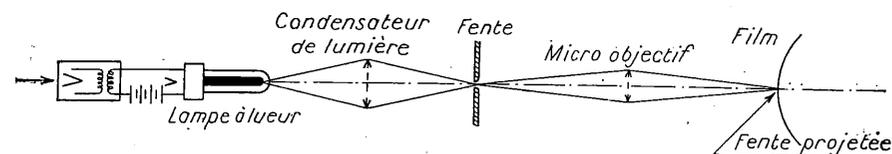


FIG. 3-5.

Parmi les défauts présentés par les systèmes utilisant la lampe à lueur nous en signalerons deux :

insuffisance de l'intensité lumineuse produite. Ce défaut oblige presque toujours à situer le point de fonctionnement dans la zone de sous-exposition c'est-à-dire sur la courbure inférieure de la caractéristique $D = f(D)$;
distorsion non linéaire élevée.

Procédé utilisant la cellule de Kerr.

Dans ce système, tout comme dans le procédé de la « lampe à lueur » que nous venons d'étudier, on utilise un phénomène statique ; il s'agit ici de « l'effet de Kerr », ou phénomène par lequel un champ magnétique ou électrique est susceptible, dans certaines conditions, de modifier les vibrations lumineuses.

Les éléments constituant le dispositif enregistreur sont les suivants (Fig. 3-6) :

une source lumineuse ;
un modulateur constitué par une cuve transparente remplie de nitrobenzène et dans laquelle sont plongées deux électrodes planes très rapprochées ;

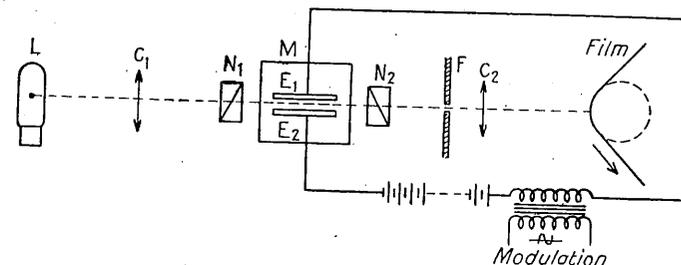


FIG. 3-6.

un système polarisateur de lumière composé de deux nicols (1) placés de part et d'autre du modulateur, le nicol de gauche jouant un rôle de pola-

(1) Du nom du physicien anglais NICOL. Le cristal naturel de spath d'Islande possède la propriété d'être biréfringent.

risateur de la lumière entrante celui de droite servant d'analyseur de sortie ;

une fente et un système optique.

Les deux nicols N_1 et N_2 sont réglés à l'extinction, c'est-à-dire de telle sorte qu'en l'absence d'excitation du modulateur, aucune lumière n'atteigne la fente F.

Dès l'application d'une tension continue entre les électrodes E_1 et E_2 on constate, et c'est l'effet de Kerr, l'apparition d'un flux lumineux à la sortie du système. Le flux lumineux est fonction de la tension excitatrice, sa valeur étant donnée par l'expression :

$$\Phi = \Phi_0 \sin^2 \left[\frac{\pi}{2} \left(\frac{U}{U_0} \right)^2 \right]$$

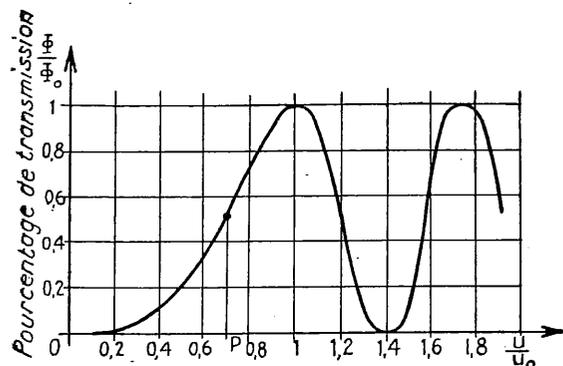


FIG. 3-7.

dont la courbe représentative est tracée à la figure 3-7.

Bien entendu, la branche ascendante de cette courbe est seule utilisée. Si l'on prend soin de choisir convenablement la tension de repos — polarisation continue correspond à P, par exemple — la réponse du système en courant alternatif sera satisfaisante.

Toutefois, ce système, mis au point par les Allemands, est actuellement assez peu employé.

Procédé utilisant le galvanomètre de pénombre.

Un procédé d'enregistrement assez curieux est celui du galvanomètre de pénombre. Cependant, eu égard au fait qu'il est peu répandu, nous nous bornerons à en signaler le principe de base et à en donner une représentation schématique (FIG. 3-8).

Principe. — Le système est fondé sur le fait bien connu suivant : lorsqu'une ombre est produite par une source lumineuse non ponctuelle cette ombre est bordée d'une zone dite de pénombre dont la luminosité augmente de façon continue de l'ombre jusqu'à la pleine lumière (voir la représentation de l'image de pénombre)

Représentation schématique.

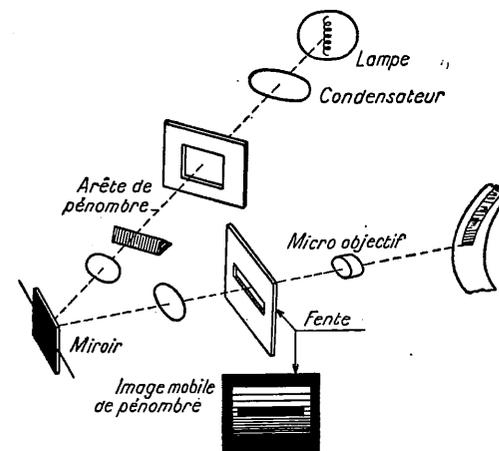


FIG. 3-8.

Procédé du galvanomètre à corde (Light valve)

Nous savons déjà que la densité d'une portion de film est en première analyse tout au moins — proportionnelle au logarithme du produit $E \times t$ (E éclairément et t temps). Quelques modulateurs utilisant la variation du facteur E viennent d'être signalés ; nous nous proposons d'étudier maintenant la modulation dite à « *temps variable* ».

Le système universellement adopté, pour obtenir cette variation du temps d'exposition, est celui qui utilise le « galvanomètre à corde », connu également sous le nom de : « *light valve* ».

Examinons, tout d'abord, la composition de ce galvanomètre et son mode de fonctionnement (FIG. 3-9).

Imaginons une fente (1) constituée par l'intervalle existant entre deux fils conducteurs également tendus (il s'agit dans certains cas d'un même fil ABC passant par la gorge de la poulie B). Ces conducteurs sont placés dans un champ magnétique intense et uniforme, de telle sorte que le plan qu'ils déterminent soit perpendiculaire aux lignes de force.

Dès qu'une tension sinusoïdale est appliquée à ce « cadre », celui-ci se déforme, les deux brins qui le constituent oscillant, de manière identique, sinusoïdale et en opposition de phase, autour de leur position de repos. Nous retrouvons là deux systèmes oscillants à un degré de liberté.

(1) La largeur de la fente est généralement de l'ordre de 20 microns.

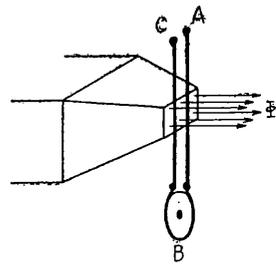


FIG. 3-9.

Les différents paramètres, M , C , f déjà utilisés page 23 et suivantes sont matérialisés ici par :

M la masse des rubans ;
 C la raideur des brins ;
 f l'amortissement constitué, pour une faible partie, par les frottements sur l'air et pour l'essentiel par un shunt électrique, de faible valeur ohmique, placé aux bornes d'entrée du galvanomètre.

On démontre que, pour un tel système, la déformation d est pratiquement propor-

tionnelle à la tension appliquée.

Nous noterons, en outre, qu'il est possible de donner aux deux brins une raideur telle que la fréquence des vibrations naturelles soit rejetée au delà du spectre des fréquences à enregistrer.

La figure 3-10 donne une représentation schématique de ce système.

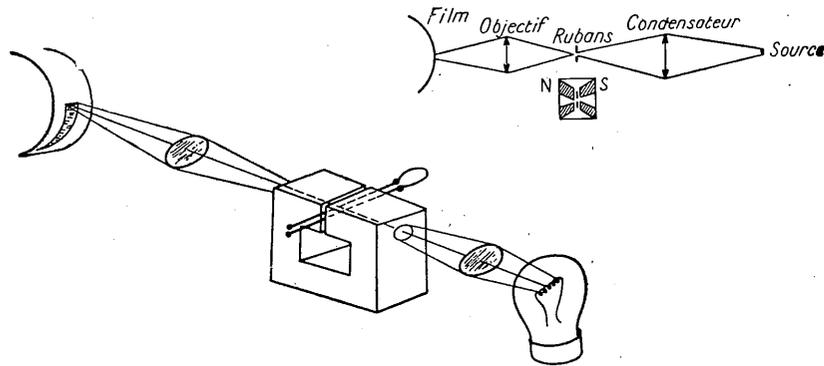


FIG. 3-10.

ENREGISTREMENT A DENSITE FIXE

3-3. Considérations préliminaires.

La piste sonore des enregistrements à densité fixe est constituée — dans sa forme la plus simple tout au moins — par deux zones, l'une opaque de densité uniforme, l'autre transparente, séparées par une ligne en dents de scie dont le dessin et la position sont variables et dépendent directement de la modulation enregistrée, le dessin et la position étant liés respectivement à la fréquence et à l'amplitude de cette modulation (FIG. 3-11). Dans

le cas de l'enregistrement d'une onde sinusoïdale, le « dessin » aura également la forme d'une sinusoïde (FIG. 3-12). En effet, que désire-t-on obtenir dans ce cas ?... que le flux lumineux traversant le film produise à la sortie de la cellule photoélectrique une tension sinusoïdale. En supposant le système transducteur lumière-courant exempt de distorsion, le flux traversant \mathcal{F}_u devra donc être de la forme

$$\mathcal{F}_u = \mathcal{F}_0 (1 + k \sin \omega t)$$

Considérons la piste AB explorée par le mince pinceau lumineux MN. Le flux utile n'étant produit que par la partie transparente du film est donc proportionnel à MP, si l'on admet ce qui est pratiquement exact, que toute partie du film soumise à l'action de la lumière devient entièrement opaque après développement et que, inversement, toute partie vierge peut être considérée comme une zone parfaitement transparente. Il vient donc :

$$MP = K\mathcal{F}_u$$

ou encore, en remplaçant \mathcal{F}_u par sa valeur :

$$MP = K\mathcal{F}_0 (1 + k \sin \omega t)$$

La largeur de la zone transparente aura donc une valeur dépendant à la fois de l'élongation du signal enregistré et de l'instant considéré.

C'est une « impression » sans nuance, utilisant uniquement les deux valeurs extrêmes de la gamme des densités.

Dans ces conditions, tous les dispositifs d'enregistrement à densité fixe sont fondés sur le même principe : le déplacement variable d'un mince spot lumineux. Dans la plupart des réalisations ce déplacement est obtenu à l'aide d'un galvanomètre à miroir, les phénomènes mis en jeu pour actionner le miroir pouvant être électrodynamiques, électromagnétiques ou même piézo-électriques. Nous signalerons cependant qu'il existe d'autres systèmes, notamment celui qui utilise le galvanomètre à corde.

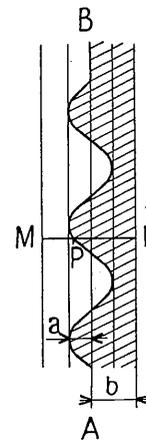


FIG. 3-12.

3-4. Procédés d'enregistrement.

Procédé du galvanomètre à miroir.

a) Principe de fonctionnement des galvanomètres. — Donnons tout d'abord, le schéma de principe des galvanomètres à miroir les plus utilisés (FIG. 3-13).

1° Galvanomètre à boucle.

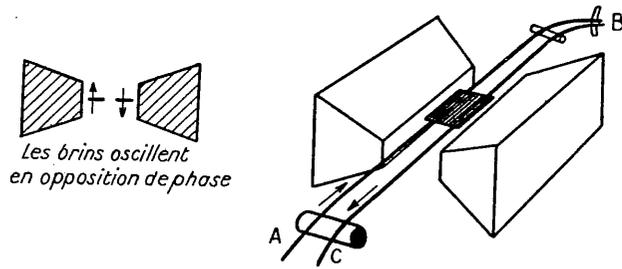


FIG. 3-13.

Le fonctionnement de ce galvanomètre est explicité par le schéma lui-même : le courant traverse la boucle A B C provoquant des déplacements en opposition de phase des deux brins AB et BC. Ces déplacements impriment un mouvement de rotation au miroir.

2° Galvanomètre électromagnétique.

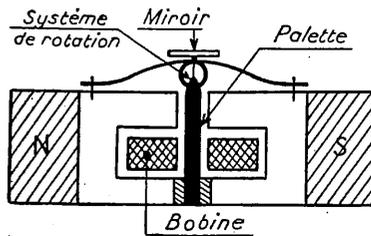


FIG. 3-14.

moteur du graveur électromagnétique.

b) Systèmes optiques utilisés.

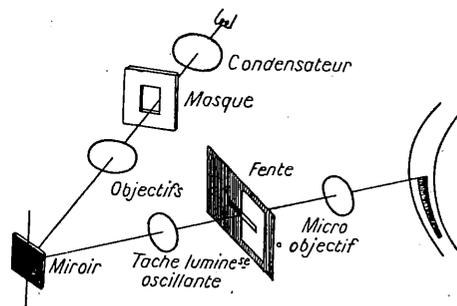


FIG. 3-15.

Procédé du galvanomètre à corde.

Nous ne reviendrons pas sur le fonctionnement du galvanomètre à corde et nous nous bornerons à donner le schéma de principe de ce procédé d'enregistrement (FIG. 3-16).

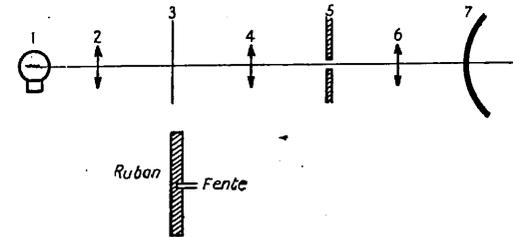


FIG. 3-16. — 1. Source lumineuse ; 2 condensateur ; 3 ruban du galvanomètre à corde ; 4 objectif ; 5 fente ; 6 micro-objectif ; 7 film.

Nous préciserons, toutefois, que ces dispositifs bien que séduisants à priori, se révèlent assez délicats en pratique courante. Le principal défaut réside dans le fait que les élongations des rubans sont trop faibles et doivent être amplifiées.

CHAPITRE 4.

LA LECTURE OPTIQUE

Du point de vue théorique tout se passe comme si un mince pinceau lumineux — épaisseur 20 microns — explorait le film à vitesse constante.

Ainsi que nous l'avons déjà vu, la cellule photoélectrique reçoit un flux lumineux variable, dont la valeur instantanée dépend de l'opacité de la zone explorée, dans le cas du procédé à densité variable, ou de la largeur vierge de la piste, dans le cas du procédé à densité fixe.

Nous n'insisterons donc pas davantage sur cet aspect de la question et nous nous bornerons à donner quelques indications sur :

- les cellules photoélectriques ;
- le dispositif d'entraînement du film ;
- le bloc son.

4-1. Les cellules photoélectriques.

Les radiations lumineuses ⁽¹⁾ sont susceptibles, dans certaines conditions, de modifier l'équilibre électrique des corps soumis à leur action. Ce phénomène très général est connu sous le nom d'*effet photo électrique*.

Cet effet peut se manifester sous des formes très différentes :

- Modification de la conductivité d'un corps : effet *photoconductif* ;
- Transformation de l'énergie chimique en énergie électrique : effet *photo-voltaïque* ;
- Libération d'électrons : effet *photo émissif*.

L'*effet photo émissif* est le seul qui soit utilisé pour la lecture optique : nous n'étudierons donc que les cellules utilisant ce phénomène.

Les cellules photo-électriques modernes se composent d'une ampoule de verre ou de quartz de forme sphérique ou cylindrique dans laquelle règne soit un vide poussé — cellules à vide —, soit une très faible pression résultant de la présence d'un gaz rare : néon, argon ou hélium — cellules à gaz (Fig. 4-1).

Les électrodes sont au nombre de deux :

- la cathode formée d'une très mince couche de métal alcalin, généralement du césium, déposée sur la paroi intérieure de l'ampoule ou sur une électrode en forme de gouttière. ;

— l'anode, située au centre de l'ampoule et constituée par un élément métallique — généralement du tungstène — en forme d'anneau, de simple fil, de grillage ou de rectangle.

Les radiations lumineuses pénètrent dans les cellules par la fenêtre ou pupille P qui est la partie non métallisée de l'ampoule.

Certains électrons, libérés à la surface de la cathode par l'action de ces radiations, sont collectés par l'anode ; mais le courant qui en résulte est faible. Il est possible de l'amplifier en portant l'anode à un potentiel positif au moyen d'une source continue. Une résistance élevée R, placée dans le circuit ainsi constitué, permet de recueillir une différence de potentiel, dont la composante alternative, la seule qui nous intéresse ici, peut être amplifiée.

Ainsi que nous l'avons vu plus haut, il existe deux types de cellules : les cellules à vide et les cellules à gaz.

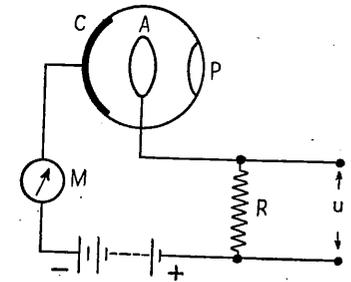


Fig. 4-1.

Cellules à vide.

Ces cellules sont dites à vide, parce que la pression résiduelle qui y règne est extrêmement faible. La tension recueillie aux bornes de la résistance R ne dépend que de deux facteurs : le flux lumineux — à condition de considérer que sa composition spectrale est constante — et la tension de polarisation.

Supposons \mathcal{F} constant. La courbe représentant la variation du courant produit par la cellule est donnée ci-après (Fig. 4-2). Nous remarquerons : le courant croît tout d'abord, avec la tension, puis il se produit, vers 50 à 60 volts, une sorte de saturation. Lorsque la tension atteint cette valeur on peut donc considérer que tous les électrons libérés par la cathode sont

pratiquement captés par l'anode ; il n'y a par conséquent, dans ce cas, aucun avantage à accroître la tension de polarisation, cette augmentation ne produisant pas d'effet sensible.

Si maintenant nous supposons la tension V constante et assez élevée pour provoquer la saturation et si nous faisons varier le flux lumineux dirigé vers la cellule, le courant anodique variera proportionnellement à ce flux lumineux. De plus la vitesse

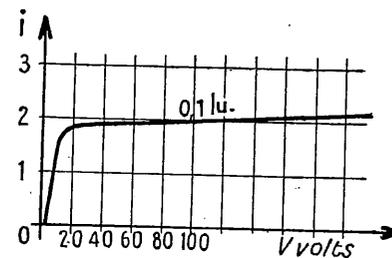


Fig. 4-2.

des électrons est telle à l'intérieur du tube qu'aucune inertie sensible n'est constatée dans son fonctionnement en régime variable. Enfin, nous notons que le fait de travailler dans la zone de saturation rend le système pratiquement indépendant de la valeur instantanée de la tension V de polarisation.

(1) Radiations électromagnétiques serait plus exact.

CHAPITRE 5.

LES DISTORSIONS DIVERSES AFFECTANT L'ENREGISTREMENT OPTIQUE ET LES SOLUTIONS ADOPTÉES POUR REMÉDIER A CES DÉFAUTS

Lors de l'étude des distorsions introduites par les opérations de gravure et de lecture sur disques, nous avons distingué d'une part les distorsions linéaires d'autre part les distorsions non linéaires. Une telle classification des distorsions pourrait également être maintenue dans ce qui suit, mais en raison du fait qu'un même phénomène produit à la fois et de manière notable, ces deux formes de distorsion, il nous a paru plus logique de choisir une autre présentation et d'adopter un classement faisant intervenir la cause des défauts et non les défauts eux-mêmes.

Défauts résultant de la largeur finie du spot, des imperfections diverses et du traitement photographique.

Pour faciliter l'exposé de ces questions, et sauf indications contraires nous ferons porter notre étude sur le système à densité fixe, nous bornant à indiquer ici que dans la plupart des cas il est possible d'étendre les résultats ainsi obtenus, au système à densité variable.

5-1. Largeur finie du spot; effet de fente.

Dans ce qui précède nous avons admis pour simplifier l'étude du problème que le spot était un trait lumineux sans épaisseur appréciable. Ceci n'est pas tout à fait exact et pour être rigoureux il conviendrait de considérer que le spot, malgré sa très faible épaisseur — 20 à 25 microns —, a néanmoins des dimensions finies, dont il est impossible de ne pas tenir compte, tant à l'enregistrement qu'à la lecture.

1° A l'enregistrement.

La figure 5-1 donne :

en *a*, la représentation théorique d'un enregistrement à densité fixe, c'est-à-dire une représentation dans laquelle, ainsi que nous l'avons supposé jusqu'à maintenant, l'épaisseur du spot est infiniment faible et n'intervient pas dans le processus d'impression du film ;

en *b*, l'enregistrement tel qu'il s'effectue, pratiquement, à l'aide d'un spot de 20 microns environ d'épaisseur.

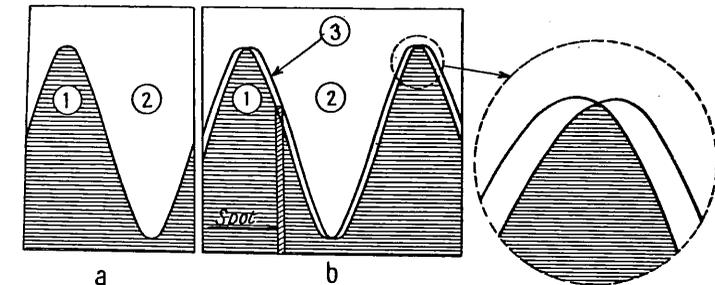


FIG. 5-1. — Enregistrement à densité fixe d'une fréquence de 1000 p.p.s

Ces deux éléments de la figure mettent en évidence l'apparition d'une zone 3 entre les deux zones 1 et 2, respectivement opaque et transparente, matérialisant l'enregistrement. Nous observerons que cette troisième zone, manifestation de l'effet de fente présente :

une *opacité décroissante* de 1 vers 2 : impression du film de plus courte durée de l'un ou de l'autre angle supérieur du spot ;

une *déformation* de la sinusoïde : creux élargis, sommets effilés.

Il est, en outre, aisé de comprendre que, la largeur de cette zone étant sensiblement constante, le dessin de la sinusoïde enregistrée sera d'autant plus affecté par « l'effet de fente » que la longueur d'onde enregistrée sera plus faible.

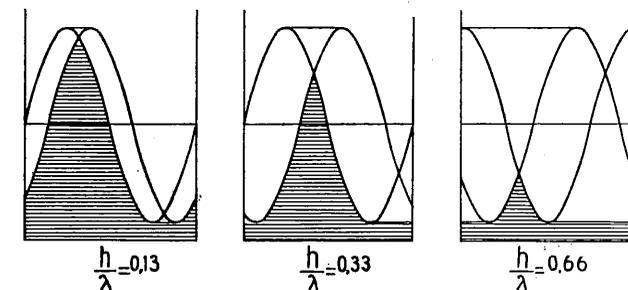


FIG. 5-2.

Le phénomène se traduira donc par une distorsion non linéaire, due à la déformation du « dessin » des signaux enregistrés, et par une distorsion linéaire, provoquant un affaiblissement des fréquences élevées.

La figure 5-2 permet d'ailleurs d'apprécier la variation de ces distorsions, en fonction du rapport h/λ de l'épaisseur du spot à la longueur d'onde du

signal. Pour faciliter cette représentation nous avons arbitrairement maintenu fixe la longueur d'onde de la sinusoïde et, par contre, fait croître dans le rapport voulu l'épaisseur du spot.

Il est facile de constater que pour $l = 1$ il n'y aurait plus inscription du signal et qu'il se produirait pour cette valeur une extinction du son.

Avec les normes d'enregistrement 35 mm standard cette extinction se produirait pour $f = 22800$ p.p.s.

L'enregistrement à densité variable est également affecté par le phénomène « d'effet de fente », mais, dans ce cas, la distorsion n'intéresse que l'amplitude du signal, il n'y a pas introduction de nouvelles fréquences et donc pas de distorsion harmonique.

2° A la lecture.

Examinons successivement les résultats obtenus par l'exploration à l'aide d'un même spot (surface hachurée) des trois fragments de piste bilatérale représentant l'enregistrement de trois fréquences 400, 2000 et 8000 périodes par seconde (Fig. 5-3).

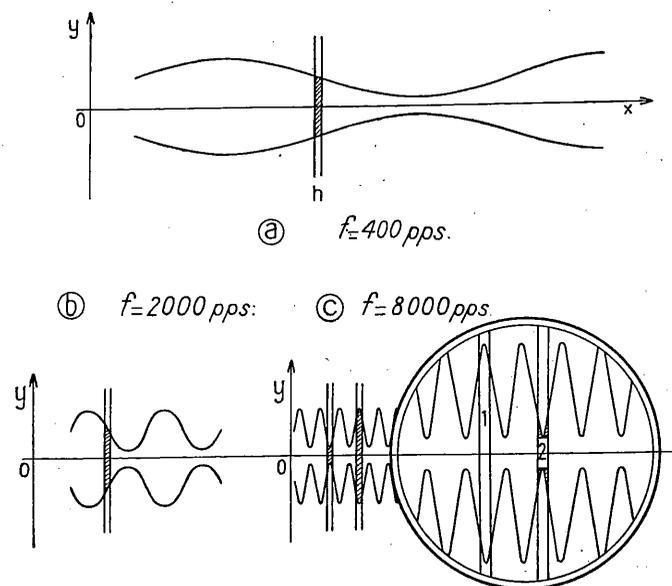


FIG. 5-3.

Pour les fréquences 400 et 2000 p.p.s l'exploration de la piste est manifestement satisfaisante; par contre, à 8000 p.p/s l'épaisseur du spot — ou de la fente qui lui livre passage — n'est plus négligeable par rapport aux dimensions de la sinusoïde. Il se produit alors une distorsion, qui a pour effet d'affaiblir les fréquences élevées du spectre enregistré.

On démontre que cette distorsion affecte la forme représentée par la courbe ci-dessous (Fig. 5-4) et qu'elle est limitée à la portion de courbe MP. Les points d'abscisse 1 ($h = \lambda$), 2 ($h = 2 \lambda$), 3 ($h = 3 \lambda$) correspondent aux extinctions du son déjà signalées.

Il n'existe pas de solution permettant de s'affranchir entièrement de « l'effet de fente », mais on peut en réduire les conséquences par l'utilisation d'un spot aussi fin que possible. Pratiquement on ne peut guère descendre en dessous de 12 à 15 microns.

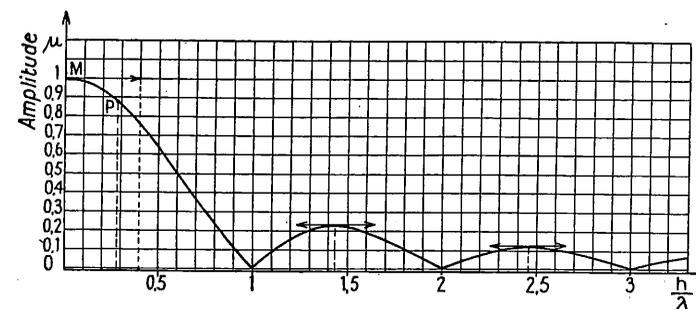


FIG. 5-4.

5-2. Imperfections diverses.

Après avoir signalé de nouveau l'effet de denture — voir page 153 — nous nous bornerons d'une part à donner quelques indications sur les imperfections affectant le spot lumineux à l'enregistrement et à la lecture, d'autre part à faire remarquer qu'exception faite des dispositifs d'enregistrement statiques (lampe à leur, cellule de Kerr), les systèmes dynamiques (light-valve, galvanomètre à miroir...) introduisent des distorsions linéaires par suite de la résonance des équipages mobiles.

Imperfections du spot.

Obliquité de sa position. — Tout comme pour l'effet de fente, l'obliquité du spot introduit de la distorsion linéaire et non linéaire en densité fixe et de la distorsion linéaire seulement en densité variable. L'existence de cette distorsion d'amplitude est d'ailleurs utilisée pour le calage convenable de la fente. Il suffit en effet, lors de la lecture d'un film portant une fréquence de 6 à 7000 p.p.s, de retenir le réglage donnant la tension de sortie maximum.

Non uniformité de son éclairage. — La non uniformité d'éclairage de la fente provoque de la distorsion harmonique dans le cas de l'enregistrement à densité fixe, par contre elle est sans effet sur la qualité des enregistrements effectués à densité variable.

5-3. Imperfections du traitement photographique.

Pour des raisons de conservation des originaux sur lesquelles il est inutile d'insister, les films utilisés dans les salles de projection ne sont que des copies indirectes réalisées à partir de contre-types.

Les inscriptions du dernier positif résultent donc d'une série de traitements photographiques que l'on peut définir de la manière suivante :

Première opération : obtention du négatif.

Deuxième opération : *négatif*, contre-type positif.

Troisième opération : contre-type positif, contre-type négatif.

Quatrième opération : contre-type négatif, *positif*.

On conçoit, dès lors, le soin tout particulier dont il faut entourer chacune de ces opérations, si l'on veut éviter une multiplication excessive des imperfections inhérentes au système d'enregistrement et de « duplicatage », imperfections dont nous nous proposons de citer ici les principales.

Un examen d'ensemble de l'opération d'enregistrement nous conduit à remarquer tout d'abord, afin de schématiser nos indications, que les émulsions photographiques subissent deux actions relativement intenses : l'*impression* et le *développement*.

a) L'impression.

L'impression s'effectue ainsi que nous le savons de manière très *localisée* mais avec *force*. Ces deux caractères de l'action de la lumière provoquent des phénomènes secondaires non négligeables dont nous retiendrons les deux plus importants : l'étalement de l'image par irradiation et le phénomène de *halo*.

ÉTALEMENT DE L'IMAGE. — Le phénomène d'étalement de l'image est provoqué par la réflexion diffuse de la lumière sur les cristaux de bromure d'argent dispersés dans la gélatine de l'émulsion photographique. Cette lumière diffuse, impressionne les zones de faible éclaircissement nul et en particulier celles qui se situent en bordure de l'image optique. Il en résulte que l'image photographiée est plus grande que l'image optique, cette déformation allant croissant avec l'exposition.

PHÉNOMÈNE DE HALO. — Le halo est un phénomène parasite qui se manifeste sous la forme d'un cerne dégradé entourant l'objet. Ainsi, l'image d'une fente donnera sur le film non par une seule image mais un « triplet », composé de l'image principale et de deux images secondaires, situées à faible distance, parallèlement et de part et d'autre de la première (Fig. 5-5 a).

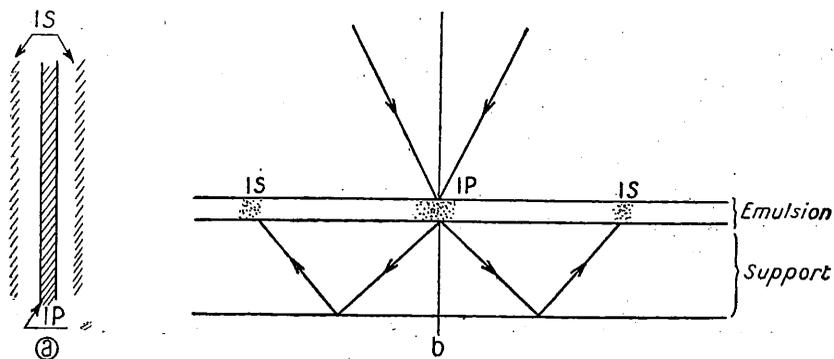


Fig. 5-5.

Ce phénomène résulte de la réflexion totale de certains rayons lumineux sur la face arrière du support. La position du cerne, son intensité et son dégradé dépendent donc d'une part de la nature de la lumière incidente, d'autre part de la nature et de l'épaisseur du support.

b) Le développement.

Le développement des émulsions provoque également des distorsions. Les causes en sont multiples, aussi nous bornerons-nous à mentionner :

l'action irrégulière du révélateur sur des *éléments voisins* ;

la contraction de la gélatine (effet Ross).

ACTION IRRÉGULIÈRE DU RÉVÉLATEUR. — Sous l'action du révélateur, le bromure d'argent est réduit à l'état d'argent pur finement divisé. Il est évident que cette action chimique a pour effet d'appauvrir la couche de révélateur en contact avec la zone considérée. Si donc deux *espaces élémentaires voisins* ont été « impressionnés » de manière très différente, on peut comprendre aisément que, le révélateur se déplaçant lentement d'un espace à l'autre, l'action sur le deuxième espace soit modifiée et que les densités qui en résultent ne soient pas dans le rapport des « expositions ». Il y aura donc de ce fait *distorsion de densité* : c'est là le phénomène connu sous le nom d'*effet Eberhard*. En outre, des distorsions géométriques dues à la différence d'action du révélateur d'une zone à l'autre se manifesteront également. Ces distorsions géométriques ont reçu le nom d'*effet Kostinsky*.

CONTRACTION DE LA GÉLATINE. — Cet effet de contraction de la gélatine est dû également à l'action du révélateur. Mais il varie, non seulement avec la composition de celui-ci, mais encore en fonction de la dimension et de la densité de l'image. On constate que ce sont les images de petites dimensions et de faible densité qui sont proportionnellement les plus affectées par cet effet de gélatine ou effet Ross.

5-4. Les remèdes.

1° Action sur la lumière.

Nous avons vu que les phénomènes de diffusion de la lumière et de halo résultaient, pour le premier de la réflexion diffuse sur les cristaux de bromure et pour le second de la réflexion sur la face inférieure du support. Il est évident que ces phénomènes seront d'autant moins sensibles que la pénétration de la lumière dans l'épaisseur du film sera plus faible. D'autre part, l'expérience montrant que pour une émulsion donnée l'absorption varie avec la longueur d'onde des rayons lumineux utilisés, on a tout naturellement été conduit à rechercher la longueur d'onde donnant les meilleurs résultats dans ce domaine. L'utilisation d'un rayonnement ultraviolet à l'enregistrement et au tirage permet d'obtenir les « insolations » superficielles recherchées.

2° Action sur le développement.

L'action sur le développement portera sur deux points :

Amélioration des conditions matérielles de développement, opération effectuée par un mécanisme convenable, à défilement continu, avec agitation énergique du révélateur.

Choix d'un gamma infini, aussi voisin que possible du gamma d'utilisation, afin d'éviter les développements écourtés.

5-5. L'intermodulation et son application à la mesure des distorsions en densité variable.

Les mesures de distorsion harmonique, relatives aux enregistrements, sont toujours délicates en raison :

— des variations de la vitesse de défilement de la piste; ces variations bien que faibles dans les meilleures réalisations sont cependant inévitables ;
— de la présence du bruit de fond, présence d'autant plus gênante que la mesure porte sur de plus faibles taux de distorsion.

Les méthodes de mesure traditionnelles ne permettant donc pas d'effectuer des recherches dans le domaine de la *haute qualité*, il fallait pour « progresser » s'engager dans une autre voie.

C'est ce que firent MM. FRAYNE et SCOVILLE en mettant au point un nouveau système de mesure décrit sommairement ci-après. Ce système basé sur les faits suivants, donne, dans le domaine de l'enregistrement variable, des résultats très intéressants.

Si l'on applique deux tensions de fréquence différente à l'entrée d'un système affecté de distorsion non linéaire, les fréquences obtenues à la sortie de ce système comporteront, outre les harmoniques résultant de la déformation des signaux appliqués à l'entrée, un ensemble de fréquences n'ayant aucun rapport harmonique entre elles et avec les fréquences d'entrée.

C'est le phénomène de l'intermodulation (1); il se manifeste à l'écoute par une sorte de grondement accompagnant les « aigus ».

(1) Comment se produit l'intermodulation. — Considérons un dispositif quelconque représenté par un rectangle et par quatre bornes : deux bornes d'entrée — phénomène (a) fonction du temps — et deux bornes de sortie — phénomène (b).

La caractéristique (b) = f(a) de ce transformateur peut prendre des formes très diverses. Nous n'en retiendrons que deux : la droite 1, forme idéale caractérisant le comportement linéaire du système et l'absence de distorsion harmonique et, une courbe quelconque 2 (fig. 5-7).

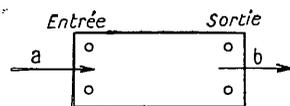


FIG. 5-6.

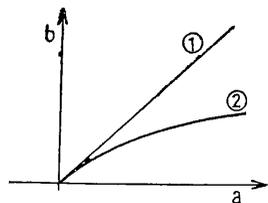


FIG. 5-7

Supposons, pour simplifier le problème, que cette courbe soit du 2^e degré: $b = a + n a^2$. Si a est la valeur instantanée d'une sinusoïde pure $A \sin \omega t$ nous avons :

$$b_1 = A \sin \omega t + n \frac{A^2}{2} (1 - \cos 2 \omega t), \text{ introduction de l'harmonique 2.} \quad (1)$$

Si a est constitué par la superposition de 2 sinusoïdes pures $A \sin \omega t$ et $P \sin pt$ il vient alors

$$b_2 = A \sin \omega t + P \sin pt + n \frac{A^2}{2} (1 - \cos 2 \omega t) + n \frac{P^2}{2} (1 - \cos 2 pt) + 2 n AP [\cos (\omega + p) t - \cos (\omega - p) t] \quad (2)$$

La superposition de deux fréquences à l'entrée fait donc apparaître des fréquences entièrement nouvelles ($\omega + p$) et ($\omega - p$) créés par le « transformateur ». L'apparition de ces fréquences constitue le phénomène d'intermodulation.

Des caractéristiques plus complexes, du 3^e degré ou de degré supérieur, donneraient naissance à d'autres combinaisons : ($2 \omega + p$); ($2 \omega - p$); ($2 p + \omega$) ($2 p - \omega$) etc...

Avant d'étudier l'application de ce nouveau système de mesure voyons rapidement quels sont les avantages principaux qu'il procure :

— possibilité, sous certaines conditions, de multiplier par 4 environ la valeur de la grandeur mesurée. ;

— possibilité d'exploration de toute l'étendue de la bande passante du dispositif étudié; Nous noterons, en particulier, la possibilité de mesures dans la partie haute du spectre, alors qu'à s'en tenir aux notions découlant du procédé classique d'essai, ces distorsions ne sont pas prises en considération, les fréquences indésirables se situant au delà du spectre à transmettre ;

— contrôle du comportement du dispositif — qu'il s'agisse de l'enregistrement, d'un ampli, etc... — en régime *variable*, par opposition avec les mesures classiques, faites en régime *permanent*.

Application de ce principe de mesure à l'enregistrement à densité variable. — Considérons la courbe globale de reproduction d'un enregistrement $b = f(a)$ (FIG. 5-8).

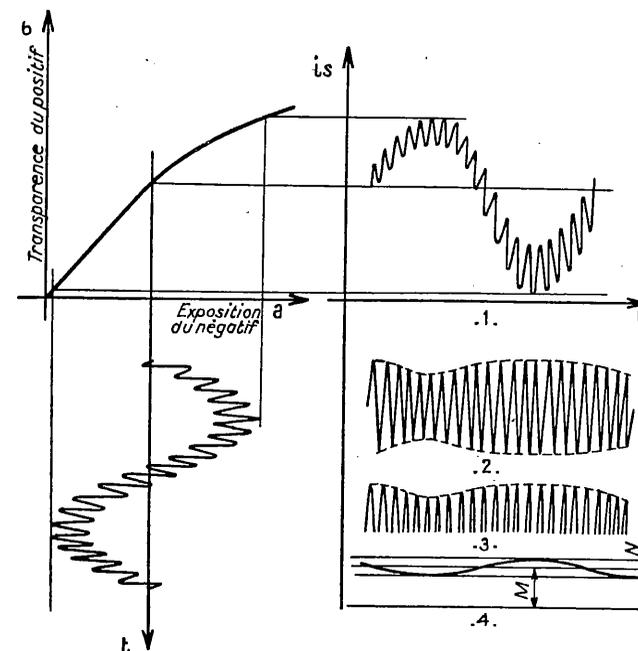


FIG. 5-8.

Si nous appliquons à l'entrée du modulateur de lumière deux tensions sinusoïdales pures, 100 et 2000 p.p.s. par exemple, les amplitudes étant respectivement 4 et 1, nous obtenons une courbe ayant l'allure représentée en 1;

l'élimination de la basse fréquence par filtrage en 2; le redressement du courant 2000 p.p.s. d'amplitude variable ainsi obtenu, 3, conduit finalement, après nouveau filtrage passe bas, à la courbe 4; c'est

L'ondulation de cette courbe — d'amplitude N et de fréquence 100 — qui définit l'intermodulation dont le taux, par rapport à l'amplitude 2000 p.p.s. a pour expression

$$\frac{N}{M} = \rho$$

On en tire, compte tenu de l'équation (2) page 164 :

$$\rho = \frac{2 n A P}{P} = 2 n A$$

Si maintenant, nous substituons aux deux fréquences appliquées à l'entrée du « transformateur » une seule fréquence dont l'amplitude soit égale à $(A + P)$ il vient :

$$b = (A + P) \sin \omega t + n \frac{(A + P)^2}{2} (1 - \cos 2 \omega t)$$

Dans ce cas, le taux d'harmonique (2^e harmonique seulement) sera égal à

$$K = n \frac{(A + P)}{2}$$

Enfin le rapport entre le taux d'intermodulation et le taux harmonique s'établit ainsi :

$$\frac{\rho}{K} = 4 \frac{A}{(A + P)}$$

Si l'on choisit A et P de telle sorte que $A = 4 P$ — ce qui ne soulève aucune difficulté pratique — il vient finalement :

$$\frac{\rho}{K} = 3,2$$

Pour une caractéristique du 3^e degré et avec les mêmes hypothèses on démontre également que :

$$\frac{\rho}{K} = 3,84$$

Ces deux relations montrent, ainsi que nous l'indiquons plus haut, que la méthode dite d'intermodulation multiplie par 4 environ les taux de distorsion harmoniques mesurés par la méthode classique.

5-6. La mesure des distorsions géométriques en densité fixe.

Si une piste sonore enregistrée à densité fixe est « correcte » sa transparence moyenne reste pratiquement constante lorsque l'amplitude du signal, supposé sinusoïdal, varie de 0 à A_{\max} .

En schématisant le problème, nous pouvons représenter les trois cas possibles par les courbes de la figure 5-9 :

Ces courbes montrent, à l'évidence, que si, pour l'exposition correcte, la valeur moyenne de la transparence de la piste reste constante, dans les deux autres cas, au contraire, la valeur moyenne diminue ou augmente, selon la déformation du tracé de la sinusoïde. Il serait possible d'en effectuer la mesure en utilisant un amplificateur à courant continu et de déterminer ainsi la variation d'amplitude de la transparence moyenne lorsque

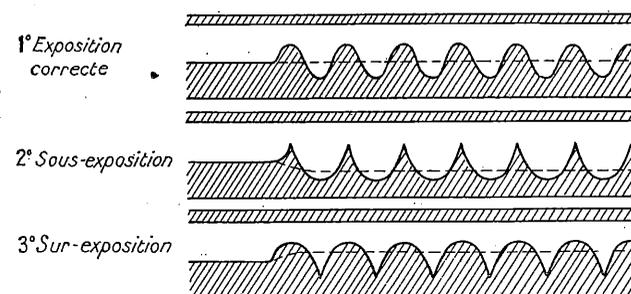


FIG. 5-9.

l'on passe d'un signal nul à un signal maximum. Pratiquement, on préfère utiliser pour cette mesure également une solution dynamique. Si nous modulons la fréquence enregistrée (généralement 8000 p.p.s.) par une basse fréquence (400 p.p.s. par exemple) la transparence moyenne sera modulée à la même fréquence et selon un processus que la figure 5-10 définit assez nettement pour qu'il soit utile d'y insister.

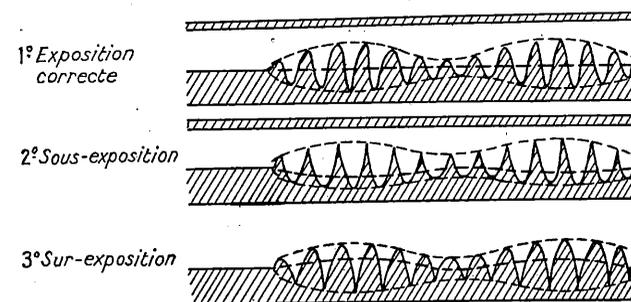


FIG. 5-10.

En faisant défiler diverses bandes d'essai dans un lecteur optique, on en déduit les conditions de traitement photographique donnant le minimum de distorsion.

5-7. Le bruit de fond et les méthodes utilisées pour obtenir sa réduction.

Le bruit du fond dans l'enregistrement optique a, comme dans les autres systèmes d'enregistrement, des causes très variées. Nous en signalerons

quelques-unes classées en deux catégories selon qu'elles ont pour origine le film lui-même ou le dispositif de lecture.

1° Le film.

Le bruit de fond provoqué par le film lui-même résulte en quelque sorte de la lecture des modulations parasites qui y sont inscrites. Nous distinguerons la modulation due à la granulation de l'émulsion et celle dont les causes sont accidentelles.

LA GRANULATION. — Contrairement à ce que l'œil nous laisse percevoir, l'émulsion photographique a une structure discontinue et granuleuse. L'examen d'un film au microscope permet de constater que les grains d'argent sont agglomérés en amas irréguliers inégalement répartis dans la masse de l'émulsion. On notera, à ce propos, que, dans une certaine mesure, la granulation dépend moins de la grosseur des grains d'argent présents dans une émulsion que de la facilité avec laquelle ils s'agglomèrent. Des études, se rapportant à ces problèmes, ont permis de constater que pour une même émulsion la granulation — donc le bruit de fond — varie avec la densité et le gamma de développement de l'image et avec la nature de la lumière utilisée. Nous préciserons en particulier que l'utilisation du rayonnement ultra-violet réduit le phénomène de granulation.

LES CAUSES ACCIDENTELLES. — Nous classerons sous l'intitulé causes accidentelles :

- les défauts de fabrication de la pellicule ;
- les abrasions et les rayures de sa surface ;
- la présence de poussières, etc...

2° Le lecteur.

Le lecteur introduit également du bruit de fond. Il s'agit principalement du « souffle » provoqué par les fluctuations électroniques à l'intérieur des cellules photoélectriques, le bruit de fond des amplificateurs étant faible dans les appareils bien construits.

Du fait de ses origines le bruit de fond affecte l'ensemble du spectre enregistré et il ne peut bien entendu être question de l'éliminer par filtrage. D'autre part, nous noterons de nouveau que son importance varie en raison inverse de la valeur du signal enregistré. Pratiquement, les sons faibles et les silences seront donc seuls à être troublés par sa présence.

En outre, il est aisé de comprendre, en examinant l'énumération des causes de bruit de fond, que la valeur de celui-ci sera d'autant plus réduite, que le flux lumineux utile frappant la cellule photoélectrique sera lui-même plus faible (1), l'opacité de l'émulsion masquant les défauts du film et réduisant le souffle de la cellule.

Ces deux remarques ont été à la base de diverses réalisations. Nous nous

(1) On démontre qu'en densité variable la réduction du bruit de fond est proportionnelle à l'accroissement de densité et en densité fixe à la racine carrée de la diminution de largeur de la piste.

bornerons à exposer, ci-après, quelques-uns des principes adoptés, tant en densité variable qu'en densité fixe.

Nous distinguerons 4 systèmes différents :

- a) Variation automatique de la valeur moyenne de « l'inscription » par action directe sur le modulateur.
- b) Variation automatique de la largeur de la piste par un organe auxiliaire indépendant du modulateur.
- c) Action sur la courbe de réponse (pré et post-distorsion).
- d) Action sur le mode d'inscription (système push pull, classe B) en densité fixe seulement.

Donnons, tout d'abord, quelques indications générales sur le principe de variation automatique dont il est question en a et b.

Ces dispositifs appelés « noiseless » — sans bruit — comportent, quel que soit le détail de réalisation, les deux éléments suivants (Fig. 5-11) :

1° un redresseur alimenté par une fraction de la modulation ;

2° un amplificateur à courant continu agissant soit sur le modulateur (cas a), soit sur un organe auxiliaire (cas b).

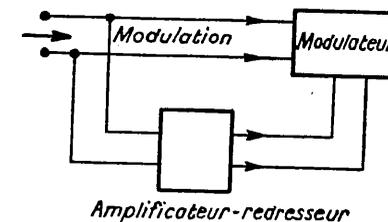


FIG. 5-11.

a) VARIATION DE LA VALEUR MOYENNE DE L' « INSCRIPTION » PAR ACTION DIRECTE SUR LE MODULATEUR.

Système à densité variable (cas de la lampe à lueur).

Le système comprend, outre les éléments déjà étudiés, un dispositif

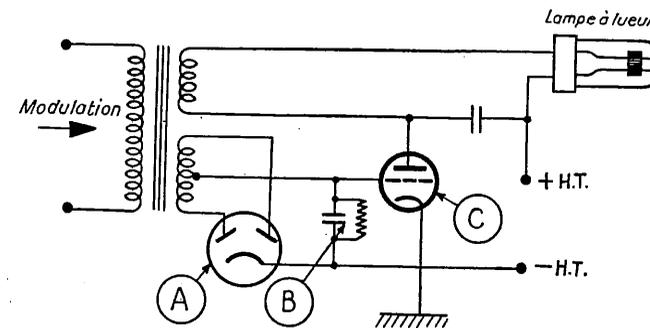


FIG. — 5-12. — Schéma de principe (1) du dispositif « noiseless ».

« noiseless » dont le montage représenté Fig. 5-12 donne un exemple :

(1) Volontairement très dépouillé, où ne figurent que les éléments « fonctionnels ».

système redresseur A donnant une tension continue dont la valeur varie au rythme de la modulation, polarisateur B et enfin une triode C⁽¹⁾ dont l'action dans le circuit de la lampe à lueur provoque des variations de l'intensité lumineuse moyenne du modulateur.

Système à densité fixe. — En densité fixe, on peut utiliser un dispositif redresseur analogue. Le courant continu de polarisation traverse alors le modulateur : le cadre du galvanomètre à miroir, par exemple.

Des pistes modifiées selon ce procédé de *noiseless* par polarisation sont représentées figure 5-13.

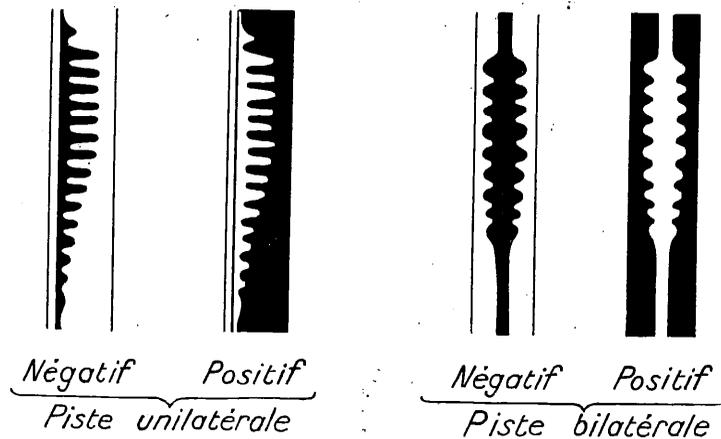


FIG. 5-13.

b) VARIATION AUTOMATIQUE DE LA LARGEUR DE LA PISTE PAR UN ORGANE AUXILIAIRE.

Nous donnons ci-dessous à titre d'exemple le schéma optique d'un système à densité fixe comportant l'utilisation d'un volet extérieur.

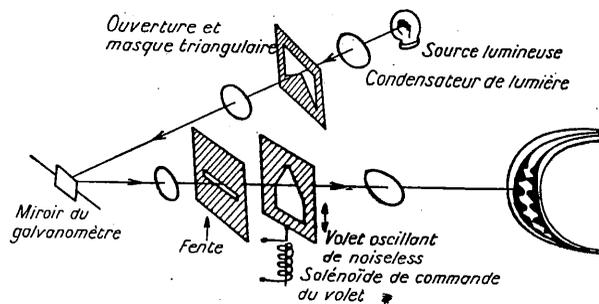


FIG. 5-14.

Voici deux types de pistes à volets extérieurs :

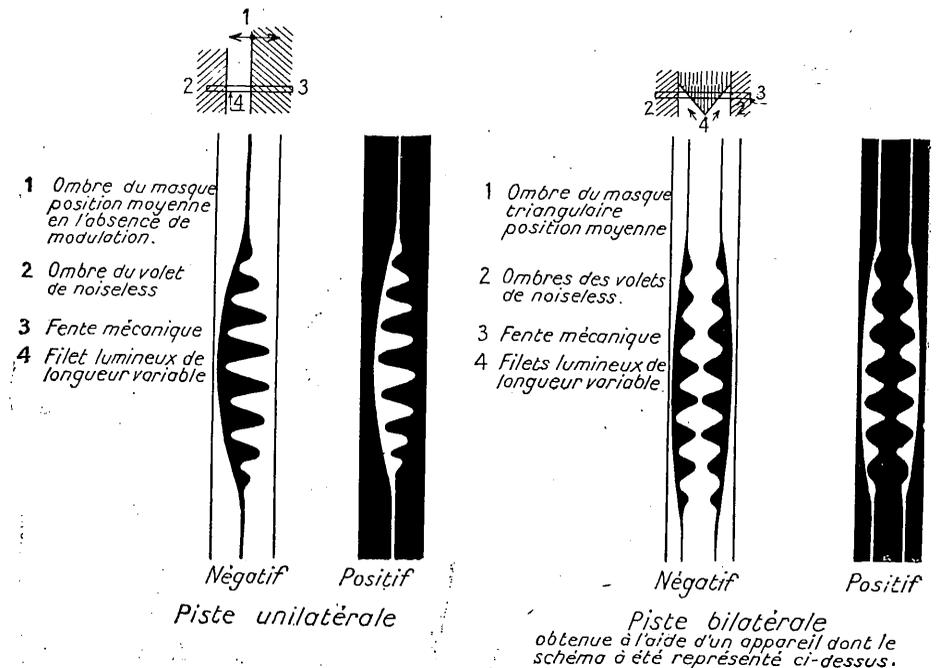


FIG. 5-15.

c) ACTION SUR LA COURBE DE RÉPONSE — PRÉ ET POST-DISTORSION. —

Nous n'insisterons pas sur le procédé de « pré-distorsion » ou de « pré-accatuation », procédé maintenant classique et bien connu qui consiste à améliorer le rapport signal-bruit de fond d'une partie du spectre au moyen d'une déformation de la courbe de réponse.

Nous indiquerons simplement que, dans le cas de l'enregistrement optique, l'utilisation de cet artifice est possible et ne soulève pas de difficulté excessive. En pratique, les fréquences élevées du spectre sont accentuées de 12 db environ à 10000 p.p.s, pour l'enregistrement et réduites des mêmes valeurs à la lecture.

d) ACTION SUR LE MODE D'INSCRIPTION — SYSTÈME PUSH PULL CLASSE B. (1).

— Les systèmes qui viennent d'être étudiés, pour intéressants qu'ils soient, présentent néanmoins le défaut de ne pas régler de manière pleinement satisfaisante le problème de l'enregistrement des sons faibles. Pour ces sons, en effet, l'existence d'une piste de largeur appréciable donne inévitablement un rapport signal-bruit relativement faible.

Le procédé que nous allons examiner maintenant constitue, de ce point de vue, la solution idéale, la piste s'évanouissant en même temps que la

(1) En fait il peut s'agir d'une penthode.

(1) En densité fixe seulement.

modulation et réapparaissant avec elle. Ce procédé, qui est en quelque sorte la transposition du système d'amplificateur connu sous le nom « push pull classe B », du domaine électrique au domaine lumineux, peut être défini de la manière suivante :

Le faisceau lumineux émis par le modulateur est dirigé alternativement vers l'une des deux pistes ponctuées inscrites sur le film. Ainsi chaque sinusoïde est partagée en deux éléments indépendants sur deux pistes différentes avec un déphasage de 180 degrés. En voici la représentation (FIG. 5-16).

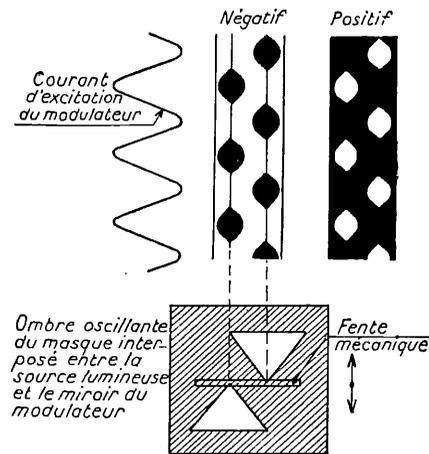


FIG. 5-16.

ce type d'enregistrement n'est utilisé que pour les travaux préparatoires en laboratoire, c'est-à-dire pour les enregistrements primaires (1).

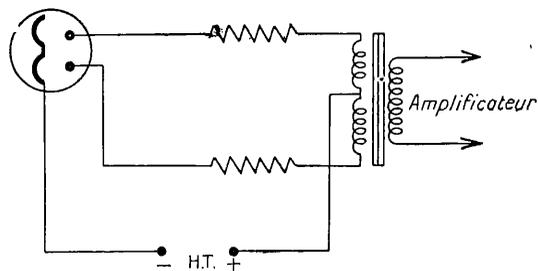


FIG. 5-17.

Les avantages présentés par de tels dispositifs fonctionnant en classe A ou en classe B sont ceux que l'on retire habituellement de l'utilisation des montages symétriques bien réglés : suppression des harmoniques pairs ; ré-

(1) Sans y insister nous tenons à indiquer cependant que l'enregistrement push pull classe B n'est qu'un cas particulier d'une catégorie d'enregistrements dits « symétriques en opposition ».

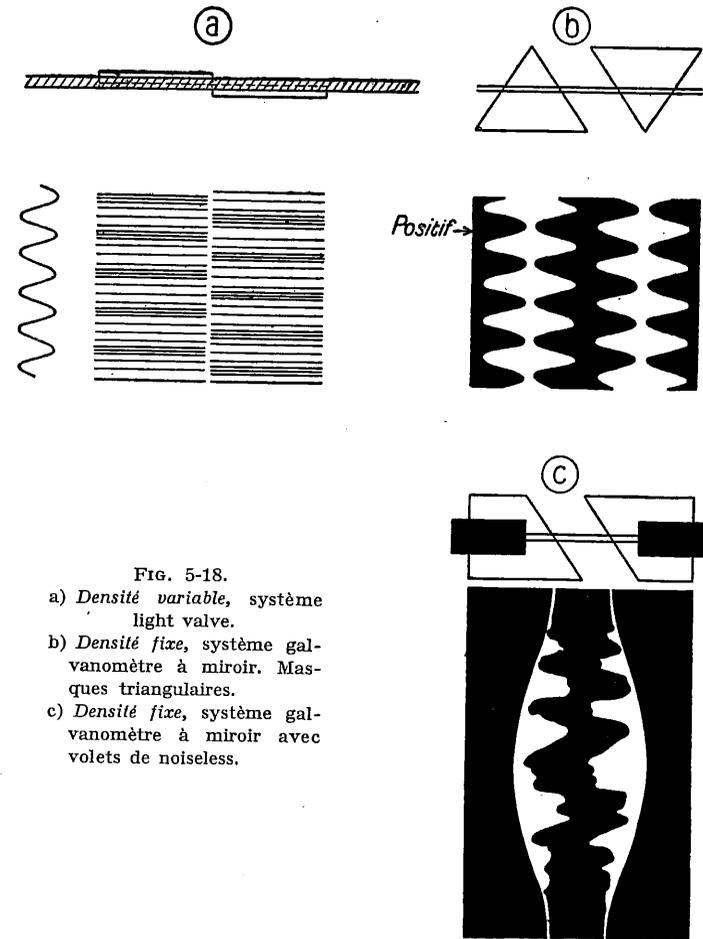


FIG. 5-18.
a) Densité variable, système light valve.
b) Densité fixe, système galvanomètre à miroir. Masques triangulaires.
c) Densité fixe, système galvanomètre à miroir avec volets de noiseless.

duction de l'intermodulation introduite par la courbure inférieure caractéristique de transformation.

Nous donnons à titre indicatif la représentation de 3 pistes push pull classe A, l'une étant réalisée en densité variable, les deux autres en densité fixes (Fig 5-18).

Bibliographie

LOBEL et DUBOIS. — *Manuel de sensitométrie*. Publications Paul Montel, Paris.

LOVICH. — *Sensitométrie des films sonores*. Laboratoires de recherches Kodak Pathé, Vincennes (1943).

GUIBERT. — *Cellules Photoélectriques et Cinéma sonore*. Cours Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications.

SANLAVILLE. — *Cours professé à l'Institut des Hautes Etudes Cinématographiques*.

FRAYNE et WOLFE. — *Elements of Sound Recording*. John Wiley et Sons Inc. New-York.

TROISIÈME PARTIE

ENREGISTREMENT MAGNÉTIQUE

Avant-propos.

L'enregistrement magnétique est basé, comme tous les autres procédés d'enregistrement, sur une altération de ce que nous avons convenu d'appeler le « phonogramme » ; mais cette altération, apparente pour les systèmes étudiés précédemment, *échappe à nos sens* dans le cas de l'enregistrement magnétique.

Bien que les performances de ce nouveau procédé d'inscription des sons aient été améliorées de manière considérable durant ces dix dernières années et qu'elles soient même parvenues en un temps relativement court à un haut degré de perfection, cette circonstance, ajoutée au fait que certains phénomènes de base sont encore imparfaitement connus, rend parfois malaisée l'étude et la présentation des différents aspects de cette nouvelle technique. Nous ne pouvons malheureusement échapper à ces difficultés ; aussi, dans ce qui suit, à côté de données indiscutables et éprouvées, nous présenterons, faute de mieux dans l'état actuel des choses, quelques démonstrations et explications fondées sur des hypothèses.

L'exposé de ce sujet sera divisé en sept chapitres :

- I Historique et généralités.
- II Rappel de notions fondamentales de magnétisme se rapportant au sujet traité.
- III Exposé général sur le principe de l'enregistrement magnétique.
- IV Données sur le phonogramme.
- V Divers procédés d'enregistrement.
- VI Défauts affectant le procédé dit « magnétophone ».
- VII Quelques réalisations.

176

177

CHAPITRE PREMIER

HISTORIQUE ET GÉNÉRALITÉS

En 1898, le savant danois Valdemar POULSEN construit le premier enregistreur magnétique. Cet appareil appelé « Télégraphone » est présenté au public durant l'exposition universelle de 1900.

C'est seulement vingt-neuf ans plus tard qu'un ingénieur allemand, le Docteur STILLE, réalise, grâce à l'emploi des amplificateurs, un dispositif dont le fonctionnement est jugé, à l'époque, assez satisfaisant.

La B. B. C. s'intéresse à ce nouvel appareil en vue de son utilisation et, fin 1932, ses services peuvent exploiter un certain nombre de machines de ce type. Les premiers modèles sont progressivement perfectionnés mais ils demeurent cependant très encombrants. Les phonogrammes surtout sont d'un poids élevé et l'un des principaux avantages du système, sa robustesse, est très sensiblement réduit par l'encombrement de la machine et des bobines servant à l'enroulement des rubans d'acier.

Durant cette période, des firmes allemandes étudient et mettent au point un film en celluloïd extrêmement léger et mince (5/100 de mm d'épaisseur) recouvert d'une poudre magnétique. L'appareil utilisant ce film est appelé « magnétophone ». Il est bien moins encombrant que l'appareil STILLE et d'un maniement plus facile. Ses performances tout d'abord assez médiocres — il n'était utilisé initialement que comme dictaphone — se sont trouvées radicalement améliorées par l'utilisation d'une polarisation supra-sonique dont le principe avait été posé par CARLSON et CARPENTIER dès 1927 (1). Sa courbe de réponse permet actuellement d'atteindre et même de dépasser 10000 p.p.s, sans distorsions importantes et avec un bruit de fond relativement faible.

Dans l'état actuel de la technique, le domaine d'emploi des divers types d'appareils magnétiques peut être défini de la manière suivante :

(1) Brevet américain. A. C. biasing du 30 août 1927.

Appareils à ruban d'acier :

Ces appareils ne se sont guère révélés pratiques à l'usage et ils ont dû être abandonnés, peu de temps après leur mise en service, l'évolution de la technique des transmissions ayant mis en évidence leur insuffisance de qualité pour une utilisation en radiodiffusion. Nous ne les citons donc, ici, que pour mémoire.

Appareils à fil :

Les Américains utilisent, pour certains de leurs reportages, des appareils à fil. Ceux-ci sont généralement robustes et d'un encombrement réduit. De plus, leur manipulation ne nécessitant aucune connaissance technique spéciale, il est possible de les faire exploiter par les radio-reporters. Nous noterons cependant que les performances de tels appareils sont relativement médiocres et que leur utilisation sur les réseaux de radiodiffusion se trouve de ce fait fort limitée.

Appareils à film :

Les appareils à film sont, en fait, les plus pratiques et, techniquement, de beaucoup les meilleurs.

Le film se coupe, se colle, s'efface et se recommence ; les montages radiophoniques en sont grandement facilités. Enfin nous noterons qu'une bobine de film ne pèse qu'un kilo et permet cependant un enregistrement de 25 à 30 minutes.

Indépendamment des problèmes d'exploitation courants, réglés dans les meilleures conditions à l'aide de ces appareils à film, on peut songer à des utilisations particulières :

diffusion d'indicatifs de qualité ou de signaux de pause. Dans ce cas, il suffirait de réaliser un film bouclé sur lui-même, pour obtenir d'une manière indéfinie la diffusion du même motif musical.

ligne à retard variable.

L'utilisation judicieuse de plusieurs têtes de lecture, permettrait d'obtenir une réverbération variable dans des conditions quasi-optima.

CHAPITRE 2.

RAPPEL DE NOTIONS ÉLÉMENTAIRES DE FERRO-MAGNÉTISME

L'enregistrement magnétique est fondé sur l'existence de l'*aimantation rémanente*. Il nous apparaît donc nécessaire, avant d'aborder l'étude de ce mode d'enregistrement, de rappeler les quelques notions élémentaires figurant ci-après :

On sait qu'il suffit de placer un morceau de fer dans un champ magnétique pour obtenir un aimant. Ce phénomène bien connu n'est cependant qu'un aspect particulier du phénomène plus général désigné par l'expression « *aimantation induite* ».

On démontre qu'il existe toujours entre les trois grandeurs \mathcal{H} , \mathcal{B} , J , désignant respectivement le champ inducteur, l'induction magnétique et l'aimantation induite (le vecteur champ et le vecteur aimantation ayant même direction et même sens), la relation algébrique suivante :

$$\mathcal{B} = \mathcal{H} + 4 \pi J$$

Pratiquement les corps ferro-magnétiques sont les seuls qui manifestent une *induction appréciable*.

Nous nous bornerons donc à étudier les phénomènes se rapportant à ces substances.

Prenons deux éprouvettes, l'une étant constituée par de l'acier ordinaire, l'autre par du fer doux, et effectuons les quelques essais suivants :

2-1. Tracé de la courbe $\mathcal{B} = f(\mathcal{H})$.

Il est facile, à l'aide d'un perméamètre, de faire varier le champ inducteur du système et de tracer la courbe $\mathcal{B} = f(\mathcal{H})$ pour une substance donnée. L'allure générale de cette courbe est représentée figure 2-1, pour les deux éprouvettes de fer et d'acier que nous avons choisies.

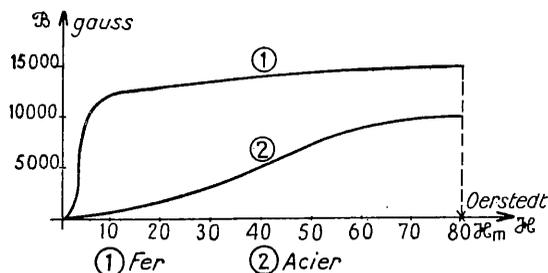


FIG. 2-1.

Nous remarquerons que pour les valeurs du champ, égales ou supérieures à \mathcal{H}_m , l'induction \mathcal{B} demeure sensiblement constante : c'est le phénomène de *saturation*.

2-2. Tracé du cycle d'hystérésis.

Utilisons le dispositif qui nous a permis de tracer les courbes précédentes et opérons de la même façon en notant par points les valeurs de \mathcal{B} correspondant aux valeurs de \mathcal{H} (Fig. 2-2). Faisons, tout d'abord, croître progressivement depuis 0, le champ inducteur \mathcal{H} ; puis lorsque celui-ci a atteint la valeur \mathcal{H}_m correspondant à la « saturation », réduisons progressivement sa valeur jusqu'à l'annuler. Nous constatons, que la nouvelle courbe décrite se situe *au-dessus* de la branche ascendante ou branche vierge décrite précédemment et qu'en particulier pour $\mathcal{H} = 0$, \mathcal{B} conserve une valeur appréciable (de l'ordre de 8 à 10000 gauss). L'ordonnée $0\mathcal{B}_r$ représente l'*induction rémanente*.

Poursuivons notre essai, inversons le sens du champ inducteur et faisons-le croître lentement. L'induction rémanente décroît progressivement et s'annule pour le champ \mathcal{H}_c appelé champ coercitif (la valeur de ce champ varie dans des proportions considérables selon le matériau considéré : permalloy : inférieure à un oersted ; acier au carbone : quelques dizaines d'oersteds ; aciers spéciaux : quelques centaines d'oersteds).

Faisons croître l'intensité de champ négatif appliqué à l'éprouvette. La valeur de \mathcal{B} décroît et pour $\mathcal{H} = -\mathcal{H}_m$, correspond au point A' symétrique du point A par rapport à 0. Comme dans l'opération précédente, faisons décroître \mathcal{H}_m . La valeur absolue de \mathcal{B} décroît également mais la courbe qu'elle décrit se situe *au-dessous* de la courbe tracée précédemment et en particulier, pour $\mathcal{H} = 0$, \mathcal{B} conserve une valeur représentée par l'ordonnée $0\mathcal{B}_r$ dont la valeur absolue est égale à l'induction rémanente.

Si nous faisons, à nouveau, croître \mathcal{H} de 0 jusqu'en \mathcal{H}_m la valeur de \mathcal{B}

du système et de tracer la courbe $\mathcal{B} = f(\mathcal{H})$ pour une substance donnée. L'allure générale de cette courbe est représentée figure 2-1, pour les deux éprouvettes de fer et d'acier que nous avons choisies.

Nous remarquerons que pour les valeurs du champ, égales ou supérieures à \mathcal{H}_m , l'induction \mathcal{B} demeure sensiblement constante : c'est le phénomène de *saturation*.

décrira une courbe ayant pour extrémité le point A, mais dont le tracé se situera au-dessous de la branche vierge OA.

Ainsi, si nous appliquons à notre éprouvette un champ inducteur oscillant entre deux valeurs extrêmes \mathcal{H}_m et $-\mathcal{H}_m$, l'induction \mathcal{B} oscillera également entre \mathcal{B}_m et $-\mathcal{B}_m$ en décrivant la courbe caractéristique représentée ci-dessous. On sait que cette courbe a reçu le nom de *cycle d'hystérésis*.

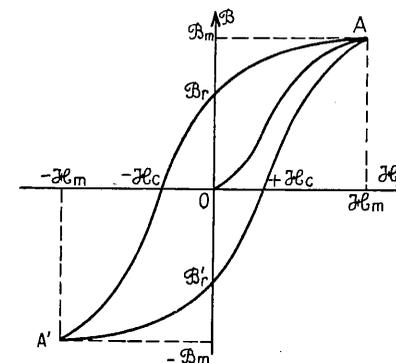


FIG. 2-2.

2-3. Tracés de cycles d'hystérésis « d'amplitudes » variables.

Au lieu de faire osciller le champ inducteur entre les valeurs constantes \mathcal{H}_m et $-\mathcal{H}_m$, donnons-lui successivement pour maxima les valeurs absolues suivantes : \mathcal{H}_1 , \mathcal{H}_2 , \mathcal{H}_3 , etc... Nous obtiendrons alors, le réseau de courbes tracé figure 2-3.

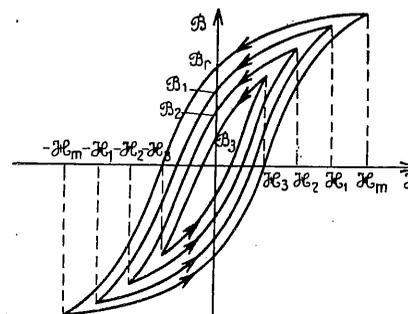


FIG. 2-3.

Nous noterons que ces courbes ne se chevauchent pas et peuvent même être considérées comme étant sensiblement parallèles.

Nous noterons que ces courbes ne se chevauchent pas et peuvent même être considérées comme étant sensiblement parallèles.

2-4. Tracé du cycle d'hystérésis dans le cas de « recu magnétique ».

L'éprouvette ayant été aimantée à saturation (point A de la figure 2-4) annulons le champ inducteur. L'induction décrit la courbe A \mathcal{B}_r . Appliquons un champ négatif $-\mathcal{H}_1$, l'induction prend une valeur correspondant à l'ordonnée de M.

Faisons maintenant croître le champ de $-\mathcal{H}_1$ à $+\mathcal{H}_m$, le point représentatif de l'induction décrira la courbe MCA.

Le contour MCA \mathcal{B}_r M est appelé cycle mineur d'hystérésis.

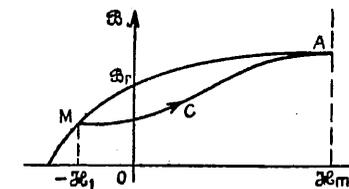


FIG. 2-4.

L'opération peut être effectuée pour des valeurs différentes du champ, nous donnons, à titre d'exemple, deux autres contours (FIG. 2-5).

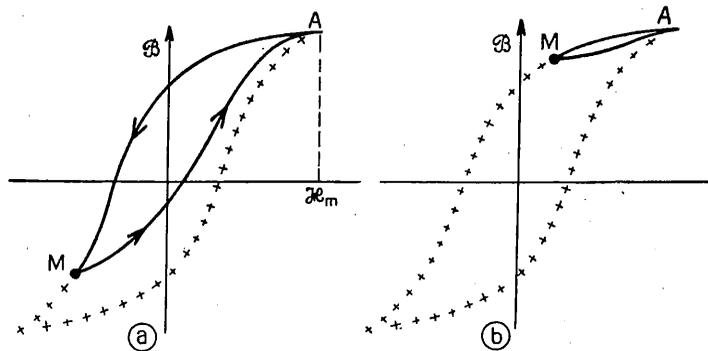


FIG. 2-5.

2-5. Résultats.

L'ensemble de ces essais montrent que :

- 1° **L'induction** : a une valeur relativement élevée ;
n'est pas proportionnelle au champ inducteur ;
tend vers une saturation, dès que le champ inducteur atteint quelques dizaines (ou quelques centaines) d'œersteds ;
disparaît, d'autant moins facilement, que le *champ coercitif est élevé* ;
a une valeur, dépendant non seulement du champ inducteur, mais également de l'état initial du matériau.

2° **Les cycles d'hystérésis** : décrits dans un même sens, ne se chevauchent pas et peuvent même être considérés comme étant sensiblement parallèles.

3° **Les inductions rémanentes** : sont rangées, sur l'axe des ordonnées, dans le même ordre que les champs maxima auxquels elles correspondent.

S'agissant d'éléments ferro-magnétiques distincts, on peut donc dire que les inductions rémanentes correspondant à ces éléments sont en quelque sorte les images des champs inducteurs maxima qui leur ont été appliqués.

2-6. Champ démagnétisant.

Pratiquement, pour effectuer les essais décrits ci-dessus, il a fallu incorporer l'éprouvette dans un circuit magnétique fermé ne produisant aucun effet extérieur (FIG. 2-6).

Or, le rôle essentiel du matériau aimanté est précisément de produire un champ.

Lorsque l'éprouvette est séparée du dispositif inducteur — en fait dès la création d'un entrefer — il y a naissance d'un champ démagnétisant et le point figuratif de l'induction se déplace de \mathcal{B}_r en M. On démontre (1) que l'angle $MO\mathcal{B} = \alpha$ dépend de la forme géométrique de l'aimant : il est d'autant plus grand que le rapport l/S de la longueur du barreau à sa section droite est plus faible. Le champ démagnétisant sera donc plus sensible pour les aimants courts.

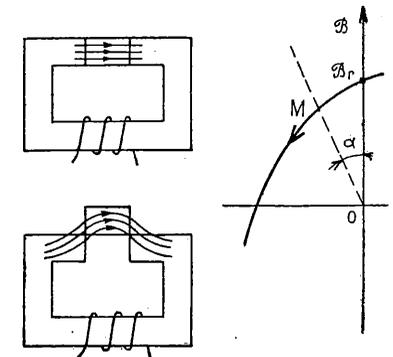


FIG. 2-6.

Considérons deux éprouvettes ayant les mêmes dimensions et la même induction rémanente \mathcal{B}_r , mais dont les forces coercitives sont différentes (FIG. 2-7). La droite OD dont la pente dépend, comme nous venons de l'indiquer, des dimensions géométriques des éprouvettes, coupe les courbes $\mathcal{B} = f(H_c)$ en deux points M_1 et M_2 .

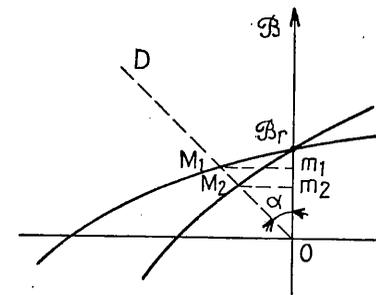


FIG. 2-7.

Nous constatons que, toutes choses égales par ailleurs, l'effet du champ démagnétisant est d'autant moins sensible que le matériau présente une force coercitive élevée.

2-7. Effet de « récupération ».

Considérons maintenant deux autres éprouvettes aimantées dans des conditions identiques, ayant la même section, mais possédant des longueurs différentes. Il est possible à l'aide de la courbe $\mathcal{B} = f(H_c)$ de déterminer ainsi que nous venons de le voir la valeur de \mathcal{B}_r pour chacune de ces deux éprouvettes (FIG. 2-8).

Le point figuratif correspondant à l'éprouvette la plus longue sera en 1 par exemple, l'autre étant en 2.

Supposons maintenant qu'un shunt magnétique relie les deux pôles de chacune de ces éprouvettes. Le champ démagnétisant disparaîtra aussitôt et les

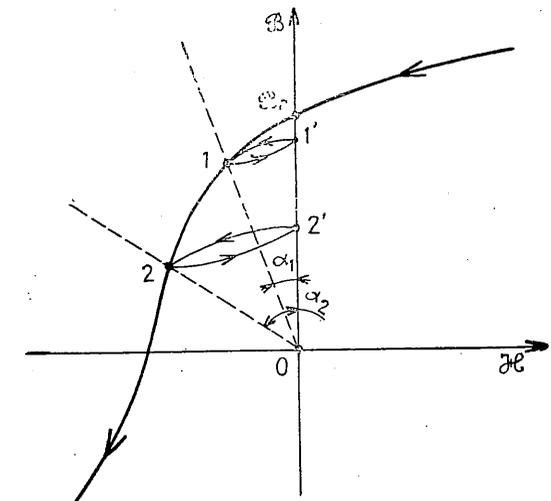


FIG. 2-8.

(1) Voir en annexe 1 page 225.

points 1 et 2 viendront se ranger 1' et 2' sur l'axe des ordonnées, en décrivant deux branches de cycles mineurs d'hystérésis.

La suppression du shunt fait réapparaître le champ démagnétisant et les deux points figuratifs 1' et 2' se déplacent respectivement en 1 et 2.

La répétition de l'expérience donne lieu aux mêmes phénomènes et aux mêmes déplacements des points 1 et 2. Nous en retiendrons ce qui suit :

1° La présence d'un shunt permet de *recupérer une partie*, mais une partie seulement, de l'induction rémanente perdue du fait de l'existence du champ démagnétisant.

2° Les cycles mineurs 1, 1' et 2, 2' peuvent être parcourus un grand nombre de fois, sans modification de l'état final de l'aimant. Autrement dit, il est possible de *capter* puis de *libérer* le flux d'un aimant sans altérer la valeur de son aimantation rémanente.

2-8. Sauts de Barkhausen.

Dans ce qui précède, nous nous sommes bornés à rappeler les principaux phénomènes magnétiques mis en évidence par les procédés magnétométriques ordinaires. Il en existe d'autres généralement considérés comme secondaires mais dont l'un se trouve lié aux questions d'enregistrement magnétique. Il s'agit en l'occurrence du caractère discontinu du cycle d'hystérésis, phénomène le plus souvent désigné par l'expression « Sauts de Barkhausen » du nom de celui, qui, le premier, en montra l'existence.

Les moyens mis en œuvre pour illustrer le caractère discontinu du processus d'aimantation peuvent être décrits succinctement de la manière suivante (Fig. 2-9) :

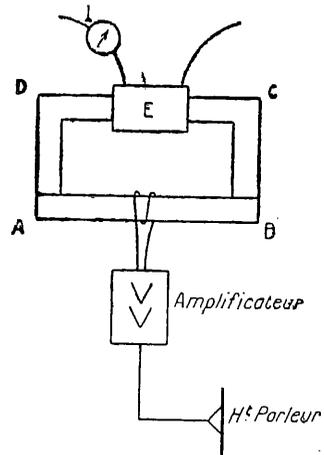


FIG. 2-9.

Ces bruits résultent de changements dans l'orientation des domaines élémentaires ferro-magnétiques du matériau essayé. Ces changements d'orientation sont fonction non seulement du champ extérieur mais encore d'autres facteurs tels que les tensions internes. Ils ont une grande importance en ce qui concerne le bruit de fond.

Un électro-aimant E permet de faire varier l'aimantation du circuit ABCD.

Une bobine exploratrice ayant pour noyau le matériau essayé est reliée à un haut-parleur par l'intermédiaire d'un amplificateur.

Le dispositif étant monté comme l'indique la figure ci-contre, il est possible d'effectuer deux séries d'essais :

- 1° Variation lente du courant I ;
- 2° Variation brusque de ce même courant.

Durant ces essais, le haut-parleur fait entendre dans le premier cas une succession de craquements isolés ; dans le second cas, au contraire, une sorte de bref crépitement.

CHAPITRE 3. PRINCIPES GÉNÉRAUX DE L'ENREGISTREMENT MAGNETIQUE

3-1. Enregistrement.

L'inscription des sons se fait au moyen d'une « tête », dite d'enregistrement, qui *modifie localement* l'état magnétique d'un phonogramme, ruban, fil..., se déplaçant devant elle. Cette opération transforme, en quelque sorte la modulation appliquée à l'enregistreur, en « *images magnétiques* », dessinées sur le phonogramme.

Inversement, à la lecture, le champ magnétique développé par ces « images » induit un courant dans une « tête de lecture », dont la constitution est identique à la précédente.

Il existe deux manières de magnétiser le phonogramme :

- transversalement ;
- longitudinalement.

Les figures ci-dessous montrent d'une part les moyens mis en œuvre pour obtenir un enregistrement transversal et un enregistrement longitudinal, d'autre part la distribution des lignes de force résultant de l'aimantation du phonogramme dans l'un et l'autre cas.

a) Enregistrement transversal.

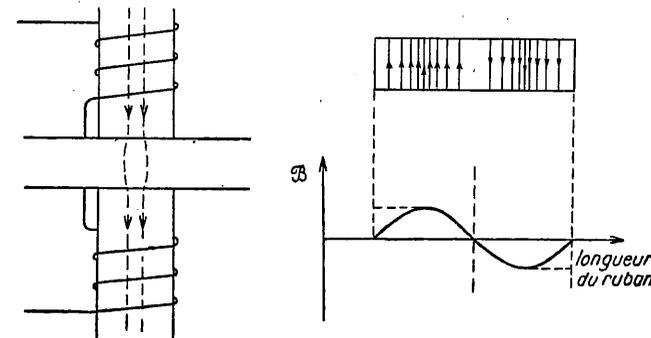


FIG. 3-1.

b) Enregistrement longitudinal.

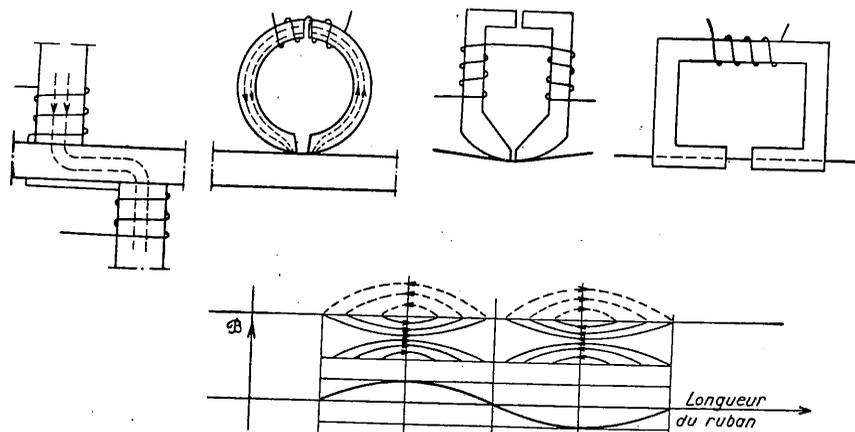


FIG. 3-2.

L'enregistrement longitudinal est le seul qui soit utilisé actuellement et, en pratique, on donne généralement à la tête d'enregistrement la forme toroïdale représentée ci-dessous.

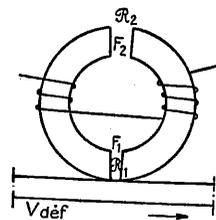


FIG. 3-3.

Si on admet, comme c'est très vraisemblable, que les fuites magnétiques au voisinage de la fente F_1 sont assez faibles lorsque le ruban est en position de travail, c'est-à-dire appliqué sur la partie inférieure du tore (voir fig. 3-3) l'expression du flux circulant dans le noyau magnétique et dans le phonogramme — compte tenu de notre hypothèse — a pour expression :

$$\varphi = \frac{\mathcal{F}}{\mathcal{R}_t} \quad \text{avec} \quad \left\{ \begin{array}{l} \mathcal{F} = \frac{4\pi}{10} ni \\ \mathcal{R}_t = \mathcal{R}_1 + \mathcal{R}_2 \end{array} \right. \begin{array}{l} \mathcal{R}_1 \text{ réductance au voisinage de la fente } F_1, \\ \mathcal{R}_2 \text{ réductance entrefer arrière.} \end{array}$$

En particulier, si l'on admet que le courant i est sinusoïdal, chaque élément du ruban sera soumis au flux

$$\varphi = \frac{K I_{\max} \sin \omega t}{\mathcal{R}_1 + \mathcal{R}_2}$$

\mathcal{R}_1 , réductance du circuit magnétique aux points de contact du tore et du phonogramme, est très faible devant \mathcal{R}_2 . Nous pouvons donc la négliger. Dans ce cas, l'expression de φ peut être mise sous la forme :

$$\varphi = K I_{\max} \sin \omega t$$

A chaque instant, la portion du ruban située en regard de la fente F_1 est donc le siège d'un flux alternatif dont la pulsation est celle du courant d'excitation et dont l'amplitude est directement proportionnelle à ce courant.

Le ruban se déplaçant à la vitesse V devant la fente, nous pourrions écrire (en supposant pour l'instant que l'opération s'effectue d'une manière parfaite, c'est-à-dire de telle manière que l'induction rémanente dans le ruban soit à chaque instant proportionnelle à φ) :

$$\text{Valeur instantanée de } \mathcal{B}_r = K\varphi = K_1 I_{\max} \sin \omega t ;$$

Ou encore, en considérant la distance d'un point quelconque du ruban par rapport à l'origine :

$$\text{Valeur instantanée : } \mathcal{B}_r = K_1 I_{\max} \sin \omega \frac{x}{V}, \quad V \text{ vitesse de défilement.}$$

Nous appuyant sur les notions de magnétisme qui ont été rappelées plus haut et en particulier sur le fait de l'existence de la rémanence et du champ coercitif, nous concevons fort bien, que le phonogramme défilant devant la « tête d'enregistrement » puisse être magnétisé localement. L'ensemble des « images magnétiques » dessinées, dans le cas qui nous préoccupe, constitue donc un véritable « étallement » du flux pulsant mis en œuvre dans l'entrefer.

Ce flux pulsant peut avoir, soit une amplitude indépendante de la fréquence, soit au contraire, une amplitude variant selon une certaine loi (proportionnellement à f ou à son carré par exemple).

S'agissant d'un mode d'enregistrement ne faisant pas intervenir l'oscillation de systèmes matériels et ne comportant, par conséquent, ni déplacements, ni inertie, ni résonance, il apparaît que l'on ait intérêt à faire travailler le matériau du phonogramme dans des limites qui soient les mêmes quelle que soit la fréquence.

Ceci implique le fonctionnement de l'appareil à courant constant :

$$\mathcal{B}_r = K I_{\max} = \text{const.}$$

Nous savons déjà comment il est possible d'obtenir un tel résultat (voir page 106), nous n'y reviendrons pas.

3-2. Lecture.

Un dispositif identique (1) à celui qui a servi pour l'enregistrement peut être utilisé pour la « lecture » du phonogramme (Fig. 3-4).

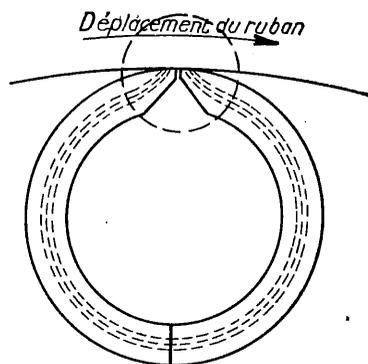
Il suffit, en effet, de faire défiler, dans le même sens et à la même vitesse que lors de l'enregistrement, les « images magnétiques » inscrites sur le phonogramme pour que les champs externes de ces images induisent, dans le tore, un flux variable lequel, à son tour, donne naissance à une force électromotrice qu'il est possible de recueillir aux bornes des enroulements de la tête de lecture :

$$e = \frac{d\varphi}{dt} = k \omega \Phi \sin \omega t$$

$$E = k I \omega$$

(1) Au dimensionnement près de la fente comme nous le verrons lors de l'étude des réalisations. Cependant dans certains appareils portatifs simplifiés une seule et même tête assure par simple commutation les fonctions « enregistrement », « lecture » et « effacement ».

Ainsi que le montre cette formule, toutes choses étant supposées constantes par ailleurs, la f.e.m. croît avec la fréquence. Pour obtenir une courbe



de réponse satisfaisante, il est donc nécessaire d'insérer un correcteur relevé-graves dans le circuit de lecture.

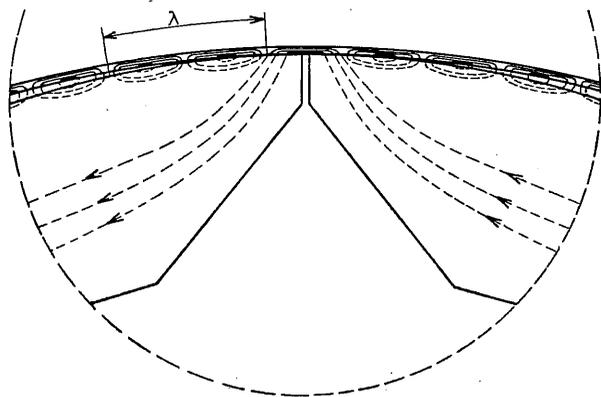


FIG. 3-4.

3-3. Effacement.

Dans ce qui précède, nous avons, volontairement, dans un but de simplification, négligé de considérer l'état magnétique du phonogramme au moment où il pénètre dans le champ de l'entrefer de gravure.

Or, nous savons (voir les notions sur le ferro-magnétisme) que la valeur du magnétisme rémanent est non seulement fonction du champ inducteur, mais également de l'état antérieur du matériau.

Pour que les images inscrites soient fidèles, il est donc nécessaire de réaliser un système de magnétisation dans lequel l'état antérieur du matériau n'intervienne pas.

Ceci peut être obtenu au moyen d'une opération très simple, appelée « effacement ».

Cette opération dont le but final est le même quel que soit le procédé utilisé, *supprimer toute inscription antérieure*, peut s'effectuer de deux façons :

1° Par saturation du matériau. Chaque point du phonogramme présente alors une rémanence élevée mais *constante* de valeur \mathcal{B}_r .

2° Par suppression de toute trace de magnétisme dans ce matériau. Chaque point du phonogramme est alors ramené à l'état neutre, on dit encore à l'état vierge (voir point 0 fig. 3-5).

Saturation du matériau (1). — Pour obtenir la saturation du matériau, il suffit de le faire traverser un champ continu intense, généralement 4 ou 5 fois le champ maximum utilisé à l'enregistrement (2).

« Neutralisation » du matériau. — Un matériau est dit neutre lorsqu'il est complètement désaimanté.

Cet état peut être atteint en appliquant au matériau :

— un champ coercitif \mathcal{H}_c de valeur convenable. Pratiquement, il est impossible de régler de manière parfaite la valeur de ce champ et le procédé ne peut guère être utilisé.

— un champ alternatif dont la valeur, tout d'abord élevée, diminue ensuite progressivement jusqu'à « l'évanouissement ». Il existe d'ailleurs deux moyens d'appliquer un tel champ à un matériau :

1° en faisant varier l'intensité d'excitation traversant les bobines excitatrices d'un circuit magnétique. Dans ce cas, le courant, de valeur élevée, est réduit progressivement jusqu'à suppression totale ;

2° en rapprochant puis en *éloignant* le matériau d'un champ magnétique alternatif intense et constant.

La deuxième méthode est évidemment la seule qu'il soit possible d'utiliser dans le cas de l'effacement du magnétisme d'un ruban.

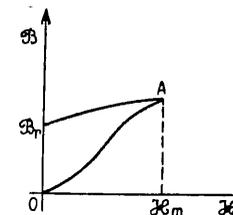


FIG. 3-5.

3-4. Constitution des appareils d'enregistrement magnétique.

En résumé, tous les appareils d'enregistrement magnétique, quel que soit

leur mode de fonctionnement, comportent les

éléments essentiels représentés schématiquement par la figure 3-6 :

une tête d'effacement

une tête d'enregistrement

une tête de lecture.

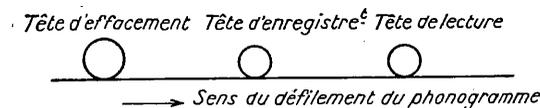


FIG. 3-6.

(1) Méthode adoptée lors des premières réalisations ainsi que nous le verrons par la suite.

(2) En vue d'améliorer le rendement de l'opération, certains chercheurs ont suggéré de superposer au champ continu un champ alternatif supersonique. Ce procédé n'a pas reçu d'application.

CHAPITRE 4.

LE PHONOGRAMME

Les phonogrammes, dont nous verrons plus loin qu'ils jouent *un rôle essentiel* dans le fonctionnement des appareils magnétiques, peuvent être réalisés selon deux techniques très différentes. On distingue :

1° Le type « massif ». — Constitué par un matériau magnétique homogène se présentant sous forme métallique. Le phonogramme prend alors soit la forme d'un ruban (1), soit la forme d'un fil (2).

2° Le type composite. — Les phonogrammes de ce type, mis au point entre 1940 et 1950, utilisent exclusivement des oxydes de fer. Ils affectent deux formes très nettement différenciées.

Forme « imprégnée » : les oxydes très finement divisés sont incorporés dans la masse d'un matériau inerte du point de vue magnétique, mais indispensable en tant que liant.

Forme « plaquée » ou « couchée » : une très mince couche d'oxydes est étendue sur un support non magnétique (vinyle, papier, acétate de cellulose) jouant un rôle exclusivement mécanique.

Dans l'état actuel de la technique, les phonogrammes du type « couché » sont les seuls qui soient utilisés pour les enregistrements de qualité. Nous leur consacrerons le court développement qui suit.

L'étude et l'expérience montrent que pour donner au matériau actif du phonogramme les caractéristiques magnétiques les plus favorables, il est nécessaire de recourir à des oxydes ou à des alliages aux grains très fins. De tels matériaux ont des qualités mécaniques médiocres ; ils sont généralement cassants et peu résistants, ce qui rend très malaisée, voire impossible toute opération d'étirage ou de laminage

(1) Forme adoptée pour l'enregistrement sur machines Stille ; système entièrement abandonné.

(2) Utilisé surtout pour les appareils destinés aux reportages.

On a donc, dès l'origine des études consacrées à ce problème, opéré une discrimination entre les fonctions mécanique et magnétique du phonogramme ; la première étant assurée par un support résistant, la seconde par une mince pellicule active, plaquée sur ce support.

Les premières réalisations furent constituées par un ruban d'acétate de cellulose recouvert d'une couche active de 10 à 20 microns d'épaisseur. Celle-ci, composée de 90 % de *magnétite* ($\text{Fe}^3 \text{O}^4$) et de 10 % de liant, comportait des grains dont les dimensions n'étaient pas inférieures à 2 microns.

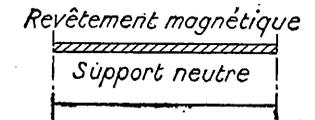


Fig. 4-1.

Après avoir essayé diverses autres solutions dont celle du matériau « imprégné » déjà signalée, les fabricants ont tous été conduits à adopter le système « couché ». Actuellement il existe deux types de ces bandes :

la bande H.V. (Haute Vitesse), à faible coercitivité, de teinte rouge-brun foncé, mise au point tout d'abord par les Allemands et pour cette raison encore très souvent appelée « bande allemande », quelle que soit son origine ;

la bande B.V. (Basse Vitesse), à forte coercitivité, de teinte jaune clair, mise au point et utilisée tout d'abord par les Américains et souvent appelée pour cette même raison « bande américaine ».

Bien que, ainsi que nous le verrons par la suite, ces deux types de phonogrammes aient des propriétés fort différentes la composition chimique de leur partie active répond cependant à la même formule chimique $\text{Fe}^2 \text{O}^3 \gamma$ (1).

La différence de résultats observée aux essais paraît tenir essentiellement au fait que la structure cristalline des oxydes n'est pas la même dans les deux cas. Nous noterons, en particulier, que les cristaux de la bande H.V. sont cubiques avec des arêtes ne dépassant pas un micron, alors que le matériau B.V. présente un axe privilégié, les cristaux le composant affectant pour la plupart la forme d'aiguilles de faibles dimensions (longueur et largeur respectivement de l'ordre du micron et du 1/10 de micron).

La mise au point des bandes pour magnétophone est extrêmement délicate, la simple énumération des essais auxquels elles doivent satisfaire le montrera mieux qu'un long développement.

Essais mécaniques. — Les essais mécaniques comprennent les mesures de :

- résistance à la rupture (traction et résilience) ;
- allongement ;
- planéité (vérification des courbes transversales et longitudinales) ;
- régularité de l'épaisseur de la couche active et du dimensionnement des grains qui la composent.

En outre, on doit s'assurer des possibilités de collage de ces bandes.

(1) D'après l'article de MM. LOVICH I et DERIAUD paru dans L'Onde Electrique, juillet 1952.

Essais électriques. — Les essais électriques comprennent les mesures de :

sensibilité (valeur absolue et variations de cette valeur) ;

bruit de fond sans modulation ;

bruit de fond avec modulation ; pour cet essai la modulation est représentée par l'application d'un champ continu (l'explication en est donnée page 208) ;

distorsion harmonique $D \% = f(I_p)$ et $D \% = f(V_s)$.

En outre, on vérifie la courbe de réponse de la bande pour des valeurs déterminées de polarisation.

CHAPITRE 5.

DIVERS PROCÉDÉS D'ENREGISTREMENT

L'expérience montre qu'en appliquant sans précaution la modulation aux systèmes d'enregistrement tels que nous les avons définis, les résultats obtenus sont fort décevants ; pourquoi ? c'est ce que nous nous proposons, tout d'abord, de montrer ci-après, le but final de cette étude étant l'explication du fonctionnement des divers types d'enregistreur magnétique et tout particulièrement du *magnétophone*.

Toutefois, au préalable, il nous a paru nécessaire de préciser certains aspects de la magnétisation du « phonogramme » et d'admettre que les appareils utilisés satisfont dans une très large mesure aux deux conditions suivantes :

a) L'intensité du champ en un point quelconque de la zone d'influence de l'entrefer de la tête d'enregistrement est proportionnelle, à chaque instant, au courant d'excitation appliqué à cette tête.

b) Le contour de cette zone d'influence sera tel que la décroissance du champ s'effectuera en un temps très court. *On évite ainsi que la portion de cycle d'hystérésis décrite pendant cette décroissance ne donne lieu au phénomène de recul magnétique, ce qui aurait pour effet d'effacer partiellement la bande, sitôt l'enregistrement effectué.*

Ces conditions étant satisfaites, on pourra admettre que l'impression magnétique conservée par le phonogramme a une valeur proportionnelle à β , *maximum*.

On en déduit immédiatement que la courbe à prendre en considération pour l'étude de l'enregistrement magnétique est moins le cycle d'hystérésis du phonogramme utilisé que la courbe qui en dérive et que les Américains HOLMES et CLARCK ont appelée « *caractéristique de transfert* ». On a actuellement tendance à donner à cette courbe, représentative des qualités intrinsèques de la bande pour une fréquence donnée, le nom de *caractéristique statique* par analogie avec la terminologie employée pour les tubes électroniques. Dans ce qui suit nous adopterons également cette appellation.

Nous examinerons maintenant les deux types d'enregistrement correspondant aux *deux états* du phonogramme à la sortie des têtes d'effacement, à savoir :

- 1° matériau saturé (1) ;
- 2° matériau vierge.

(1) Il s'agit de quelques indications données de manière très sommaire, ce type d'enregistrement n'étant plus utilisé.

5-1. Cas de l'enregistrement sur matériau saturé.

Par référence au cycle d'hystérésis relatif au matériau magnétique employé, nous savons que

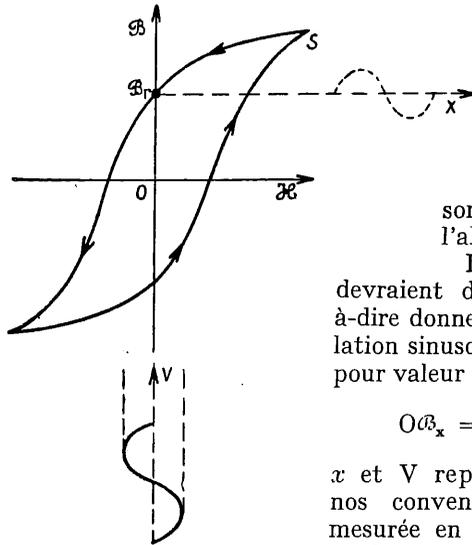


FIG. 5-1.

l'induction rémanente représentée par l'ordonnée $O\beta_r$, correspond à l'état du phonogramme à son entrée dans la zone d'influence de la tête d'enregistrement et, par conséquent, à son état à la sortie de cette même zone en l'absence de modulation (FIG. 5-1).

Les inscriptions magnétiques devraient donc pour être « fidèles », c'est-à-dire donner une image exacte d'une modulation sinusoïdale $a \sin \omega t$ par exemple, avoir pour valeur instantanée

$$O\beta_x = O\beta_r (1 + K \sin \frac{\omega x}{V})$$

x et V représentant respectivement, selon nos conventions antérieures, la distance mesurée en cm entre l'origine et un point quelconque du phonogramme et la vitesse de défilement en cm/s.

En fait, il n'en est rien. Pour l'expliquer, il suffit de tracer la *caractéristique statique* du système. Cette caractéristique se compose de deux parties bien distinctes, séparées par l'axe des ordonnées (FIG. 5-2).

A droite nous avons une horizontale d'ordonnée β_r , correspondant à la remanence de saturation du matériau qui ne peut être modifiée par un champ positif.

A gauche, au contraire, nous avons une courbe sensiblement rectiligne, tout au moins pour les amplitudes de \mathcal{H} considérées, et correspondant à l'aboutissement des cycles mineurs décrits à partir de la portion de cycle majeur a , conformément au processus schématisé ci-dessus.

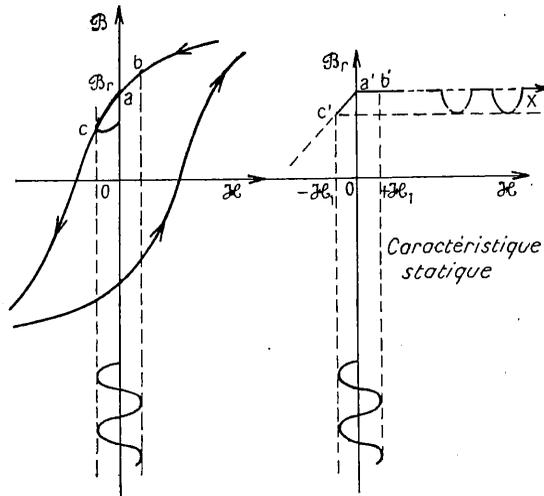


FIG. 5-2.

conformément au processus schématisé ci-dessus.

En utilisant la méthode de construction graphique habituelle, il est aisé de constater, en observant la figure, que le champ sinusoïdal, d'amplitude \mathcal{H}_1 , donne une induction rémanente constituée par un succession de demi-sinusoïdes.

Il est non moins aisé d'observer que seules les variations négatives de \mathcal{H} sont reproduites. On en déduit que, pour obtenir une inscription correcte, le champ à appliquer à un matériau saturé doit être de *polarité contraire* à celui qui a provoqué la saturation. Pour qu'il en soit ainsi dans tous les cas il suffit de *superposer un champ de polarisation négatif, d'amplitude suffisante, au champ alternatif à enregistrer* (FIG. 5-3).

Chaque élément du phonogramme recevra alors une *impulsion, dont l'amplitude est variable, mais dont la polarité est toujours négative*. Les inductions rémanentes se situeront toutes sur la branche $a'c'$ de la caractéristique statique, qui, dans cette région, pourra d'ailleurs être considérée comme étant la *caractéristique dynamique* dont nous définirons plus loin l'existence.

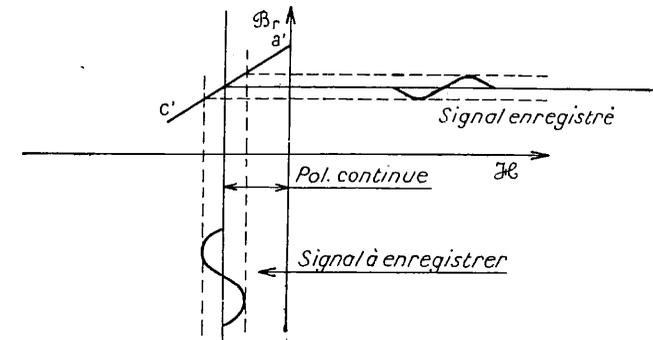


FIG. 5-3.

L'appareil STILLE, dont il a déjà été question au début de ce chapitre, fonctionnait selon ce principe de magnétisation. Cet appareil, que nous n'étudierons pas davantage, présentait deux défauts principaux :

une distorsion non linéaire élevée, résultant notamment de la présence d'harmoniques paires ;

une *faible dynamique*, due au niveau très élevé du bruit de fond.

Si le premier défaut pouvait être corrigé, en grande partie tout au moins, par l'adoption d'un système symétrique push pull, le second, qui résulte du principe même du mode d'enregistrement sur matériau saturé, n'a pu, et pour cause, être éliminé, ainsi que nous le verrons par la suite.

5-2. Enregistrement sur matériau entièrement démagnétisé.

L'application de champs variables à un matériau entièrement démagnétisé, conduit à l'exploration de la branche vierge du cycle d'hystérésis, dont

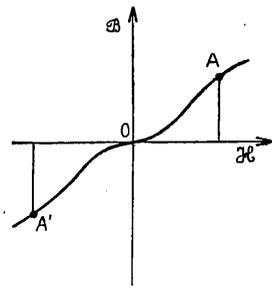


FIG. 5-4.

on sait que l'origine est particulièrement tourmentée. La reproduction à partir d'un matériau démagnétisé, utilisé tel quel, ne peut donc être satisfaisante.

Pour échapper à cette partie basse de la caractéristique, on peut songer à déplacer de O en A, par exemple, le point moyen de fonctionnement de l'appareil, en appliquant un champ continu à la tête d'enregistrement (Fig. 5-4). Cet artifice, complété le cas échéant par un système push pull à deux pistes, réduit dans une certaine mesure la distorsion harmonique mais il accroît par

contre le bruit de fond, de manière sensible. Ceci ne saurait nous surprendre car, la valeur moyenne des inscriptions magnétiques se situant en A — et A s'il existe deux pistes —, nous sommes pratiquement ramenés au type de fonctionnement avec matériau saturé.

On est alors conduit à penser qu'un système participant de deux modes d'enregistrement caractérisés le premier par l'utilisation d'un matériau neutre *laissé dans cet état en l'absence de modulation* et le second par un *calage favorable sur le cycle d'hystérésis* puisse donner des résultats intéressants.

Il se trouve que la superposition à la modulation d'une polarisation supersonique permet, dans certaines conditions, d'obtenir les résultats souhaités.

On a donné de ce phénomène diverses explications, mais elles sont souvent peu satisfaisantes ; l'une d'elles, due à OERDING (1), vaut cependant d'être signalée.

On a imaginé, ainsi que nous l'avons indiqué brièvement plus haut, de décomposer les signaux « longitudinalement » en vue de l'inscription sur deux pistes fonctionnant en push pull. Ce système produit du bruit de fond et, comme nous l'avons souligné, n'est guère utilisable.

On peut aussi songer à un autre découpage : le fractionnement des signaux en fonction du temps ou fractionnement transversal. On peut obtenir ainsi des éléments pouvant être considérés comme des impulsions de très courte durée et de succession rapide, par rapport au phénomène à transmettre. Or, on sait, par l'utilisation qu'en fait la télégraphie simultanée, qu'il est possible de transmettre deux signaux distincts sur une même voie et à l'aide, des impulsions

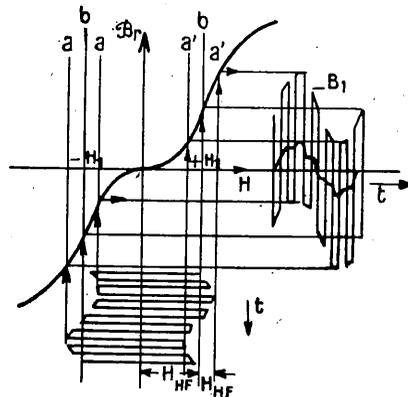


FIG. 5-5.

(1) Funk und Ton, mai et juin 1951.

reçues grâce à ce procédé, de reconstituer le phénomène initial.

On aura une idée assez précise de ce que pourrait être un tel système en observant la figure 5-5. On remarquera en particulier que les distorsions dues au coude inférieur de la caractéristique affectent la partie des impulsions ne présentant aucun intérêt. De là à remplacer les signaux carrés du multivibrateur par un courant supra-sonique sinusoïdal il n'y a qu'un pas ; il a été franchi ainsi que le prouvent les nombreuses réalisations actuelles.

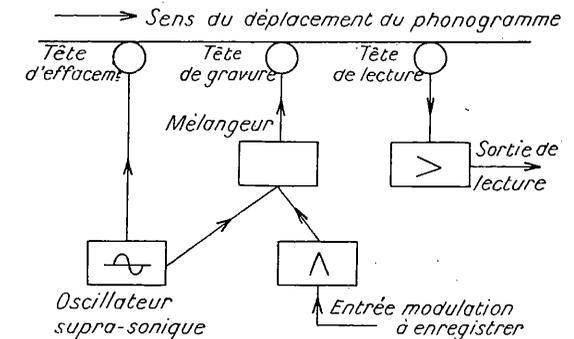


FIG. 5-6.

Ces réalisations appelées « magnétophones » peuvent être représentées schématiquement par la figure 5-6. Dans ce qui suit nous ne parlerons désormais que de ce système d'enregistrement.

5-3. Caractéristique statique.

Essayons de serrer de plus près la question et pour cela traçons tout d'abord la *caractéristique statique* du système.

Soumettons une série d'échantillons d'un même matériau, préalablement démagnétisés, à des champs alternatifs dont les amplitudes sont successivement $\mathcal{H}_1, \mathcal{H}_2, \mathcal{H}_3, \dots$ (Fig. 5-7) nous obtenons les inductions rémanentes correspondantes $\mathcal{B}_{r1}, \mathcal{B}_{r2}, \mathcal{B}_{r3}, \dots$ etc... Ces points permettent de tracer la courbe $\mathcal{B}_r = f(\mathcal{H})$ qui est la *caractéristique statique* du matériau considéré (Fig. 5-8).

Mais, compte tenu de l'existence du champ démagnétisant et également du fait que la longueur des aimants constituant les images inscrites sur la

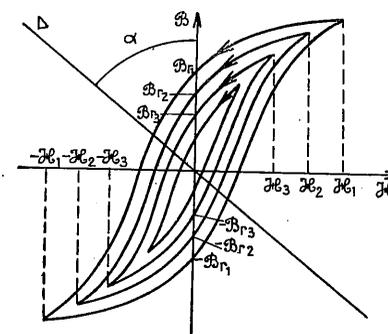


FIG. 5-7.

bande décroît avec la fréquence, on peut dire qu'il existe pour un même matériau une *infinité de caractéristiques statiques*. La plus éloignée de l'axe des abscisses est celle qui correspond aux fréquences les plus basses, la plus rapprochée étant au contraire celle qui intéresse les fréquences les plus élevées.

La courbe n° 1 correspond assez sensiblement aux fréquences basses et même à toutes les fréquences du spectre au moment de l'enregistrement, c'est-à-dire lorsque le phonogramme est encore en contact avec la tête d'enregist-

trement (absence de forces démagnétisantes).

La caractéristique n° 2 correspond aux fréquences élevées (forces démagnétisantes importantes aux fréquences élevées).

Examinons maintenant, sous forme graphique, à l'aide de la caractéristique statique, les phénomènes qui se produisent lorsque le courant de modulation avec superposition de polarisation haute fréquence (80000 à 200000 p.p.s.) est appliqué à la tête d'enregistrement.

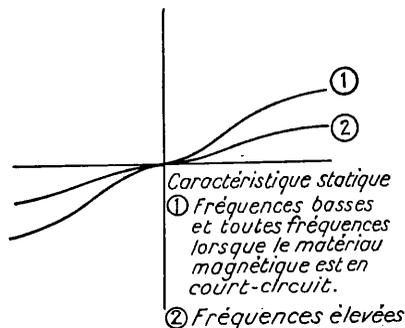


FIG. 5-8.

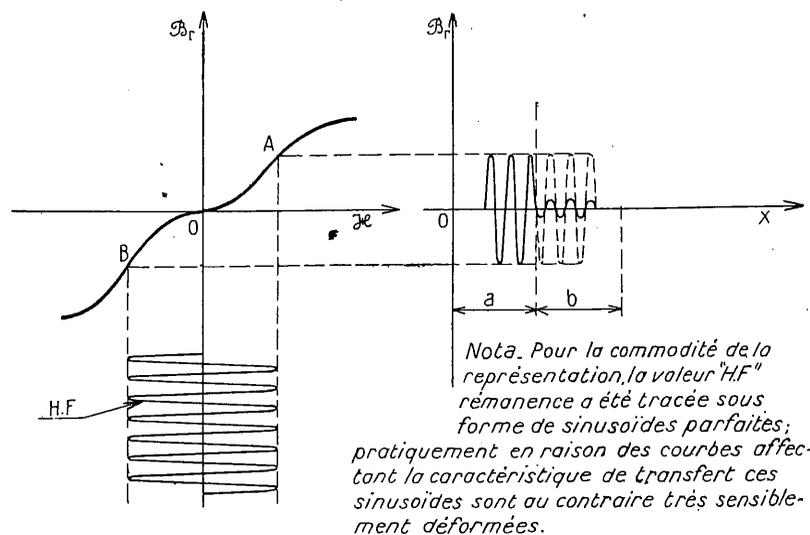


FIG. 5-9.

La construction géométrique simple figurée ci-dessus montre comment les « images magnétiques » peuvent être déduites des champs appliqués à la tête d'enregistrement (voir sur l'axe des ordonnées négatives). Le phonogramme ayant quitté la tête de gravure, les images se transforment par suite de la présence d'un champ démagnétisant intense affectant principalement la fréquence de polarisation. On obtient alors la courbe sinueuse représentée en trait gras sur les figures 5-9 et 5.10. On remarquera l'allure ondulée de la courbe B.F. Ceci est sans importance sur le résultat final, les fréquences H.F. étant nettement plus élevées que celles du spectre à enregistrer.

5-4. Caractéristique dynamique.

Les courbes figurant di-dessus sont intéressantes : elles donnent en effet une représentation des phénomènes mis en jeu au moment de « l'inscription » des signaux et après cette inscription. Il peut cependant être souhaitable, à un autre point de vue, d'adopter la représentation suivante (Fig. 5-11).

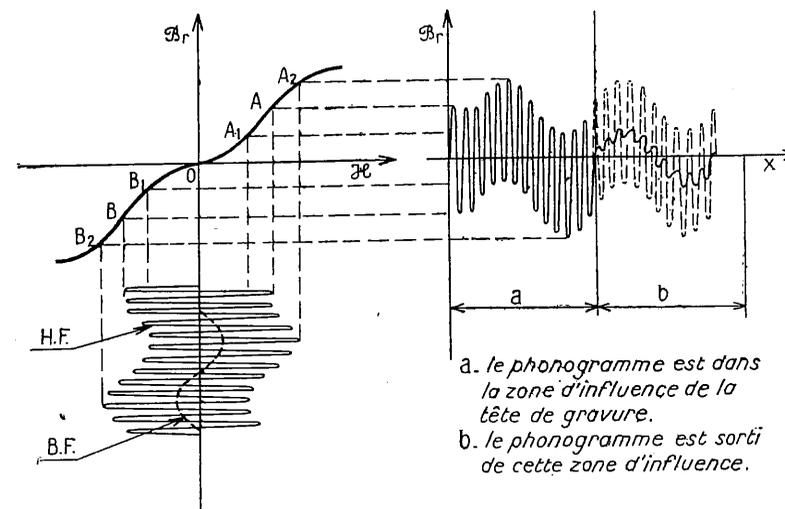


FIG. 5-10.

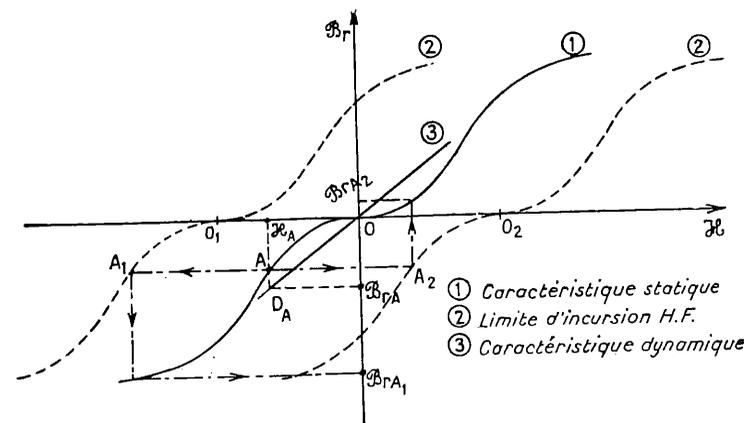


FIG. 5-11.

Traçons, (courbe 1, de part et d'autre de la caractéristique statique, les limites d'incursion du courant de polarisation H.F. pour différentes valeurs

d'un champ $\mathcal{H}_{B.F.}$, dont la valeur peut, eu égard à la rapidité de variation du champ H.F., être considérée comme étant continue (courbe 2).

A une valeur \mathcal{H}_A de ce champ $\mathcal{H}_{B.F.}$ correspond une valeur de l'induction rémanente β_{rA} , qui est fonction à la fois de la *caractéristique statique* et des *maxima des incursions H.F.* rapportées à cette courbe.

On détermine β_{rA} , très simplement, au moyen de la construction graphique suivante. Au point A correspondent deux points A_1 et A_2 limites d'incursion H.F. avec valeurs maxima de la rémanence β_{rA1} et β_{rA2} . La valeur β_{rA} est égale à la demi-somme de ces deux valeurs.

Connaissant \mathcal{H}_1 et β_{rA} il est possible de déterminer le point de fonctionnement du système pour des valeurs déterminées des champs B.F. et H.F. (respectivement D_A , \mathcal{H}_A , OO_1 , dans le cas considéré).

La même opération répétée pour diverses valeurs de \mathcal{H} donne une série de points de fonctionnement. La courbe passant par tous ces points — ou courbe de fonctionnement du système pour une *valeur déterminée de l'amplitude H.F.* — a reçu le nom de *caractéristique dynamique*. La figure 5-11 en donne la représentation (courbe 3).

On observera (en traçant cette courbe pour diverses valeurs de la H.F., OO_1 variable) :

- 1° que cette caractéristique est linéaire pour les faibles valeurs de $\mathcal{H}_{B.F.}$;
- 2° que sa forme est fonction non seulement de la caractéristique statique, mais également de la valeur de l'amplitude H.F. ;
- 3° qu'elle ne passe par l'origine O que si les amplitudes H.F. sont symétriques. Toute dissymétrie serait d'ailleurs comparable, pour le tracé de cette courbe, à l'application d'un champ continu au ruban. Nous reviendrons ultérieurement, de manière détaillée, sur les inconvénients sérieux provoqués par ce défaut du courant de polarisation.

DÉFAUTS AFFECTANT LE "MAGNÉTOPHONE"

Le dispositif de transmission constitué par le magnétophone peut être schématisé de la manière suivante (FIG 6-1) :

- un amplificateur d'entrée AE ;
- une tête d'enregistrement TE ;
- une tête de lecture TL ;
- un amplificateur de sortie AL. (On a coutume de définir le signal d'entrée en mA et le signal de sortie en mV).

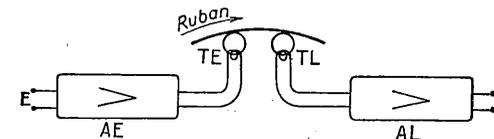


FIG. 6-1.

Les principaux défauts affectant un tel système peuvent être classés en 4 catégories :

- la distorsion linéaire (courbe de réponse sans circuits correcteurs) ;
- la distorsion harmonique ;
- le bruit de fond ;
- les défauts divers.

6-1. Courbe de réponse (sans correction).

Pour simplifier l'exposé du problème, nous supposons, pour l'instant, que le niveau d'entrée et la valeur du courant de polarisation sont réglés convenablement.

Nous avons vu page 187 que la lecture d'un enregistrement effectué à courant constant donnait une tension ayant pour expression :

$$E = K I_p \omega$$

La courbe théorique de réponse du système en fonction de la fréquence est donc une droite ayant une pente de 6 db par octave (FIG. 6-2).

Mais tout comme dans l'enregistrement sur disques, cette courbe théorique est affectée d'une déformation importante aux deux extrémités de la bande de fréquences enregistrées :

- a) aux basses fréquences ;
- b) aux fréquences élevées.

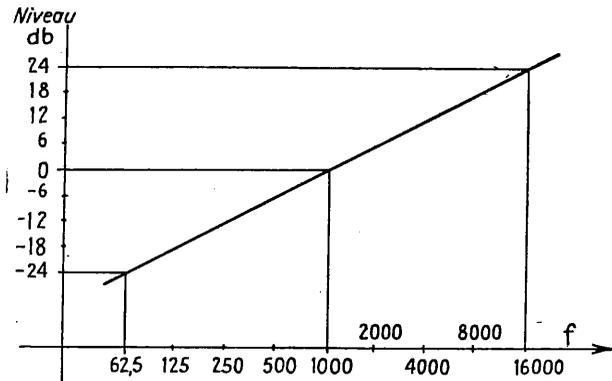


FIG. 6-2.

a) Cas des très basses fréquences.

L'observation de la position de la bande par rapport à la tête de lecture montre que le phonogramme porte non seulement sur l'entrefer, mais encore qu'il est en contact avec la tête sur une assez grande longueur (1). Cette disposition a été prise pour éviter les fuites magnétiques et, par là même, les pertes d'efficacité. Néanmoins, pour les grandes longueurs d'onde — c'est-à-dire aux basses fréquences —, il y a naissance d'un flux de dispersion (Fig. 6-3) et donc « affaiblissement » de la courbe de réponse théorique.

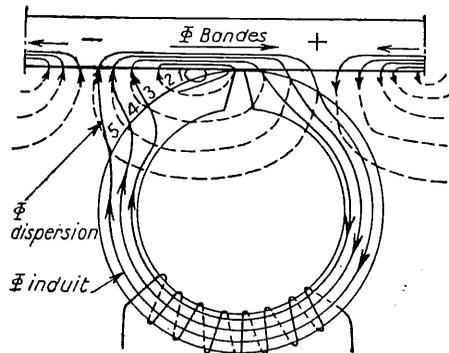


FIG. 6-3.

b) Cas des fréquences élevées.

Un « affaissement » de la partie haute de la courbe de réponse est également constaté pour cette partie du spectre enregistré. Les causes en sont multiples ; nous ne retiendrons ici que deux d'entre elles : la démagnétisation automatique et l'effet de fente.

(1) Voir la figure page 188.

1° LA DÉMAGNÉTISATION AUTOMATIQUE. — Nous savons déjà — voir page 183 — que l'effet de démagnétisation est plus intense pour les aimants « courts » que pour les aimants « longs ». Les inscriptions magnétiques du phonogramme pouvant être assimilées à des aimants de longueur $\lambda/2$, voir la figure 6-4 — il est donc naturel que les fréquences élevées du spectre soient les plus affectées par ce défaut. On notera toutefois que les matériaux à grande force coercitive sont moins sensibles à ce phénomène. La « réponse » des rubans à grande force coercitive sera donc meilleure dans « l'aigu ».

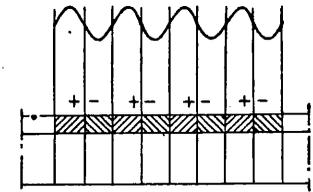


FIG. 6-4.

2° EFFET DE FENTE. — Nous nous trouvons ici en présence d'un phénomène général, résultant de la matérialisation des systèmes considérés :

- dimensions finies de l'aiguille dans le cas du disque ;
- dimensions finies de la fente lumineuse dans le cas de l'enregistrement optique ;
- enfin dimensions finies du système d'exploration des images magnétiques.

Il est bien évident que si la largeur de l'entrefer est faible devant la longueur d'onde explorée, la lecture se fera pratiquement sansdistorsion et que, par contre, si la longueur d'onde est égale à la fente magnétique il n'y aura plus de variation de flux dans la tête de lecture. Il se

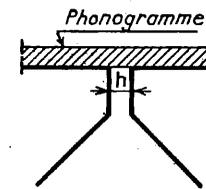


FIG. 6-5.

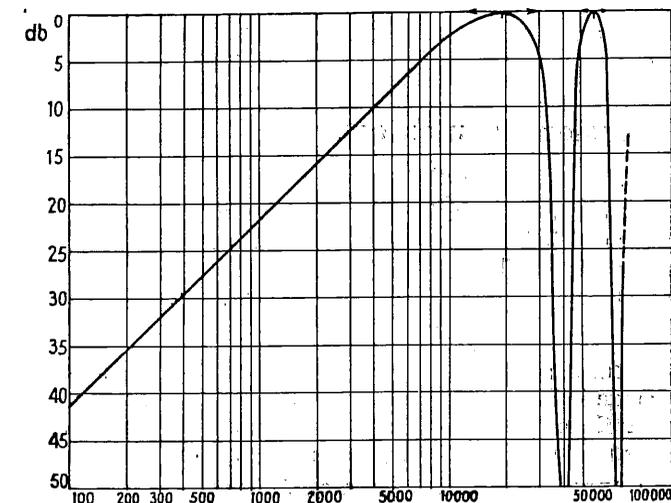


FIG. 6-6.

produira alors ce que l'on appelle la *première extinction*, les suivantes ayant lieu pour des longueurs d'onde égales à 2, 3, 4 fois la largeur de la fente magnétique de la tête de lecture.

On démontre (1) que l'expression de la tension recueillie à la sortie de l'appareil $E = K I_e \omega$ doit être modifiée pour tenir compte du terme correcteur $\sin \pi h/\lambda$. Cette tension E devient donc :

$$E_{\max} = K I_e \omega \times \sin \frac{\pi h}{\lambda} \quad \left| \begin{array}{l} I_e \text{ et } \omega \text{ respectivement amplitude} \\ \text{et pulsation du courant modulation.} \\ h \text{ largeur de la fente.} \\ \lambda \text{ longueur d'onde.} \end{array} \right.$$

La courbe de la figure 6-6 représente les variations de cette fonction. Dans le cas considéré on a pris $h = 20$ microns, $V_{\text{def}} = 76$ cm.

En résumé. — La courbe de réponse concernant la tension de sortie mesurée aux bornes de la tête de lecture affecte la forme suivante :

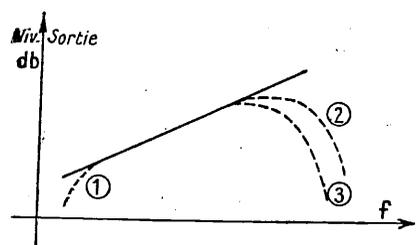


Fig. 6-7.

1 distorsion aux basses fréquences;
2 effet de démagnétisation automatique;
3 effet de fente (2) (effet réel).
Des corrections électriques doivent donc être appliquées au système si l'on veut obtenir une transmission linéaire. Dans la pratique, il a été jugé préférable d'opérer ces corrections, pour partie à la lecture et pour partie à l'enregistrement (voir page 217). On sait en outre qu'en raison de la faible puissance sonore mise en jeu dans « l'aigu » il est possible et avantageux d'accentuer, comme dans le cas de l'enregistrement sur disques, l'amplitude des fréquences aiguës.

6-2. Distorsion harmonique.

Principaux facteurs de distorsion.

L'utilisation de la prémagnétisation H.F. permet de rendre linéaire, ou presque, la caractéristique dynamique du système, sous réserve du réglage convenable de l'appareil.

Nous ferons observer que ce réglage dépend essentiellement de deux facteurs :

1° L'AMPLITUDE H.F. — Une valeur suffisante de polarisation permet d'éviter le coude inférieur de la caractéristique statique. Il convient cependant de rester dans des limites convenables pour ne pas risquer d'atteindre le coude supérieur de cette même caractéristique.

2° L'AMPLITUDE V_e (tension d'enregistrement). — Cette amplitude doit être limitée de telle sorte que les variations de champ ne débordent pas la partie quasi-rectiligne de la caractéristique statique.

(1) Etude effet de fente, voir page 227.

(2) Effet réel. En effet, du fait de l'élargissement de la zone d'influence de l'entrefer, f extinction réelle est sensiblement inférieure à f_e théorique (22000 pour 40000 p.p.s. par exemple).

Nous signalerons accessoirement l'intérêt présenté également par deux autres facteurs : la forme de la caractéristique statique et tout particulièrement sa pente au point de fonctionnement considéré.

En effet $e = -k \frac{d\varphi}{dt}$, La tension de sortie est donc proportionnelle à la pente de la caractéristique statique et bien entendu sa valeur maximum coïncidera avec le point d'inflexion de la courbe représentant cette caractéristique (Fig. 6-8).

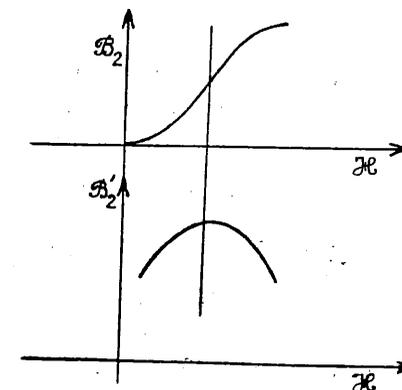


Fig. 6-8.

Expression de la tension de sortie. V_s :

On démontre (1) que

$$V_s = K \left[H_0 f' (h_0) \sin \Omega t + \frac{H_0^3}{3!} f''' (h_0) \sin^3 \Omega t \dots + \frac{H_0^{2n+1}}{2n+1!} f^{2n+1} (h_0) \sin^{2n+1} \Omega t \right]$$

avec

H_0 et Ω respectivement amplitude et pulsation du champ B.F. de modulation.
 h_0 amplitude du champ H.F.

Nous noterons que d'après ce développement :

1° Les harmoniques sont d'ordre impair (nous l'avons déjà fait observer en soulignant la symétrie des caractéristiques utilisées).

2° H_0 (amplitude B.F.) ayant toujours une valeur faible comparée à celle de h_0 , nous pouvons sans erreur appréciable limiter le développement aux deux premiers termes.

3° Le taux de distorsion est dans ces conditions représenté par l'expression

$$D\% = \frac{\text{amplitude } 3^{\text{e}} \text{ harmonique}}{\text{amplitude des termes du fondamental}} = \frac{H_0^2 f''' (h_0)}{24 f' (h_0) + 3 H_0^2 f''' (h_0)}$$

Il est donc proportionnel à la dérivée 3^e de la caractéristique statique.

Pratiquement, on a coutume de donner de la distorsion harmonique, les deux courbes suivantes :

(1) Voir article de A. LOVICHI et P. DERIAUD paru dans l'Onde Electrique de juillet 1952

$D \% = f(I_{HF})$ pour une fréquence et pour un courant d'entrée donnés.
 $D \% = f(V_s)$ pour une fréquence et une polarisation données.

La première courbe permet de fixer, compte tenu de la courbe d'efficacité $V_s = f(I_{HF})$ qui lui est généralement accolée, la valeur du courant optimum de polarisation à adopter.

La seconde montre dans quelle mesure la distorsion varie en fonction de la tension de sortie de l'appareil. Elle permet :

- d'apprécier le comportement du système pour diverses valeurs du niveau de sortie, en particulier dans le cas d'une surmodulation ;
- de déterminer le point de fonctionnement de sortie du lecteur.

1° COURBES (1) $D \% = f(I_{HF})$ et $V_s = f(I_{HF})$ (présentées sur le même graphique).

Fréquence B.F. 400 p.p.s.
 $V_{def} = 76,2 \text{ cm}$

Courant de modulation
 $I_e = 1 \text{ mA}$ environ

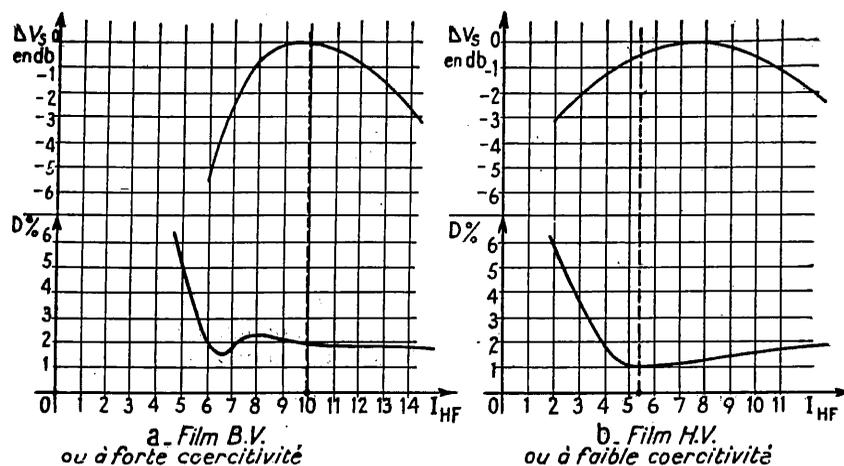


FIG. 6-9.

Contrairement à ce qu'un examen superficiel de la question pourrait laisser supposer, la valeur du courant de polarisation n'est pas nécessairement celle qui correspond au *minimum minimorum de distorsion*. Il convient, en effet, de ne pas perdre de vue d'une part la valeur du *niveau de sortie* dont dépend la « dynamique » du système et d'autre part le facteur *stabilité* de ces deux critères de qualité des enregistrements. C'est pour satisfaire à la fois et dans toute la mesure du possible à ces exigences, que les valeurs de I_{HF} ont été fixées à 10 et à 5 mA dans les deux cas considérés ci-dessus (FIG. 6-9).

(1) Valeurs relevées à l'aide d'appareils en service à la Radiodiffusion-Télévision Française (machines Tolana ERM. 150).

2° COURBES $D \% = f(V_s)$.

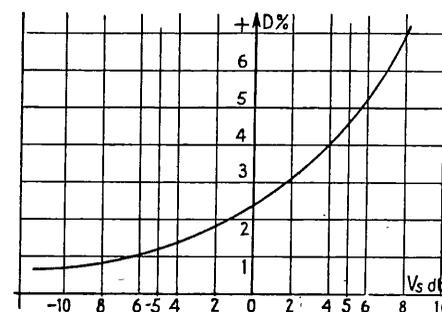


FIG. 6-10.

6-3. Bruit de fond.

Ses causes.

L'enregistrement magnétique est affecté par un grand nombre de bruits, mais fort heureusement, grâce aux perfectionnements du magnétophone, il a été possible de réduire leur niveau à une valeur très faible, sensiblement inférieure à celle des autres systèmes d'enregistrement. Dans ce qui suit, nous laisserons de côté l'étude de ces bruits, dont les fréquences et les amplitudes sont d'ailleurs assez mal définies, pour ne considérer que les imperfections paraissant en être la cause :

- imperfections mécaniques et électriques des machines ;
- imperfections magnétiques des phonogrammes ;
- imperfections des amplificateurs et des oscillateurs de prémagnétisation.

A. — IMPERFECTIONS MÉCANIQUES ET ÉLECTRIQUES DES MACHINES. —

Imperfections des machines proprement dites. Les imperfections des machines peuvent provoquer :

- des vibrations des divers éléments actifs du système d'enregistrement ou de reproduction ;
- des variations de tension de la bande ;
- des inductions parasites ; la tête de lecture y est très sensible, le niveau de sortie étant très faible (généralement de l'ordre de 40 mV).

Imperfections des phonogrammes. Les imperfections « mécaniques » des phonogrammes peuvent être soit « localisées », soit plus générales. Dans la première catégorie on peut ranger les variations rapides d'épaisseur de la couche active et de l'état de sa surface, dans la seconde au contraire il s'agit de défauts moins caractérisés mais ayant pour effet de faire varier l'aire de contact entre l'oxyde et la tête d'enregistrement ou de lecture.

B. — IMPERFECTIONS MAGNÉTIQUES DES PHONOGRAMMES. — Malgré leur apparence absolument semblable, les bandes magnétiques peuvent avoir des bruits de fond fort différents. Ceci provient, très vraisemblablement, des variations de leur structure, qu'il s'agisse : de la dimension des grains du matériau magnétique, de sa non-homogénéité, des impuretés qu'il renferme, ou même des tensions internes résultant des opérations de « coulage ».

C. — IMPERFECTIONS DES AMPLIFICATEURS ET DES OSCILLATEURS DE PRÉMAGNÉTISATION. — Nous négligeons volontairement le bruit de fond provoqué par les amplificateurs — le développement de cette question déjà connue ne présente ici aucun intérêt particulier — pour ne considérer que le bruit résultant de l'imperfection des oscillateurs de prémagnétisation. Toutefois, pour plus de clarté, cette question qui n'est qu'un aspect particulier d'un problème plus général ne sera abordée qu'un peu plus loin.

Son niveau.

Nous noterons enfin que ces divers bruits, qui constituent une véritable modulation parasite, *n'existent et ne peuvent exister* que dans la mesure où l'induction rémanente du phonogramme, jouant ici en quelque sorte le rôle de « révélateur », n'est pas nulle. Il en résulte que, théoriquement tout au moins, le bruit de fond en l'absence de signal devrait disparaître totalement. Nous verrons ci-dessous pourquoi, en pratique, il n'en est pas tout à fait ainsi. Néanmoins, dans les appareils construits ces dernières années le bruit de fond de « pause » (1) est très faible et cette circonstance heureuse permet de réduire le niveau du bruit de fond apparent des bandes magnétophones à une valeur relativement faible.

Il est bien évident d'autre part que le bruit produit par les diverses imperfections signalées plus haut sera fonction non seulement de *facteurs propres à ces imperfections* mais encore du *niveau instantané de l'induction rémanente* qu'elles perturbent.

Deux cas seront donc à considérer selon que l'induction rémanente est produite par un *champ continu* ou par un *champ alternatif* (Fig. 6-11).

CAS DU CHAMP CONTINU. — Nous n'insisterons pas sur ce point qui ne présente aucun caractère particulier et résulte de manière directe de ce qui vient d'être énoncé, à savoir : le niveau parasite sera d'autant plus élevé que les « imperfections » seront plus importantes et plus nombreuses et que le *niveau de la rémanence* sera plus élevé.

Pour tenir compte de ce dernier facteur, les magnétophones sont donc conçus et réalisés de telle sorte qu'aucun champ continu ne soit appliqué au phonogramme durant son transfert.

En outre, les exploitants devront avoir le souci constant, lorsqu'ils procéderont à des essais ou à des mesures, d'éviter la magnétisation, même fugitive, de l'un quelconque des éléments du système et tout particulièrement des « têtes ».

Enfin notons, sans insister, combien le procédé d'enregistrement utilisant un matériau saturé — donc présentant la *rémanence maximum* — répondait peu à ces préoccupations et se trouvait être, de ce fait, vicieux dans son principe même.

CAS DU CHAMP ALTERNATIF. — Ainsi que nous venons de le voir, l'application d'un champ entraîne l'apparition de bruits dont l'amplitude est

(1) C'est-à-dire en l'absence du signal.

fonction directe de ce champ.

Lorsque le champ est alternatif le problème comporte plusieurs aspects particuliers. Nous considérerons ci-après ceux qui correspondent à des signaux ayant une des formes suivantes :

- sinusoïdale pure ;
- non sinusoïdale mais symétrique ;
- non sinusoïdale et dissymétrique.

Dans les deux premiers cas, le bruit généralement appelé *bruit de modulation* est modulé par le signal et sa courbe enveloppe affecte la forme de « fuseaux » représentée ci-contre.

Dans le troisième cas les défauts constatés peuvent être nettement différents. On démontre en effet qu'un signal *dissymétrique* (1) explorant les parties *non linéaires* de la caractéristique statique donne naissance à un *champ continu*.

Ce défaut, nous le savons déjà, a pour conséquence l'apparition de bruit de fond.

En pratique on a effectivement constaté qu'une polarisation H.F. dissymétrique donne lieu à ce phénomène.

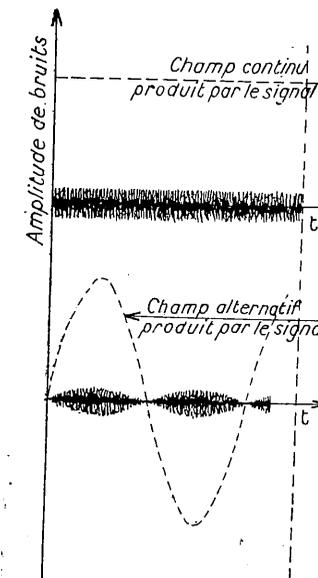


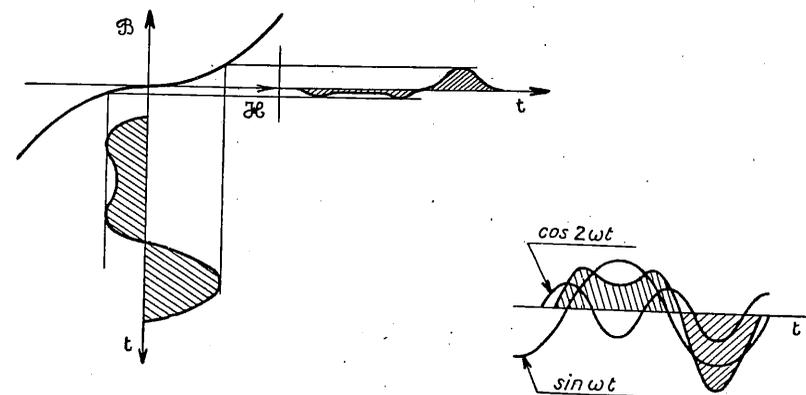
Fig. 6-11

(1) Signal dissymétrique (voir Contribution au problème du bruit de fond par Rudolf OERING, Funk und Son, n° 4, 1950). Un signal dont la fondamentale est de la forme $A_1 \sin \omega t$ est rendu dissymétrique par la présence d'harmoniques de rang pair avec déphasage :

Exemple : dans le cas de l'harmonique 2 déphasé de $\pi/2$ représenté par l'équation

$$Y = A_1 \sin \omega t + A_2 \cos 2 \omega t$$

nous avons les courbes ci-après :



On peut y remédier par des artifices :

- déphasage des harmoniques pour rétablir la symétrie du courant ;
- superposition d'un champ continu de sens convenable permettant l'annulation de l'effet du champ indésirable.

Mais ce sont là de toute évidence des solutions ne pouvant guère être utilisées en exploitation.

En réalité, les constructeurs de matériel s'attachent à réaliser des oscillateurs aussi parfaits que possible — les résultats obtenus dans ce domaine sont d'ailleurs satisfaisants — et à utiliser des systèmes stables qui, tels que les montages symétriques, satisfont à ces deux conditions du fait même de leur principe de fonctionnement (élimination des harmoniques pairs).

6-4. Défauts divers.

Il ne s'agit évidemment pas, dans cette partie du développement intitulée « défauts divers », de traiter tous les défauts du magnétophone, mais plus modestement de compléter, sur certains points précis qui sont ou qui ont été importants, les indications données précédemment. Nous retiendrons quatre de ces points : effacement, écho, erreur d'azimut et transfert du ruban.

Effacement.

Nous avons déjà étudié page 188 la méthode utilisée pour l'effacement des bandes magnétiques. Cette méthode, parfaite dans son principe, n'a et ne peut cependant avoir, en pratique, une efficacité absolue. L'expérience montre, en outre, qu'elle n'a pas davantage une valeur constante. En effet, contrairement à l'idée parfois exprimée, l'effacement dépend non seulement de certaines caractéristiques de la tête d'effacement et de son alimentation — amplitude maximum du champ ; nombre d'alternances décrites dans la zone d'influence du circuit inducteur ; loi de décroissance de ces alternances — mais encore de l'allure de la courbe $\beta_r = f(\beta c)$ au voisinage de la saturation. On a observé notamment que les phonogrammes dont la courbe a une faible pente dans cette zone s'effacent plus facilement.

L'efficacité des opérations d'effacement comporte donc des degrés. On les exprime généralement à l'aide d'une échelle de valeurs donnant en db le rapport entre le niveau du signal utile maximum et le niveau des inscriptions résiduelles. Cette valeur limite dans chaque cas la dynamique des enregistrements et a reçu, sans doute pour cette raison, le nom de *dynamique d'effacement*.

On estime généralement qu'une dynamique d'effacement comprise entre 60 et 70 db permet l'exécution d'enregistrements de qualité.

Echo.

Pour des raisons pratiques sur lesquelles il n'est pas nécessaire de s'étendre, les rubans magnétiques sont présentés sous forme de galettes.

Chaque élément du phonogramme n'est donc pas isolé mais au contraire se trouve, du fait de cette disposition matérielle, serré entre d'autres éléments.

On a constaté que l'enroulement des bandes donnait lieu dans certaines conditions et après un certain temps de contact à un effet de *décalque entre spires* particulièrement gênant.

Cet effet plus connu sous le nom d'*écho* — très vraisemblablement parce qu'il provoque la répétition atténuée du signal — a posé durant un temps de sérieux problèmes aux fabricants de bandes. Actuellement la sélection judicieuse des oxydes et les perfectionnements apportés à leur mise en œuvre permet de réaliser des bandes, principalement les bandes B.V., ne présentant pratiquement plus ce défaut.

D'après MM. LOVICH et DERIAUD (1) la *dynamique d'écho* atteint actuellement les valeurs suivantes :

- Type HV 48 db ;
- Type BV 57 db.

Erreur d'azimut.

Dans ce qui précède, nous avons admis implicitement que les fentes des têtes d'enregistrement et de lecture étaient rigoureusement parallèles (voir FIG. 6-12 $X_e X'_e \parallel X_1 X'_1$) et que en outre, pour permettre l'interchangeabilité totale des bandes, ces fentes étaient perpendiculaires à l'axe yy' .

Les réglages concernant la position des fentes ne sont pas et ne peuvent évidemment être parfaits, mais il est possible de déterminer le degré de précision à atteindre pour que les erreurs inévitables n'apportent, cependant, aucun trouble sensible au fonctionnement du système : c'est le but fixé au développement qui suit.

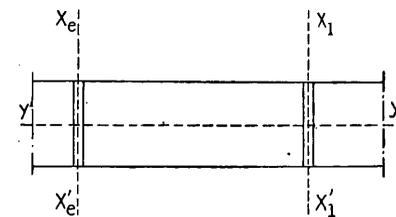


FIG. 6-12.

Soit une machine affectée d'un défaut de parallélisme des têtes représenté sur la figure 6-13 par l'angle α .

On démontre (2) que, dans ce cas, la tension de sortie pour une fréquence donnée est diminuée dans la proportion suivante :

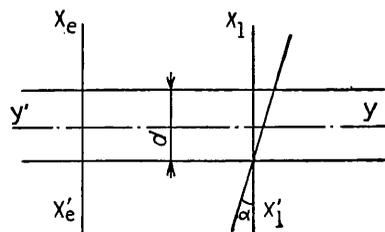


FIG. 6-13.

$$U = \frac{\sin \gamma}{\gamma} U_0 \quad \text{avec} \quad \left\{ \begin{array}{l} U_0 \text{ tension pour } \alpha = 0 \\ \gamma \neq \frac{\pi \alpha d}{\lambda} \\ d \text{ largeur du ruban} \\ \lambda \text{ longueur d'onde de la fréquence considérée} \end{array} \right.$$

(1) Voir article de l'Onde Electrique de juillet 1952 déjà cité.

(2) Voir en annexe page 229.

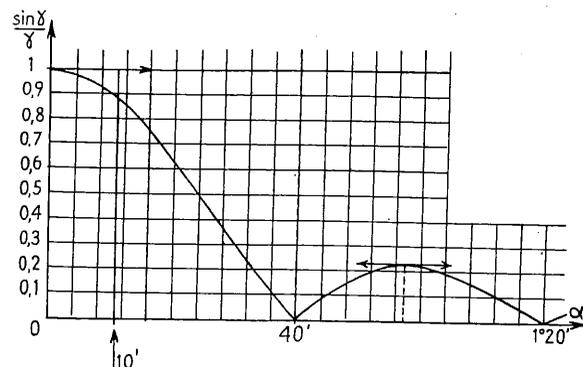


FIG. 6-14.

$\gamma = \pi$, c'est-à-dire pour $\alpha = \lambda/d$ ou encore en remplaçant λ par sa valeur V/f , pour :

$$\alpha = V/d \cdot f$$

Ceci nous permet d'observer que la précision du réglage devra être d'autant plus poussée que la *vitesse de défilement* sera *plus faible*. De ce point de vue le réglage des appareils BV sera donc plus délicat. Accessoirement, nous noterons que la largeur de la bande et la valeur de la fréquence supérieure du spectre enregistré influent également sur la valeur de cet angle.

Prenons un exemple :

Magnétophone H V actuel.

$$V = 76 \text{ cm } 2; \quad d \approx 6 \text{ mm } 35; \quad f = 10.000 \text{ p.p/s}$$

$$\alpha \approx 40'$$

Le graphique ci-dessus correspond à ces caractéristiques. Sur ce graphique on peut remarquer, notamment, que si l'on désire limiter à 1 db la distorsion d'amplitude provoquée par l'erreur d'azimut, il est nécessaire que le calage des fentes soit précis à ± 5 minutes, ce qui donne une idée de la précision exigée et montre que ce réglage ne peut être réalisé qu'à l'aide d'un matériel spécial.

Transfert de ruban ; pleurage.

Nous retrouvons ici un problème général : celui du défilement des pistes d'enregistrement.

Nous savons déjà pour l'avoir étudié page 95 que ce problème a un double aspect :

- valeur de la vitesse de défilement ;
- fluctuations instantanées de cette vitesse.

Examinons ces deux problèmes dans le cas de l'enregistrement sur ruban magnétique, le seul qui nous intéresse.

a) *Valeur de la vitesse.* — La vitesse de défilement de la piste détermine la hauteur des sons reproduits et doit donc, pour cette raison, être réglée avec précision à une valeur convenable. La bande étant entraînée par un cabestan, ainsi que nous le verrons par la suite, c'est en fait la vitesse tangentielle de ce cabestan qui doit être exacte.

Cette équation montre que la tension de sortie s'annule pour tous les angles $\gamma = n\pi$ ($n = 1, 2, 3...$) voir figure 6-14 le graphique représentant les variations de cette expression en fonction de α .

La première extinction a lieu pour

Pour la vérifier on peut imaginer plusieurs solutions ; l'une d'elles, mise au point par le service B.F. de la Radiodiffusion Française et sommairement décrite ci-après, est particulièrement intéressante, le résultat des mesures étant indépendant de l'exactitude de la fréquence du secteur.

Le courant 50 p.p.s. alimentant le moteur d'entraînement du dispositif de transfert du ruban est également appliqué après déformation (1) à la tête d'enregistrement.

Les images magnétiques ainsi inscrites sur le ruban sont ensuite « révélées » à l'aide d'une poudre magnétique impalpable (fer carbonyle) tenue en suspension dans un liquide visqueux. Chaque λ aura une longueur égale au quotient V_{def}/f . Or, dans le cas considéré, $V_{\text{def}} = kf$; les dimensions des λ inscrits sont donc indépendantes de la fréquence du secteur.

L'on obtient ensuite très facilement la valeur de V_{def} . Il suffit en effet de compter un certain nombre de λ ($x_\lambda =$ généralement 50) et de mesurer la longueur de la bande correspondante (l_{cm}) :

$$V_{\text{def cm/s}} = f \times \lambda = 50 \frac{l_{\text{cm}}}{x_\lambda}$$

(Pratiquement, les vitesses de défilement ne s'écartant pas de plus de 3/1000 de la vitesse théorique sont jugées satisfaisantes).

b) *Fluctuations instantanées de la vitesse.* — La gêne provoquée par les fluctuations de la vitesse de défilement des phonogrammes est bien connue ; nous n'y reviendrons pas, nous bornant à énumérer ici les principaux défauts affectant les machines, défauts qui sont les causes directes de ces fluctuations.

Défauts du moteur
et du système
de transfert

faux rond
équilibre défectueux
variations rapides du couple moteur
excentrement du cabestan d'entraînement du ruban

Défauts des bandes

élasticité
vibrations des brins libres au voisinage des têtes

(1) Cette déformation donne à l'inscription une dissymétrie qui accuse les limites de chaque élément du signal.

CHAPITRE 7.

RÉALISATIONS

Les applications de l'enregistrement magnétique sont nombreuses et variées. A titre indicatif nous citerons le développement de ce système d'enregistrement dans les domaines suivants :

Artistique : radiodiffusion, cinéma.

Contrôle : aviation, laboratoires.

Commercial et industriel : enregistrement du courrier, de communications téléphoniques et de signaux divers, publicité, etc...

Bien entendu, les réalisations et les performances des appareils diffèrent sensiblement selon le but à atteindre. Nous ne donnerons ci-après que des indications se rapportant aux appareils de haute qualité utilisés par la Radiodiffusion-Télévision Française.

Dressons tout d'abord la liste des opérations devant être accomplies par une machine type radiodiffusion.

- 1° enregistrement et lecture de haute qualité ;
- 2° contrôle permanent durant l'enregistrement ;
- 3° bobinage, rebobinage accéléré et arrêt rapide ;
- 4° repérage facile d'un « passage » déterminé et montage ;
- 5° enchaînements en vue d'une diffusion continue.

Les deux premiers points relèvent de l'équipement électronique, des têtes d'effacement d'enregistrement de lecture et des caractéristiques de la bande ; les trois derniers au contraire dépendent des mécanismes et en particulier du système de transfert du ruban.

Dans le présent chapitre nous donnerons tout d'abord un tableau d'ensemble des principales caractéristiques des machines HV utilisées par la Radiodiffusion Française puis nous consacrerons un court développement aux mécanismes de transfert du ruban.

7-1. Tableau d'ensemble des principales caractéristiques des machines utilisées par la radiodiffusion Française (1).-

a) Le matériau magnétique.

Forme	ruban « couché »
Fabricant	Kodak
Matériau support :	
Nature	triacétate de cellulose (même composition que les films dits ininflammables de 16 mm)
Epaisseur	50 microns environ
Largeur	6 mm 35 (1/4 de pouce)
Longueur	800 mètres environ
Encombrement de la bande	galette de 28 cm de diamètre
Matériau actif :	
Nature	couche pulvérulente d'oxyde de fer
Epaisseur	15 microns environ
Caractéristiques diverses :	
Résistance mécanique	charge de rupture élevée (2,5 à 3 kg) résistance à la rupture brusque : satisfaisante ; allongement faible
Température de ramollissement	70 degrés environ.

b) Les caractéristiques générales des machines.

1) Systèmes d'effacement, d'enregistrement et de lecture

Tête d'effacement.

Inductance	2 millihenrys
Entrefer	500 microns
Courant d'effacement :	
Fréquence	75000 p.p.s.
Intensité	140 à 200 mA

Tête d'enregistrement.

Inductance	7 millihenrys
Entrefer	40 microns (15 à 20 pour les machines BV)
Durée d'utilisation	entre 300 et 500 heures selon la rugosité des bandes employées

(1) Matériel Tolana.

Courant de polarisation :	
Fréquence	75000 p.p.s. (même oscillateur que pour l'effacement)
Intensité	de l'ordre de 5 mA (10 mA pour les bandes BV)
Tension maxima d'entrée à appliquer à l'amplificateur d'enregistrement	
	+ 12 db, soit 3 volts
	(intensité 3 mA envir. pour les bandes HV)
	" 1 " pour les bandes BV)

Tête de lecture (1).

Inductance	90 millihenrys
Entrefer	20 à 30 microns (12 à 15 pour les machines BV)
Niveau normal de sortie du circuit magnétique	— 61 db soit 700 μ V
Niveau normal de sortie de l'amplificateur de lecture	0 db soit 0 V, 775 sous 50 ohms

2) Systèmes d'entraînement de la bande

Galet son	entraîné par moteur asynchrone synchronisé
Flasque magasin et Flasque récepteur	chaque flasque est entraîné par un moteur asynchrone
Vitesse de « transfert » de la bande	normalisée à 76,2 cm/sec (30 pouces), anciennement 77 cm/sec
Vitesse de transfert accélérée (utilisée sous le rebobinage ou l'exploration rapide de la bande)	7 mètres/sec environ
Durée de défilement d'une bande	16 minutes au moins

3) Performances de l'appareil

Limites de la gamme de fréquences enregistrées	40 à 10000 p.p.s.
Distorsions :	
Linéaire	\pm 2 db dans toute l'étendue de la gamme
Non linéaire	2 % à 1000 p.p.s. pour le niveau 0 à la sortie
Bruit de fond :	
Mesure directe	45 à 50 db
Même mesure après filtre psophométrique	65 db

(1) Tête normale dite encore à « haute impédance » exigeant une correction de 24 db environ sur les aigus. Le modèle le plus récent comporte, insérée à ses bornes et faisant corps avec lui, une self correctrice permettant de réduire à 10 db l'action du correcteur d'ampli.

c) Essai de normalisation.

Il est bien évident que l'échange de programmes de radiodiffusion et la diffusion d'enregistrements par bandes magnétiques ne pourront se faire sur une vaste échelle et dans de bonnes conditions que si un minimum de normalisation des divers matériels en service est observé.

Pratiquement, cette normalisation comporte deux aspects essentiels :

Le premier — auquel on pourrait donner le nom de *définition* — fixe des données pratiques mais fondamentales du système : vitesse de défilement, largeur du ruban... S'agissant d'éléments matériels simples l'accord a pu être réalisé. On distingue actuellement les systèmes :

HV 76 cm 2 (30 pouces) ;

BV 38 cm 1 (15 pouces) ;

et un système à vitesse réduite BV 19 cm 05 (7 pouces 1/2).

Le second de ces aspects pourrait être assimilé à un *facteur de qualité*. Il s'agit en effet d'obtenir à la lecture une qualité standard quelles que soient la nature et l'origine du phonogramme utilisé.

C'est un programme très ambitieux si l'on veut bien considérer le nombre élevé d'éléments qui interviennent dans le processus d'enregistrement et de lecture.

Il semblerait cependant qu'une solution satisfaisante de ce problème soit sur le point d'intervenir.

Le principe en serait le suivant :

Agir sur les *corrections à l'enregistrement* de telle sorte qu'une chaîne de lecture normalisée donne une « réponse totale droite ».

Sur ces bases le C.C.I.R. vient de définir (septembre 1952) la *courbe de réponse* d'une tête de lecture idéale (voir ci-dessous). La « chute de réponse » d'une tête réelle quelconque devra donc être compensée, l'ensemble ampli + tête réelle étant équivalent au système idéal de reproduction.

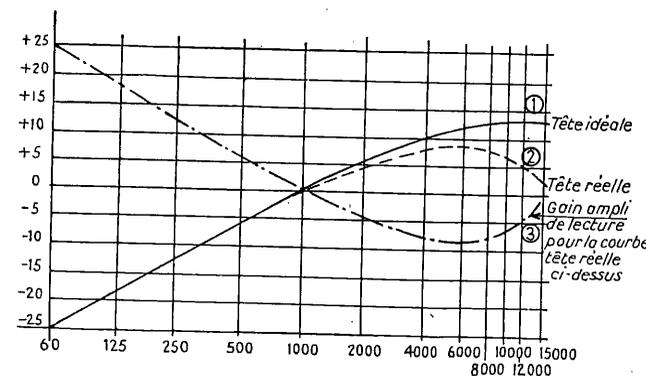


FIG. 7-1.

7-2. Les mécanismes de transfert du ruban.

Le dispositif d'entraînement du phonogramme doit satisfaire à de nombreuses exigences constituant soit des impératifs techniques (valeur absolue de la vitesse de défilement ; suppression des variations de cette vitesse...),

soit des impératifs d'exploitation (rebobinage accéléré, repérage d'un passage sonore, arrêt rapide).

Examinons successivement ces divers aspects du problème.

1° Entraînement de la bande.

Tous les systèmes adoptés utilisent deux flasques pour le transfert du ruban : un flasque magasin M_1 et un flasque récepteur M_2 .



FIG. 7-2.

Il est facile de voir (FIG. 7-2) que, durant le défilement du ruban, le diamètre de M_1 décroît au bénéfice de M_2 . Il ne peut donc être question d'utiliser la traction du moteur M_2 pour obtenir le défilement constant souhaité. On est donc conduit à rechercher un système d'entraînement indépendant

de M_1 et de M_2 . Ce système peut être du type cabestan (FIG. 7-3) si l'entraînement se fait par adhérence du ruban sur « l'axe son » ou du type galet presseur (le plus généralement adopté) si le déplacement, qui ne met d'ailleurs en jeu que des forces relativement faibles, est obtenu par simple pression d'un galet fou, à bandage de caoutchouc, sur l'axe moteur (FIG. 7-4).



FIG. 7-3.

Ces dispositifs nécessitent donc la rotation des trois axes :

- M pour le transfert de la bande à vitesse constante ;
- M_1 et M_2 pour que la bande soit convenablement tendue durant le défilement.

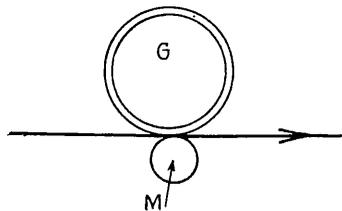


FIG. 7-4.

On peut obtenir ces trois rotations à l'aide d'un seul moteur et d'organes de transmission, mais, dans la plupart des cas, on a trouvé plus commode d'utiliser trois moteurs :

Un moteur asynchrone synchronisé M, particulièrement soigné (1), assure le défilement de la bande à vitesse convenable.

Deux moteurs asynchrones, un pour chaque flasque supporte de phonogramme, permettent non seulement de tendre le ruban au moment de l'enregistrement ou de la lecture mais encore de faire défilement le ruban à vitesse accélérée, dans un sens ou dans l'autre, pour le rebobinage ou la recherche d'un passage sonore.

2° Arrêt de la bande.

Le problème posé par l'arrêt de la bande est relativement délicat. En effet, il s'agit d'obtenir cet arrêt dans un temps aussi court que possible, sans néanmoins provoquer l'un des deux accidents suivants :

— rupture ou allongement du phonogramme si le blocage du moteur M_1 s'effectue prématurément ;

(1) Nous avons déjà signalé (page 95, pleurage) que des précautions doivent être prises pour éviter les variations instantanées de vitesse des moteurs.

— relâchement de la tension et création d'une boucle du ruban si le moteur M_2 est bloqué le premier.

En outre, il est indispensable que ces dispositifs de freinage soient d'un réglage facile et également qu'ils soient stables dans le temps.

Pratiquement, trois types de freinage sont utilisés. Le freinage est dit : mécanique, électromécanique ou électrique selon le mode d'action du frein et du dispositif de commande.

Freins mécaniques et électromécaniques.

Le frein est généralement constitué soit par un patin de feutre, soit par un feillard venant s'appliquer sous l'action d'un ressort sur la périphérie d'un volant (voir les deux dispositifs schématisés a et b (figure 7-5).

Pour les freins mécaniques, la rotation du commutateur « marche-arrêt » commande également le déverrouillage des freins (traction vers A : moteur libre ; traction supprimée : l'action du ressort assure le freinage, mouvement OB).

Cette opération est exécutée par des électroplongeurs dans le cas des freins électromécaniques.

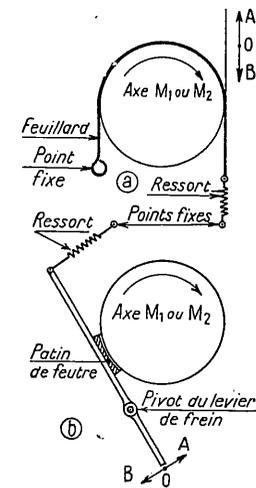


FIG. 7-5.

Freins électriques.

Le freinage électrique est plus doux que le freinage mécanique. Il peut être réalisé de multiples façons. Nous en retiendrons deux : le freinage par courants de Foucault et le freinage par les moteurs eux-mêmes.

Ce dernier dispositif, utilisé dans la machine Tolana, type ERM 150, est très ingénieux. Voici son principe de fonctionnement, d'ailleurs très simplifié :

Les moteurs M_1 et M_2 portant les flasques supports du phonogramme sont dotés de contacts dont la partie mobile, calée à frottement doux sur l'axe du moteur, est susceptible de discriminer leur sens de rotation (FIG. 7-6).

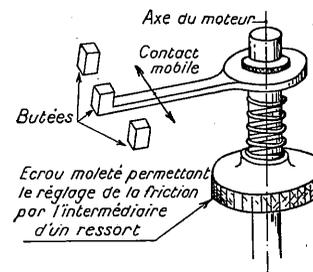


FIG. 7-6.

Considérons le cas de l'enregistrement. Le moteur M_1 est alimenté sous tension réduite et le couple qu'il développe sert uniquement à tendre la bande (FIG. 7-7).

Pour obtenir l'arrêt, la tension de M_1 (dont la coupure est sous la dépendance du contact C_1) est appliquée à plein et la tension de M_2 ainsi que l'électrocommandant le galet presseur sont coupés.

Dans ces conditions, M_1 , qui, entraîné par la bande, tourne dans le sens

trigonométrique ralentit sa marche, s'arrête puis esquisse un début de mouvement en sens contraire. Ce mouvement a pour effet de rompre le contact C_1 et de couper, au moyen d'un relais, l'alimentation de ce moteur.

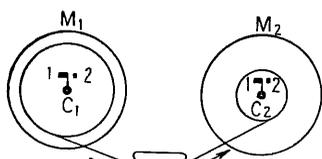
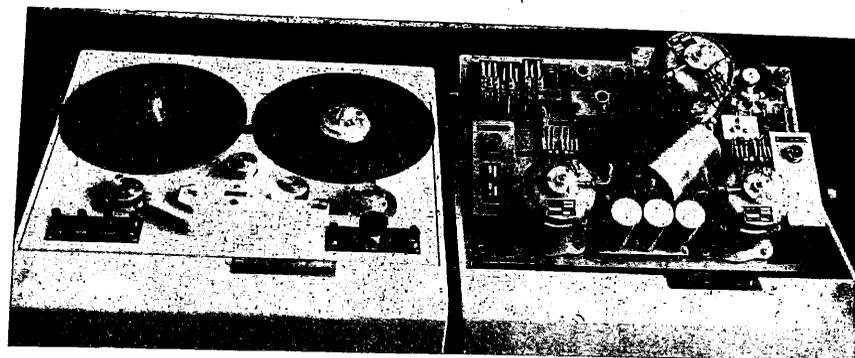


Fig. 7-7.

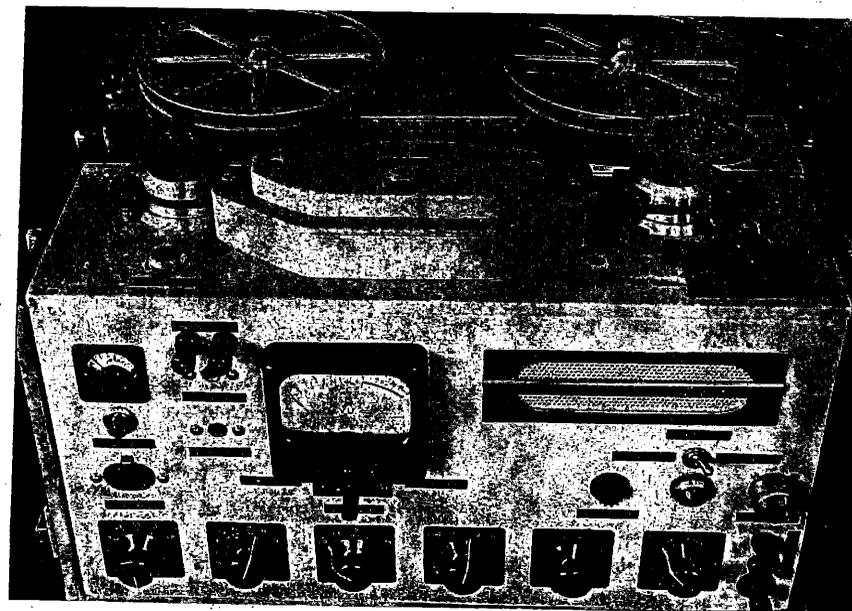
L'opération est exactement la même, mais concerne M_2 lors de l'arrêt dans l'autre sens, après rebobinage ou recherche d'une plage sonore.

Voici quelques photos représentant divers matériels d'enregistrement magnétique.

MACHINES TOLANA, 126, rue Réaumur, Paris



Type ERM 150. V = 76 cm 2.

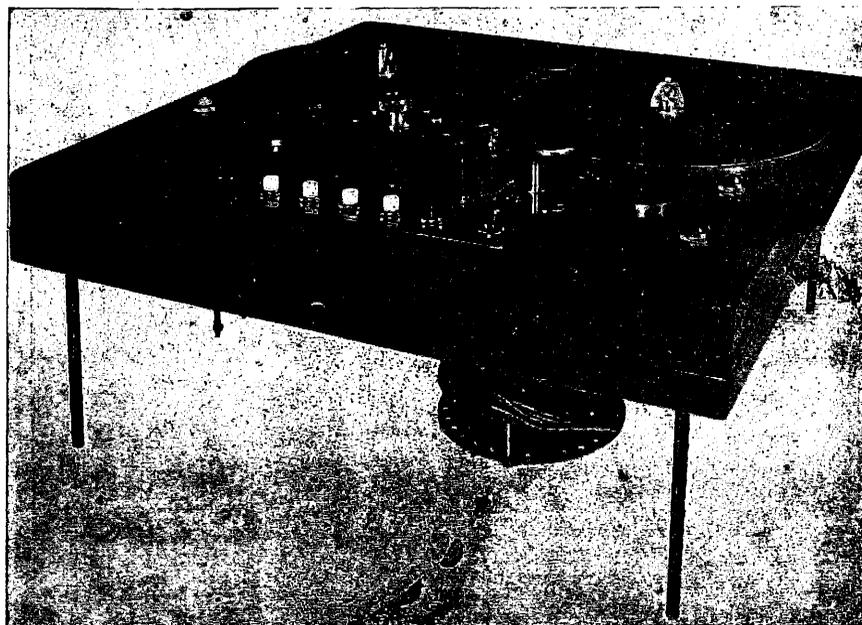


Type ERM 850 VR. V = 38 cm 1.



Machine Tolana permettant l'enregistrement magnétique sur films perforés standards du cinéma.

MACHINE BOURDEREAU, 262, rue de Belleville, Paris



MACHINE SACM,

69, rue de Monceau, Paris VIII^e

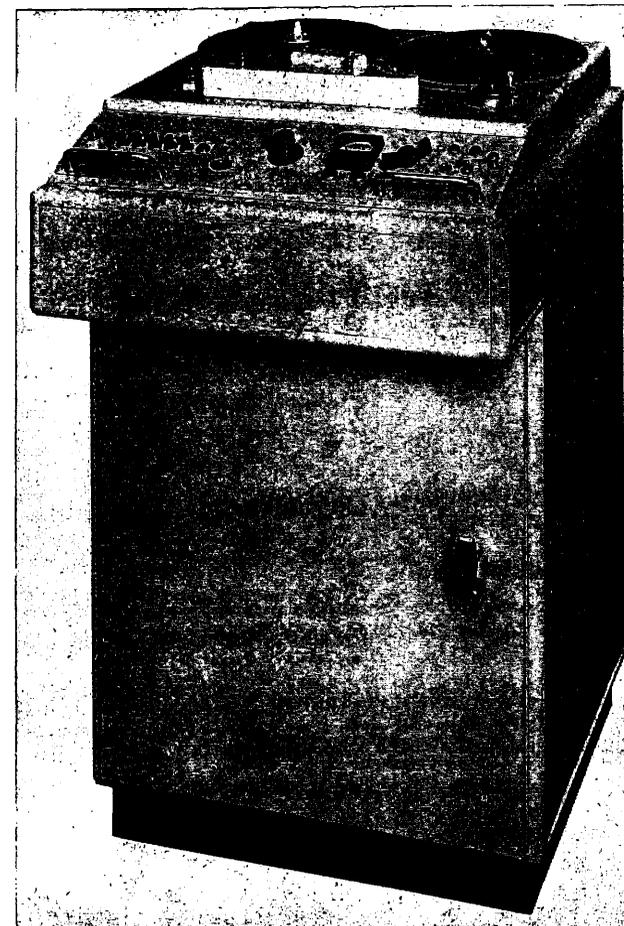


TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS.....	7
INTRODUCTION et GÉNÉRALITÉS	9

PREMIÈRE PARTIE

ENREGISTREMENT SUR DISQUE

CHAPITRE 1. — Etude des mouvements vibratoires.....	15
CHAPITRE 2. — Mesure et contrôle des vitesses par la méthode stroboscopique	28
CHAPITRE 3. — Histoire concernant l'enregistrement sur disque.....	31
CHAPITRE 4. — Généralités	34
Le phonogramme ; le mode d'écriture.	
CHAPITRE 5. — Théorie du fonctionnement des graveurs.....	39
Réaction du disque ; distorsions non linéaires à la gravure ; caractéristiques du burin ; le moirage ; le broutement ; nouveaux standards ; tableau des principales caractéristiques des enregistrements sur disque.	
CHAPITRE 6. — Théorie de la lecture.....	75
Lecteur électro-dynamique ; lecteur électromagnétique ; lecteur piézo-électrique ; conditions d'emploi des têtes de lecture ; distorsions à la lecture ; la fabrication des disques	
CHAPITRE 7. — Quelques réalisations	106
Chaînes de gravure et de lecture ; graveurs ; burins ; saphirs ; aiguilles ; tables de gravure ; lecteurs ; tables de lecture.	
BIBLIOGRAPHIE.....	129

DEUXIÈME PARTIE

NOTIONS D'ENREGISTREMENT OPTIQUE

CHAPITRE 1. — Généralités	133
CHAPITRE 2. — Eléments de sensitométrie.....	138
CHAPITRE 3. — Procédés d'enregistrement.....	142
Enregistrement à densité variable : considérations préliminaires, procédés d'enregistrement ; enregistrement à densité fixe : considérations préliminaires, procédés d'enregistrement.	
CHAPITRE 4. — La lecture optique	152
Les cellules photoélectriques ; le dispositif d'entraînement du film ; le dispositif de lecture.	
CHAPITRE 5. — Les distorsions diverses affectant l'enregistrement optique et les solutions adoptées pour remédier à ces défauts.....	158
Effet de fente ; imperfections diverses ; imperfections du traitement photographique ; l'intermodulation et son application à la mesure des distorsions en densité variable ; la mesure des distorsions géométriques en densité fixe ; le bruit de fond et les méthodes utilisées pour obtenir sa réduction : noiseless ; système push pull.....	
BIBLIOGRAPHIE.....	174

TROISIÈME PARTIE

ENREGISTREMENT MAGNÉTIQUE

CHAPITRE 1. — Historique et généralités	177
CHAPITRE 2. — Rappel de notions élémentaires de ferromagnétisme	179
CHAPITRE 3. — Principes généraux de l'enregistrement magnétique	185
Enregistrement ; lecture.	

CHAPITRE 4. — Le phonogramme	190
CHAPITRE 5. — Divers procédés d'enregistrement	193
Cas de l'enregistrement sur matériau saturé ; cas de l'enregistrement sur matériau démagnétisé ; le magnétophone.	
CHAPITRE 6. — Défauts affectant le « magnétophone »	201
Courbe de réponse ; distorsion harmonique ; bruit de fond ; défauts divers.	
CHAPITRE 7. — Réalisations	214
Tableau d'ensemble des principales caractéristi- ques des machines utilisées par la Radiodiffu- sion Française ; les mécanismes de transfert du ruban ; quelques photographies d'appareils.	
ANNEXES.....	225
BIBLIOGRAPHIE.....	229