

J. OLLÉ

Étude et réalisation d'un oscillographe cathodique à quatre faisceaux et à haute tension

Annales de la faculté des sciences de Toulouse 4^e série, tome 19 (1955), p. 117-159

http://www.numdam.org/item?id=AFST_1955_4_19__117_0

© Université Paul Sabatier, 1955, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Annales de la faculté des sciences de Toulouse » (<http://picard.ups-tlse.fr/~annales/>) implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
<http://www.numdam.org/>

ÉTUDE ET RÉALISATION D'UN OSCILLOGRAPHE CATHODIQUE A QUATRE FAISCEAUX ET A HAUTE TENSION

par J. OLLÉ

AVANT-PROPOS

On se dit des faussetés les uns aux autres, on a sur les lèvres des choses flatteuses, on parle avec un cœur double...

(Psaume 12; 3.)

Mais...

Je n'aurai point égard à l'apparence et je ne flatterai personne; car je ne sais point flatter : mon créateur m'enlèverait bien vite.

(Job 32; 21 et 22.)

Le travail que nous présentons a été conduit dans le Laboratoire d'Électrotechnique de l'E. N. S. E. H. T., sous la direction de Monsieur le Professeur TEISSIÉ-SOLIER et sous les auspices du C. N. R. S.

Qu'il nous soit permis d'adresser nos remerciements à cet organisme, en la personne de son Directeur, Monsieur le Doyen DUPOUY, dont nous avons été l'élève et qui est personnellement à l'origine de ce projet.

Nos remerciements vont également à Monsieur le Professeur FERT, qui nous a fait largement bénéficier de ses conseils et nous a permis d'utiliser, pour les premiers essais, les installations du Laboratoire d'Optique Électronique de la Faculté des Sciences de Toulouse.

Que Monsieur le Professeur TEISSIÉ-SOLIER veuille bien agréer l'expression de notre gratitude pour l'accueil qu'il nous a fait dans son Laboratoire et pour l'appui solide que nous avons trouvé constamment auprès de lui au cours de l'évolution de cette étude.

Nous rendrons hommage également à Monsieur le Professeur DUPIN, qui s'est intéressé à nos travaux, et a bien voulu nous faire l'honneur de participer au jury.

Nous adressons une mention particulière à Monsieur LAGASSE, Chef de Travaux, qui a fait preuve de compréhension devant les problèmes de réalisation matérielle et dont le dynamisme nous a souvent encouragé.

Nous remercions enfin tous ceux, dessinateurs, mécaniciens, électriciens, qui ont contribué à la réalisation et à la mise au point de l'appareil, dans un esprit de coopération souvent remarquable. Monsieur BACHER s'est chargé de la plus grande partie de ce travail et nous avons eu l'avantage de profiter en maintes circonstances de son esprit d'initiative et de son adresse manuelle. Nous remercions encore les personnes qui se sont aimablement chargées des tâches ingrates relatives à la préparation du manuscrit.

INTRODUCTION

0.1. Préambule.

De l'oscillographe électromagnétique aux tubes cathodiques modernes, toute une gamme d'appareils sont à la disposition des expérimentateurs. L'évolution de leurs possibilités suit un développement parallèle à celui d'un aspect particulier de la physique : l'étude des vibrations.

Après avoir poussé l'analyse des régimes permanents, le physicien s'est attaqué à l'étude des régimes transitoires, de caractère essentiellement apériodique.

En outre, on demande souvent à l'oscillographe moderne de mettre en évidence sans ambiguïté les corrélations entre diverses manifestations d'un phénomène (manifestations de nature différente ou en divers points d'un circuit complexe).

0.2. L'enregistrement simultané de plusieurs phénomènes.

0.20. — LE COMMUTATEUR ÉLECTRONIQUE.

Le problème de l'observation simultanée de plusieurs phénomènes sur le même écran a pu, dans certains cas particuliers, être résolu par l'emploi d'un artifice : les différentes tensions à mesurer sont appliquées successivement par un commutateur à une paire de plaques d'un oscillographe cathodique à un seul faisceau.

Par sa nature, le procédé ne permet pas l'observation de phénomènes transitoires simultanés, tels que surtensions susceptibles d'apparaître sur les réseaux d'une manière non périodique.

0.21. — L'OSCILLOGRAPHE MULTIPLE.

Nous n'insisterons pas sur les possibilités d'enregistrement multiple qu'offrent les oscillographes électromagnétiques à plusieurs équipages, bien qu'ils rendent de grands services en basse fréquence. En effet, la fréquence propre de leurs équipages est de l'ordre de 15 à 20.000 Hz et ils ne reproduisent convenablement que les harmoniques de fréquence inférieure à 3.000 Hz si l'on tient compte de la distorsion de phase.

L'oscillographe multiple a été proposé sous diverses formes, la plus simple consistant à incorporer dans un même bloc plusieurs ensembles constituant chacun un oscillographe indépendant.

Nous citerons les réalisations de l'E.D.F. (oscillographe Baron) et les tubes à plusieurs faisceaux Cossor, Du Mont, les oscillographes à haute tension de l'Institut Électrotechnique d'Aix-la-Chapelle, de Trüb-Täuber à Zürich, de Knoll et Bigalke à Berlin, de Kasai à Tokio...

La plupart des procédés qui ont été utilisés dans ces appareils présentent le même inconvénient :

Si l'on veut que les spots soient alignés sur une même ordonnée, pour permettre des comparaisons de déphasage, on est conduit à des ensembles relativement encombrants. La construction de micro-oscillographes, où chacun des systèmes occupe un espace très réduit, a permis de résoudre ce problème, en alignant les divers systèmes oscillographiques sur un diamètre de l'appareil. C'est ainsi que Von ARDENNE a étudié un micro-oscillographe à six traces, à lentilles électrostatiques, et à entraînement mécanique du film. La trace atteint une finesse de l'ordre du centième de millimètre. Il ne semble pas que la vitesse d'inscription obtenue permette d'enregistrer des fréquences supérieures à 100 kHz.

Signalons également la réalisation par Siemens d'un tube scellé à quatre faisceaux. Le flux électronique émis par une cathode chaude est rassemblé en une nappe verticale par une lentille électrostatique du type « cylindrique ». Quatre paires de plaques formant autant de lentilles cylindriques découpent dans cette nappe quatre faisceaux qui sont focalisés sur l'écran fluorescent suivant une même verticale. C'est surtout un appareil de démonstration.

Suivant la technique du micro-oscillographe, le M.I.T. a construit un oscillographe à trois faisceaux, spécialement conçu pour enregistrer des fréquences de plusieurs milliers de mégacycles. L'auteur ne s'est pas préoccupé d'obtenir des spots alignés; chacun des faisceaux décrit son oscillogramme propre, avec son balayage indépendant. La largeur du trait est de l'ordre des dimensions du grain de l'émulsion, mais la « finesse relative » du tracé laisse un peu à désirer.

Le principal intérêt de cet appareil réside dans la possibilité, grâce à ses plaques de petites dimensions, d'enregistrer, avec une faible distorsion, les fréquences très élevées.

0.22. — POSITION DU PROBLÈME ÉTUDIÉ.

Nous avons cherché, par un procédé simple, à réaliser un oscillographe à plusieurs faisceaux (par exemple quatre) qui permette d'observer et d'enregistrer simultanément quatre phénomènes, la durée de l'observation étant de l'ordre de la micro-seconde.

Les tensions admissibles sur l'appareil devaient pouvoir atteindre plusieurs dizaines de kilovolts, de façon à obtenir un enregistrement direct de phénomènes transitoires à haute tension.

La réalisation a été conduite avec le souci de permettre une transformation facile de l'appareil en oscillographe à six ou huit faisceaux, par modification d'un seul des éléments entrant dans sa constitution.

La finesse du trait a été considérée comme une condition primordiale, afin qu'il soit possible de tirer des enregistrements oscillographiques le maximum de renseignements détaillés.

PREMIÈRE PARTIE

1.0. Principe d'un oscillographe à plusieurs faisceaux à optique commune à tous les faisceaux.

Le procédé que nous avons développé consiste à isoler, à l'aide d'un diaphragme, un certain nombre de faisceaux dans le flux d'électrons qui proviennent d'un canon à électrons, puis à les focaliser par une lentille commune.

1.1. Description schématique.

Un canon à électrons à filament incandescent a pour effet de produire une région de croisement des trajectoires électroniques, appelée cross-over, située sur l'axe, au voisinage de l'anode. Le cross-over se comporte pour tout le reste du système, comme une source d'électrons de dimensions réduites, donnant un faisceau divergent d'électrons, à peu près monocinétique.

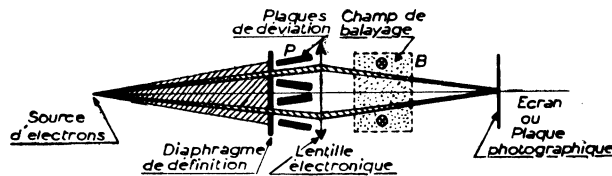


FIG. 1.1.a. — Schéma de principe d'un oscillographe à plusieurs faisceaux.

Le diaphragme D, percé de petits trous équidistants de l'axe du faisceau, isole plusieurs pinceaux électroniques. La lentille L, de grande ouverture, projette l'image du cross-over sur l'écran, indépendamment du nombre de pinceaux qui concourent à la formation de cette image quasi-ponctuelle (spot).

Si l'on dispose un prisme électrostatique P sur le trajet de l'un des pinceaux, la déviation qu'il impose à celui-ci entraîne un déplacement du spot correspondant sur l'écran. On peut considérer que les systèmes défecteurs donnent une image virtuelle du cross-over, plus ou moins déplacée dans le plan de celui-ci, et dont la lentille fournit une image homologue. En l'absence de déviation les différents spots sont rassemblés en un seul.

Un système défecteur B agissant sur *tous les faisceaux*, provoque un déplacement simultané de tous les spots, indépendamment des déplacements qu'ils ont subi du fait des prismes P.

En ayant soin de disposer les systèmes défecteurs B et P de manière qu'ils donnent sur l'écran des déplacements suivant deux directions perpendiculaires, on a schématiquement réalisé un oscillographe à plusieurs faisceaux dans lequel la coïncidence des spots au repos est assurée, quel que soit le nombre de faisceaux.

1.2. Vérification expérimentale.

Les premiers essais ont été effectués sur le banc d'optique électronique de la Faculté des Sciences de Toulouse (1).

Le dispositif expérimental étudié nous a permis de vérifier que la mise en œuvre de ce projet ne soulève pas de difficulté fondamentale, mais que l'obtention d'un oscillogramme convenable résulte d'un compromis tenant compte :

1° de l'aberration de sphéricité et d'astigmatisme de la lentille commune qui ne se présente pas comme un système de révolution pour chacun des faisceaux;

2° de la distorsion introduite par les champs déviateurs (électrostatique et magnétique), qui sont caractérisés par une symétrie directionnelle et non axiale, d'ailleurs faussée par la courbure des champs de fuite.

(1) Appareil de Démonstration pour l'Optique Électronique (Ch. FERT), *C. R. Acad. Sc.*, 1955, 232, 2085.

Expériences d'Optique Électronique (Ch. FERT), *Journal de physique et le Radium*, 13, 1952, p. 64 A.

DEUXIÈME PARTIE

2.0. Études théoriques et expérimentales.

Nous avons rassemblé sous ce titre diverses études que nous avons été conduits à faire en vue de l'établissement du projet de notre appareil ou au cours des mises au point.

La forme déductive, qui facilite l'exposé, n'est pas toujours celle qui a effectivement dirigé ces études, et l'expérience a été souvent notre guide.

2.1. L'optique commune aux divers faisceaux.

2.11.0. — LE CANON A ÉLECTRONS.

Nous désignerons sous le nom de canon à électrons le système qui permet d'obtenir un faisceau d'électrons animés d'une certaine vitesse et dont la direction générale est celle de l'axe du tube.

Nous faisons abstraction de la lentille de concentration et de tous les systèmes qui agissent ensuite sur tout ou partie de ce faisceau.

Le type de canon à électrons le plus simple est le type triode, constitué par une cathode, qui émet les électrons, une anode, portée à un potentiel positif par rapport à la cathode (qui définit la vitesse finale des électrons) et une électrode intermédiaire, le wehnelt, placée au voisinage de la cathode et percée d'un trou pour permettre le passage des électrons.

Dans l'oscillographe cathodique, le canon à électrons a pour objet de donner un faisceau divergent d'électrons présentant une section de faible diamètre, réelle ou virtuelle, qui se comportera comme une source pour le reste du système.

En particulier le spot est l'image de cette source, formée par la lentille de « concentration » sur l'écran.

2.11.1. — LE CROSS-OVER.

Définition.

Le champ électrique qui règne entre l'anode et le wehnelt est perturbé par le trou du wehnelt. De même, l'anode se présente comme un conducteur creux et les surfaces équipotentiellles du côté de l'anode sont concaves. Cette courbure des équipotentiellles a sur les électrons un effet analogue à celui d'un dioptrre sphérique sur les rayons lumineux.

Les électrons émis par la cathode sont accélérés par le champ électrique, et subissent l'action du système optique constitué par la triode (cathode, wehnelt, anode).

Les électrons qui sont émis avec une vitesse nulle se déplacent initialement parallèlement à l'axe, puis convergent en un point de l'axe ω , qui est appelé cross-over. Ces trajectoires sont appelées trajectoires principales.

Après être passés par le point ω , les électrons sont soumis au champ électrique qui existe jusqu'à l'anode, et leurs trajectoires sont légèrement

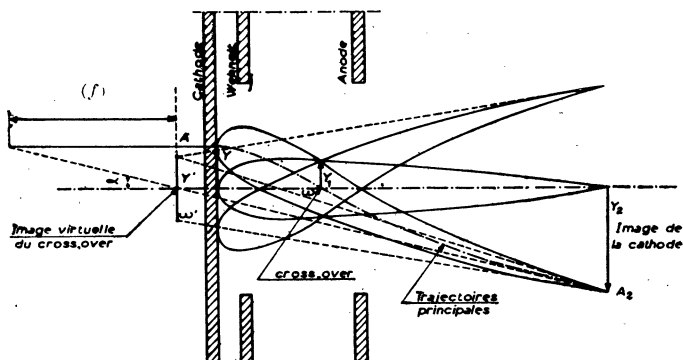


FIG. 2.11.1,a. — Formation du cross-over.

incurvées. Pour la suite du système, elles semblent provenir d'un point ω' de l'axe, qui est l'image virtuelle du cross-over.

Les électrons qui sont émis avec une certaine vitesse radiale ne coupent pas l'axe en ω , mais passent à une certaine distance y_1 . Le faisceau élémentaire d'électrons issu du point A de la cathode converge en un point A_2 .

L'ensemble des points A_2 constitue l'image de la cathode.

Tous les faisceaux élémentaires qui concourent à la formation de l'image de la cathode présentent une section droite commune, ayant pour centre ω .

Pour la suite du système, ils semblent provenir de son image, centrée en ω' qui est la pupille de sortie du canon à électrons : c'est cette section droite, de faibles dimensions, que nous désignerons sous le nom de « cross-over ».

Répartition des densités de courant dans le cross-over.

Géométriquement l'image virtuelle du cross-over peut se trouver au-delà de la cathode, mais pour la suite du système optique, les électrons en proviennent avec une vitesse correspondant à la tension d'accélération totale E_a imposée par l'anode. L'indice de réfraction correspondant est donc $\sqrt{E_a}$, tandis que l'indice de réfraction correspondant à la cathode est donné par la vitesse d'émission des électrons.

Soient ρ_c et ρ_o les densités de courant dans la source (cathode) et dans le cross-over effectif ω' .

Soit d'autre part E_1 la tension correspondant à la vitesse d'émission des électrons.

Si tous les électrons étaient émis avec la même vitesse, le courant I qu'ils transportent pourrait être concentré dans un cercle de rayon

$$y' = \sqrt{\frac{I}{\pi \rho_o}}$$

Le cross-over serait nettement délimité à un cercle de rayon y' .

En réalité le courant émis par la source est constitué par des électrons ayant des vitesses initiales réparties suivant la loi de Maxwell. La densité de courant en un point du cross-over, à une certaine distance y' de l'axe, sera la somme des densités de tous les cross-overs de rayon supérieur à y' , c'est-à-dire des cross-overs formés par les groupes d'électrons ayant une vitesse d'émission supérieure à E_1 .

On admet que la répartition des énergies d'émission des électrons suit la loi de Maxwell :

$$B(E_1) dE_1 = B_0 \frac{E_1 e}{KT} \exp. \left[-\frac{E_1 e}{KT} \right] d\left(\frac{E_1 e}{KT}\right) \quad (2.11.1,4)$$

La densité de courant dans le cross-over correspond alors à une expression de la forme :

$$\rho = A \left\{ 1 + \frac{E_a e}{KT} \frac{1}{1 - K_1 y'^2} \right\} \exp. \left[-\frac{E_a e}{KT} \cdot \frac{K_1 y'^2}{1 - K_1 y'^2} \right] \quad (2.11.1,5)$$

En pratique, $K_1 y'^2 \ll 1$ ($K_1 = \frac{\alpha^2}{y'^2}$)

de sorte que l'expression se réduit à

$$\rho = A \left(1 + \frac{E_a e}{KT} \right) \exp. \left[-\frac{E_a e}{KT} K_1 y'^2 \right] \quad (2.11.1,6)$$

Cette expression est indépendante de la distribution de la densité d'émission à la surface de la cathode, et l'on voit que la densité est maximum pour $y' = 0$, c'est-à-dire sur l'axe, en ω' . Cette valeur est donnée par une expression de la forme

$$\rho_0 = k \rho_e \left(\frac{E_a e}{KT} + 1 \right) \alpha^2 \quad (2.11.1,7)$$

qui est connue sous le nom de « limitation de Langmuir », où α est l'angle d'ouverture du faisceau émis par le canon à électrons.

Le coefficient k semble faire intervenir la répartition du courant à la surface de la cathode, mais ne saurait dépasser 1.

L'examen de cette relation permet de définir un potentiel d'émission égal à $\frac{KT}{e}$ qui est de l'ordre de quelques dixièmes de volts. C'est la valeur quadratique moyenne de la composante axiale de la vitesse des électrons émis par la cathode, exprimée en volts.

Notons à ce propos que la dispersion des vitesses d'une cathode à décharge froide est beaucoup plus importante (de l'ordre de quelques volts).

« Rayon » du Cross-Over.

Nous venons de voir que les dimensions du cross-over ne sont pas nettement définies, et que la densité de courant décroît exponentiellement avec

le carré de la distance au centre, selon une loi de la forme :

$$\rho = \rho_0 \exp. \left[- \frac{y'^2}{R_0^2} \right] \quad (2.11.1,8)$$

Cette relation permet de définir le « rayon » R_0 du cross-over comme la distance où la densité de courant devient inférieure à $1/e = 0,37$ de sa valeur sur l'axe. L'expression (2.11.1, 6) permet d'écrire en remarquant que $\frac{1}{\sqrt{R_0}} = \frac{y}{\alpha} = f$ n'est autre que la distance focale de l'objectif à immersion constitué par le canon à électrons :

$$R_0 = f \sqrt{\frac{KT}{e E_\alpha}} \quad (2.11.1,9)$$

On remarque que le rayon du cross-over est indépendant de l'aire de la cathode, mais dépend de la valeur quadratique moyenne de la composante axiale de la vitesse des électrons, et de la tension d'accélération.

On peut donc prévoir que le rayon du cross-over sera d'autant plus petit que la tension d'accélération sera élevée, et qu'il sera avantageux d'utiliser une cathode à émission thermo-ionique à température aussi basse que possible.

Toute variation des paramètres géométriques du canon à électrons se répercute sur la distance focale f .

Cette étude a été faite expérimentalement par Hilary Moss [2].

2.11.2. La Cathode.

2.11.21. — CONDITIONS PARTICULIÈRES DE FONCTIONNEMENT.

Nous avons été amenés à choisir une cathode chaude, à émission thermo-ionique, en raison du vide relativement élevé entretenu dans l'oscillographe, et surtout pour bénéficier de la souplesse des réglages que permet ce type de cathode, et de la grande brillance du cross-over qu'elle permet d'obtenir.

Parmi les différents types de cathodes à émission thermo-ionique, le choix doit être fait en tenant compte des conditions particulières dans lesquelles elle est appelée à fonctionner. Les fréquentes rentrées d'air (à chaque série d'enregistrements), imposent une cathode qui ne subisse aucun dommage au contact de l'air atmosphérique, et surtout de la vapeur d'eau. Le dégazage des pièces, ainsi que les fuites inévitables dans un appareil démontable, font que le vide n'est guère meilleur que 10^{-4} mm Hg, aussi la cathode doit-elle résister à l'action des gaz résiduels lorsqu'elle est portée à la température de fonctionnement.

Pratiquement, la durée de vie de la cathode d'un appareil démontable est plutôt déterminée par ces éléments que par l'évaporation ou l'épuisement de l'élément actif.

D'autre part, étant donné la facilité de remplacement de la cathode, nous pensons qu'une durée de vie *effective* de 100 heures est suffisante dans la plupart des cas (remplacement deux fois par mois, pour un service intensif).

Nous examinerons successivement en vue de l'application à un oscillographe les propriétés des cathodes à oxydes, des cathodes à filament métallique, et de quelques cathodes spéciales récemment mises au point.

Les cathodes à oxydes ont une émission électronique particulièrement élevée. Cependant, étant donné que cette émission est liée à l'activation de la cathode, c'est-à-dire à l'apparition d'atomes de baryum à partir de l'oxyde, il faut s'attendre à ce que tout gaz actif ait une action particulièrement néfaste. On observe en effet que l'oxygène, la vapeur d'eau, empoisonnent très rapidement une cathode à oxydes, même à des pressions de l'ordre de 10^{-4} mm Hg.

En outre, les ions gazeux résiduels se précipitent sur la cathode sous l'influence du champ électrique, et si l'énergie des ions est supérieure à 25 eV, ces derniers produisent un arrachement de la couche active.

Signalons qu'un type de cathode à réserve de baryum à évaporation, mis au point par HULL [9] utilisé dans les tubes à remplissage gazeux à très grand débit, présenterait l'avantage très appréciable d'un potentiel de sortie très bas (1,1 volt).

Pour le problème qui nous occupe, il ne paraît en général pas possible d'utiliser une cathode à oxydes et nous étudierons d'une part les cathodes à filament métallique, d'autre part les cathodes spéciales plus robustes que les cathodes à oxydes.

2.11.22. — CATHODES A FILAMENT MÉTALLIQUE [5-6].

L'émission électronique des métaux purs est régie par la loi de Richardson; pour les températures inférieures à 3.000° K, l'expression du courant de saturation par unité de surface émissive est :

$$i_s = AT^2 \exp. \left(- \frac{e \Phi}{KT} \right) \text{ A/cm}^2$$

K : constante de Boltzman = $1,38 \cdot 10^{-23}$ w/s

Φ : potentiel de sortie du métal

A : coefficient dépendant de la surface émissive

e : $1,602 \cdot 10^{-19}$ Cb.

En vue des calculs numériques, cette expression s'écrit plus commodément :

$$\log \frac{i_s}{T^2} = \log A - \frac{11600 \Phi}{2,303 T}$$

Il semble, à première vue, que l'on ait intérêt à rechercher un métal ayant un potentiel de sortie aussi faible que possible. A cet égard le baryum et le coesium paraissent les plus intéressants (potentiel de sortie 1,7 et 1,8 volts). Cependant un autre facteur intervient : la température maximum possible d'utilisation, compte tenu de l'évaporation du métal et de son usure sous l'action d'autres agents. Cette considération élimine d'emblée les deux métaux précédemment cités, le premier à cause de sa grande affinité pour l'oxygène, le second à cause de sa basse température de fusion (299° K). Du côté des métaux réfractaires, le tungstène, le tantale et le molybdène peuvent être utilisés.

Si nous négligeons provisoirement l'action des gaz résiduels, un critère de comparaison sera l'évaporation du métal à la température de fonctionnement, pour une même émission électronique :

TABLEAU 2.11.3, a.

| Métal | T pour $\rho = 3A/cm^2$ (° K) | $\frac{T_f}{T} \times 100$ | Φ (V) | Masse évaporée (g/cm ² s) | T fusion (° K) |
|-------|-------------------------------------|----------------------------|---------------|---|-------------------|
| Mo | 2.580 | 89.3 | 4.37 | 14.10 ⁻⁶ | 2893 |
| Ta | 2.585 | 79.1 | 4.10 | 0.043.10 ⁻⁶ | 3269 |
| W | 2.780 | 76.2 | 4.52 | 0.043.10 ⁻⁶ | 3643 |

Ce tableau indique que le tantale, fonctionnant à une température moins élevée que le tungstène (quoique à 79 % de son point de fusion contre 76), ne s'évapore pas plus rapidement que celui-ci, et possède le plus faible potentiel de sortie.

Le tantale est bien connu pour ses propriétés absorbantes aux températures inférieures à 800° C. Cependant, les gaz occlus superficiellement sont chassés vers 1.100° C.

La purge est complète vers 2.000° C. Or la température de fonctionnement envisagée est de l'ordre de 2.500 à 2.600° K. Les propriétés caractéristiques du tantale comme « getter » ne sont donc pas gênantes.

L'oxydation du tantale, rapide au-dessus de 600° C, est très importante en présence de vapeur d'eau. Il y aura donc lieu d'assurer une dessiccation soignée de l'enceinte, en particulier de l'air admis à l'intérieur à chaque ouverture de l'appareil. Ces précautions doivent d'ailleurs être également respectées dans le cas du tungstène.

Le tantale présente sur ce dernier deux avantages appréciables :

1° pour une même émission électronique 3A/cm² la température de fonctionnement est inférieure de 7 % à celle du tungstène;

2° le tantale est beaucoup plus ductile que le tungstène et la mise en forme du filament est très facile.

2.11.23. — CATHODES SPÉCIALES [7-8].

Les progrès récents de la technique ont permis de mettre au point de nouveaux types de cathodes à forte émission thermo-ionique, comparable ou même supérieure à celle des cathodes à oxydes, mais n'ayant pas la fragilité de celles-ci.

L'utilisation de ces cathodes n'est pas encore entrée dans la pratique courante, mais les données publiées permettent d'en étudier l'application au cas de l'oscillographe haute tension.

La cathode L ou cathode à diffusion.

Cette cathode fonctionne d'après le principe suivant : une réserve de carbonate alcalino-terreux (Baryum, Strontium) est enchâssée sous une paroi protectrice de tungstène.

L'ensemble est monté dans un boîtier en molybdène, et chauffé indirectement par un filament.

La paroi de tungstène possède une porosité bien définie, qui permet la migration des éléments actifs (Baryum, Strontium, Oxyde de Baryum) d'une face à l'autre.

L'émission maximum est de 300 A/cm² et le rendement thermo-ionique est très élevé : 10 A/W.

La constitution même de la cathode L lui confère une grande robustesse, en particulier en haute tension, où des arrachements de particules émises sont à craindre.

La surface émissive peut être usinée avec précision à la forme désirée.

D'autre part, les décharges accidentelles et les bombardements ioniques n'ont aucun effet durable sur la cathode, qui se réactive très rapidement. Cette réactivation rapide est intéressante également au point de vue de la contamination par l'oxygène.

La durée de vie d'une cathode L fonctionnant à 1.300/1.400° K est de quelques milliers d'heures. Cette température correspond à une émission de 3 A/cm².

L'émission électronique d'une cathode L suit la loi de Richardson, la constante A variant de 1 à 15 A/cm² ° K² et le potentiel de sortie de 1,6 à 2 V suivant les échantillons.

*La cathode au borure de lanthane.**

Par suite de leur constitution cristalline particulière, les borures, de formule générale MB₆, ont une conductibilité électrique assez élevée, tandis que leurs points de fusion sont supérieurs à 2.100° C. Les borures sont d'ailleurs chimiquement très stables vis-à-vis de la vapeur d'eau, de l'oxygène, etc...

A température élevée, les atomes métalliques superficiels s'évaporent, mais sont immédiatement remplacés par d'autres atomes diffusant de l'intérieur. Ces caractéristiques font des borures des matériaux de choix

pour cathodes thermo-ioniques. La résistance mécanique des borures est très élevée après cuisson de 15 minutes à 1.800° C, aussi les cathodes peuvent être très robustes.

L'émission thermo-ionique du borure de lanthane est particulièrement intense, la constante de Richardson étant égale à $29 \text{ A/cm}^2 \text{ }^{\circ} \text{K}^2$ et le potentiel de sortie à 2,66 volts.

Avec ces valeurs, une émission de 3 A/cm^2 est atteinte pour une température de 1.785° K.

Une cathode de lanthane n'a pas besoin d'activation préalable : elle fonctionne normalement après chauffage de quelques minutes à 1.500° C ou 1.600° C pour la dégazer, même après avoir été exposée à l'air un certain temps.

Cette caractéristique rend son emploi intéressant dans les appareils démontables.

2.11.24. — CHOIX DE LA CATHODE.

Dans un oscillographe, le rôle de la cathode est de fournir le courant électronique nécessaire, et ceci, dans des conditions qui ont une influence favorable sur les caractéristiques finales de l'oscillographe.

Nous verrons en effet en 2.33 que la vitesse d'inscription dépend de la densité de courant maximum dans le spot, et que celle-ci dépend à son tour, de la température de la source (2.11.1, 7) ; il en est de même du rayon du spot (2.11.1, 9).

Le spot sera d'autant plus fin, toutes choses égales par ailleurs, que la température de la source sera moins élevée. La température étant fixée, la vitesse d'inscription est proportionnelle à la densité d'émission électronique ρ_e pour cette température. C'est donc la cathode qui possèdera la valeur la plus élevée pour la constante A de Richardson, et surtout le potentiel de sortie le plus bas, qui donnera les meilleurs résultats, tant au point de vue de la finesse du spot que de la vitesse d'inscription.

Pratiquement, chaque type de cathode est caractérisé par une zone de température de fonctionnement limitée par diverses considérations, et une émission électronique de 3 A/cm^2 est considérée comme un ordre de grandeur moyen.

Nous comparerons donc diverses cathodes au point de vue de la température de fonctionnement correspondant à cette densité d'émission. La vitesse d'inscription est inversement proportionnelle à la température de la cathode, et nous les comparerons, en prenant comme base de valeur 100, la vitesse d'inscription correspondant à l'utilisation d'une cathode de tungstène (Tableau 2.11.2, c).

Cette comparaison montre l'intérêt considérable des cathodes L et des cathodes à réserve de baryum.

Cependant, la cathode au baryum n'est peut-être pas utilisable sans précautions particulières. Par contre, la cathode L est très robuste, et convient parfaitement pour un tube démontable. En outre, cette cathode peut fonctionner à des températures plus élevées que celle envisagée pour cette comparaison. Si l'on s'autorise une durée de vie de quelques centaines d'heures, on peut pousser la température jusqu'à 1520° K. L'émission électronique passe alors à 100 A/cm², et en définitive, la brillance du spot obtenu, et par suite la vitesse d'inscription sera, toutes choses égales par ailleurs,

$$\frac{100}{3} \cdot \frac{2780}{1520} = 61 \text{ fois}$$

plus grande que celle d'un filament de tungstène légèrement « survolté » (même durée de vie approximative).

TABLEAU 2.11.2,c

| Cathode | Température (° K) | Émission électronique A/cm ² | Vitesse d'inscription relative |
|--------------------------------|----------------------|---|--------------------------------------|
| Tungstène | 2780 | 3 | 100 |
| Tantale | 2585 | 3 | 107.5 |
| Borure de Lanthane | 1785 | 3 | 156 |
| Cathode L | 1350 | 3 | 206 |
| Cathode à réserve de Baryum | 1270 | 1.8 (1) | 208 |

(1) Courant de saturation en régime permanent.

Toutefois, pour une première réalisation, nous avons équipé l'oscillographe d'une cathode à filament de tantale, matériau facile à obtenir dans le commerce.

2.11.3. Caractéristiques du canon à électrons utilisé.

Dans le but de simplifier les commandes de l'oscillographe nous avons cherché à mettre au point un canon à électrons où le nombre de réglages soit, en usage normal, réduit au minimum.

Le chauffage de la cathode est assuré par un transformateur de chauffage de kénotron, réglé du côté basse-tension à l'aide d'un « variac ». Une surtension momentanée peut être appliquée pendant les enregistrements pour augmenter la brillance de la source, sans nuire d'une façon prohibitive à sa durée de vie.

Le wehnelt est porté au potentiel de la pointe du filament grâce à un potentiomètre monté en parallèle sur celui-ci. Le wehnelt enveloppe com-

plètement la cathode, et laisse sortir les électrons par un orifice de 1 mm. de diamètre.

La distance anode-wehnelt détermine dans ces conditions l'angle d'ouverture du faisceau d'électrons.

La distance entre le filament et le trou du wehnelt doit être réglée avec précision pour obtenir l'effet désiré.

Le principal inconvénient du procédé sur lequel est basée l'obtention des divers faisceaux à partir d'un canon à électrons unique est son mauvais rendement car la plus grande partie du flux d'électrons est interceptée par le diaphragme où sont percés les trous de définition des faisceaux. Aussi avons-nous cherché à améliorer celui-ci dans la mesure du possible tout en conservant au dispositif sa simplicité caractéristique.

L'expérience nous a montré qu'il était possible d'obtenir un flux d'électrons à section annulaire sur le plan des quatre diaphragmes de définition des faisceaux. La densité électronique est maximum sur le cercle où sont percés ces diaphragmes.

Le courant total fourni par ce canon à électrons est de l'ordre du milli-ampère avec un filament de Tantale ou de Tungstène chauffé au blanc.

Nous avons vérifié que la position de la surface émettrice de la cathode par rapport au trou du wehnelt n'a pas d'influence sur la formation correcte du cross-over, entre certaines limites.

2.12. — LA LENTILLE DE CONCENTRATION.

Elle est quelquefois appelée, plus exactement, lentille de projection. Son rôle est de former sur l'écran l'image du cross-over, (spot).

L'utilisation d'une même lentille pour focaliser plusieurs faisceaux donne lieu à des particularités intéressantes que nous analysons par la suite.

2.12.1. Formation du spot [1].

La lentille de concentration d'un oscillographe, quel que soit son type, est relativement peu puissante; elle peut être considérée comme mince, en ce sens que ses plans principaux sont pratiquement confondus, du moins pour une première approximation.

Le rayon du spot, image du cross-over, est donné par le grandissement géométrique si la lentille n'introduit, en définitive, aucune différence de potentiel entre le cross-over et le spot :

$$R = \frac{P'}{P} R_0 \quad (2.12.1,1)$$

La densité de courant dans le spot est liée à celle de la cathode par l'intermédiaire de la brillance du cross-over par la relation suivante, transposée de la photométrie :

$$i_0 = K' \rho_e \left(\frac{E_e e}{KT} + 1 \right) \beta^2 \quad (2.12.1,2)$$

Pratiquement cette relation peut s'écrire sous la forme :

$$i_0 = K' \rho_c \frac{E_a e}{K T} \beta^3$$

La valeur de K' dépend de la répartition des densités de courant à la cathode, et serait de l'ordre de $1/10^6$ d'après Hilary Moss; elle n'interviendra

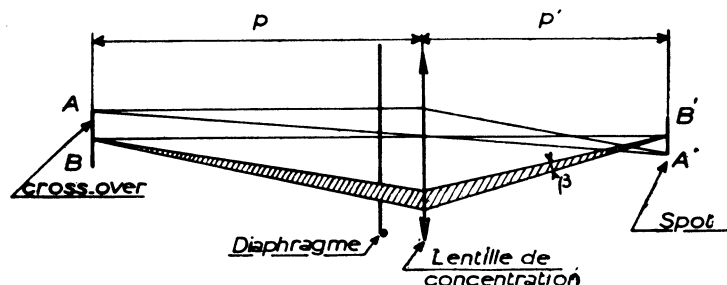


FIG. 2.12.1,a. — Formation du spot.

pas dans ce qui suit :

La loi de répartition des densités de courant dans le spot a la même forme que celle trouvée pour le cross-over :

$$i(x) = i_0 \exp. \left(-\frac{x^2}{R^2} \right)$$

L'intensité totale du faisceau qui atteint l'écran est alors exprimée par :

$$I = \pi R^2 i_0 \quad (2.121.3).$$

Cette expression justifie la définition que nous avons adoptée pour le rayon du spot; en effet, c'est le rayon d'un faisceau pour lequel la densité de courant serait constante et égale à la valeur axiale, et qui transporterait le même courant total que le faisceau réel.

Limitation de la charge d'espace. — L'étude de cette question permet de conclure que pour un oscillographe à haute tension, la condition de Langmuir exprimée par la relation (2.12.1, 2) est prépondérante dès que la tension est supérieure à 6 kV. Il en résulte que dans un oscillographe à haute-tension, la densité de courant dans le spot est limitée par l'émission électronique de la cathode.

2.12.2. Cas particulier de l'oscillographe à plusieurs faisceaux : type de lentille utilisé.

a) Position de la lentille.

La mise en œuvre du principe de la focalisation commune de plusieurs faisceaux conduit à faire fonctionner la lentille de concentration à grande

ouverture, la distance des faisceaux à l'axe, au droit de la lentille, étant de l'ordre du centimètre.

On pourrait craindre que cette particularité conduise à des aberrations assez importantes. En réalité, pour des faisceaux fins abordant la lentille à la même distance de l'axe, la convergence possède la même valeur pour tous les faisceaux. Lorsque l'un des faisceaux donne une image nette du cross-over, il en est de même des autres.

L'angle d'ouverture qui intervient pour définir les aberrations est l'angle β (*fig. 2.12.1, a*).

En tout état de cause, l'utilisation d'une lentille magnétique présente des avantages importants vis-à-vis d'une lentille électrostatique.

Du point de vue de la sécurité et de l'utilisation, il faut tenir compte du fait que la focalisation électrostatique demande une tension qui est de l'ordre de la tension d'accélération et qui est difficilement réglable, tandis qu'une lentille magnétique peut être alimentée à basse tension, et présente une souplesse de réglage qui confère à l'optique électronique une particularité intéressante vis-à-vis de l'optique classique.

Le principal avantage des lentilles électrostatiques réside en général dans le générateur de haute tension : on peut admettre sans inconvénient une tension d'ondulation résiduelle relativement importante si le potentiel de la lentille et le potentiel de la cathode sont proportionnels. Cette propriété n'est d'aucun intérêt pour un oscillographe.

Les lentilles magnétiques présentent un avantage très important quant à l'aberration de sphéricité : leur coefficient est de l'ordre du dixième de celui des lentilles électrostatiques.

L'expérience nous a montré que d'excellents résultats pouvaient être obtenus à l'aide d'une lentille magnétique, même de réalisation très rustique.

L'utilisation d'une lentille magnétique permet d'« immerger » les plaques de déviation dans le champ focalisateur. Cette possibilité permet de concilier les conditions suivantes :

-- Le spot est d'autant plus fin que la lentille est rapprochée de l'écran (2.12.1, 1). Cette condition conduirait à placer la lentille immédiatement avant l'écran, les plaques de déviation étant disposées en amont de la lentille.

-- Les faisceaux doivent être équidistants de l'axe à leur traversée de la lentille pour qu'ils puissent converger en un même point de l'écran malgré l'aberration de sphéricité de la lentille.

Cette dernière considération ne permet pas de maintenir les systèmes défecteurs en amont de la lentille, et, serait absolument respectée si tous les systèmes déviateurs étaient en aval.

Un compromis entre ces deux conditions est réalisé par la superposition des champs déviateurs (phénomènes à étudier et balayage) et du champ

focalisateur dans la même région. L'expérience montre que cette solution est satisfaisante.

b) *Élimination des spots lumineux.*

Dans les appareils d'optique électronique utilisant une cathode incandescente (microscope, diffractographe électronique, etc...) on est en général plus ou moins gêné par les rayons lumineux qui passent par les divers diaphragmes, suivant des trajectoires voisines de celles des électrons.

Si l'on ne prend aucune précaution, la plaque photographique enregistre les points d'impact de la lumière, qui se superposent à l'image électronique.

L'utilisation de faisceaux éloignés de l'axe permet de résoudre ce problème.

Avant d'avoir abordé la lentille, les pinceaux lumineux et les pinceaux électroniques sont pratiquement confondus; après leur entrée dans la lentille, ils ne suivent plus le même chemin. Les pinceaux lumineux continuent à diverger, tandis que les pinceaux électroniques subissent deux actions distinctes :

a) un effet de « focalisation » qui les fait converger progressivement vers l'axe;

b) un effet de rotation de l'ensemble des faisceaux, autour de l'axe, caractéristique des lentilles magnétiques.

Si l'on veut utiliser l'effet (a), il est facile de disposer un diaphragme qui intercepte les faisceaux lumineux, mais qui, compte tenu des déviations que subissent les faisceaux électroniques dans un oscillographe, laisse passer les électrons sans perturbation. Cette solution n'est plus applicable lorsque les champs défecteurs sont superposés au champ focalisateur.

L'effet de rotation (b) permet de résoudre le problème dans tous les cas. La figure (2.12.2, b) donne le rabattement des plans d'entrée et de sortie du champ focalisateur, et permet de voir que les faisceaux électroniques P_2 sont dans le plan de sortie nettement séparés des faisceaux lumineux P_1 .

Les rectangles hachurés indiquent la zone où peut se déplacer le point de sortie des électrons P_2 sous l'action des champs déviateurs. Cette zone est relative à un balayage complet de la surface de l'écran par le spot correspondant.

Un diaphragme de forme convenable, placé dans le plan de sortie, permet d'intercepter les faisceaux lumineux.

c) « *Mise au point* ».

La qualité des enregistrements dépend beaucoup de la qualité de la mise au point.

Une particularité intéressante du procédé de focalisation commune de plusieurs faisceaux réside dans la facilité de mise au point correcte.

La mise au point consiste pratiquement à régler le courant d'excitation de la lentille de telle sorte que les quatre taches électroniques qui apparaissent sur l'écran, soient confondues en un seul spot (en l'absence de

champ déviateur). Lorsque cette condition est réalisée, la mise au point est réalisée pour chacun des faisceaux.

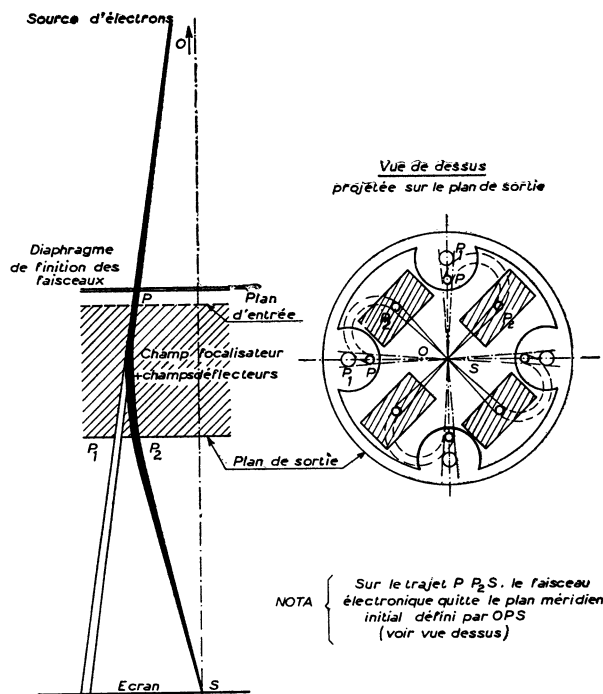


FIG. 2.12.2.b.
Élimination des spots lumineux par effet de rotation.

Cette propriété est très intéressante lorsque les spots sont très fins et très brillants : il est alors quasi impossible d'apprécier des variations de diamètre des spots, tandis que les variations de distance entre spots sont plus visibles.

La figure (2.12.2, c) permet de chiffrer cette augmentation de sensibilité de la mise au point.

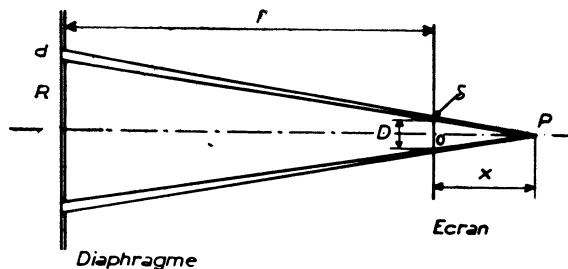


FIG. 2.12.2.c. — Sensibilité de la mise au point,

La mise au point s'opère par variation de x ; f restant constant; un calcul élémentaire montre que la distance D varie $\frac{2R}{d}$ fois plus vite que le diamètre des spots δ .

Pour $R = 10$ mm et $d = 0,5$ mm la mise au point sera 40 fois plus sensible que pour un oscillographe où chaque faisceau est focalisé séparément.

2.13. — LE CHAMP DE BALAYAGE.

Le champ de balayage a pour but de produire une déviation simultanée de tous les faisceaux en fonction du temps, suivant une loi connue.

Pour des mesures de temps précises, on enregistre, en même temps que le ou les phénomènes, une sinusoïde dite d'étalonnage.

2.13.1. Cas d'un faisceau large. — Balayage magnétique.

En général un oscillographe à plusieurs faisceaux ne se conçoit qu'avec un balayage présentant la même loi de variation pour tous les faisceaux. Le champ de balayage agit donc simultanément sur les divers faisceaux.

Au point de vue de la déviation de balayage, on est donc en présence du problème de la déviation d'un faisceau très large, bien que chacun des faisceaux individuels soit relativement étroit.

La condition imposée est que pour un angle de déviation maximum donné, les différents spots se déplacent parallèlement entre eux.

Cette condition revient à dire que le champ doit être aussi uniforme que possible dans la région où les faisceaux le traversent.

Il est communément admis dans la technique de la télévision, qu'il est plus commode de réaliser cette condition pour un champ magnétique que pour un champ électro-statique. En effet, les plaques doivent obligatoirement être disposées à l'intérieur du tube, qu'il soit en matériau isolant ou non, tandis que les bobines magnétiques peuvent être disposées à l'extérieur.

Il en résulte que *pour un tube donné*, et pour un faisceau de diamètre donné, le champ magnétique pourra être plus uniforme que le champ électrique.

Une autre raison qui justifie le choix d'un balayage magnétique pour l'appareil étudié est la suivante : ce dispositif permet d'enregistrer des courbes $V(I)$ qui sont souvent utiles en électrotechnique.

2.13.2. Topographie du champ magnétique de déviation [11].

La partie active des bobines est constituée par les conducteurs parallèles à l'axe.

L'étude du champ magnétique dans une section droite montre que c'est pour $\theta = 60^\circ$ que le champ magnétique est uniforme avec la meilleure

approximation. Pratiquement, on peut considérer que le champ P est constant pour les valeurs de b inférieures à 0.3.

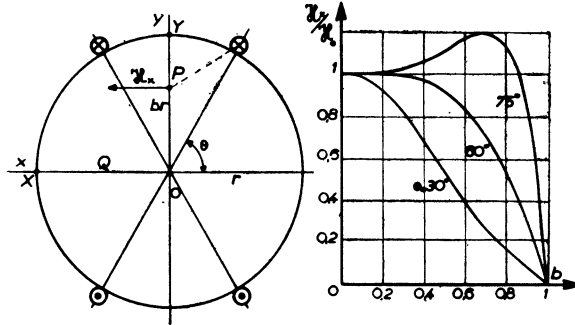


FIG. 2.13.2,a. — Champ de quatre conducteurs longitudinaux.

En ce qui concerne la variation du champ le long de Ox on se rappellera que cette même valeur de $\theta = 60^\circ$ assure la meilleure uniformité, par analogie avec les bobines d'Helmholtz.

2.13.3. Commande du balayage.

Le champ de balayage a pour objet de produire une déviation simultanée de tous les faisceaux suivant une loi connue. On distingue deux types principaux de balayage :

- le balayage linéaire, dans lequel la déviation est proportionnelle au temps, ce qui facilite les interpolations.
- le balayage exponentiel, dans lequel la déviation suit une loi de la forme

$$x = X_0 \left[1 - \exp. \left(- \frac{t}{\theta} \right) \right]$$

Ce dernier a l'avantage de développer le début du phénomène. Le champ magnétique de balayage est obtenu en faisant circuler dans les bobines un courant variant selon une loi convenable.

Un balayage exponentiel s'obtient très facilement en utilisant la loi d'établissement du courant dans une self.

$$i = \frac{E}{R} \left[1 - \exp. \left(- \frac{R}{L} t \right) \right]$$

La vitesse de variation du courant est, au début du phénomène

$$\left(\frac{di}{dt} \right)_0 = \frac{E}{L}$$

Elle est indépendante de la résistance du circuit et ne dépend que de la self des bobines et de la tension du générateur. Le courant maximum est

$$i_m = \frac{E}{R} \text{ et se trouve déterminé par la résistance du circuit,}$$

Si on ne considère que le début du phénomène, on peut admettre que la loi de variation est linéaire.

La durée utile pour une distorsion de 1 % est $t_u = 0,15 \frac{L}{R}$.

Le courant a alors pour valeur $i \approx 0,15 \frac{E}{R}$.

En admettant que la durée totale de l'établissement du courant est de $3 \frac{L}{R}$, on constate que le taux d'utilisation est peu élevé. Toutefois, ce procédé a l'avantage de la simplicité de mise en œuvre.

Il est possible de rendre linéaire la variation de courant dans une self, en introduisant en série dans le circuit un élément de résistance convenablement variable. Cela peut être obtenu avec un tube pentode, dont la grille est commandée suivant une loi convenable [21].

Cependant, remarquons que ce procédé ne permet pas de contrôler des courants intenses à cause du débit assez réduit des tubes à vide.

Il paraît donc nécessaire de faire usage de tubes à gaz susceptibles de laisser passer des courants intenses pendant une durée relativement courte. On doit alors se résigner, si l'on désire un balayage linéaire, à n'utiliser que le début d'une décharge de grande amplitude.

Remarquons que très souvent, et en particulier lorsque l'on dispose de plusieurs faisceaux, il n'y a aucun inconvénient à avoir une loi de balayage quelconque. L'un des faisceaux peut en effet être réservé à l'échelle des temps, et enregistrer une tension sinusoïdale de fréquence connue.

Nous avons réalisé un montage dont le schéma de principe est le suivant :

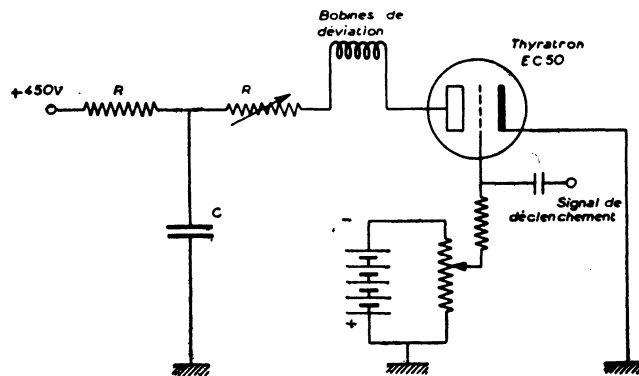


FIG. 2.13.3,a. — Schéma de principe du circuit de commande du balayage.

L'utilisation d'un condensateur comme source de courant assure l'extinction du thyatron, si la résistance R de charge du condensateur est assez élevée. Le thyatron est ainsi en mesure de remplir à nouveau son rôle, au signal de déclenchement suivant. La capacité C doit être aussi

élevée que possible, compte tenu de la constante de temps de charge du condensateur : on doit avoir approximativement la relation :

$$3 RC = \text{période de relaxation du phénomène à observer.}$$

R est la résistance limite pour laquelle la décharge ne peut se maintenir dans le thyatron.

L'insertion d'une résistance R' de valeur convenable en série avec la bobine de déviation permet de passer d'un balayage quasi-linéaire à un balayage exponentiel.

Le déclenchement du balayage se fait par l'application d'une tension de l'ordre du volt à la grille du thyatron.

Cette tension peut être fournie soit par un signal de déclenchement du balayage, en avance sur le phénomène; soit par prélèvement du début de la tension à enregistrer, lorsqu'il n'est pas possible de contrôler le déclenchement du phénomène.

Dans le cas où on désire observer plusieurs périodes d'un phénomène périodique, le balayage « déclenché » convient aussi bien qu'un balayage « relaxé » à condition que le déclenchement soit rendu impossible tant que la période de balayage n'est pas terminée.

2.2. Systèmes déviateurs particuliers à chaque faisceau.

2.21. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

On imprime à chaque faisceau une déviation proportionnelle à la tension du phénomène, au moyen d'une paire de plaques par faisceau.

Nous avons tenu à ce que des tensions de même signe produisent des déviations de même sens pour tous les équipages. Par contre, il n'y a aucun inconvénient à ce que leurs sensibilités soient différentes, un étalonnage d'amplitude étant toujours nécessaire.

L'une des caractéristiques de l'oscillographe étudié est de permettre l'enregistrement direct de hautes tensions. Nous avons été conduits à utiliser un diviseur de tension incorporé, qui introduit une distorsion absolument négligeable.

2.22. — ABERRATIONS DES SYSTÈMES DÉFECTEURS.

Les défauts des systèmes de déviation électrostatique se classent : en coma, astigmatisme, courbure de champ, distorsion. Leur origine réside dans une dissymétrie des tensions des plaques par rapport aux électrodes voisines.

Il est bien connu des expérimentateurs qu'un oscillographe doit en général être attaqué par des tensions symétriques par rapport à la masse, sous peine de voir apparaître un astigmatisme fort gênant. Cette condition ne peut être réalisée dans un appareil où on n'utilise pas d'amplificateur.

D'autre part, il résulte d'une étude faite par Bigalke qu'elle est pratiquement irréalisable pour un oscillographe à plusieurs faisceaux, même en faisant usage d'amplificateurs.

Les aberrations risqueraient d'être particulièrement accusées dans l'oscillographe étudié à cause de l'exiguité de l'espace réservé à chaque équipage, et du voisinage immédiat du croisillon faisant office de blindage électrostatique. Le phénomène doit donc être combattu à son origine même.

C'est la non-uniformité du champ électrique dans le voisinage du faisceau électronique qui provoque, en particulier, l'aberration de coma. On combat cet effet en utilisant un faisceau étroit par rapport aux dimensions des plaques, et en adoptant des plaques à bords rabattus vers l'intérieur ce qui a pour effet de diminuer l'influence du champ de fuite latéral. L'une des plaques peut alors être sans inconvénient au potentiel de la masse, ou à un potentiel quelconque.

Le champ de fuite inévitable à l'entrée et à la sortie des plaques provoque de l'astigmatisme. Déjà réduit dans un oscillographe à haute tension, cet effet est diminué en éloignant suffisamment les plaques du trou de définition du faisceau, et en leur donnant un certain angle de divergence. En effet, l'action du champ de fuite est surtout sensible à la sortie à cause du déplacement subi par le faisceau au cours de la traversée des plaques.

2.23. — DIVISEUR DE TENSION CAPACITIF INCORPORÉ.

Dans un oscillographe où l'on désire pouvoir enregistrer directement des tensions aussi élevées que possible, le problème est de diminuer la sensibilité des plaques de déviation.

La déviation angulaire produite sur un faisceau d'électrons par une paire de plaques de longueur l distantes de d auxquelles on applique une tension E , est : $tg \theta = \frac{1}{2} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{E}{V}$ (V = tension d'accélération des électrons).

Remarquons qu'elle est proportionnelle à la capacité des plaques.

La tension d'accélération V étant de l'ordre de 50 kV, valeur déterminée par diverses considérations pratiques, la sensibilité peut être réduite en éloignant les plaques l'une de l'autre, et en diminuant leur longueur.

Pour des raisons d'encombrement, il n'était guère possible, dans un oscillographe à plusieurs faisceaux, d'augmenter la distance d des plaques au-delà de 1 cm. D'autre part, on ne peut réduire indéfiniment la longueur de ces plaques sans donner une importance considérable au champ de fuites, dont la forme est à l'origine de diverses aberrations (*cf.* 2.22).

L'application d'une tension élevée aux plaques de déviation reste subordonnée à l'isolement de celles-ci.

Les bornes d'admission extérieures doivent être dimensionnées en fonction de la tension de contournement dans l'air.

Pour la partie de l'équipage située dans le vide, ce sont d'une part la tension de claquage superficiel des isolants employés, d'autre part le champ disruptif au voisinage des parties métalliques à faible rayon de courbure, qui limitent la tension applicable.

Avec un tel dispositif, il n'est guère possible, pratiquement, de dépasser 10 kV. Il apparaît donc que si l'on désire pouvoir étudier directement des tensions de l'ordre de 20 kV et plus, il est nécessaire de reprendre le problème sous un autre angle.

Nous avons repris et développé une idée mise en œuvre par MESSNER en 1932 [16] et reprise par RASKE en 1937 [17] qui consiste à faire usage d'un diviseur de tension capacitif situé immédiatement au voisinage des plaques de déviation.

Celles-ci ont alors une capacité quelconque, la sensibilité de l'ensemble étant fixée par le rapport de division, et la capacité totale étant définie en grande partie par celle de la borne d'admission haute tension.

Rappelons que l'emploi d'un diviseur de tension est sujet à critique. En effet, à cause de la structure composite qu'il possède en général (résistances, selfs, capacités), le rapport de division varie avec la fréquence. Pratiquement, il n'est pas possible de réaliser un diviseur ohmique pur, les résistances et les conducteurs possédant obligatoirement une capacité non négligeable. Par contre, la réalisation d'un diviseur capacitif pur est plus facile. Toutefois, pour éliminer l'influence de la self des circuits et de l'impédance des lignes qui réunissent ses parties constituantes, le diviseur capacitif n'est utilisable que s'il est réalisé sous forme concentrée; en particulier, il ne doit pas être fait usage d'un câble retardateur pour amener la basse tension à l'oscillographe.

Signalons à ce propos que, dès avant 1937, des techniques de déclenchement des générateurs de choc ont été mises au point, qui permettent de se libérer de la sujétion que représente la ligne de retard à de nombreux points de vue.

Nous avons réalisé la disposition de la figure (2.23, a) où des connexions courtes font que la self et la résistance des divers éléments sont négligeables.

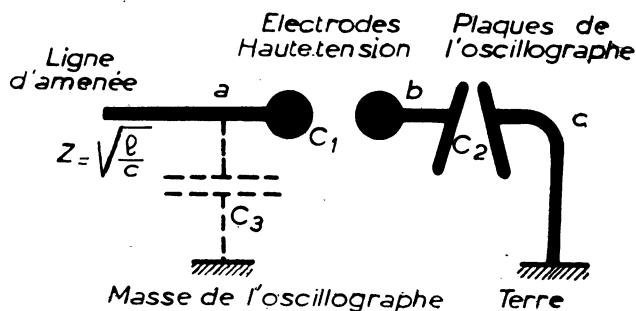


FIG. 2.23,a. — Diviseur de tension capacitif concentré.

Examinons le comportement d'un tel diviseur en présence d'une onde de choc amenée par une ligne d'impédance caractéristique : $Z = \sqrt{\frac{l}{c}}$

Soit U la tension appliquée entre a et c ; la tension qui apparaît aux bornes des plaques de déviation (bc) est : $U \frac{C_1}{C_1 + C_2}$. Le rapport de division est $k = \frac{C_1}{C_1 + C_2}$.

La capacité équivalente à l'ensemble du diviseur est :

$$C_e = C_3 + \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = C_3 + k C_2 \quad (2.23,1)$$

Cette capacité réagit sur la ligne d'amenée et modifie la forme de la tension incidente. En présence d'une onde rectangulaire d'amplitude U , il apparaît, entre les plaques b et c , la tension :

$$u = U \frac{C_1}{C_1 + C_2} \left[1 - \exp. \left(- \frac{t}{C_e Z} \right) \right] \quad (2.23,2)$$

L'amplitude maximum est atteinte exponentiellement, avec la constante de temps $T_m = C_e Z$.

La reproduction du phénomène sera d'autant plus fidèle que la constante de temps T_m sera réduite.

On aura intérêt à avoir une ligne à basse impédance.

En ce qui concerne l'oscillographe, la capacité totale C_e dépend principalement de la capacité d'entrée C_3 à cause de la valeur peu élevée de k .

Aussi nous avons été conduits à réaliser des bornes d'entrée haute tension à faible capacité (décrites en 3.4).

La capacité totale C_e est de l'ordre de 2 pF , ce qui permet d'enregistrer avec une erreur inférieure à 1% , des fronts d'onde de constante de temps $\tau = 100.75.2.10^{-12} = 15.10^{-9} \text{ s}$ au moyen d'une ligne de 75Ω , même avec des plaques de déviation ayant une capacité C_2 de l'ordre de 10 pF .

Les câbles coaxiaux à basse impédance (75Ω) ne peuvent, en général, fonctionner à des tensions supérieures à 5.000 V . Si le rapport de division k est égal à $1/20$, la tension aux bornes des plaques sera inférieure à 250 V ; et la déviation sera relativement faible. Ce fait n'est pas un inconvénient en soi, et nous verrons en 2.33.3 tout l'intérêt que présente la technique du microoscillogramme pour l'enregistrement des phénomènes rapides.

Nous sommes ainsi amenés logiquement à recommander l'emploi d'un diviseur de tension capacitif incorporé, complété par la technique du microoscillogramme, même pour des tensions de l'ordre de 1 kV , lorsqu'on désire enregistrer des phénomènes ultra-rapides (de l'ordre de $1/100^{\circ}$ de microseconde) sans que l'oscillographe introduise des perturbations appréciables dans le circuit étudié.

2.3. L'enregistrement des oscillogrammes [18].

Les spots formés sur l'écran par la lentille de concentration, déviés d'une part, simultanément par le champ de balayage, d'autre part individuellement par les prismes défecteurs, décrivent des courbes que nous nous proposons d'enregistrer en vue d'observations ou de mesures.

Nous allons examiner les divers procédés qu'on peut envisager dans ce but, et nous choisirons celui qui convient le mieux au problème envisagé : enregistrement de phénomènes transitoires rapides, se présentant avec une finesse de trait qui permet des observations détaillées.

2.31. Comparaison des divers procédés d'enregistrement.

Les divers procédés d'enregistrement se classent en deux grandes catégories : 1° les procédés utilisant un écran fluorescent, qui sont employés dans les tubes scellés,

2° les procédés utilisant l'énergie de l'impact électronique, qui conviennent pour les tubes démontables.

Pour comparer les différents procédés entre eux, Von BORRIES a déterminé la densité énergétique nécessaire pour atteindre un noircissement $D = 0,04$. Cette densité optique est considérée par cet auteur comme la limite qui permet de discerner un tracé du fond environnant.

Nous reproduisons quelques courbes caractéristiques, relatives au film Agfa Isochrom. En prenant pour vitesse de comparaison celle qui serait obtenue par impact électronique direct, on obtient pour les autres procédés les courbes de la figure 2.31, a.

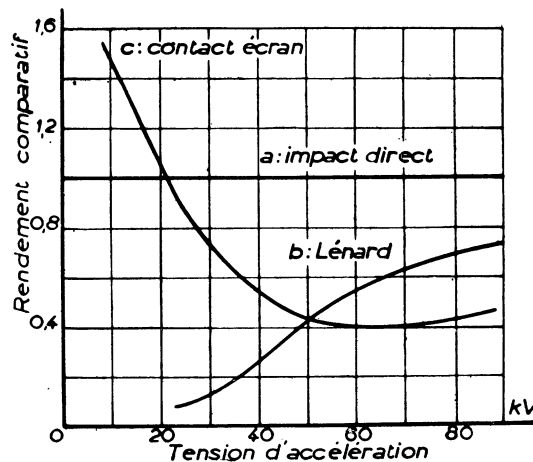


Fig. 2.31,a. — Rendement de divers procédés d'enregistrement par rapport à l'impression directe.

Les courbes correspondant à l'enregistrement par photographie de l'écran fluorescent dépendent des propriétés du matériau fluorescent et de l'optique utilisée. En tout cas elles se situeraient très nettement au-dessous de la courbe relative à l'enregistrement par contact.

Deux conclusions se dégagent de cette comparaison :

1° au-dessous de 20 kV, l'enregistrement par contact contre l'écran fluorescent surpasse nettement tous les autres procédés. Les tubes à basse tension utilisent toujours un écran fluorescent, et aucun gain appréciable n'est obtenu en augmentant la tension d'accélération (*fig. 2.313, a*);

2° au-dessus de 30 kV, l'enregistrement par impact direct permet d'atteindre des vitesses d'inscription deux fois plus élevées que les autres procédés.

La finesse du trait est incomparablement meilleure dans le cas de l'impression directe. La seule limite est le gain de l'émulsion photographique, et l'on peut pratiquement agrandir des oscillogrammes de très petites dimensions.

Nous étudierons plus en détail les caractéristiques de noircissement des films sous l'impact électronique.

2.32. Étude de la sensibilité des films à l'impact électronique.

Le problème se présente, dans son ensemble, de la manière suivante : étant donné une certaine intensité de courant par faisceau, quelle est la tension qui assure la meilleure sensibilité à la couche photographique? Nous sommes ainsi amenés à étudier comment varie la *densité optique en fonction de la tension d'accélération, à courant constant*.

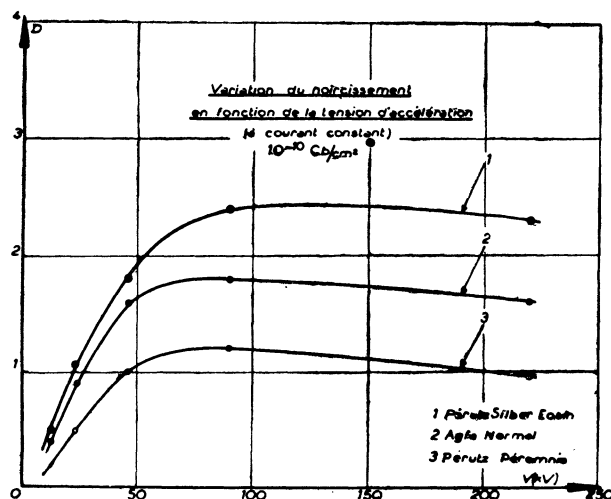


FIG. 2.322.3,a. — Variation du noircissement en fonction de la tension d'accélération à courant constant.

Ces caractéristiques s'obtiennent aisément à partir d'une famille de courbes publiées par Von BORRIES.

Nous avons effectué ce relevé pour trois types d'émulsions

- 1 — Perutz Silber Eosin — (gamma élevé)
- 2 — Agfa Normal (bonne sensibilité aux faibles excitations)
- 3 — Perutz Peromnia (faible gamma)

et pour une densité de charge électrique de 10^{-10} Cb/cm².

Les courbes montrent que le noircissement maximum est obtenu pour une tension d'accélération de 70 à 90 kV. Toutefois, le gain est faible à partir de 50 kV.

En ce qui concerne l'influence de la tension, on notera que la brillance du spot augmente avec elle, tandis que son rayon diminue (2.12.1,2) et (2.11.1,9).

Choix du type d'émulsion.

Divers éléments sont à la base de ce choix, mais ils ne présentent que des influences d'ordre secondaire. Aussi, nous ne développerons pas ce point dans le cadre de cet exposé.

2.33. La vitesse d'inscription des oscillographes.

2.33.1. — DÉFINITION.

L'une des caractéristiques essentielles d'un oscillographe pour phénomènes transitoires est sa vitesse d'inscription.

On peut la définir comme la longueur de trace qui peut être noircie, à une densité optique D , dans l'unité de temps.

Elle s'exprime le plus souvent en km/sec. ou en cm/microseconde. Observons que la définition comporte une incertitude qui tient au choix de la densité optique D considérée comme la limite perceptible.

Certains auteurs admettent $D = 0,2$; d'autres considèrent qu'on peut suivre une trace oscillographique jusqu'à une densité $D = 0,04$. Il faut donc s'attendre à voir les estimations varier dans le rapport de 1 à 5 pour des conditions identiques.

L'incertitude qui apparaît de ce fait dans la définition de la vitesse d'inscription n'est pas le seul élément discutable : il est évident qu'un agrandissement photographique convenable permettra toujours de développer sur 50 cm par exemple, un segment de trace qui a été enregistré pendant un intervalle de temps de 1 microseconde. On remarque en effet pratiquement que les grandes vitesses sont généralement obtenues au détriment de la finesse du trait. Nous verrons d'ailleurs que la vitesse d'inscription est proportionnelle au diamètre du spot. Ces considérations montrent qu'il est plus rationnel de considérer le rapport de la vitesse à la largeur du trait. (Cela revient à prendre comme unité de longueur le diamètre du spot.) Nous mesurerons donc la vitesse d'inscription en diamètres de spot par seconde : $\frac{v}{2R}$. Ce rapport est en première approximation un invariant au

cours des reproductions photographiques qui se traduisent par un changement d'échelle.

Nous proposons d'appeler cette grandeur « *vitesse d'inscription caractéristique* ». Sa valeur pour les oscillographes actuels est de l'ordre de 10^9 diamètres de spot par seconde.

2.33.2. — EXPRESSION DE LA VITESSE D'INSCRIPTION EN FONCTION DES ÉLÉMENTS CARACTÉRISTIQUES DE L'OSCILLOGRAPHE.

Le problème de l'enregistrement est d'accumuler en chaque élément de la trace de l'oscillogramme une densité de courant suffisante (pour une tension donnée), pour que l'émulsion atteigne après développement une densité minimum $D = 0,2$ par exemple. Nous avons vu en 2.12.1 que la loi de variation de la densité de courant dans le spot est de la forme

$$i = i_0 \exp. \left(- \frac{x^2}{R^2} \right)$$

Ce sont les éléments de la couche sensible balayés par le centre du spot qui reçoivent la plus grande quantité de charges électriques. Il suffit donc d'intégrer le long d'un diamètre de spot pour avoir la valeur maximum du courant que reçoit un élément de la trace de l'oscillogramme.

On peut admettre que pendant la durée du passage du spot sur un élément de la couche sensible, la vitesse v de déplacement du spot est constante.

La quantité d'électricité reçue par cet élément est :

$$q = \int idt \text{ avec } dt = \frac{dx}{v} \text{ et } i = i_0 \exp \left(- \frac{x^2}{R^2} \right)$$

d'où
$$q = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \cdot \frac{2R}{v} \cdot i_0$$

La vitesse d'inscription caractéristique s'exprime alors par :

$$\frac{v}{2R} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \cdot \frac{i_0}{q} \quad (2.33.2,1)$$

On voit que la vitesse d'inscription maximum est définie par la charge minimum par unité de surface (q) et par la densité de courant au centre du spot (i_0).

La charge minimum par unité de surface (q) est de l'ordre de 3.10^{-12} Cb/cm² pour la plupart des émulsions et une tension d'accélération de 50 kV (Bodo von BORRIES [20]).

Examinons de quels facteurs dépend i_0 . Cette grandeur n'est autre que le flux d'électrons reçu par unité de surface au centre du spot, et est donc analogue à un éclairage. On définit de même la brillance \mathcal{B} du cross-over comme le courant émis par unité de surface et par unité d'angle solide.

Le spot étant considéré comme l'image réelle du cross-over, nous pouvons transposer la formule qui donne en photométrie l'expression de l'éclairement d'une image réelle : d'où l'expression :

$$i_0 = \frac{\pi}{4} \mathcal{B} \frac{d^2}{p'^2}$$

où (d) est le diamètre du faisceau au droit du plan principal de la lentille, et (p') la distance lentille-écran.

La vitesse d'inscription s'exprime alors sous la forme :

$$\frac{v}{2R} = \frac{\pi^{3/2}}{8} \cdot \frac{\mathcal{B} \cdot d^2}{q \cdot p'^2}$$

L'expression de la brillance \mathcal{B} du cross-over est contenue dans la formule de Langmuir, et peut s'écrire :

$$\mathcal{B} = \frac{K'}{\pi} \cdot \rho_c \cdot \frac{E_a e}{KT}$$

En portant cette expression dans celle de la vitesse d'inscription, on obtient :

$$\frac{v}{2R} = \frac{\sqrt{\pi}}{8} \cdot K' \rho_c \frac{E_a e}{KT} \cdot \frac{d^2}{p'^2} \quad (2.33.2,2)$$

Cette relation montre tout l'intérêt qu'il y a à :

- 1° augmenter l'émission électronique de la cathode ρ_c ,
- 2° diminuer la température (T) de la cathode,
- 3° augmenter la tension anodique (E_a),
- 4° augmenter l'angle de convergence au spot $\left(\beta = \frac{d}{p'}\right)$.

Les trois premières conditions ont été étudiées dans les chapitres précédents.

La discussion de la 4^{me} condition fait l'objet du chapitre suivant.

2.33.3. La technique du micro-oscillogramme.

Examinons quelle est l'influence des variations de la distance lentille-écran p' lorsque les hypothèses suivantes sont réalisées.

1° Les conditions en amont de la lentille, et en particulier les caractéristiques du canon à électrons, sont constantes.

2° Le diamètre du spot géométrique est supérieur...

a) aux dimensions des grains de l'émulsion photographique, ce qui fixe une limite inférieure à p' ,

b) aux aberrations de la lentille, ce qui fixe une valeur optimum pour d .

3° La mise au point est obtenue en faisant varier la convergence de la lentille.

Dans les limites des hypothèses faites, la formule (2.33.2, 2) montre que la vitesse d'inscription est inversement proportionnelle au carré de la distance lentille-écran (p').

Le diamètre du spot est proportionnel à la distance lentille-écran : il en est de même des déviations produites par le phénomène à enregistrer et par le balayage, dans la mesure où les centres de déviation peuvent être confondus avec le centre de la lentille.

Dans ces conditions, toute variation de la distance lentille-écran se traduit par une transformation homothétique de l'oscillogramme. La même transformation peut être obtenue par un tirage à l'agrandisseur photographique. (Rappelons que la vitesse d'inscription caractéristique de l'oscillogramme reste inchangée par l'agrandissement photographique.)

On peut donc conclure que la plus grande vitesse d'inscription sera obtenue pour l'oscillogramme original dont les dimensions sont les plus réduites (micro-oscillogramme).

Pratiquement il n'y a pas de difficulté à obtenir un spot de 0,1 mm de diamètre, on pourra donc agrandir 5 fois environ l'oscillogramme obtenu.

L'oscillographe qui aurait permis d'obtenir directement le même oscillogramme aurait eu une distance $p'_1 = 5 p'$ mais sa vitesse d'inscription aurait été 25 fois moindre.

Ainsi apparaît l'intérêt considérable de la technique du micro-oscillogramme au point de vue de la vitesse d'inscription.

TROISIÈME PARTIE

3. Réalisation de l'oscillographe.

3.0. — VUE D'ENSEMBLE.

L'appareil réalisé comprend les parties suivantes :

1. Le canon à électrons;
2. L'étage de blocage des faisceaux;
3. Un étage de distance;
4. L'étage des quatre faisceaux;
5. L'étage magnétique comprenant :
 - la lentille de projection,
 - les bobines de déviation magnétique;
6. La chambre d'observation et d'enregistrement;
7. Le groupe de vide.

Les assemblages étanches sont réalisés à l'aide de joints toriques de néoprène, ce qui facilite tout démontage éventuel.

Des chicane placées en divers endroits permettent d'obtenir un vide poussé jusque dans la partie supérieure de l'appareil en éliminant les réflexions parasites de lumière ou d'électrons.

3.1. — LE CANON A ÉLECTRONS.

Le canon à électrons est pourvu de différents réglages qui permettent d'effectuer sous vide :

- le centrage du wehnelt par rapport à l'anode de manière à obtenir un faisceau dont l'axe de symétrie coïncide avec celui du tube;
- le centrage du filament au droit de l'orifice du wehnelt;
- le réglage de la distance filament-wehnelt qui doit être de quelques dixièmes de millimètre.

Le courant électronique émis par le canon est de l'ordre de 1 à 5 mA, suivant l'intensité du chauffage du filament.

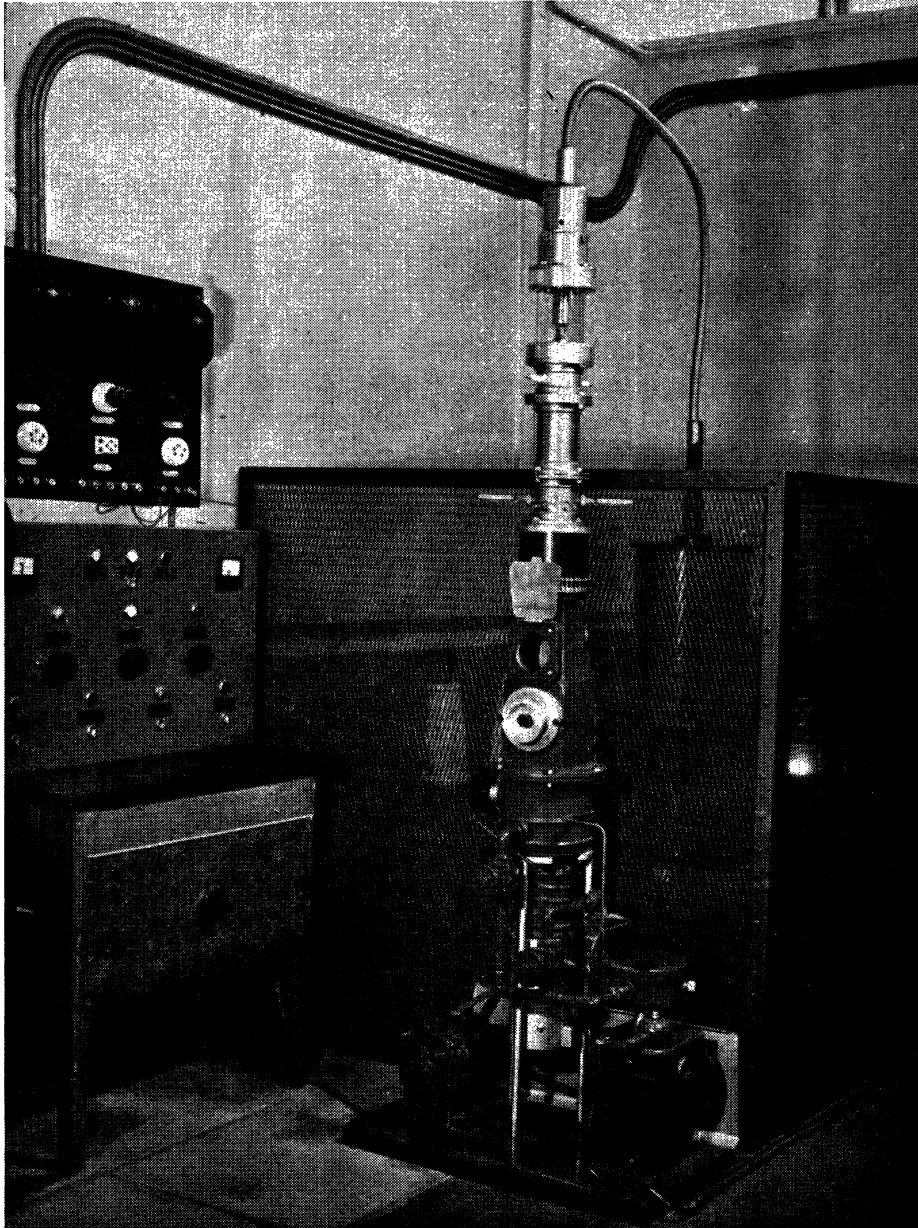
La tension admissible entre wehnelt et anode est supérieure à 70 kV dans les conditions ordinaires de pompage.

3.2. — L'ÉTAGE DE BLOCAGE DES FAISCEAUX.

Cet étage comporte une paire de plaques de 4 cm × 6 cm montées sur supports isolants, auxquelles on applique une certaine tension pour escamoter les faisceaux en période d'attente. Cette opération est appelée « blocage ».

Le fonctionnement de ces plaques est complété par la présence d'un diaphragme à 4 fentes à une distance de 10 cm au-dessus des trous de définition des faisceaux dans l'étage des quatre faisceaux. La direction « normale » des trajectoires électroniques est ainsi matérialisée.

Dans certains cas, il est également nécessaire que le retour du spot au point de repos n'entraîne pas la présence de traces sur l'oscillogramme.



Vue d'ensemble.

Dans les oscillographes basse tension, ces deux fonctions peuvent être réalisées par une commande convenable de la tension du wehnelt au moyen d'un condensateur d'isolement.

Nous aurions pu chercher à transposer cette solution, en utilisant un condensateur isolé pour 50 kV, mais nous avons préféré simplifier autant que possible les circuits haute tension, et laisser la polarisation wehnelt constante et égale à zéro.

D'autres solutions, n'utilisant que des circuits à basse tension, peuvent être mises en œuvre.

Nous avons imaginé la solution suivante pour réaliser en même temps le blocage au repos et la suppression de la trace de retour :

En position d'attente, le faisceau électronique émis par le canon à électrons est légèrement dévié de sa direction normale et ne peut atteindre l'écran.

Une paire de plaques placées immédiatement après l'anode peut imposer à l'ensemble du faisceau une légère déviation, telle que la direction suivie par les électrons coïncide avec celle des diaphragmes. Les spots sont donc « allumés » lorsque la différence de potentiel entre les plaques P_1 et P_2 est égale à 400 V par exemple.

La plaque P_1 est portée au potentiel de l'anode du thyatron de balayage, tandis que P_2 est reliée à l'anode d'un thyatron auxiliaire, monté suivant un schéma analogue au premier.

Au moment de l'amorçage du thyatron de balayage, le potentiel de P_1 tombe brusquement de 450 V à un potentiel voisin de celui de la cathode (50 V environ).

Tant que le thyatron auxiliaire n'est pas amorcé, la différence de potentiel requise existe donc entre les plaques P_1 et P_2 et les spots sont allumés pendant le balayage. Un retard convenable de l'impulsion de déclenchement permet d'amorcer le thyatron auxiliaire vers la fin du balayage : les plaques P_1 et P_2 sont alors pratiquement au même potentiel, et le faisceau est escamoté pendant le retour du spot. Pour que les spots ne se rallument pas au point de repos, il suffit que le thyatron auxiliaire s'éteigne après le thyatron de balayage.

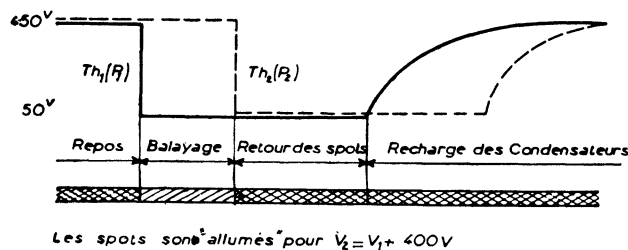


FIG. 3.2,a. — Blocage des faisceaux.

3.3. — L'ÉTAGE DE DISTANCE.

Cette pièce a été prévue afin d'augmenter la distance entre cross-over et lentille de manière à améliorer la finesse du spot grâce à un grandissement inférieur à l'unité.

Une étude que nous n'avons pas eu le loisir de développer montrerait que le même résultat pourrait être obtenu en agissant sur les paramètres du canon à électrons si des conditions d'encombrement étaient imposées.

Il nous a semblé qu'il y avait, au point de vue sécurité, un certain avantage à ce que le canon à électrons soit situé à une hauteur d'environ 2 mètres au-dessus du sol.

3.4. — L'ÉTAGE DES QUATRE FAISCEAUX.

La partie centrale de cet étage (diamètre 30 mm) est réservée au faisceau d'électrons, qui après avoir traversé un diaphragme à quatre fentes tombe sur quatre trous de 0,5 mm de diamètre, distants de 10 mm de l'axe, qui définissent les quatre faisceaux.

La partie périphérique est divisée en quatre chambres par un croisillon. Dans chacune de ces chambres débouchent une borne de traversée haute tension, et deux bornes de traversée basse tension.

Le diviseur capacitif est constitué par l'électrode haute tension et l'une des électrodes basse tension. Celles-ci sont directement reliées aux plaques de déviation.

Les bornes de traversée ont été spécialement étudiées pour réduire leur capacité par rapport à la masse.

Les bornes haute tension ont une capacité de $1,7 \cdot 10^{-12}$ F et leur isolement est particulièrement soigné.

Les bornes basse tension ont une capacité par rapport à la masse de $1,3 \cdot 10^{-12}$ F.

Nous avons réalisé une borne de traversée haute tension pour câble coaxial qui permet, outre les avantages inhérents à l'emploi d'un tel câble, d'amener à l'oscillographe une différence de potentiel de l'ordre de 1.000 volts, le potentiel moyen par rapport au sol pouvant atteindre plusieurs kilovolts.

Cette disposition peut se trouver réalisée par exemple lorsqu'on utilise un shunt haute tension.

La partie inférieure de l'étage à quatre faisceaux supporte les plaques de déviation. Un écran électrostatique en forme de X prolonge les chambres haute tension et assure un blindage vis-à-vis des influences réciproques possibles des tensions appliquées aux divers équipages.

L'orientation des plaques a été choisie de manière à pouvoir donner à celles-ci la plus grande largeur compatible avec la distance des faisceaux par rapport à l'axe.

Il nous a paru important d'isoler toutes les plaques par rapport à la masse à deux points de vue :

— pour permettre d'enregistrer des tensions entre deux points dont l'un et l'autre sont à un potentiel différent de celui de la masse;

— pour que des tensions de même signe puissent être appliquées aux divers équipages de manière à produire des déviations de même sens.

Les plaques sont légèrement divergentes, et leurs bords sont repliés de manière à éviter les distortions du champ entre les plaques.

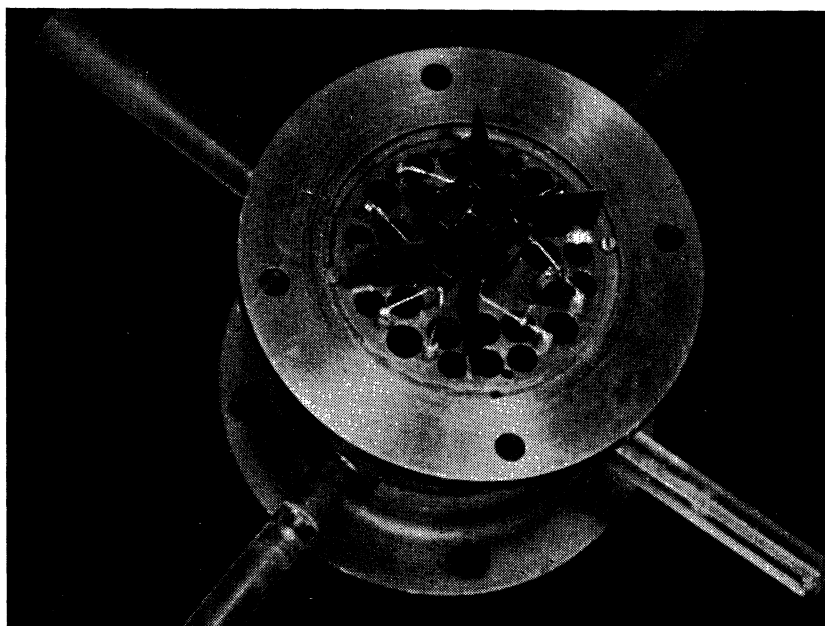
La partie inférieure de cet étage « baigne » dans une partie du champ magnétique de la lentille.

3.5. — L'ÉTAGE MAGNÉTIQUE.

Cet étage est monté sur un tube en pyrex, les bobinages étant à l'extérieur, afin de permettre une pénétration convenable des champs de balayage rapidement variables.

Le bobinage de la lentille magnétique est à la périphérie; 310 spires de fil de 16/10^e occupent une hauteur de 9,5 cm avec une épaisseur de 1 cm.

Les bobines de balayage magnétique embrassent un arc de 120° autour du tube en pyrex.



L'étage des quatre faisceaux (vue de dessous).

3.6. — LA CHAMBRE D'OBSERVATION ET D'ENREGISTREMENT.

Cette pièce assure le raccordement de l'ensemble de l'oscillographe avec la pompe à diffusion. Une ouverture munie d'un bouchon est prévue pour le branchement d'une jauge à vide, ou d'une traversée de courant en vue de mesures sur le faisceau électronique reçu par l'écran.

Un hublot permet de voir l'écran fluorescent à l'intérieur. La partie inférieure de la chambre est réservée à la boîte d'enregistrement.

Celle-ci peut être remplacée par une simple porte portant un écran fluorescent si l'on désire faire des observations sans enregistrer.

La boîte d'enregistrement forme un tout indépendant, et assure l'étanchéité de l'ouverture lorsqu'elle est en place.

Elle comprend un tambour à 4 faces portant trois plaques ou films semi-rigides format 6×9 cm; la quatrième face est occupée par l'écran fluorescent.

Un joint rotatif étanche au vide, que nous avons étudié spécialement, permet d'effectuer le remplacement de l'écran par l'une des plaques. La



La boîte d'enregistrement.

mise au point, réalisée sur l'écran fluorescent, est ainsi parfaite également sur la couche sensible. Un poussoir à ressort fixe les 4 positions possibles du tambour, d'ailleurs repérées sur le bouton de manœuvre, en venant s'engager dans des alvéoles correspondant aux diverses faces du tambour.

Le repérage de plaques s'effectue automatiquement grâce à des trous percés dans le tambour-support, et qui reçoivent la lumière provenant d'un orifice percé dans le couvercle de la boîte. L'étanchéité à la lumière des divers compartiments de la boîte est assurée par des revêtements de velours.

La boîte peut être sortie et transportée à la lumière du jour, dans la position où l'écran occupe l'ouverture d'enregistrement. Une glissière peut alors être mise en place pour protéger la surface de l'écran de toute détérioration par choc malencontreux. Elle empêche également toute rotation du tambour, qui aurait pour conséquence une admission intempestive de lumière sur l'un des films.

Les plaques ou films se mettent en place et se retirent très facilement en chambre noire, simplement après avoir enlevé le couvercle de la boîte.

La capacité d'enregistrement est de 6 oscillogrammes format 5×5 cm environ, sur film standard de 6 cm de large. On peut en effet enregistrer deux oscillogrammes sur chaque plaque ou film (cf. 4.1).

La vitesse de pompage du groupe de vide qui équipe l'appareil est telle qu'après une rentrée d'air (par exemple après recharge de la boîte et enregistrement) l'oscillographe est en mesure de fonctionner à nouveau au bout de trois minutes.

4. Enregistrements.

4.1. — CADRAGES X ET Y.

Les plaques de déviation étant accessibles directement, on peut appliquer entre elles une tension continue dite « tension de cadrage Y » de manière à séparer le spot correspondant des autres traces. Cela est possible, même pour des phénomènes haute tension, sans que la tension de cadrage dépasse quelques centaines de volts.

Rappelons que les plaques de déviation ont une forme qui rend pratiquement négligeable l'astigmatisme qui apparaît d'ordinaire lorsqu'on applique les tensions de cadrage, et réduit la qualité des enregistrements.

Remarquons qu'il n'y a souvent pas d'inconvénient à ce que les zéros des différentes traces soient confondus.

Le cadrage X permet de déplacer l'ensemble de l'oscillogramme parallèlement à la direction du balayage. Cette déviation peut être obtenue grâce à un enroulement particulier des bobines de déviation magnétique.

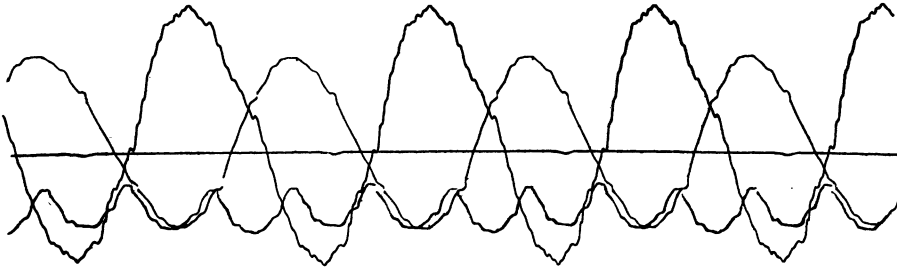
Nous considérons qu'il est plus avantageux de laisser la position de repos des spots sur l'axe de l'appareil.

Une première série de trois enregistrements se fait en balayant vers la gauche; une deuxième série en balayant vers la droite. L'inversion du sens de balayage s'obtient en croisant les connexions des bobines défectrices.

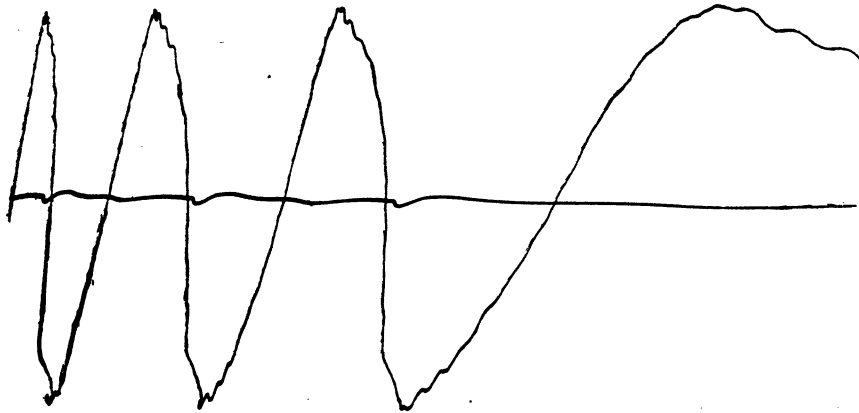
Chaque plaque, ou film semi-rigide, porte ainsi deux oscillogrammes tracés à partir du centre.

Le nombre d'oscillogrammes qu'on peut enregistrer après chaque rentrée d'air est ainsi porté à six avec la boîte d'enregistrement que nous avons construite.

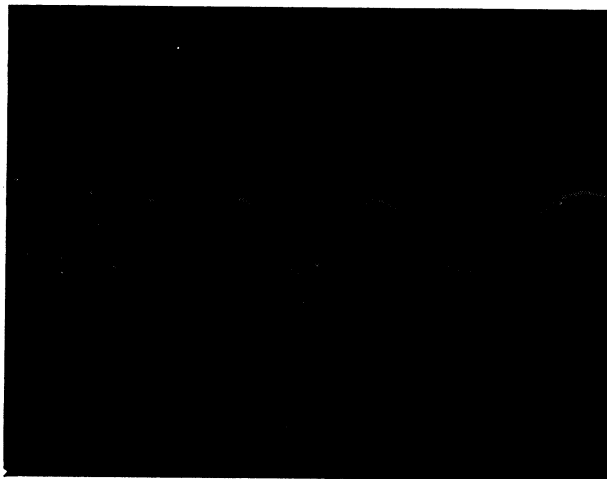
4.2. — ENREGISTREMENT A QUATRE FAISCEAUX 50 Hz.



4.3. — ENREGISTREMENT HAUTE TENSION (25 kV CRÊTE).



4.4. — ENREGISTREMENT HAUTE FRÉQUENCE (1 Mc/s).



5. Conclusion.

En étendant les possibilités d'application d'un principe d'optique électronique, nous sommes parvenus à résoudre d'une manière originale le problème de la réalisation d'un oscillographe cathodique à plusieurs faisceaux.

Dans le cadre de notre travail, nous avons dû faire diverses études concernant : le canon à électrons, les cathodes à émission thermo-ionique, les divers procédés d'enregistrement des oscillogrammes, la sensibilité des films à l'impact électronique, les distorsions et aberrations introduites par les plaques de déviation. C'est dans ces conditions, qu'en vue de l'application que nous nous étions proposée, nous avons présenté et regroupé des données d'origines diverses.

Notre étude apporte une contribution à la question de la vitesse d'inscription des oscillographes. Nous proposons une définition qui est indépendante de la valeur des dimensions de l'oscillogramme et permet une comparaison plus objective : nous proposons de mesurer cette vitesse en diamètre de spot par unité de temps. Nous avons mis en évidence les avantages de la version « micro oscillographe » au point de vue de la vitesse d'inscription.

Sur le plan expérimental, nous nous sommes attachés à développer les principes dégagés. La solution de l'enregistrement sur film que nous avons adoptée permet d'obtenir des agrandissements qui se prêtent bien aux études.

L'utilisation d'une lentille commune à tous les faisceaux de cet oscillographe multiple donne lieu à une mise au point particulièrement précise et aisée.

L'emploi de diviseurs de tension capacitifs incorporés rend possible l'enregistrement direct de tensions atteignant 25 kV; il est également possible d'enregistrer des tensions de l'ordre d'une centaine de volts.

Les qualités réunies sur l'appareil que nous avons pu réaliser, complétées par l'emploi d'une boîte d'enregistrement qui s'est révélée d'un usage très pratique, doivent faire de cet oscillographe à quatre faisceaux un auxiliaire précieux pour des études effectuées dans le cadre d'un laboratoire.

Bien des problèmes évoqués dans cette étude ont été seulement ébauchés, et mériteraient une considération plus approfondie dans des études ultérieures.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] *The Electron Gun of the Cathode Ray Tube*, Part I. H. MOSS. Journal of the British Institution of Radio Engineers (Jan. 1945).
 - [2] *The Electron Gun of the Cathode Ray Tube*, Part II. H. MOSS. Journal of the British Institution of Radio Engineers (juin 1946).
 - [3] *Electron Guns for Television Application*, C. A. MORTON, Review of Modern Physics, vol. 18 (July 1946).
 - [4] *Les Cathodes Chaudes*, Ch. BIGUENET (Éditions de la Revue d'Optique).
 - [5] *Tungsten*, C. G. SMITHELLS (Chapman and Hall, 1945).
 - [6] *Tantalum*, G. L. MILLER, Murex Review, vol. 1, n° 5 (1949).
 - [7] *Une Nouvelle Cathode à Émission Thermoionique pour Fortes Charges*, LEMMENS, *Revue Technique Philips*, t. II (12 juin 1950), pp. 349-358.
 - [8] *Boride Cathodes*, J. M. LAFFERTY, Journal of Applied Physics, vol. 12, n° 3 (mars 1951).
 - [9] The Physical Review, t. 56, p. 86 (1939).
 - [10] *Space Charge Limitations on the Focus of Electron Beams*, B. J. THOMPSON and L. B. HEADRICK, Proc. I.R.E. (juillet 1940).
 - [11] *Some Factors in the Design of Deflecting Coils for Cathode Ray Beam Systems*, E. W. BULL, Proc. I.R.E., vol. 99, Part III A (1952), p. 771.
 - [12] *Elektronen Vierstrahlöhre hoher Schreibgeschwindigkeit*, A. BIGALKE, Archiv für Elektrotechnik 33,2 (1929).
 - [13] *Distorsion Trapézoïdale*, CAZALAS, Onde Électrique, vol. XXVI, n° 237 (décembre 1946).
 - [14] *Die Braunsche Röhre bei sehr hohen Frequenzen*, M. E. HOLLMANN, Hochfrequenz und Elektroakustik, vol. 40, p. 97 (septembre 1932).
 - [15] *Die Verzerrungen im Kathoden-Oszillographen bei hohen Messgeschwindigkeiten*, H. KLEMPERER und O. WOLFF, Archiv für Elektrotechnik, vol. 26, p. 495 (juillet 1932).
 - [16] *Ein Kathodenstrahl-Oszillograph zur unmittelbaren Aufnahme sehr hohen Gleich- und Wechselspannungen*, MESSNER, Arch für Elektrotechnik, vol. 27, p. 335 (1933).
 - [17] *Messteiler für hohe Stoss-Spannungen*, RASKE, Archiv für Elektrotechnik, vol. 31, p. 732 (1937).
 - [18] *Aussen Aufnahme am Kathodenstrahl-Oszillographen*, BODO VON BORRIES, Thèse Technische Hochschule Berlin (20 juillet 1932).
 - [19] HILLIER, Journal of Applied Physics, vol. 13, p. 452 (July 1942).
 - [20] *Die Schwärzung Photographischer Platten durch Elektronenstrahlen*, BODO VON BORRIES, Physikalische Zeitschrift (1942), p. 190.
 - [21] *Recurrent Electrical Transients*, VON TERSCH and SWAGO (Prentice Hall).
 - [22] *Éléments d'Optique Électronique*, Gaston DUPOUY (Collection Armand Colin, n° 267).
 - [23] *Électronique Générale*, BLANC-LAPIERRE, GOUDET et LAPOSTOLLE (Eyrolles).
-