



**HAL**  
open science

## Émission secondaire par transmission

H. Dormont, P. Saget

► **To cite this version:**

H. Dormont, P. Saget. Émission secondaire par transmission. *J. Phys. Phys. Appl.*, 1959, 20 (S4), pp.23-28. 10.1051/jphysap:0195900200402300 . jpa-00212737

**HAL Id: jpa-00212737**

**<https://hal.science/jpa-00212737>**

Submitted on 4 Feb 2008

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## ÉMISSION SECONDAIRE PAR TRANSMISSION

Par H. DORMONT et P. SAGET,

Laboratoires d'Électronique et de Physique Appliquée.

**Résumé.** — On décrit les méthodes de fabrication de couches minces multiples obtenues par évaporations successives sous vide d'halogénures ou d'oxydes sur une pellicule métallique. L'étude des propriétés d'émission secondaire par transmission de ces couches a fourni les résultats suivants : 1° les pellicules d'aluminium, de 400 Å d'épaisseur, constituent les meilleurs supports métalliques ; 2° les couches aux halogénures alcalins ont des coefficients d'émission secondaire élevés (KCl,  $\delta = 5$ ) mais sont instables ; 3° les couches aux oxydes (MgO) sont plus stables. Elles ont des coefficients d'émission secondaire plus élevés que les précédentes après quelque temps de fonctionnement.

**Abstract.** — The methods of obtaining thin multiple layers are described. These layers are produced by successive vacuum distillation of halides or oxides on thin metallic films.

By studying the transmission secondary emission properties of these layers, the following results have been obtained : (1) Aluminium films, 400 Å thick, are the best metallic support ; (2) Alkali halide layers have large secondary emission coefficients (KCl,  $\delta = 5$ ) but are not stable ; (3) Oxide layers (MgO) are more stable. After operating for some time, they exhibit larger yields than the halide layers.

**Introduction.** — Dans la plupart des applications de l'émission secondaire, les électrons produits quittent le corps dans lequel ils sont libérés en traversant la surface même par laquelle les primaires ont pénétré. Contrairement à cet emploi classique, on se propose d'utiliser les électrons issus de feuilles minces par la face opposée à celle sur laquelle frappent les primaires. Ces feuilles sont formées d'une pellicule métallique dont on augmente l'émission par revêtement d'une couche d'un sel ou d'un oxyde.

L'émission secondaire « vers l'arrière » doit permettre la fabrication de multiplicateurs d'électrons constitués d'un certain nombre de dynodes planes et parallèles situées l'une derrière l'autre. Leur distance peut être petite, ce qui permet d'obtenir des trajectoires électroniques rectilignes, parallèles et de faible longueur. Cette propriété, jointe au fait que les tensions nécessaires à l'obtention d'un rendement acceptable sont plus élevées que dans l'émission classique, conduit à des temps de transit brefs. Leur dispersion sera due essentiellement au spectre de vitesses initiales des électrons secondaires.

E. J. Sternglass et M. M. Wachtel [1] ont construit des électrodes de ce type qu'ils ont utilisées dans un tube expérimental à 7 étages. Leurs dynodes sont déposées sur une grille à maille fine qui réduit évidemment, par son facteur de transparence, les qualités multiplicatrices. Tout en réalisant quelques couches de ce type, nous avons essayé de nous débarrasser du handicap de la grille en utilisant la couche métallique elle-même comme support du matériau à forte émission secondaire. D'autre part, l'instabilité des halogénures alcalins nous a conduit à orienter les recherches vers les oxydes :

De nombreuses expériences ont permis d'étudier l'émission d'un certain nombre de types de feuilles minces et de choisir, parmi eux, celui qui donne les résultats les plus favorables.

**Méthode de mesure.** — Un tube de mesure destiné spécialement à l'étude du phénomène que nous avons en vue, a dû être construit. Son schéma est indiqué sur la figure 1. Il se compose essentiellement : d'une source d'électrons qui émet par l'orifice a un faisceau constituant le pinceau primaire ; d'une électrode accélératrice destinée à donner aux primaires l'énergie désirée ; d'une électrode collectrice C, chargée de recueillir les électrons secondaires émis par la cible.

Cette dernière est supportée par une sonde S, qui peut être déplacée magnétiquement. Cet appareillage permet de faire passer la cible de la zone A,

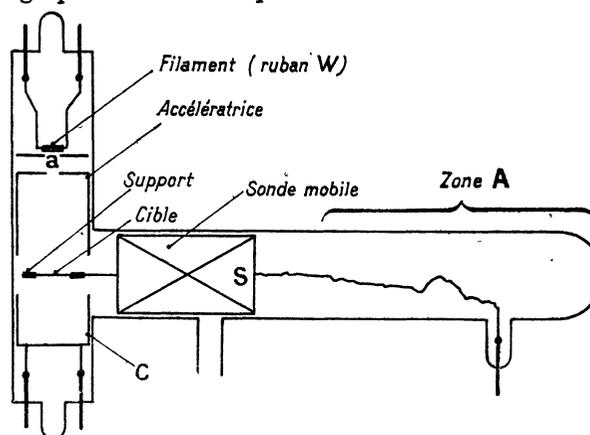


FIG. 1.

où elle peut être traitée et activée, à la position « mesure », indiquée sur la figure 1.

La cible mince est montée sur un anneau métallique comme on le voit sur la figure 2. Une queue E

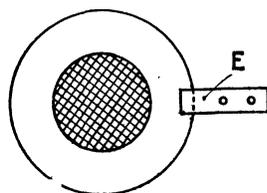


FIG. 2.

permet d'une part de manipuler l'anneau au cours de la fabrication des couches, d'autre part de la fixer à la sonde.

Le schéma de la figure 3 indique le principe du

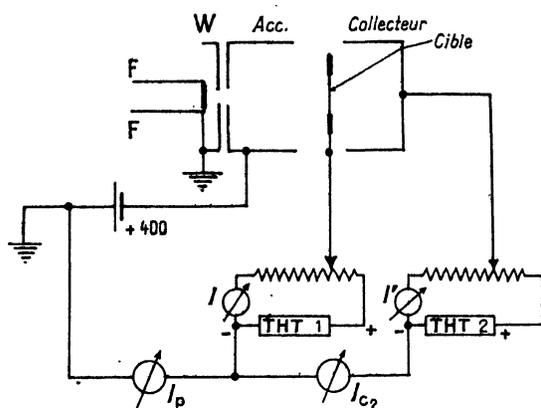


FIG. 3.

montage utilisé : deux sources très haute tension réglables permettent le tracé des courbes du coefficient d'émission secondaire, en fonction de la tension  $V$  d'accélération des primaires. Le montage est effectué de manière que la mesure du courant collecté soit faite dans le circuit relié au pôle négatif de la source. La valeur de  $\delta$  est définie comme le rapport du courant collecté au courant primaire ; elle croît pour les faibles valeurs de  $V$ , passe ensuite par un maximum puis décroît en restant supérieure à l'unité (les primaires très énergiques tendent à traverser la feuille en ne libérant que peu de secondaires vrais).

Le contrôle de la surface de l'impact électronique primaire est fait en substituant aux cibles normales une plaque enduite de willémitte. On peut ainsi connaître la surface bombardée et, par conséquent, la densité de courant, importante pour les mesures de vieillissement.

Les expériences utilisaient des courants de 0,1 ou 0,5  $\mu\text{A}$  tombant sur une surface de l'ordre de 2 à 5  $\text{mm}^2$ .

**Réalisation des cibles.** — Les couches métalliques aisément transperçables par les électrons

doivent avoir des épaisseurs de quelques centaines d'Angströms ; elles sont donc fragiles. Il faut cependant pouvoir les manipuler pour les monter, les introduire sous vide et aussi les étuver : il est en effet difficile d'envisager la construction de tubes multiplicateurs à plusieurs étages, utilisant nécessairement des tensions très élevées sans prévoir un dégazage presque parfait de l'ensemble ; de plus, les traitements d'activation peuvent exiger le chauffage à des températures de l'ordre de 300 à 400°. Ces exigences conditionnent le choix des métaux constituant la cible mince et l'anneau destiné à la supporter.

**CHOIX DU MÉTAL CONSTITUANT LA CIBLE.** — Les métaux légers sont facilement transpercés par les électrons : ils exigent des tensions de fonctionnement moins élevées ; par contre les métaux lourds, plus absorbants, mais surtout plus diffuseurs peuvent se montrer plus favorables comme supports d'une couche à rendement élevé. C'est la raison pour laquelle nous avons envisagé d'utiliser, d'une part du Be et de l'Al, d'autre part de l'Au et de l'Ag, métaux qui se prêtent tous à la fabrication de couches par évaporation (cf. technologie).

Be et Ag ont donné des déboires : le premier, très cassant se déchire en cours de fabrication ou d'étuvage ; le second s'oxyde très facilement dès qu'on le chauffe, même sous vide, ce qui le rend très fragile.

Au et Al ont donné les résultats exposés dans le paragraphe relatif aux mesures. Le premier ne peut être utilisé qu'avec des tensions primaires très élevées, ce qui a conduit à un emploi systématique du second dans la confection des couches activées. Une couche de Al de 400 Å supporte bien l'étuvage sous vide à des températures de 300 à 400° ; il est utilisable sous des hautes tensions de l'ordre de 3 kV.

**CHOIX DU MÉTAL SUPPORT DE CIBLE.** — Plusieurs métaux ou alliages ont été essayés pour constituer ces supports ; lors de l'étuvage des feuilles sous vide, on observe des variations de tension qui conduisent soit à une allure plissée (détente de la feuille), soit à la rupture (feuille exagérément tendue sur le support). Des phénomènes de dilatation peuvent entrer en jeu : les supports en laiton, utilisés initialement ont été remplacés successivement par des supports en Al, supportant des feuilles du même métal, puis par des supports peu dilatables en invar, kovar ou Mo. Ces derniers ont donné des résultats satisfaisants.

Il est possible de pallier à l'insuffisance de résistance mécanique de certaines couches, en les supportant au moyen de grilles métalliques à grandes mailles. Cette méthode a permis de réaliser d'une part, des couches plus minces que celles que nous avons systématiquement utilisées (ce qui permet

d'abaisser la tension primaire de fonctionnement), d'autre part, des couches en Be, irréalisables sous forme de feuille tendue sur un anneau. Cependant, l'avantage obtenu se paye : les grilles, de transparence optique 72 %, ne présentaient aux électrons qu'une transparence de 60 %, ce qui réduisait le coefficient d'émission secondaire de 40 %. Ce résultat ne nous a pas encouragés à poursuivre dans cette voie, alors que les feuilles d'Al offraient des possibilités intéressantes : une feuille d'Al présente en effet la propriété, au cours de l'étuvage sous vide, de s'oxyder partiellement, ce qui d'une part, « l'active », d'autre part, réduit l'épaisseur de métal et accroît sa transparence. La tension primaire nécessaire au fonctionnement se trouve ainsi réduite sans que la solidité de la cible soit compromise. Cette technique a permis la fabrication des supports de cibles complexes dont il sera question ultérieurement.

**TECHNOLOGIE.** — La fabrication des feuilles métalliques minces est réalisée dans une salle à atmosphère dépoussiérée. Elle consiste essentiellement à évaporer sous vide une pellicule de métal sur une plaque de verre recouverte d'une membrane en matière plastique (obtenue par immersion de la plaque dans une solution de polystyrène par exemple). Cette dernière, décollée à l'eau de la plaque de verre, est ensuite recueillie sur le support métallique annulaire. L'élimination du plastique par dissolution ou par étuvage laisse une membrane métallique tendue sur le support.

Les épaisseurs évaporées sont calculées à partir de la masse de matière mise en jeu et des données géométriques de l'installation. On doit toutefois signaler que cette méthode n'est qu'approximative pour plusieurs raisons : source non ponctuelle et dont l'anisotropie d'émission n'est pas connue avec certitude ; densité du métal évaporé non nécessairement identique à celle du métal massif.

Les couches activées sont obtenues soit par oxydation (éventuellement en plusieurs étapes), du métal en couche mince, soit par formation d'une couche complexe ; ce terme désigne des ensembles obtenus par évaporation sur la feuille de métal de substances diverses, éventuellement oxydées ensuite, destinées à accroître le coefficient d'émission secondaire.

**Résultats des mesures.** — **COUCHES MÉTALLIQUES.** — Les feuilles d'Al, d'une épaisseur voisine de 250 Å, commencent à être traversées par des électrons de 2 keV ; elles fournissent un maximum d'émission secondaire (légèrement supérieur à 1), pour des primaires de 5 à 7 keV. Les cibles plus épaisses nécessitent des tensions encore plus élevées. Si l'on cherche à diminuer l'épaisseur en dessous de 250 Å, les cibles ne résistent plus aux étuvages à 400° ; la figure 4 donne une courbe type

de la valeur de  $\delta$  en fonction de la tension d'accélération des primaires pour une feuille d'or de 250 Å.

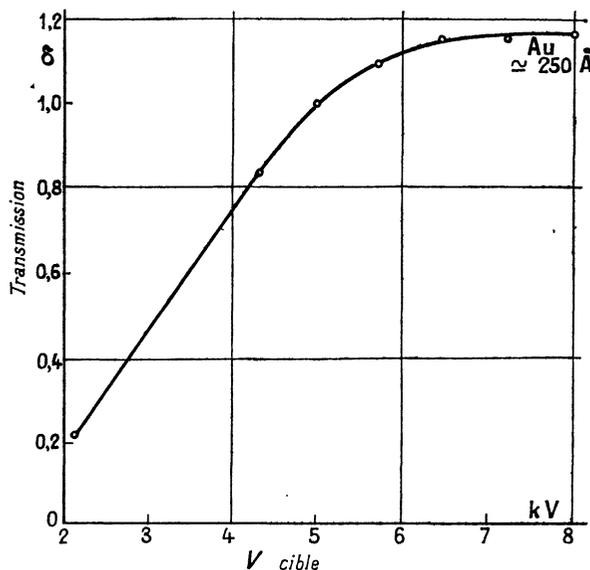


FIG. 4.

Les cibles d'Al d'une épaisseur de l'ordre de 100 Å ont un  $\delta$  maximum de l'ordre de 1,5 pour une tension primaire de 2 kV (fig. 5) malheureusement ces cibles ne résistent pas aux variations de températures et il est difficile d'évaporer un corps quelconque sur elles sans les détruire.

Les cibles d'Al de 400 Å d'épaisseur se sont révélées les plus utilisables : elles supportent un étuvage prolongé 400-440° et ont un  $\delta$  maximum de l'ordre de 1,5 à 2, pour une énergie des primaires

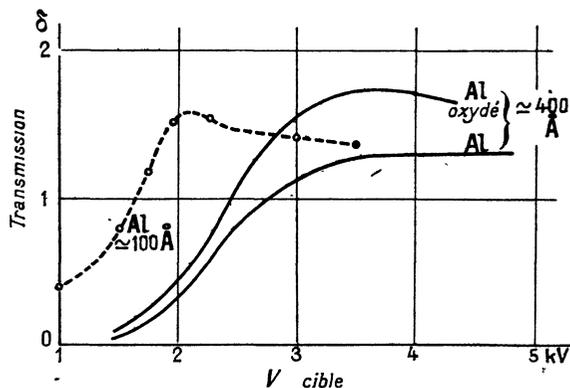


FIG. 5.

de l'ordre de 3,5 à 4 keV. La cuisson sous vide, ou en atmosphère oxydante, provoquant l'apparition d'une pellicule d'oxyde en surface, réduit légèrement l'épaisseur de métal : après cette opéra-

tion on obtient des  $\delta$  de l'ordre de 1,6 pour des primaires de l'ordre de 3 à 3,5 keV.

La figure 5 donne l'allure de la variation de  $\delta$  en fonction de l'énergie des électrons primaires pour des cibles d'Al de 400 Å non oxydées et oxydées.

**COUCHES COMPLEXES.** — Les halogénures et les oxydes alcalins ou alcalino-terreux sont des corps qui possèdent des coefficients d'émission secondaire élevés ; il semble donc intéressant d'essayer de fabriquer des couches complexes utilisant comme support et comme élément diffuseur d'électrons, les couches d'Al dont nous avons décrit plus haut les propriétés. Ces corps, beaucoup plus « transparents » aux électrons que les métaux, n'élèvent que peu l'énergie nécessaire pour que les primaires fournissent le maximum de  $\delta$ . Il est à craindre cependant que leur instabilité ne conduise à des couches de durée de vie assez limitée. L'expérience a confirmé ce point de vue. Les substances évaporées ont des épaisseurs calculées, tout comme celles des feuilles métalliques.

**COUCHES AUX HALOGÉNURES.** — La figure 6 permet de constater l'augmentation importante du coefficient d'émission secondaire lorsqu'on évapore une couche de ClK :  $\delta$  maximum atteint la valeur 5 pour une valeur de l'énergie des primaires un peu supérieure à celle qui donne le maximum de  $\delta$  pour la feuille d'Al servant de support. L'épaisseur de la pellicule de ClK conditionne la valeur de cette

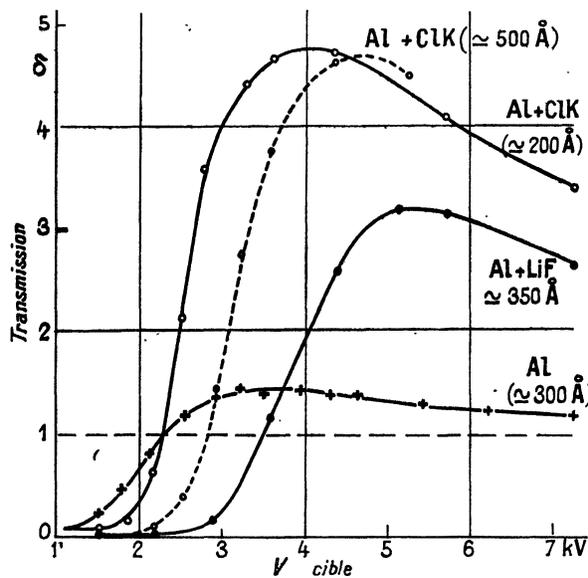


FIG. 6.

énergie, mais non celle de  $\delta$  maximum : on le constate en comparant les courbes relatives à une épaisseur de 200 Å de ClK ( $\delta$  maximum pour 3,8 keV) et à une épaisseur de 500 Å de ClK ( $\delta$  maximum pour 4,6 keV).

Une évaporation de LiF produit un effet analogue mais  $\delta$  maximum n'atteint que la valeur 3 comme le montre la figure 6. Il en est de même de  $MgF_2$  avec un  $\delta$  maximum de 2,8. L'halogénure complexe  $Na_3AlF_6$  produit le même effet que  $MgF_2$  ( $\delta$  maximum = 2,8) (voir fig. 7).

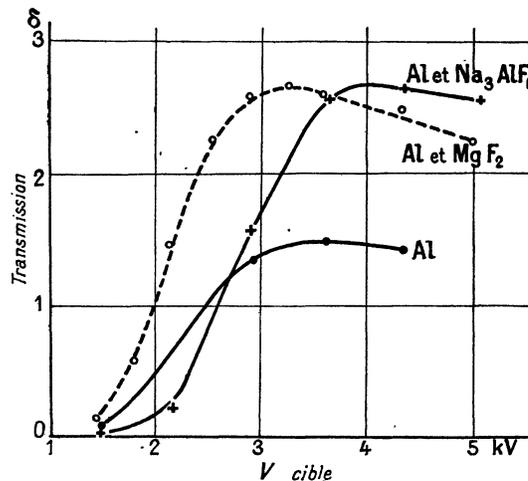


FIG. 7.

Signalons qu'un apport supplémentaire de Cs par-dessus une évaporation d'halogénure permet d'élever encore la valeur de  $\delta$  maximum. C'est ainsi que nous avons réalisé des couches au moyen du processus suivant :

Feuille d'Al recuite sous vide :	$\delta$ max. = 1,6 <sup>(1)</sup>
Évaporation de ClK :	$\delta$ max. = 4,8
Apport de Cs :	$\delta$ max. = 7,5

**COUCHES A MgO.** — La pellicule de MgO est obtenue par évaporation de Mg sur la feuille mince en Al et oxydation par chauffage à 400° en atmosphère d'oxygène. Une évaporation trop importante de métal suivie d'oxydation ne donne que de médiocres résultats. Il est nécessaire de n'utiliser que des couches très minces de Mg, de l'ordre de 50 Å d'épaisseur. On peut, par contre fabriquer des couches à  $\delta$  maximum élevé, en répétant plusieurs fois le processus de fabrication d'une pellicule de MgO. Ce fait est à rapprocher de la méthode publiée par H. Schnitger <sup>(2)</sup>, qui a obtenu, en émission secondaire normale, des  $\delta$  élevées, par évaporations successives de Mg, suivies d'oxydation. Certains auteurs pensent qu'il est nécessaire que du Mg libre subsiste au sein de MgO, d'où la nécessité de ne procéder qu'à des oxydations ménagées de couches successives.

<sup>(1)</sup> Pour 3,5 keV.

<sup>(2)</sup> Z. techn. Physik, 1940, Nr. 12.

La figure 8 permet de suivre l'évolution du  $\delta$  maximum au cours du processus de préparation d'une cible à 3 couches de MgO. La valeur initiale

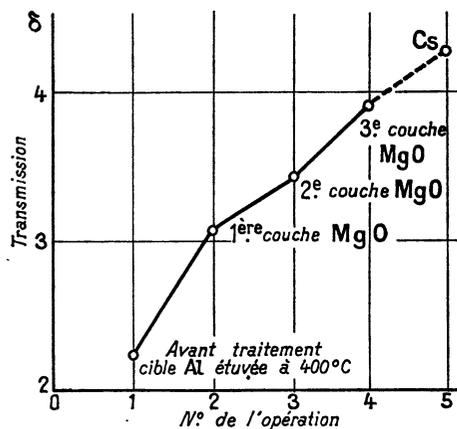


FIG. 8.

de 2,3 (feuille mince d'Al recuit sous vide) atteint finalement 4.

Comme dans le cas des couches aux halogénures, un apport de Cs produit une élévation du  $\delta$  des couches à MgO. Il ne semble pas toutefois que cet apport soit fondamental et l'on peut penser que le rôle de Cs est équivalent à celui de Mg.

La figure 9 montre l'évolution d'une couche

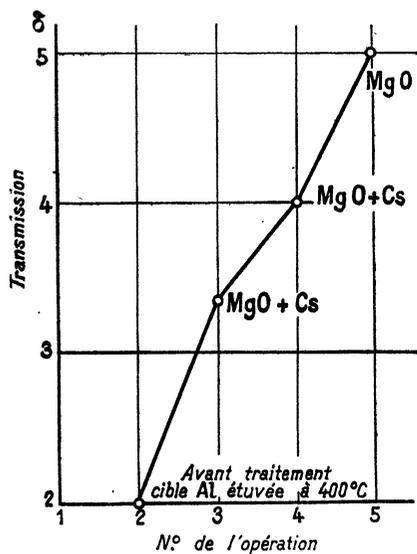


FIG. 9.

complexe, comportant un apport de Cs après formation de la première puis de la deuxième pellicule de MgO.  $\delta$  maximum partant d'une valeur de l'ordre de 2, atteint après formation de 3 couches successives la valeur 5.

Les valeurs des énergies primaires pour lesquelles les  $\delta$  maximum sont obtenues, sont de l'ordre de 3,5 keV.

**Évolution dans le temps.** — Les courbes de la figure 10 montrent l'allure de la variation au cours du temps de couches des différents types que nous

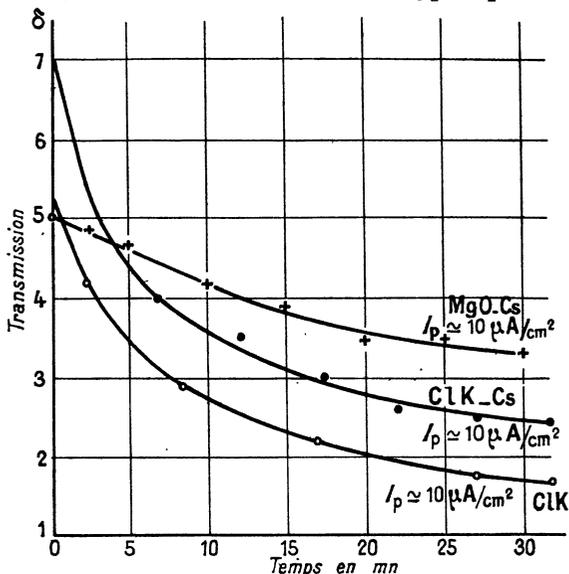


FIG. 10. — Vieillessement des dépôts sur cibles Al.

venons de mentionner. Il s'agit de l'évolution sous l'influence d'un bombardement par un courant électronique primaire continu de  $10 \mu A/cm^2$ . En l'absence de bombardement, le  $\delta$  n'évolue pratiquement pas. On constate que les couches en MgO, bien que partant de valeurs initiales moins élevées que les couches à ClK, ont une évolution nettement plus lente et deviennent rapidement plus intéressantes.

**Conclusion.** — L'étude des quelques types de couches à émission secondaire par transmission que nous avons réalisée montre qu'il est possible de fabriquer des dynodes possédant des propriétés intéressantes : gains assez élevés pour des tensions d'accélération des primaires qui ne sont pas prohibitives, évolution dans le temps qui semble satisfaisante pour des multiplicateurs destinés à travailler en impulsions, c'est-à-dire ne débitant en moyenne que de très faibles courants. Les couches à MgO semblent d'ailleurs à ce point de vue les plus satisfaisantes.

Il ne faut pas cependant penser que la réalisation de tubes multiplicateurs doit découler facilement de la présente étude : certaines difficultés apparaîtront lorsqu'il s'agira de réaliser non plus une, mais un système de dynodes : les techniques d'évaporation nécessitent la fabrication de ces dernières avant leur assemblage et cette opération peut difficilement se faire sous vide ; il est donc nécessaire de savoir si les surfaces minces à émission secondaire sont susceptibles de se prêter à cette manipulation. Quelques essais nous ont montré qu'il était effecti-

vement possible d'exposer à l'air sec pendant une durée de l'ordre de 1/4 h au moins, les cibles à MgO, sans que leurs propriétés soient considérablement altérées (on observe une légère baisse du  $\delta$  de l'ordre de 10 %). C'est là un fait encourageant.

Cependant, l'opération d'assemblage peut se heurter à des difficultés technologiques d'une certaine importance. On pourrait évidemment songer à utiliser l'effet de Cs, pour opérer l'activation après montage, puisque ce métal, du fait de sa tension de vapeur élevée, tend à se comporter comme un gaz lorsqu'on le chauffe sous vide. C'est là une voie que nous n'avons pas explorée car la présence de vapeur de Cs dans un tube destiné à supporter des tensions très élevées peut constituer un handicap sérieux.

Enfin, si le multiplicateur devait être associé à

une photocathode, le problème de la coexistence de cette dernière avec les dynodes, ou de leur séparation suffisante pour qu'elles ne se perturbent pas mutuellement, se poserait immédiatement. La solution serait certainement plus ou moins difficile à obtenir suivant le type de photocathode choisi ; c'est-à-dire, finalement, les performances qu'il serait nécessaire d'en exiger.

REMERCIEMENTS. — Nous tenons à remercier M. Prugne, du Commissariat à l'Énergie Atomique, pour les conseils technologiques qu'il nous a donnés, ainsi que la Direction des Laboratoires d'Électronique et de Physique Appliquée, qui a permis la réalisation de cette étude.

Manuscrit reçu le 7 novembre 1958.

#### BIBLIOGRAPHIE

- [1] STERNGLASS (E. J.), High Speed Electron Multiplication by Transmission Secondary Electron Emission. *Rev. Sc. Instr.*, 1955, **26**, n° 12, 1202. STERNGLASS (E. J.) et WATCHTEL (M. M.), Transmission Sec-

dary Electron Multiplication for High Speed Pulse Counting. *I. R. E. Trans. Nucl. Sc.*, 1956, NS 3, n° 4, 29.

---