Étude de canons à électrons de faible énergie

A. Mosser, Ch. Burggraf

► To cite this version:

A. Mosser, Ch. Burggraf. Étude de canons à électrons de faible énergie. Revue de Physique Appliquée, 1967, 2 (1), pp.57-61. 10.1051/rphysap:019670020105700 . jpa-00242765

HAL Id: jpa-00242765

<https://hal.science/jpa-00242765>

Submitted on 1 Jan 1967

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.

ÉTUDE DE CANONS A ÉLECTRONS DE FAIBLE ÉNERGIE

Par A. MOSSER et Ch. BURGGRAF,

Laboratoire de Minéralogie, Faculté des Sciences, Strasbourg.

Résumé. — Construction et mise au point d'un appareil permettant de déterminer la distribution de la densité de courant et la distribution des vitesses dans des faisceaux d'électrons dont l'énergie est comprise entre 100 et 500 eV.

Application à l'étude de différents types de canons.

Abstract. — An apparatus allowing one to determine current density and velocity distributions in electrons beams having energy in the range of 100 to 500 eV has been designed and tested.

We have used this apparatus to study different types of electron guns.

Pour apprécier la qualité d'un canon à électrons, il faut connaître :

- 1) la distribution de la densité de courant;
- 2) la distribution de l'énergie, c'est-à-dire de la vitesse des électrons dans le faisceau.

Quelques déterminations de ce genre ont été faites par Dosse [4]; Boersch [3]; Baas [2] et André [1], principalement dans le cas des électrons rapides dont l'énergie était de quelques dizaines de keV.

Nous avons construit un dispositif permettant de déterminer dans un faisceau à la fois la distribution de la densité de courant et celle de l'énergie.

Notre étude a porté plus spécialement sur des canons à électrons dont l'énergie était comprise entre 100 et 500 eV.

I. Principe de la détermination de la densité de courant. — Le faisceau d'électrons issu du canon est dévié par un champ électrique périodique variant suivant une courbe en forme de « dent de scie ». Il tombe ensuite sur un diaphragme percé d'un orifice de $100\ \mu$ de diamètre, petit par rapport à la section du faisceau. Les électrons passant à travers le diaphragme sont recueillis par une cage de Faraday et s'écoulent à la masse à travers l'impédance d'entrée d'un oscilloscope. C'est la base de temps de l'oscilloscope qui fournit la tension nécessaire à la déviation du faisceau étudié. On obtient ainsi sur l'écran une courbe représentant la distribution de la densité de courant suivant un diamètre de la section droite du faisceau (fig. 1 b).

La figure 1 a représente le schéma de principe de l'appareil. Nous conviendrons de définir le diamètre $d_{1/2}$ du faisceau électronique par la largeur à mi-hauteur de la courbe observée sur l'oscilloscope.

Pour étalonner l'échelle de l'écran, on dispose sur le diaphragme D un deuxième trou distant d'une longueur connue (4 mm). On obtient ainsi sur l'écran

deux signaux dont la distance correspond à 4 mm sur le diaphragme D (fig. 1 b). Il est possible d'étudier le faisceau le long de son parcours en déplaçant la cage de Faraday longitudinalement, grâce à un joint coulissant.

Nous avons appliqué cette méthode à l'étude de canons provenant de tubes cathodiques d'une part, de canons réalisés au laboratoire d'autre part.

FIG. 1.

- a) Schéma de l'appareil.
b) Courbes observées sur l'oscilloscope.

Avec le dispositif utilisé, il n'a pas été possible d'étudier des faisceaux d'électrons dont l'énergie était inférieure à 100 eV, à cause de la contamination des électrodes qui perturbe la marche des électrons lents. Pour descendre à des tensions plus basses, il est indispensable de travailler dans l'ultra-vide.

II. Principe de la détermination de la distribution des énergies. — Pour déterminer l'énergie des électrons, on emploie un champ retardateur. Boersch [3] avait déjà mis au point un appareil basé sur ce principe,

FIG. 2.

Courbe cumulative de la distribution des vitesses.

qui lui avait permis d'étudier la dispersion des vitesses de faisceaux d'électrons d'énergie supérieure à 10 keV.

Le faisceau d'électrons issu du canon tombe sur le diaphragme D (fig. 1).

Les électrons qui traversent le diaphragme rencontrent un champ retardateur régnant entre le diaphragme et le cylindre de Faraday dans lequel pénètrent seuls les électrons ayant une énergie cinétique suffisante. On mesure l'intensité du courant recueilli par la cage de Faraday en fonction du potentiel retardateur V_r qui lui est appliqué. On obtient ainsi la « caractéristique » $i = f(V_r)$ qui est la courbe « intégrée » de la distribution des vitesses. La figure 2 représente une telle courbe.

Considérons les potentiels V_1 , V_M et V_2 pour lesquels l'intensité est respectivement $0,25 i_s$, $0,5 i_s$ et $0,75 i_s$. eV_M représente alors l'énergie moyenne des électrons; nous définirons la dispersion d'énergie ΔeV par la relation :

$$\Delta eV = e |V_2 - V_1|.$$

III. Appareillage. — En vue de pouvoir ultérieurement travailler dans l'ultra-vide, l'appareil a été exécuté en acier inoxydable. Au cours des expériences actuelles, la pression résiduelle était de l'ordre de 10^{-6} mm de mercure. Le centrage du canon se fait par un système mécanique.

Le même appareil qui permet de mesurer la distribution de la densité de courant permet aussi de mesurer la dispersion de l'énergie. La précision des

mesures dépend alors pour beaucoup de la mise au point minutieuse du système optique électronique constitué par le diaphragme et la face d'entrée de la cage de Faraday. Il importe que les électrons à analyser rencontrent aussi normalement que possible des équipotentielles de faible courbure. Pour cela, il faut que le diamètre de l'orifice du diaphragme D soit petit par rapport au diamètre du trou de la cage de Faraday et que ces deux trous soient bien coaxiaux.

La distance diaphragme-face d'entrée du cylindre de Faraday a été choisie aussi petite que possible (environ 1,5 mm). Les diamètres des trous du diaphragme et de la cage de Faraday sont respectivement de 0,1 mm et 2 mm.

Les courbes $i = f(V_r)$ ainsi obtenues présentent au départ une diminution d'intensité de 4 % environ. Cette diminution de courant peut être expliquée par l'émission secondaire du diaphragme. On observe ensuite un palier, et lorsque le potentiel de la cage de Faraday est voisin de celui de la cathode, le courant passe de la valeur i_s à 0, de façon plus ou moins rapide, suivant la grandeur de la dispersion de l'énergie des électrons (fig. 2).

IV. Description des canons étudiés. — **CANON 1.** — C'est un canon à électrodes planes que nous avons construit au laboratoire (fig. 3). La cathode est constituée par un fil de tungstène de diamètre 0,1 mm en forme d'épingle à cheveux.

FIG. 3. — Schéma du canon 1.

Nous avons étudié ce canon dans deux conditions différentes :

a) Les électrons sont extraits par un champ élevé puis décélérés par une lentille à immersion. Pour avoir un faisceau d'électrons ayant une énergie de 200 eV par exemple, nous avons appliqué les potentiels suivants aux différentes électrodes :

$$V_{A1} = 1\,000\text{ V}; \quad V_{A2} = 330\text{ V}; \\ V_{A3} = 1\,000\text{ V}; \quad V_{A4} = 200\text{ V}.$$

b) Les électrons sont extraits à faible énergie puis focalisés par une lentille symétrique.

Pour avoir un faisceau d'électrons ayant une énergie de 200 eV, nous avons appliqué les potentiels suivants aux différentes électrodes :

$$V_{A1} = 200 \text{ V}; \quad V_{A2} = 200 \text{ V}; \\ V_{A3} = 42 \text{ V}; \quad V_{A4} = 200 \text{ V}.$$

CANON 2. — Ce canon provient d'un tube cathodique prévu pour fonctionner sous 500 eV (fig. 4).

FIG. 4. — Schéma du canon 2.

La cathode à chauffage indirect a été remplacée par un filament de tungstène de diamètre 0,1 mm en forme d'épingle à cheveux.

Pour avoir un faisceau d'électrons de 200 eV, nous avons appliqué les potentiels suivants aux différentes électrodes :

$$V_{A1} = 200 \text{ V}; \quad V_{A2} = 200 \text{ V}; \\ V_{A3} = 170 \text{ V}; \quad V_{A4} = 200 \text{ V}.$$

Il fonctionne dans les mêmes conditions que le canon 1 b.

V. Résultats de l'étude de la distribution de la densité de courant. — Le tableau I résume cette étude. Nous avons relevé les largeurs $d_{1/2}$ (en mm) des faisceaux et leur densité de courant maximale J_0 (en unités arbitraires) à différentes énergies pour les canons décrits précédemment.

TABLEAU I

U(eV)	CANON 1				CANON 2	
	a		b			
	$d_{1/2}$	J_0	$d_{1/2}$	J_0	$d_{1/2}$	J_0
500	0,65	64,0	0,80	10,0	0,35	11,0
400	0,75	56,0	0,85	6,5	0,35	8,0
300	0,90	32,0	0,90	3,5	0,40	5,2
200	1,00	17,0	1,10	2,0	0,50	2,5
100	1,45	2,0	—	—	—	—

Afin de réduire au minimum la modulation de l'intensité des faisceaux, nous avons chauffé les cathodes en courant continu. Nous avons également étudié l'influence de la forme de la cathode sur la largeur des spots. Avec une cathode plane (ruban), nous avons observé une augmentation de la largeur d'environ 30 % dans le cas du canon 2. L'influence

de l'intensité du courant de chauffage sur la largeur et la densité de courant maximale du faisceau est mise en évidence par la figure 5.

Il ressort du tableau I que :

1° Les plus fortes densités de courant sont obtenues avec le canon 1 a.

2° Le canon 1 b et le canon 2 donnent des densités de courant comparables.

3° Les plus faibles largeurs sont obtenues avec le canon 2.

Les fortes densités de courant du canon 1 a s'expliquent par le champ élevé régnant au niveau de la cathode. Les faibles largeurs obtenues avec le canon 2 peuvent s'expliquer d'une part par la faible dimension des trous des électrodes, d'autre part par la position de la lentille symétrique.

FIG. 5. — Variation de la largeur $d_{1/2}$ et de la densité de courant J_0 en fonction de l'intensité du courant de chauffage de la cathode.

Nous avons réalisé un canon dans lequel le diamètre des trous des électrodes était plus faible; la largeur des spots cependant n'a que faiblement diminué.

On peut donc admettre que la faible dimension des spots du canon 2 résulte essentiellement de la diminution du grandissement due à l'éloignement de la lentille symétrique par rapport au système triode.

Le cross-over formé par le système triode est en effet repris par la lentille symétrique et focalisé sur le diaphragme du cylindre de Faraday.

Une diminution du grandissement de la lentille symétrique devrait donc permettre d'obtenir des spots beaucoup plus fins à condition que l'aberration de sphéricité ne devienne trop importante. Nous avons réalisé un canon expérimental (fig. 6) en vue de vérifier cette hypothèse.

Ce canon comporte deux lentilles symétriques L_1

FIG. 6. — Schéma du canon expérimental.

et L_2 distantes de 6 mm et utilisables séparément par simple commutation électrique.

Le montage 1 correspond au cas de la lentille rapprochée, le montage 2 à celui de la lentille éloignée.

Nous avons obtenu les résultats suivants pour une tension d'accélération de 500 eV :

MONTAGE 1	MONTAGE 2
$d_{1/2} = 0,9 \text{ mm}$	$d_{1/2} = 0,6 \text{ mm}$
$J_0 = 3,2$	$J_0 = 3,2$

On constate que les densités de courant sont inchangées et que les largeurs sont dans le rapport 0,66.

Nous avons calculé les distances focales f et les grandissements G qui sont respectivement de $f_1 = 6 \text{ mm}$ et $G_1 = 14$ pour le montage 1 et $f_2 = 10 \text{ mm}$ et $G_2 = 8$ pour le montage 2.

On en déduit le rapport théorique des largeurs des spots :

$$\frac{G_2}{G_1} = 0,57.$$

L'accord nous a paru satisfaisant.

VI. Étude de la dispersion de l'énergie. — Cette étude a été faite sur le canon 2 dans les conditions suivantes :

- énergie des électrons $U = 500 \text{ eV}$;
- distance électrode A_4 -sonde : 8 cm;
- cathode plane en tungstène à chauffage direct.

VI.1. INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE DE LA CATHODE. — Le chauffage de la cathode se fait en courant continu. Polarisation du wehnelt : $W = 0 \text{ volt}$.

Les courbes de la figure 7 représentent les courbes cumulatives des dispersions des énergies.

On constate que la dispersion augmente avec la température de la cathode.

Dans le but de rechercher si la distribution des énergies des électrons est gaussienne, nous avons tracé les courbes cumulatives précédentes sur du papier

FIG. 7. — Variation de la dispersion avec l'intensité du courant de chauffage de la cathode.

gausso-arithmétique qui permet de soumettre à un test rigoureux l'hypothèse gaussienne.

On constate (fig. 8) que dans le cas de la courbe 4 une distribution gaussienne est approximativement réalisée; quand la température de la cathode s'abaisse, on s'écarte de plus en plus de cette loi.

Des études sont en cours pour préciser ce point.

FIG. 8.

Test gaussien relatif aux courbes de la figure 7.

VI.2. INFLUENCE DE LA NATURE DU COURANT DE CHAUFFAGE. — Lorsque le chauffage se fait en courant alternatif, le potentiel de la cathode se trouve modulé par une composante alternative dont l'amplitude est fonction de la position du curseur C (fig. 9 a).

Cette composante alternative augmente la valeur de la dispersion (fig. 9 b). Pour la partie médiane du curseur, elle est minimale et égale à la dispersion observée en chauffage par courant continu.

FIG. 9.

- a) Schéma de la polarisation de la cathode.
b) Influence de la position du curseur C sur la dispersion.

FIG. 10. — Variation de la dispersion avec la polarisation du wehnelt.

VI.3. INFLUENCE DE LA POLARISATION DU WEHNELT. — La cathode est chauffée en courant alternatif (l'intensité de chauffage est de 4,5 A).

Nous appelons W_0 la valeur de la polarisation du wehnelt pour laquelle l'intensité recueillie par le cylindre de Faraday est maximale.

On constate (fig. 10) que la dispersion diminue lorsque la polarisation du wehnelt augmente.

VI.4. ÉTUDE DE LA DISPERSION EN FONCTION DE L'ÉNERGIE DES ÉLECTRONS. — Des mesures comparatives ont été faites sur des faisceaux d'électrons ayant une énergie de 500 eV et de 250 eV, nous n'avons pas constaté de variation de la dispersion.

Par ailleurs, les valeurs obtenues au cours de cette étude sont du même ordre que celles obtenues par Boersch pour des énergies de quelques keV.

VI.5. INFLUENCE DE LA GÉOMÉTRIE DU CANON. — Nous avons obtenu avec le canon 1 une dispersion des vitesses comparable à celle obtenue avec le canon 2; il semble donc qu'en première approximation la dispersion soit indépendante de la géométrie du canon.

Conclusion. — L'étude des canons que nous venons de réaliser montre qu'il est possible d'obtenir des faisceaux plus fins en diminuant le grandissement de la lentille symétrique.

Un canon basé sur ce principe et destiné à la diffraction des électrons lents a été soumis à des essais préliminaires qui ont été très encourageants. (Avec des électrons de 200 volts, on a pu obtenir un spot de 0,3 mm de diamètre avec un courant de 2,5 μ A.)

Nous avons montré que la dispersion de l'énergie dans un faisceau d'électrons de quelques centaines d'eV est de l'ordre de 0,5 eV, valeur comparable à celle trouvée par Boersch pour des électrons de forte énergie. La dispersion est donc essentiellement fonction de la température de la cathode.

Manuscrit reçu le 19 décembre 1966.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ANDRÉ (B.), Mesure de la densité de courant dans la section droite d'un faisceau d'électrons, *Revue de Phys. Appliquée*, 1966, **1**, 2, 133-142.
- [2] BAAS (E. B.), Über eine fernfokus Elektronenkanone und ihre Anwendungen, *Zeitschr. f. angew. Physik*, 1959, **11**, 10, 370-375.
- [3] BOERSCH (H.), Experimentale Bestimmung der Energieverteilung in thermisch ausgelösten Elektronenstrahlen, *Z. f. Physik*, 1954, **131**, 139, 115-146.
- [4] DOSSE (J.), Theoretische und experimentale Untersuchungen über Elektronenstrahlen, *Z. f. Physik*, 1940, **115**, 530-555.