L'action intercathodique dans le champ magnétique

M. Gouy

► To cite this version:

M. Gouy. L'action intercathodique dans le champ magnétique. J. Phys. Theor. Appl., 1912, 2 (1), pp.427-441. 10.1051/jphystap:019120020042700 . jpa-00241767

HAL Id: jpa-00241767

<https://hal.science/jpa-00241767>

Submitted on 1 Jan 1912

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.

L'ACTION INTERCATHODIQUE DANS LE CHAMP MAGNÉTIQUE ⁽¹⁾;

Par M. GOUY.

1. La décharge électrique dans les gaz raréfiés, sous l'action du champ magnétique, présente des particularités remarquables quand l'ampoule contient deux cathodes; c'est leur étude qui va nous occuper ici. Le courant est continu et fourni par une batterie d'accumulateurs ou par une machine électrostatique, et le champ magnétique sensiblement uniforme ⁽²⁾, bien que cette condition ne soit pas indispensable, mais seulement commode pour les expériences. Nous dirons que les cathodes sont en position *privilegiée*, quand elles sont rencontrées par les mêmes lignes de force magnétique, condition qui peut être remplie plus ou moins complètement.

Nous supposons d'abord que les cathodes sont reliées métalliquement, et par suite au même potentiel (en l'absence d'oscillations). L'anode peut être quelconque; mais, pour éviter des complications qu'on verra plus loin, il faut qu'elle couvre la paroi de verre de l'ampoule, ou du moins toutes les parties qui peuvent être atteintes par le flux électrique.

2. Les principales dispositions sont représentées *fig. 1*.

FIG. 1.

A. L'anode est un cylindre de métal fermé par une glace, ou bien une feuille de métal qui tapisse une cloche de verre.

Les génératrices du cylindre sont perpendiculaires au champ magnétique.

Les cathodes sont des boules portées par des fils isolés, ou de

⁽¹⁾ Communication faite à la Société française de Physique: séance du 19 avril 1912. — *Comptes Rendus*, 22 février 1909, 20 juin et 5 décembre 1910, 10 avril 1911.

⁽²⁾ L'électro-aimant, construit pour étudier la décharge dans les gaz raréfiés, a des noyaux de 12 centimètres de diamètre percés de trous de 6 centimètres de diamètre, remplis d'ordinaire par des cylindres de fer. Le champ peut avoir jusqu'à 24 centimètres de longueur, et l'appareil peut recevoir 70.000 ampères-tours.

petites plaques parallèles, ou encore des fils parallèles libres sur une certaine longueur.

B. Même disposition, mais un écran métallique, percé d'une ouverture et relié à l'anode, est placé entre les cathodes.

C. Le cylindre est cathode ; l'anode occupe un plan diamétral, elle est formée d'une feuille de métal percée d'une ouverture.

D. L'ampoule est un cylindre de verre dont les bases sont des plaques métalliques formant les cathodes ; elles sont normales au champ magnétique. L'anode est une feuille de métal percée d'une ouverture ; elle est parallèle aux cathodes et équidistante.

3. Les principales expériences ont été faites avec les ampoules du type A. Quand les cathodes ne sont pas en position privilégiée, on voit les deux faisceaux magnéto-cathodiques distincts dessiner les tubes de force circonscrits aux deux cathodes.

En tournant l'ampoule, ces faisceaux se rapprochent et se superposent. Alors, quand le vide est suffisant, *la partie commune aux deux faisceaux prend un vif éclat*, bien supérieur au double de l'éclat antérieur, et tel que toute autre lumière disparaît dans l'ampoule (*fig. 2*) ⁽¹⁾.

FIG. 2.

La lumière vive est limitée à l'espace commun aux deux tubes de force ⁽²⁾, avec une pénombre d'autant plus réduite que le champ est plus intense.

(1) Vraie grandeur ; pression 2×10^{-5} , champ 1.000 gauss, courant 200 microampères, boules de 8 millimètres en aluminium.

(2) On peut, par exemple, le montrer par cette expérience : les cathodes sont deux fils rectilignes, non dans un même plan, de telle sorte que les deux faisceaux magnéto-cathodiques forment deux nappes planes dessinant un angle dièdre. L'arête de l'angle dièdre est marquée par un vif éclat, d'autant mieux limité que le champ est plus intense.

En même temps qu'apparaît cette vive lumière, le voltage de l'ampoule subit une baisse très importante; ces deux effets caractéristiques forment ce que nous appelons l'*action intercathodique*.

4. La partie brillante du faisceau intercathodique ne va pas jusqu'aux cathodes; elle s'arrête assez brusquement à une distance δ , et il ne reste qu'une faible lumière, de nuance différente. Cet espace quasi-obscur rappelle celui qui entoure la cathode en l'absence du champ magnétique, mais il est beaucoup plus petit, à vide égal, et diminue rapidement à mesure que la densité du courant augmente.

Exemple ⁽¹⁾ :

microampères	pression (Hg)	200 μ	1 000 μ	4 300 μ
24	12 μ	12 mm	10 mm ,5	10 mm
51	12	9 ,5	8 ,5	9
180	22	7	5 ,5	5 ,5
750	40	3 ,7	2 ,5	2 ,5
4 500	15	3 ,5	0 ,8	0 ,6

L'espace obscur augmente un peu avec le degré de vide, et dépend très peu du champ, dès que celui-ci est intense ⁽²⁾.

5. Si l'on diminue la distance l qui sépare les cathodes, δ diminue fort peu, en sorte que la longueur $l - 2\delta$ de la partie brillante du faisceau décroît; mais, bien avant qu'elle s'annule, il survient un changement brusque. Pour une certaine distance *critique*, la lumière intercathodique prend la forme d'un disque ou d'une couronne, dont la périphérie est souvent plus brillante que le centre, qui peut même être obscur. Le diamètre extérieur décroît quand le champ augmente, et finit par ne dépasser que de 2 millimètres environ la dimension du tube de force circonscrit aux cathodes. Les choses se passent encore ainsi quand les cathodes sont en contact. Si les cathodes sont filiformes, le disque ou la couronne est ovale, mais les phénomènes sont essentiellement les mêmes ⁽³⁾. Voici quelques valeurs

⁽¹⁾ Boules d'aluminium de 8 millimètres distantes de 47 millimètres.

⁽²⁾ L'espace obscur est très peu conducteur, la partie brillante l'est beaucoup. Deux sondes de 0 mm ,14 sur 1 mm ,5, distantes de 2 millimètres donnent, pour 1 volt, 0,05 microampère dans l'espace obscur, et 4 microampères dans la partie brillante (pression 20 μ , courant dans l'ampoule 400 microampères, champ 1.700 gauss, cathodes boule de laiton de 6 millimètres distantes de 50 millimètres).

⁽³⁾ Quand il existe des oscillations bien sensibles au téléphone, elles rendent incertaine la détermination de la distance critique. L'établissement du régime de la couronne ou du disque les fait immédiatement disparaître. Ces oscillations font aussi diminuer ou disparaître l'espace obscur dont il vient d'être question, ce qui s'explique aisément (n° 7); d'une manière générale, elles sont une cause d'erreur dont il faut tenir grand compte.

de la distance critique ⁽¹⁾ :

champ.	microampères :	24	200	1 100
200g		»	17 ^{mm}	12 ^{mm}
1 000		16 ^{mm}	11 ,5	9
4 400		11 ,5	10	8 ,5

Autre exemple ⁽²⁾.

champ.	microampères :	18	200	1 200
150g		41 ^{mm}	22 ^{mm}	12 ^{mm} ,5
650		37 ,5	20	10
3 300		24	13	7

La distance critique diminue avec les dimensions des cathodes, et devient très petite quand elles se réduisent à un point. Cette distance varie en sens inverse du champ magnétique et de l'intensité du courant.

6. *L'action intercathodique est un phénomène des vides extrêmes.*

— En faisant le vide, on voit se former et s'allonger de plus en plus le faisceau magnéto-cathodique, mais l'éclat caractéristique ne commence à se montrer que bien plus tard, vers 100 μ , et atteint presque son plein développement vers 10 μ , pour croître peut-être encore un peu jusqu'à la limite des expériences (0,1 à la jauge pour de faibles courants). Il en est ainsi avec divers gaz (air, oxygène, hydrogène, gaz issus des cathodes); la lumière montre surtout le spectre du mercure provenant de la pompe Gaede.

Les autres appareils, B, C, D, produisent des effets analogues, et donnent lieu aux remarques suivantes. L'écran entre les deux cathodes B exalte sensiblement l'action intercathodique. En C et D, la lumière intercathodique remplit le tube de force passant par l'ouverture; les seules portions agissantes des cathodes sont celles qui sont rencontrées par ce tube de force.

7. *Cathodes secondaires.* — Supposons que les deux cathodes soient, à des potentiels différents, inférieurs à celui de l'anode de V_1 et V_2 ; supposons $V_1 > V_2$. La cathode 1 sera dite *principale*. L'action intercathodique n'existe pas pour de petites valeurs de V_2 ; elle se montre un peu vers 40 volts environ, et croît jusque vers 200 volts, où les apparences sont presque les mêmes que si les deux cathodes étaient au même potentiel. Tant que V_2 est petit, l'intervalle obscur δ

⁽¹⁾ Boules d'aluminium de 8 millimètres, pression 7^a.

⁽²⁾ Boules de cuivre de 15 millimètres, pression 10^a.

est bien plus petit de ce côté-là que du côté de la cathode principale, et même presque nul.

Nous avons montré ailleurs ⁽¹⁾ que les rayons magnéto-cathodiques transportent des charges négatives. Il en résulte que si le conducteur 2 est isolé, il s'électrise négativement (cathode secondaire), et V_2 atteint aisément quelques dizaines de volts. L'action intercathodique se produit donc plus ou moins complètement.

Il en est de même quand les rayons magnéto-cathodiques tombent sur un corps isolant, tel que la paroi de verre de l'ampoule. Il s'accumule en ce point une charge négative, qui donne naissance à l'action intercathodique. On peut le montrer, par exemple, en faisant usage d'une ampoule à une seule cathode, dont la paroi est recouverte incomplètement par l'anode. En faisant tourner l'ampoule dans le champ, on fait tomber le faisceau magnéto-cathodique, tantôt sur l'anode, tantôt sur la paroi de verre; dans le premier cas, la lumière est faible, et, dans le second, on a l'éclat caractéristique de l'action intercathodique ⁽²⁾.

8. Au voisinage de la position privilégiée, les faisceaux magnéto-cathodiques issus de deux cathodes sont distincts, mais ils restent réunis par une sorte de pont, bien plus brillant qu'eux-mêmes, et qui est une forme de l'action intercathodique (*fig. 3*) ⁽³⁾.

C'est un anneau assez mince, dont le centre obscur occupe le milieu de la ligne qui joint les deux cathodes, supposées pareilles, et dont le plan est presque normal à cette ligne. Il s'affaiblit en s'agrandissant quand les deux faisceaux s'éloignent l'un de l'autre, et finit par disparaître.

L'expérience suivante est faite aussi en dehors de la position privilégiée. Une des cathodes est un cylindre creux, dont l'axe passe par l'autre cathode, qui est une boule plus petite. Le faisceau magnéto-cathodique émis par la boule traverse le cylindre sans le toucher, et l'action intercathodique se produit comme d'ordinaire, la partie brillante s'arrêtant à peu près à l'entrée du cylindre.

(1) *Sur la structure et les propriétés des rayons magnéto-cathodiques dans un champ uniforme* (*le Radium*, avril 1911).

(2) Pour une raison évidente, l'expérience ne réussit pas quand l'ampoule est métallisée, même légèrement, par projection cathodique, et elle réussit moins bien quand l'appareil vient d'être monté, la paroi de verre n'étant pas encore parfaitement desséchée.

(3) Vraie grandeur; boules de 8 millimètres, pression 5μ , champ 1.000 gauss, courant 300 microampères. La flèche indique la direction du champ. Les faisceaux magnéto-cathodiques sont à peu près invisibles.

9. Aux vides de l'ordre du micron, l'action intercathodique fait baisser dans une très forte proportion le potentiel explosif. Si l'on fait usage, par exemple, d'une batterie donnant 1.000 volts, la dé-

FIG. 3.

charge ne passe pas dans un champ nul, ni dans un champ quelconque si les cathodes sont loin de la position privilégiée. En tournant l'ampoule, le courant s'établit brusquement lorsqu'on approche

FIG. 4.

de cette position, et cesse de même quand on la dépasse sensiblement. On peut constater le fait, soit par la lueur de la décharge, soit par le galvanomètre ou l'électromètre.

Dans l'étude de ces phénomènes, je me suis borné à mesurer le voltage de l'ampoule pendant le passage du courant continu ⁽¹⁾, voltage sujet à moins d'irrégularités que le potentiel explosif proprement dit. A la vérité, si l'ampoule contient des ions provenant d'une décharge récente, ces deux quantités sont en général peu différentes, mais il n'en est pas toujours ainsi.

10. Examinons d'abord les mesures de voltage représentées *fig. 4*.

Les abscisses donnent les logarithmes décimaux de la pression, mesurés en microns; les ordonnées, les potentiels en volts ⁽²⁾. Les courbes en traits pleins indiquent les mesures faites quelques heures après le montage de l'appareil et le début du vide, avec un champ nul et un champ de 1.000 gauss. On voit qu'en partant de 6.000 μ environ, le champ ne produit que des effets minimes tant qu'on n'est pas arrivé à 100 μ ; à ce moment les deux courbes se séparent; celle du champ nul monte avec une grande rapidité et atteint bientôt plusieurs milliers de volts; celle de 1.000 gauss forme un palier presque parfait et se termine à 440 volts pour 0,1 ⁽³⁾. C'est au-dessous de 10 μ que l'action intercathodique est surtout efficace.

Les courbes ponctuées ont été obtenues comme les précédentes, mais après que le vide eût été maintenu huit jours. Le voltage y est supérieur pour les vides élevés ⁽⁴⁾, mais les relations entre les deux courbes sont sensiblement les mêmes.

11. Ces expériences peuvent servir de type pour toutes les autres, qui n'en diffèrent que par quelques particularités. J'ai employé d'assez

(1) Quelquefois, avec de très faibles courants et des vides très élevés, on a des décharges discontinues, à intervalles d'une seconde ou davantage. Ces cas sont exclus des mesures; on ramène souvent le régime continu en faisant passer pendant un instant un courant plus fort (quelques microampères).

(2) Boules d'aluminium de 8 millimètres, distantes de 47 millimètres, courant 0,05 microampère, air, position privilégiée.

(3) Les pressions indiquées sont celles que donne la jauge; il faudrait y joindre 1^{re} environ pour la vapeur de mercure, et peut-être quelque chose pour les vapeurs hydrocarbonées provenant des joints rodés.

(4) Ce fait, que le voltage, toutes choses égales d'ailleurs, augmente, aux vides extrêmes, avec le temps écoulé depuis le début du vide, s'est présenté dans toutes mes expériences, avec ou sans champ magnétique. On doit sans doute l'attribuer aux gaz retenus par adsorption aux surfaces des cathodes, qui facilitent le passage du courant en rendant plus efficace le choc des ions qui forment l'afflux positif et déterminent l'émission des électrons par les cathodes. Ces gaz disparaissant peu à peu, comme on le constate facilement, il est naturel que la décharge exige un voltage de plus en plus grand. Les expériences rapportées plus loin ont été faites d'ordinaire un ou deux jours après le début du vide.

nombreux appareils, sans cependant pouvoir faire une étude très détaillée ⁽¹⁾.

Nature du gaz. — Un courant d'hydrogène (osmomètre Villard) a été employé; d'autres fois l'ampoule contenait de l'air, ou bien les gaz issus des cathodes, qui jouent le principal rôle quand le courant est quelque peu intense. Je n'ai pas remarqué de différence bien tranchée entre ces divers cas.

12. *Voltage à champ nul.* — Aux pressions de $1\ \mu$ et au-dessous, quand le vide est fait depuis un jour au moins, le courant s'arrête toujours quand on supprime le champ, avec 6.000 volts fournis par une batterie. A cette constatation, j'ai ajouté souvent la mesure effective du voltage, au moyen d'une machine électrostatique. Les nombres trouvés varient de 15.000 à 30.000 volts; l'action intercathodique réduit donc ici le voltage à 0,02 ou 0,04 de sa valeur.

13. *Particularités des cathodes.* — La comparaison précise des mesures faites avec des appareils différents est rendue très difficile par les variations du voltage dues à l'âge du vide. Avec des dimensions au moins égales à 5 millimètres pour les boules et à $1^{\text{mm}},5$ sur 10 millimètres pour les fils, je n'ai pas constaté de différences bien marquées; mais un appareil, muni de fils de $0^{\text{mm}},4$ sur $1^{\text{mm}},2$, a donné des voltages presque doubles des valeurs ordinaires. L'action intercathodique décroît donc quand les cathodes deviennent très petites.

Les appareils des types C et D, où les champs électriques et magnétiques sont presque parallèles, paraissent donner des courbes plus conformes au type schématique (palier depuis le minimum jusqu'au bout) ⁽²⁾, ce qui s'accorde, comme on le verra, avec les prévisions théoriques.

La comparaison est plus facile pour les diverses positions des cathodes dans un même appareil, les mouvements nécessaires se faisant sans arrêt des expériences. Si l'on rapproche les cathodes, on voit le voltage varier en sens inverse de leur distance, avec de faibles

(1) Sauf avis contraire, dans ce qui suit, la pression est au plus égale à $10\ \mu$ et la distance est supérieure à sa valeur critique δ (n° 5). Les nombreuses expériences nécessaires pour des recherches de ce genre sont rendues possibles en organisant des ampoules à pièces rodées interchangeables, qui permettent un montage rapide, avantage de premier ordre qui fait passer sur certains inconvénients.

(2) L'appareil type C, quand l'anode est oblique par rapport au champ (45°), donne au contraire des voltages anormalement élevés, de 650 volts en moyenne pour $3\ \mu,5$ et $0,03$ microampère.

L'ACTION INTERCATHODIQUE DANS LE CHAMP MAGNÉTIQUE 435
courants ⁽¹⁾. Exemple ⁽²⁾ :

	pression 2 ^μ			pression 7 ^μ		
	47mm	35mm	22mm	47mm	35mm	22mm
200g	529 ^v	557 ^v	586 ^v	432 ^v	452 ^v	481 ^v
1 000	500	530	610	450	471	523
4 400	529	635	770	489	516	643

Voici une autre série ⁽³⁾ :

	8 ^{mm}	6 ^{mm} ,5	1 ^{mm} ,5	0 ^{mm}
650g	450 ^v	830 ^v	920 ^v	1 200 ^v
3 300	509	1 560	1 760	1 970

La transformation qui se fait à la distance critique produit une petite augmentation brusque du voltage. Au contact des cathodes ou à son voisinage, on atteint toujours des valeurs assez élevées.

Avec de forts courants, le voltage diminue d'abord avec la distance, passe par un minimum, puis augmente et atteint des valeurs élevées au contact. Exemple ⁽⁴⁾ (courant de 700 microampères) :

	8 ^{mm}	32 ^{mm}	14 ^{mm}
180g	1 080 ^v	645 ^v	850 ^v
300	812	550	460
530	722	530	475
750	708	530	490
1 050	710	544	500
1 850	770	560	510

La différence est encore plus marquée avec des courants de quelques milliampères, mais l'échauffement des cathodes et le dégagement gazeux rendent les expériences plus difficiles.

14. *Intensité du courant.* — Le voltage V augmente avec le courant I, et la dérivée $\frac{dV}{dI}$ a des valeurs considérables pour les faibles intensités (50 à 200 en prenant pour unité le microampère) ⁽⁵⁾. Cette

(1) J'appelle *faibles* les courants inférieurs à 0,5 microampère; *moyens*, ceux de quelques microampères; *forts*, ceux de 500 à 8.000 microampères. Ceci doit s'entendre pour les cathodes ayant des surfaces utiles de 1 centimètre carré environ, car c'est la *densité* du courant qui intervient. Ces courants sont réglés au moyen de rhéostats à liquides, donnant jusqu'à 100.000 mégohms.

(2) Boules de 8 millimètres, aluminium, courant de 0,05 microampère.

(3) Boules de cuivre de 15 millimètres, courant 0,07 microampères, pression 0^μ,1.

(4) Boules d'aluminium de 8 millimètres, pression 30^μ (hydrogène).

(5) Voici quelques exemples : fils de 1^{mm},5, distants de 22 millimètres, pression 0^μ,1; on a 50 environ entre 0,03 et 0,25 microampère. On a 100 environ avec un appareil du type D, cathodes distantes de 85 millimètres, entre 0,003 et 0,04 microampère, pression 0^μ,1.

dérivée diminue très vite quand l'intensité augmente, et l'accroissement de V entre 0,01 et 1.000 microampères ne dépasse pas 300 à 400 volts dans les conditions ordinaires ⁽¹⁾. Dans les champs très intenses, le voltage diminue quand on arrive à plusieurs milliam-pères, mais il est probable que l'échauffement des cathodes y joue un rôle.

D'une manière générale, le voltage augmente plus vite dans les champs très intenses. Exemple ⁽²⁾ :

	microampères :	0,037	0,29	7,4
500 ^s		500 ^v	503 ^v	508 ^v
2 000		516	535	562
8 700		521	586	707

15. *Influence du champ.* — En règle générale, et avec de faibles courants, si l'on fait croître le champ depuis la valeur zéro, le voltage diminue rapidement, passe par un minimum V_m pour un champ H_m , et se relève ensuite jusqu'à la limite des expériences. Ce relèvement est très différent, suivant les cas.

Appelons V_0 le minimum du voltage à champ nul, correspondant à des pressions de l'ordre de 1.000 μ , qui est de 320-340 volts. Lorsqu'aux vides extrêmes V_m est voisin de V_0 , le relèvement est nul ou négligeable, en sorte que depuis H_m le voltage est presque invariant, soit par rapport au champ, soit par rapport à la pression. Exemple ⁽³⁾ :

	pression 0 ^h ,4	pression 2 ^h
50 ^s	439 ^v	400 ^v
100	360	360
200	351	350
500	350	350
1 000	350	349
2 000	349	349
3 300	349	348

Si, au contraire, V_m est notablement supérieur à V_0 , le relèvement est plus marqué, de même que l'accroissement du voltage avec le

⁽¹⁾ Il est à noter que les fortes intensités n'ont pu être employées avec les vides les plus élevés.

⁽²⁾ Appareil type D, distance des cathodes 30 millimètres, anode avec un trou de 10 millimètres, pression 1 μ .

⁽³⁾ Appareil du type C, de 120 millimètres de diamètre, l'anode percée d'un trou de 30 millimètres, courant 0,025 microampère.

L'ACTION INTERCATHODIQUE DANS LE CHAMP MAGNÉTIQUE 437.
degré de vide. Exemple ⁽¹⁾ :

	pression 0 ^a ,1	pression 2 ^a
200 ^s	878 ^v	557 ^v
1 000	630	530
4 400	772	635

Avec de faibles courants, H_m est presque toujours compris entre 100 et 500 gauss. Pour des courants moyens, H_m a une tendance à augmenter, et, pour des courants forts, cette variation est très marquée. Exemple ⁽²⁾ (courant 2.800 microampères) :

400 ^s	710 ^v
800	478
3 000	432
8 700	458

Il peut arriver que H_m ne soit pas encore atteint à la limite des expériences.

16. *En s'écartant de la position privilégiée* ⁽³⁾, le voltage augmente toujours aux vides extrêmes, et surtout dans les champs intenses. Exemple ⁽⁴⁾ (α désigne l'angle que fait avec le champ la ligne des centres des cathodes).

	$\alpha = 8^\circ$	$\alpha = 17^\circ$
200 ^s	823 ^v	1 620 ^v
1 000	690	2 065
4 400	735	2 415

Dans cette catégorie rentrent les mesures faites avec le cylindre creux formant une des cathodes (n° 8). Le voltage est comparable à ceux qu'on observe, en position privilégiée, avec les cathodes en boule.

17. *Cathodes secondaires.* — Nous avons vu qu'un conducteur isolé, en recevant le faisceau magnéto-cathodique, devient une cathode secondaire, et subit l'action intercathodique. Elle produit ici sa baisse de voltage ordinaire, mais d'autant moindre que les potentiels des deux cathodes sont plus différents.

(1) Boules de 8 millimètres, distance 35 millimètres, courant 0,05 microampère.

(2) Fils de 1^{mm},5 distants de 22 millimètres, pression 15^a.

(3) Tout ce qui précède est relatif à la position privilégiée exactement réalisée, par exemple les centres des boules sur la même ligne de force magnétique.

(4) Boules de 8 millimètres distantes de 47 millimètres, courant 0,06 microampère, pression 8^a.

Il en est encore de même quand la cathode secondaire est formée sur la paroi de verre de l'ampoule. Exemple ⁽¹⁾ :

Le faisceau tombe sur l'anode.....	14 000 ^v à 16 000 ^v
— — sur le verre.....	3 000 à 3 500

On passe d'un état à l'autre en tournant un peu l'ampoule ; avec la batterie (6.000 volts), il y a ainsi extinctions et rallumages.

18. *Écran en toile métallique.* — Un tel écran, placé entre les cathodes, et relié à l'anode, empêche dans tous les cas l'action intercathodique, tant les effets optiques que la baisse de voltage. La toile n'a pas besoin d'être très fine ; des mailles de $\frac{1}{2}$ millimètre suffisent.

Il en est de même pour l'action exercées sur la paroi de verre. L'écran laisse cependant passer abondamment les rayons magnéto-cathodiques, et même, avec un courant constant (machine électrostatique), son interposition augmente la phosphorescence du verre, parce qu'elle augmente beaucoup le voltage de l'ampoule, ce qui fait plus que compenser la perte des rayons arrêtés par les fils.

19. Tels sont les effets de l'action intercathodique sur le voltage, aux vides extrêmes. Aux pressions plus fortes, les effets deviennent bien moindres, et les phénomènes se compliquent, même au point de vue qualitatif ; il est facile d'en voir la raison. Plusieurs causes concourent assurément à faire varier le voltage dans le champ magnétique ⁽²⁾ ; aux vides extrêmes, l'action intercathodique devient si énergique qu'elle est tout à fait prépondérante, et c'est ce qui a rendu plus facile notre travail.

Il n'en est plus de même aux pressions moins basses, et les petites variations qu'on observe alors n'ont aucun rapport avec l'objet qui nous occupe ici.

20. Nous allons examiner comment l'action intercathodique peut se rattacher aux idées admises sur la décharge dans les gaz raréfiés.

(1) La cathode est une boule de laiton de 9 millimètres ; l'ampoule, un cylindre de verre de 80 millimètres, garni aux trois quarts d'une feuille de laiton (anode) ; pression 10², champ 1.300 gauss, courant 250 microampères, maintenu constant par la machine électrostatique.

Ce phénomène joue un rôle essentiel dans les expériences où l'on ne prend pas la précaution de garnir la paroi de l'ampoule ; ce qu'on mesure alors, c'est l'action intercathodique, même avec une seule cathode métallique.

(2) J'ai signalé une de ces causes : la longueur du faisceau magnéto-cathodique, comparée au parcours des rayons cathodiques en l'absence du champ (*Comptes Rendus*, 5 décembre 1910).

Remarquons d'abord que, dans un champ nul, l'élévation très rapide du voltage aux vides extrêmes s'explique de la manière suivante. Le courant étant constant, il faut que chaque électron issu de la cathode soit, en moyenne, la cause indirecte de l'émission d'un autre électron qui le remplace. Cela a lieu grâce à la mise en liberté d'ions positifs par collision entre électrons et molécules ; ces ions positifs se précipitent sur la cathode et déterminent par leur choc l'émission de nouveaux électrons ⁽¹⁾. Si le vide augmente, ces collisions ainsi que les ions positifs deviennent plus rares ; et des électrons arrivent plus fréquemment à l'anode sans rencontrer de molécules. Il faut donc, par compensation, que le choc d'un ion positif sur la cathode devienne, en moyenne, plus efficace, ce qui exige l'accroissement de sa vitesse, et par suite du potentiel.

Ces conséquences de la raréfaction extrême n'existeront plus dans le champ magnétique *si la trajectoire de l'électron est telle qu'il n'arrive pas à l'anode sans avoir subi des collisions*. Il en sera à peu près de même si cette condition est remplie pour le plus grand nombre des électrons. En effet le nombre des collisions et la production d'ions positifs étant presque indépendants de la raréfaction croissante, le voltage sera lentement croissant, ou même presque invariable ⁽²⁾.

21. C'est bien en effet ce qui est réalisé dans nos expériences. Supposons d'abord que les deux cathodes soient au même potentiel, et en position privilégiée ; soit L une ligne de force magnétique qui les rencontre toutes deux. Examinons quel est le mouvement d'un électron qui part sans vitesse de l'une d'elles, en s'enroulant autour de la ligne L, le champ magnétique étant supposé assez fort pour que cet enroulement soit de petit diamètre. Faisons abstraction pour un moment des composantes du champ électrique autres que celle f qui est parallèle à L. L'accélération suivant L du mouvement de l'électron est sensiblement la même que s'il suivait exactement cette ligne ; il se rapproche donc d'un mouvement accéléré du point O, où le potentiel est maximum sur L, dépasse ce point et arrive sans vitesse à l'autre cathode, puis revient à la première, et exécute ainsi des oscillations le long de L, jusqu'à ce qu'une collision vienne troubler son mouvement.

(1) Il n'est question ici que des cathodes froides.

(2) Il est bien clair qu'il y aurait une limite, puisqu'en l'absence de molécules le courant ne passerait pas, mais nous en sommes encore loin.

Si sa vitesse est diminuée, il oscille encore sur L de part et d'autre du point O, mais sans revenir jusqu'aux deux cathodes ; il en est de même pour les électrons qui sont mis en liberté le long de L par des collisions. Le mouvement oscillatoire continue jusqu'à ce que l'électron disparaisse de la scène, en finissant, de collision en collision, par obéir au champ électrique qui tend à l'amener à l'anode⁽¹⁾.

Revenons aux composantes autres que f qui produisent, comme on sait, une *dérive*, perpendiculaire aux deux champs, du petit cercle décrit par l'électron. De ce fait sa trajectoire hélicoïdale est infléchie et courbée, mais sans s'éloigner du faisceau dont elle fait partie. Le plus souvent, du reste, ces composantes sont faibles, les cathodes étant alignées suivant le champ magnétique.

22. Si la ligne de force L passant par une cathode ne rencontre pas l'autre, mais passe dans son voisinage, ou bien si l'une des cathodes est une cathode secondaire, ou une cathode auxiliaire de voltage réduit, le maximum O de potentiel sur la ligne L n'existe pas moins en général, mais la chute de potentiel est plus petite du côté opposé à la cathode principale. Par suite, les électrons issus de cette cathode vont jusqu'au bout de leur parcours. Seuls, ceux dont la vitesse a été réduite, ou ceux qui ont été émis par l'autre cathode, ou encore ceux qui ont été mis en liberté dans le gaz non loin du point O, oscillent comme dans le cas précédent. Le mécanisme de l'action intercathodique reste le même, mais son efficacité est diminuée.

23. Même avec des cathodes égales, au même potentiel, et en position privilégiée, il pourra arriver que les électrons émis par le bord extrême d'une des cathodes ne rencontrent pas l'autre, mais passent tout près d'elle, en raison du diamètre de l'hélice, qui est d'ordinaire voisin de 1 millimètre⁽²⁾. Ces électrons iront donc jusqu'à l'anode, et l'action intercathodique en sera diminuée, surtout avec des cathodes très petites, ce qui est conforme à l'expérience.

Un écran de toile métallique, relié à l'anode, empêchera le mouvement de va-et-vient des électrons, en capturant une partie d'entre

(1) Le chemin parcouru par l'électron, entre son départ de la cathode et son arrivée à l'anode, est ainsi d'autant plus long que le vide est plus parfait, mais on conçoit que le nombre et les conditions des collisions en soient presque indépendantes.

(2) *Le Radium*, loc. cit. — L'hélice est naturellement déformée, mais c'est une raison de plus pour que certains électrons ne touchent pas la cathode.

eux à chaque passage. Au contraire un écran relié à l'anode et percé d'une ouverture suffisante augmentera l'action, en favorisant le maximum de potentiel au point O.

Un cylindre creux employé comme cathode agira sur les électrons presque comme une cathode ordinaire, même quand le faisceau magnéto-cathodique le traversera sans y toucher. Enfin l'action sera un peu favorisée par le parallélisme des deux champs (types C et D), qui réduit le diamètre de l'hélice décrite par l'électron.

Ces conséquences sont bien d'accord avec l'expérience, mais d'autres détails sont moins aisés à expliquer; tels sont la vive lumière et l'accroissement du voltage dans les champs intenses.

24. En terminant, nous montrerons l'analogie existant entre nos expériences et d'autres, de disposition bien différente au premier abord.

a) L'anode et la cathode sont deux plateaux parallèles, dont la distance est petite par rapport à leur diamètre. Leur plan est parallèle au champ magnétique (Righi). Si ce champ est assez intense, un électron parti de la cathode décrit une trajectoire ayant forme de cycloïde, qui ne l'amène pas à l'anode, mais lui fait traverser toute la largeur du champ électrique.

b) L'anode et la cathode sont deux cylindres dont l'axe commun a la direction du champ magnétique, la cathode étant intérieure (1). Un électron émis par la cathode décrit, dans un plan normal au champ magnétique, une trajectoire telle que l'on a :

$$\sin^2 \alpha = \left(r - \frac{a^2}{r} \right)^2 \cdot \frac{eH^2}{8mV},$$

a étant le rayon de la cathode, r la distance du point considéré au centre, V l'excès du potentiel de ce point sur celui de la cathode, H le champ magnétique et α l'angle de la trajectoire et du rayon vecteur. L'électron issu de la cathode exécute une suite indéfinie de bonds égaux, qui chaque fois l'y ramènent, et lui font toucher un cercle de rayon tel que $\sin \alpha = 1$ (2).

Dans les deux cas (a) et (b), les électrons passent par un maximum de potentiel dans leur trajectoire et arrivent à l'anode grâce à des collisions; ce sont donc des cas particuliers, et à certains égards exceptionnels, de l'action intercathodique.

(1) EUGÈNE BLOCH, *le Potentiel disruptif dans un champ magnétique* (J. de Phys., 5^e série, t. I, p. 194; 1911).

(2) Sur un cas particulier de l'action intercathodique (Comptes rendus, 26 décembre 1911).