



Sur quelques expériences récentes relatives a l'hypothèse de l'exis tence d'électrons positifs aux basses pressions dans certains tubes a décharges électriques

A. Dufour

► To cite this version:

A. Dufour. Sur quelques expériences récentes relatives a l'hypothèse de l'exis tence d'électrons positifs aux basses pressions dans certains tubes a décharges électriques. J. Phys. Theor. Appl., 1909, 8 (1), pp.411-422. 10.1051/jphystap:019090080041101 . jpa-00241469

HAL Id: jpa-00241469

<https://hal.science/jpa-00241469>

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.

SUR QUELQUES EXPÉRIENCES RÉCENTES RELATIVES A L'HYPOTHÈSE DE L'EXISTENCE D'ÉLECTRONS POSITIFS AUX BASSES PRESSIONS DANS CERTAINS TUBES A DÉCHARGES ÉLECTRIQUES ⁽¹⁾ ;

Par M. A. DUFOUR.

1. — HISTORIQUE.

L'an dernier, M. J. Becquerel a publié certaines expériences ⁽²⁾ qu'il a faites dans des tubes à basse pression et qui lui ont permis d'observer un faisceau déviable particulier ; il a été conduit à considérer ce faisceau comme pouvant être formé « d'électrons positifs libres, analogues aux électrons négatifs connus, ou du moins possédant un rapport de la charge à la masse du même ordre de grandeur ⁽³⁾ ».

⁽¹⁾ Communication faite à la Société française de Physique, séance du 2 avril 1909.

⁽²⁾ J. BECQUEREL, *C. R.*, **146**, 1308: **147**, 121 ; (1908): *le Radium*, **5**, 193 ; (1908).

⁽³⁾ *Le Radium*, **5**, 199 (conclusion) ; (1908).

Je vais rappeler rapidement ses expériences, en me limitant aux plus nettes.

Les tubes employés par M. J. Becquerel sont de la forme représentée par la *fig. 1*.

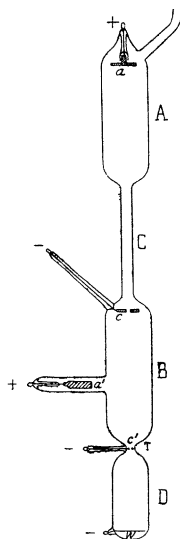


FIG. 1.

Ils comportent deux anodes a et a' , deux cathodes c et c' et un écran de willémité w qui peut être aussi cathode. L'électrode c est formée d'un disque d'aluminium percé d'un trou de 1 millimètre de diamètre; c' est constituée, par exemple, par une boucle de fil de platine de 1^{mm},5 environ de diamètre.

Quand on alimente un pareil tube, vidé à la pression convenable, avec une machine électrostatique par exemple, on obtient différents rayonnements, parmi lesquels M. J. Becquerel considère particulièrement les deux suivants : 1° les rayons cathodiques issus de c vers c' ; 2° le faisceau canal traversant c dans le sens cc' . Si la pression est assez basse (inférieure à 0^{mm},003) et si l'on crée au voisinage et au-dessus de c' un champ magnétique faible perpendiculaire à l'axe du tube, on voit partir de c' dans le sens $c'w$, outre un faisceau-canal immobile et insensible à un champ magnétique faible, un autre faisceau appelé *faisceau positif déviable*, dont la déviation est toujours de sens contraire à celle des rayons cathodiques allant dans la même

direction; c'est ce faisceau positif qui est particulièrement intéressant.

M. J. Becquerel considère ce qui donne naissance à ce faisceau déviable comme pouvant être formé d'électrons positifs. « Ces électrons positifs, dit-il, apparaissent comme le résultat d'une transformation partielle des rayons-canaux ⁽¹⁾ sous l'influence des rayons-cathodiques ⁽²⁾; la présence simultanée de ces deux sortes de rayons est en effet indispensable dans les expériences précédentes ⁽³⁾. » Le signe de leur charge résulte de leur attraction par la cathode secondaire et du sens de leur déviation magnétique; la grande valeur de leur rapport de la charge à la masse, qui leur assigne la qualité d'électrons, est la conséquence de la déviation magnétique considérable qu'ils subissent dans un faible champ. Enfin ce faisceau déviable qui va dans le sens $c'w$, paraît perdre sa charge en franchissant la cathode c' et donne un faisceau insensible désormais au champ magnétique précédent; M. J. Becquerel explique ceci de la façon suivante: « Un résultat remarquable est la rapidité avec laquelle les électrons positifs disparaissent dès qu'ils ne sont plus au milieu des rayons cathodiques. En dehors d'une atmosphère relativement dense d'électrons négatifs, nécessaire pour les arracher aux rayons-canaux, les électrons positifs semblent donc n'avoir qu'un très petit parcours libre ⁽³⁾. »

Les interprétations précédentes ont été critiquées par M. Bestelmeyer ⁽⁴⁾ et par M. Moulin ⁽⁵⁾. Malgré les réponses faites à ces observations par M. J. Becquerel ⁽⁶⁾, la question n'était pas éclaircie; il fallait faire de nouvelles expériences sur ce sujet.

De plus, on sait que les phénomènes de Zeeman positifs ont conduit M. J. Becquerel à utiliser, pour leur explication, l'hypothèse de l'existence d'électrons positifs dans les atomes, en plus des électrons négatifs déjà connus; cette hypothèse ne me paraît pas encore s'introduire nécessairement dans l'explication de ces phénomènes peut-être très compliqués. Mais si vraiment M. J. Becquerel avait trouvé un faisceau d'électrons positifs libres dans les tubes à vide,

(1) Ce sont les rayons-canaux ayant traversé la cathode principale c dans le sens cc' .

(2) Ce sont les rayons cathodiques émis par la cathode c dans le même sens cc' .

(3) J. BECQUEREL, *le Radium*, **5**, 199, paragraphe 5; (1908).

(4) BESTELMEYER, *Physikalische Zeitschrift*, **9**, n° 16, 341; (1908).

(5) MOULIN, *le Radium*, **6**, 4; (1909).

(6) J. BECQUEREL, *le Radium*, **5**, 329; (1908); et **6**, 43; (1909).

il devenait alors probable pour moi que leur considération devait intervenir dans les théories des phénomènes optiques, en particulier dans celle des phénomènes de Zeeman longitudinaux positifs, que j'ai découverts, comme on sait, dans le cas des vapeurs. Ceci explique pourquoi j'ai été amené à reprendre les expériences de M. J. Becquerel sur le faisceau positif déviable qu'il a obtenu dans ses tubes; j'ai voulu voir si l'hypothèse des électrons positifs libres était nécessaire pour expliquer les propriétés de ce faisceau déviable. On trouvera les éléments de cette discussion dans les *Comptes Rendus* ⁽¹⁾; je vais donner ici le détail de mes expériences. Afin de fixer les idées, je donne tout de suite ma conclusion qui est la suivante :

Le faisceau positif déviable, attribué par M. J. Becquerel à des électrons positifs, est assimilable à un afflux secondaire, de la nature de ceux signalés depuis longtemps par M. Villard ⁽²⁾, et qui est prolongé dans l'ampoule D par un faisceau-canal.

II. — DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL.

Les tubes que j'ai employés sont aussi représentés par la *fig. 4*, bien qu'ils ne soient pas de la forme la plus heureuse pour atteindre le but souhaité. En effet, si, comme l'indique M. J. Becquerel, les rayons-canaux traversant *c* dans le sens *cc'* sont nécessaires à la formation du faisceau positif déviable, il aurait fallu non pas rétrécir le tube dans la région C comme l'indique la figure, en lui donnant à cet endroit un diamètre de 6 millimètres environ, mais au contraire le faire très large afin que l'afflux venant de A vers *c* soit nourri pour que le faisceau-canal traversant *c* dans le sens *cc'* soit intense. Quoi qu'il en soit, j'ai voulu d'abord opérer dans des conditions aussi identiques que possible à celles dans lesquelles M. J. Becquerel s'était placé.

Ces tubes ont été reliés à une trompe à mercure ordinaire, munie d'une jauge pour mesurer les pressions; j'ai fait moi-même la graduation de la jauge afin d'être sûr de ses indications. Comme d'habitude, la trompe était garnie d'un desséchant (anhydride phosphorique) dans l'état neuf convenable pour assurer la dessiccation de

⁽¹⁾ A. DUF0UR, *C. R.*, **148**, 481; — J. BECQUEREL, *C. R.*, **148**, 546; — A. DUF0UR, *C. R.*, **148**, 622; (1909).

⁽²⁾ VILLARD, *les Rayons cathodiques*, 1^{re} éd., p. 97; (1900) (Collection *Scientia*).

l'ensemble. Quand le vide avancé était obtenu, on chauffait fortement le tube et on le faisait fonctionner afin de le débarrasser des gaz et de la vapeur d'eau retenus par les parois et les électrodes. Un osmorégulateur Villard, en platine, permettait de faire entrer dans l'appareil de l'hydrogène pur et sec.

N'ayant pas de machine électrostatique à huit plateaux à ma disposition, je l'ai remplacée par un dispositif équivalent au point de vue de la constance du potentiel et quelquefois supérieur pour la puissance disponible. C'est le montage indiqué par M. Villard, il y a quelques années, et qui est le suivant : on alimente le tube par un condensateur de grande capacité chargé à haut potentiel et dont le débit est réglé par deux résistances liquides; le condensateur est chargé par une bobine d'induction munie d'un interrupteur Wehnelt; deux soupapes Villard en série entre le secondaire de la bobine et le condensateur laissent passer le courant de charge du condensateur et empêchent la décharge de ce dernier au travers du secondaire de la bobine. La capacité employée était suffisante pour que le tube fonctionne pendant plus d'une minute sans qu'on ait besoin de recharger le condensateur; ce sont donc de très bonnes conditions de fonctionnement⁽¹⁾.

III. — DESCRIPTION DES EXPÉRIENCES.

Expériences préliminaires. — J'ai d'abord répété les expériences mêmes de M. J. Becquerel, et j'ai constaté les résultats expérimentaux qu'il a annoncés. En particulier, quand la pression est assez basse, et quand on crée un champ magnétique perpendiculaire à l'axe du tube, au voisinage et au-dessus de c' , on observe l'apparition et la déviation dans le sens voulu, contraire à celle des rayons

(¹) A titre de renseignement, voici les dimensions du condensateur employé. Il était formé de six condensateurs plans faits chacun d'une feuille de verre ordinaire ($105^{\text{cm}} \times 70^{\text{cm}} \times 0^{\text{mm}},37$) recouverte sur ses deux faces de feuilles de papier d'étain ($80^{\text{cm}} \times 50^{\text{cm}}$) collées au suif. Ces condensateurs plans étaient réunis deux à deux en cascade, les trois cascades obtenues étant groupées en parallèle. La capacité de la batterie ainsi constituée était de l'ordre du centième de microfarad. Le voltage supporté sans danger par cette batterie correspondait à une étincelle d'une dizaine de centimètres de longueur entre boules. C'est un voltage bien supérieur à celui qu'exigeait le fonctionnement du tube. Les résistances liquides en série avec le tube et la batterie étaient formées de deux colonnes d'alcool éthylique à 96° ayant chacune une soixantaine de centimètres de longueur et un diamètre de 3 millimètres environ.

cathodiques issus de c , du faisceau positif déviable dans l'ampoule D. On voit aussi un faisceau-canal sortant de c' dans l'ampoule D et qui reste pratiquement immobile. L'écran de willémite w n'est pas d'ailleurs nécessaire; il est plutôt gênant, car il dégage des gaz et peut rendre les mesures de pression illusoires; il est bien plus sûr et aussi commode d'observer directement le faisceau dans le gaz de l'ampoule D ou la tache jaune orangé qu'il donne sur le verre.

Le seul point sur lequel je sois en désaccord avec M. J. Becquerel, c'est sur les valeurs numériques des pressions. Il trouve que le faisceau positif déviable apparaît au voisinage d'une pression de $0^{\text{mm}},003$ et qu'il est le plus marqué vers le millièrne de millimètre. Je trouve dans mes expériences, faites avec des tubes pareils à ceux qu'il décrit, que le faisceau positif déviable se montre à une pression de l'ordre de $0^{\text{mm}},03$ et qu'il est le plus marqué vers la pression du centième de millimètre. J'ai tout de même opéré aux basses pressions indiquées par M. J. Becquerel; le fonctionnement du tube dans ces conditions est d'ailleurs très dangereux pour sa conservation.

Discussion. — Il y a deux points importants dans l'explication des propriétés et de la formation du faisceau positif déviable donnée par M. J. Becquerel :

1° Il attribue sa déviation à l'action du champ magnétique créé au voisinage de c' sur les électrons positifs qui le constituent ;

2° Ces électrons positifs seraient dus à l'action des rayons cathodiques émis par c dans l'ampoule B, sur les rayons-canaux ayant traversé c dans le sens cc' .

Ce sont ces deux points que nous allons étudier expérimentalement.

I. La déviation du faisceau positif déviable n'est pas due à l'action qu'il peut subir du champ magnétique. — 1° S'il était vrai que la déviation de ce faisceau fût due au champ magnétique qu'on crée au voisinage de c' , elle devrait varier avec l'intensité de ce champ, toutes choses égales d'ailleurs, c'est-à-dire la déviation des rayons cathodiques issus de c restant la même.

J'ai fait alors l'expérience suivante (*fig. 2*) : au lieu de faire agir le petit aimant au voisinage de c' , ce qui amène le faisceau catho-

dique en T sur le verre, on le fait agir près de la cathode c , de manière à amener le faisceau cathodique (marqué en trait plein) à la même place T que précédemment. Il est évident que le champ magnétique en c' est beaucoup plus faible dans le second cas que dans le premier. On constate pourtant dans les deux cas la même déviation du faisceau positif (marqué en trait pointillé). C'est donc que cette déviation ne dépend pas de l'intensité du champ vers c' .

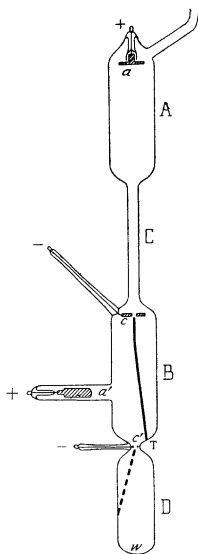


FIG. 2.

2° On peut aussi montrer qu'elle ne dépend même pas du sens du champ près de c' , pourvu que la région T d'arrivée des rayons cathodiques soit toujours au même endroit. Dans l'expérience précédente, le champ avait un même sens de c jusqu'à w , et l'on observait une déviation du faisceau positif à gauche par exemple, dans l'ampoule D (fig. 2). Si l'on change le sens du champ dans la région voisine de c' , là où se forment les électrons positifs, ils doivent donner dans D un faisceau dévié maintenant à droite, même si la tache T reste à la même place. Pour opérer dans ces conditions, on crée dans la région ca' un champ de même sens que dans l'expérience précédente et dans la région $a'c'$ un champ de sens contraire ⁽¹⁾

(1) Il est plus commode et plus correct de se servir d'électro-aimants plutôt que d'aimants.

et par tâtonnements on arrive à maintenir à la même place T la région d'arrivée des rayons cathodiques sur le verre (*fig. 3*).

On voit sur la *fig. 3* la trajectoire schématique des rayons cathodiques issus de *c* (trait plein): sa courbure change de sens avec celui du champ. On doit s'attendre à voir la déviation du faisceau positif dans D se faire vers la droite. On trouve expérimentalement qu'elle se fait vers la gauche (trait pointillé), comme si le champ magnétique n'avait pas changé de sens près de *c'*. Donc, si la tache T reste à la même place, la déviation du faisceau positif reste identique, même si l'on change le sens du champ où il se trouve.

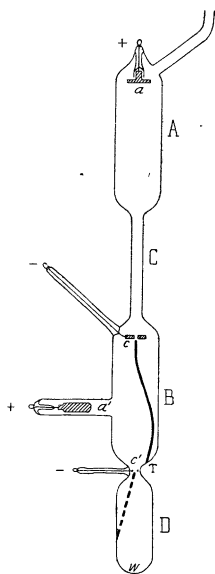


FIG. 3.

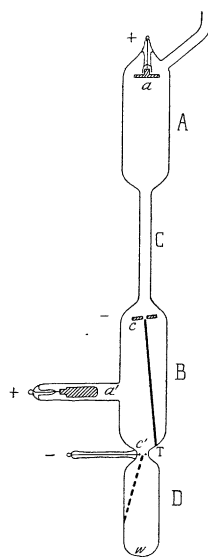


FIG. 4.

Il en résulte que la cause de la déviation du faisceau positif n'est pas dans l'action du champ magnétique sur les électrons positifs hypothétiques qui le constituent, mais dans la place de la tache T sur le verre. L'expérience suivante le montre nettement.

3° Il suffira en effet d'amener, par un moyen quelconque, cette tache T à se faire à cette même place, pour observer la même déviation du faisceau positif.

A cet effet on peut, en l'absence de tout champ magnétique,

faire tourner la cathode c autour d'un axe contenu dans son plan et perpendiculaire à l'axe du tube, jusqu'à ce que les rayons cathodiques, toujours émis normalement par la cathode et tournant avec elle, viennent frapper en T la paroi voisine de c' (fig. 4). A ce moment, on constate l'existence du faisceau positif et sa même déviation que précédemment. Quand on fait osciller la cathode, la tache T passe d'un côté à l'autre de c' et le faisceau positif suit ses déplacements, en pivotant autour de c' .

En résumé, c'est la position de la tache T sur la paroi de verre près de c' qui définit la direction du faisceau positif déviable.

II. Le faisceau-canal qui traverse c dans le sens cc' est inutile à la formation du faisceau positif déviable. — D'après M. J. Becquerel, les rayons-canaux venant de la cathode c vers c' sont indispensables à la formation du faisceau positif déviable. Voici ce qu'il dit à ce sujet: « D'autre part, les rayons-canaux ayant traversé la cathode principale c jouent également un rôle fondamental, car la suppression de l'afflux venant de A, ou une trop grande diminution de cet afflux entraîne la disparition du faisceau positif déviable⁽¹⁾ ». Mais M. J. Becquerel ne décrit pas les expériences qu'il a faites dans ce but.

A priori, on peut douter que les rayons-canaux venant de c jouent un rôle dans la formation du faisceau positif; j'ai déjà dit plus haut que la forme du tube choisie par M. J. Becquerel a pour effet de réduire presque à rien le faisceau-canal qui traverse c . L'expérience va justifier cette dernière opinion.

1° J'ai isolé l'électrode a ; je l'ai aussi reliée à la cathode c ; dans les deux cas, surtout dans le second, l'afflux venant de l'ampoule A vers c a été supprimé. Cela n'empêche que j'ai quand même obtenu le faisceau positif déviable ainsi que ses déviations, comme précédemment;

2° J'ai obturé par un petit écran en platine le trou de la cathode c ; il est alors hors de doute qu'il n'y a plus de faisceau-canal provenant de cette électrode. J'ai constaté encore l'existence du faisceau positif et ses déviations quand la tache T se déplace;

3° Il en résulte alors que, dans les tubes de M. J. Becquerel, toute

(1) J. BECQUEREL, *le Radium*, 5, 197, 2^e colonne: (1908).

la partie AC est inutile et peut être supprimée sans inconvénient. L'expérience justifie pleinement cette conséquence.

J'ai fait quelques tubes dans lesquels j'ai conservé seulement la cathode *c pleine*, l'anode *a'* et la cathode auxiliaire *c'*. Dans tous j'ai obtenu le faisceau de M. J. Becquerel. La *fig. 5* représente l'un des modèles employés : la cathode *c*, pleine, est ici concave pour concentrer un peu les rayons cathodiques dans l'orifice *o* ; on crée

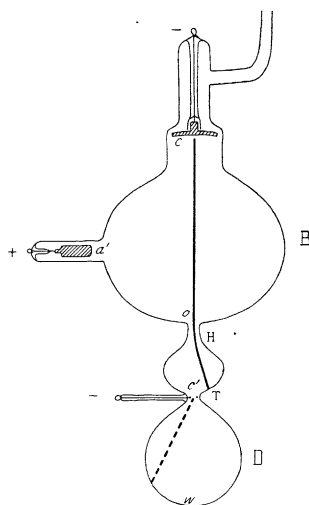


FIG. 5.

dans la région étroite H un faible champ magnétique qui envoie les rayons cathodiques en T, par exemple ; on observe aussi dans la boule inférieure D le faisceau positif déviable représenté ici en pointillé, dévié par conséquent en sens inverse des rayons cathodiques et pivotant autour de *c'* quand T se déplace.

En résumé, le faisceau-canal issu de c n'intervient en aucune façon dans la formation du faisceau positif déviable.

IV. — CONCLUSION.

Qu'est-ce donc que ce faisceau positif déviable ?

M. J. Becquerel l'avait attribué à des électrons positifs libres, au moins au-dessus de *c'*, puisque ce faisceau, attiré par une cathode,

pouvait subir, d'après lui, une déviation magnétique considérable dans un champ relativement faible. Cette opinion est inexacte, puisque j'ai montré que cette déviation n'était nullement un effet direct du champ sur le faisceau positif considéré.

Or M. J. Becquerel a lui-même observé que le faisceau devient insensible au champ, après qu'il a traversé une cathode, et qu'il est alors pour ainsi dire déchargé; de plus il donne, sur les parois de verre qu'il rencontre, une tache jaune orangé.

La première propriété appartient aux afflux de M. Villard, la seconde fait penser aux rayons-canaux. Il suffit alors de se reporter au livre de M. Villard sur *les Rayons cathodiques* pour y trouver la solution de la question. On lit, en effet, à la page 97 de la première édition de cet ouvrage : « ... Dans l'appareil précédent..., dévions les faisceaux cathodiques au moyen d'un aimant, jusqu'à les amener loin des trous du diaphragme et jusque sur la paroi de verre, où leurs points d'impact sont plus aisés à reconnaître. Nous constaterons alors qu'un nouvel afflux se forme et arrive à la cathode en face de chacun de ces points d'impact, comme partant de chacun de ces points... » L'explication des observations de M. J. Becquerel s'en déduit immédiatement, et nous sommes donc conduit à la conclusion suivante :

Le faisceau positif déviable, attribué par M. J. Becquerel à des électrons positifs libres, n'est qu'un afflux secondaire, prolongé dans le tube D par un faisceau-canal.

Il est à présumer que cet afflux secondaire est formé par les ions positifs produits dans le gaz à l'endroit de la tache T, sous l'influence des rayons cathodiques qui viennent frapper la paroi, probablement à cause des rayons X, par exemple, qui résultent de l'arrêt brusque des corpuscules cathodiques.

On conçoit aussi pourquoi ce phénomène ne se produit qu'au-dessous d'une certaine pression : celle à partir de laquelle les rayons cathodiques arrivent en T avec une énergie suffisante.

Les phénomènes observés par M. J. Becquerel n'exigent donc pas la considération d'électrons positifs et sont ramenés aux propriétés connues des afflux.

En résumé, on ne connaît pas encore d'expériences dans lesquelles on ait constaté directement l'existence d'électrons positifs libres; les quelques expériences où l'on a cru en rencontrer, jusqu'à présent, n'ont pas résisté à une étude plus complète.

Tandis que l'introduction des électrons négatifs dans les théories des phénomènes optiques est appuyée par de nombreux faits expérimentaux relatifs aux rayons cathodiques, il n'en est pas encore de même pour l'hypothèse de l'existence des électrons positifs. Il est donc permis de s'étonner du reproche adressé par M. J. Becquerel à quelques physiciens, de « manifester contre cette hypothèse une aversion souvent injustifiée, quelquefois fondée sur d'importantes idées théoriques, mais dans tous les cas ne reposant sur aucune base expérimentale ⁽¹⁾ ». A mon avis, la base expérimentale qui manque vraiment est, tout au contraire, justement celle que M. J. Becquerel avait cru apporter en faveur des électrons positifs par ses expériences faites dans les tubes à basse pression. On a évidemment le droit d'utiliser cette hypothèse, déjà ancienne d'ailleurs, de l'existence d'électrons positifs; mais il ne faut pas perdre de vue, que, jusqu'à présent, elle n'est appuyée sur aucune constatation expérimentale *directe* d'électrons positif libres.
