Dispositif de sortie dans l'air et contrôle d'un faisceau de protons de faible énergie ($E < 600$ keV)

J. Pucheault, R. Julien, J. Chevrel

► To cite this version:

J. Pucheault, R. Julien, J. Chevrel. Dispositif de sortie dans l'air et contrôle d'un faisceau de protons de faible énergie ($E < 600$ keV). *Revue de Physique Appliquée*, 1967, 2 (2), pp.137-142. 10.1051/rphysap:0196700202013700 . jpa-00242775

HAL Id: jpa-00242775

<https://hal.science/jpa-00242775>

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.

DISPOSITIF DE SORTIE DANS L'AIR ET CONTROLE D'UN FAISCEAU DE PROTONS DE FAIBLE ÉNERGIE ($E < 600$ keV)

Par J. PUCHEAULT, R. JULIEN et J. CHEVREL,

Laboratoire de Synthèse Atomique et d'Optique Protonique, Ivry.

Laboratoire Curie, 11, rue P.-Curie, Paris (V^e).

Résumé. — Un dispositif est décrit, qui permet des études physico-chimiques avec un faisceau de protons de faible énergie, sorti dans l'air à travers une fenêtre de verre mince. Une méthode est exposée, concernant la détermination sur une cible de l'intensité du faisceau et de l'énergie des protons.

Abstract. — An apparatus is described which may be adapted to a proton accelerator for the purpose of obtaining a low-energy beam ($E < 600$ keV) in air. A thin glass window is employed. A method is outlined for the determination of the intensity of the low-energy beam and its energy on striking the target.

I. Introduction. — L'un des problèmes de la chimie des radiations en phase liquide porte sur la nature exacte de l'influence de la densité d'ionisation sur les rendements G des transformations chimiques observées (nombre de molécules transformées pour 100 eV d'énergie absorbée). On sait que cette influence provient essentiellement du fait que les entités radiolytiques primaires (ions et radicaux libres) sont plus ou moins concentrées le long des trajectoires, ce qui favorise plus ou moins leurs recombinaisons, avant même toute action sur un éventuel soluté [1, 2]. Dans cet ordre d'idées, un certain nombre de travaux ont comparé les effets des rayons γ où la densité des ionisations dues aux électrons Compton et aux photoélectrons est faible, à ceux des rayons α , rayonnement pour lequel, au contraire, l'ionisation est dense (le transfert d'énergie linéaire (T.E.L.) dans l'eau est de l'ordre de 0,2 keV/ μ pour les rayons γ de ^{60}Co et de 90 keV/ μ pour les rayons α de ^{210}Po). Mais la question de l'influence, à T.E.L. égal, de la nature de la particule et donc de la longueur de sa trajectoire [3] reste encore mal résolue, trop peu d'expériences ayant été systématiquement entreprises dans ce sens. Avec des protons d'énergie de l'ordre de 200 à 600 keV, ont été principalement étudiées les radiooxydations d'ions ferreux en présence d'air [4, 5], mais aucune irradiation n'a été effectuée pour des énergies très faibles. Il nous semble pourtant que de telles études pourraient fournir des résultats intéressants, justement pour ce domaine d'énergie où, de part et d'autre du maximum de la courbe de Bragg, des particules peuvent avoir le même T.E.L. mais

des parcours très différents, et où, dans l'absorption primaire, le processus d'échange de charges se substitue graduellement à celui de l'ionisation ou de l'excitation.

Le Laboratoire C.N.R.S. de Synthèse Atomique et d'Optique Protonique d'Ivry disposait d'un accélérateur électrostatique Sames (C.D. 600-4) équipé d'un générateur Felici de haute tension pouvant atteindre 600 kV ⁽¹⁾. L'électrode recevant cette haute tension était formée par un carter poli renfermant un alternateur, une source de protons par décharge haute fréquence dans H_2 et ses alimentations, un générateur de tension de focalisation et divers montages annexes. L'accélérateur proprement dit, tube vertical, était constitué de plusieurs étages de lentilles électrostatiques, la répartition du potentiel étant assurée par un diviseur à résistances de débit relativement élevé (500 μA). On pouvait ainsi obtenir, à la base du tube, une intensité totale en ions de l'ordre de 10^{-4} A, variant selon le réglage de la source (chauffage du palladium et tension haute fréquence), la tension d'extraction et la focalisation. Il restait donc à adapter à cet ensemble un dispositif permettant de trier les ions H^+ par une déflexion magnétique appropriée, de sortir ces ions dans l'air pour qu'ils y atteignent les cibles à irradier, de déterminer enfin leur énergie et leur intensité à ce niveau afin de calculer, après dosages, le rendement des radiolyses.

⁽¹⁾ Nous tenons à remercier M. le Professeur Magnan, directeur du Laboratoire, de nous avoir confié cet accélérateur et fourni les moyens nécessaires à son adaptation.

FIG. 1. — Photographie générale du montage.

FIG. 2. — Schéma général du montage.

Le but de cet article est de décrire ce dispositif dont on peut voir une photographie générale figure 1 et un schéma figure 2.

II. Dispositif expérimental. — 1° DÉFLECTION DU FAISCEAU. — Sous la vanne (1) délimitant la sortie de l'accélérateur Sames, le faisceau est d'abord canalisé par un diaphragme refroidi (2). Il est ensuite dévié par le champ magnétique d'un électroaimant (3) de type LMM 104. Dans un entrefer d'environ 30 mm, le champ est de 3 000 gauss pour 1 ampère d'excitation et le réglage de cette intensité permet, pour une déflexion limitée à 7°, de séparer les espèces accélérées, principalement H^+ et H_2^+ . Il suffit pour cela, après étalonnage préalable pour chaque tension

d'accélération, d'exciter l'électroaimant de telle sorte que seuls les protons soient déviés dans l'axe de l'appareil, tandis que les ions H_2^+ et les ions plus lourds sont absorbés par les parois (les électrons secondaires sont piégés en (4)). On peut juger d'après la figure 3 de l'efficacité d'une telle séparation.

Un diaphragme refroidi (5) réduit ensuite le faisceau de protons jusqu'à une intensité I de l'ordre de 10^{-7} A qui peut être mesurée grâce à une cible escamotable (6). Un double système à torsion de soufflet métallique (tombac) et glissement en (7) et (8) permet de centrer sur la trajectoire des protons l'orifice destiné à leur sortie dans l'air.

2° SORTIE DES PROTONS DANS L'AIR. — La fenêtre obturant cet orifice, d'environ 0,7 mm de

FIG. 3. — Séparation magnétique des ions.

diamètre, doit répondre à trois conditions principales :

a) Résister à la différence de pression et être collée de telle sorte que les fuites soient assez faibles pour être compensées par un pompage secondaire disposé en (9) ;

b) Ne pas absorber une partie trop importante de l'énergie des protons (pour une énergie de 600 keV, le parcours de ceux-ci correspond à seulement 10,6 mm d'air) ;

c) Ne pas être détruite trop rapidement par le faisceau ; toutefois, par mesure de sécurité, un dispositif automatique assure une fermeture rapide de la vanne (1) à toute entrée d'air accidentelle dans le tube.

Après de nombreux essais négatifs sur divers matériaux (mica, mylar, téflon, aluminium, or, etc.), notre choix s'est finalement porté sur des lames de verre pyrex. Celles-ci sont préparées par soufflage d'une bulle près de sa limite de rupture et sélection des régions avoisinant les franges d'interférence. L'épaisseur qui est alors de quelques microns est contrôlée à l'aide d'une jauge utilisant l'absorption des rayons α de ^{210}Po : seules sont retenues les lames équivalentes à environ 2 ou 3 mm d'air.

Fixées avec une colle organique conductrice, de telles lames résistent à la différence de pression, assurent une étanchéité permettant d'atteindre un vide de 10^{-6} torr, absorbent une partie relativement faible de l'énergie des protons (de l'ordre de 100 keV pour une accélération à 500 keV) et leurs ruptures ne surviennent en moyenne qu'au bout d'une dizaine d'heures d'irradiation (pour 10^{-8} à 3×10^{-8} A).

Après un dernier diaphragme (10) (fig. 4), en tantale non refroidi et de diamètre 0,2 mm, destiné à empêcher que des charges apportées par les protons ne soient collectées par le support métallique de la fenêtre en verre, le faisceau traverse cette fenêtre (11) et est absorbé par la solution située à une distance de 1 à 2 mm. Étant donné cette proximité, une condensation d'eau pourrait épaissir graduellement la fenêtre de verre en diminuant ainsi la dose d'énergie absorbée.

FIG. 4. — Schéma de la partie terminale.

Cette condensation est évitée en élevant de quelques degrés la température du support de la lame par une résistance chauffante (12).

FIG. 5. — Photographie de la partie terminale.

3° DÉTERMINATION DE L'ÉNERGIE DES PROTONS. — Pour calculer l'énergie réelle des protons incidents, il est nécessaire de connaître leur absorption dans la feuille de verre et dans l'air surmontant la cible. Pour cela, on détermine (fig. 6), avant chaque irradiation,

FIG. 6. — Détermination de la tension d'apparition.

la tension d'accélération à partir de laquelle les charges positives sont recueillies dans la solution, collectées par un fil de platine immergé (13) et mesurées à l'aide d'un picoampèremètre Le Mouzy (courant i_1). Une fois connue cette tension d'apparition V_A , la courbe parcours-énergie [6] indique l'équivalence en millimètres d'air de l'ensemble verre-air, soit l (fig. 7).

FIG. 7. — Utilisation de la courbe parcours-énergie.

Il suffit de reporter cette valeur dans la partie correspondant à la tension d'accélération $V > V_A$ pour en déduire l'énergie réelle E des protons atteignant leur cible.

4° MESURE DE L'INTENSITÉ. DOSE D'ÉNERGIE ABSORBÉE. — En réalité, les courants i_1 ne proviennent pas seulement des charges apportées par les protons sur la cible. En effet, d'une part l'impact à la surface de celle-ci lui arrache des électrons dont une partie s'échappe, et d'autre part le passage du faisceau dans l'atmosphère y forme des ions positifs et des électrons dont les charges se répartissent entre la cible, la fenêtre et son support métallique. Pour tenir compte de ces phénomènes parasites, la cible est entourée d'une cage (14) de laiton en contact avec le support de la fenêtre, lui-même isolé par un anneau d'araldite du reste de l'appareil. Le courant i_2 recueilli par cet ensemble est également mesuré ; la somme $i_1 + i_2$ correspond aux charges apportées par les protons au système et donc aux particules parvenant effectivement sur la cible pourvu que le centrage du diaphragme (10) prévienne efficacement tout débordement du faisceau sur le bord interne de la fenêtre. On voit sur la figure 6 que l'intensité i_2 est négative et faible pour $V > V_A$; elle serait d'ailleurs d'autant plus grande que la lame de verre aurait préalablement acquis et conservé des charges positives, d'où la nécessité de l'emploi d'une colle conductrice pour que ces charges puissent s'écouler. La dose d'énergie absorbée est

$$(i_1 + i_2) E \cdot t / e$$

où t est le temps d'irradiation en secondes et e la charge de l'électron ($1,6 \times 10^{-19}$ coulombs).

III. Mode opératoire et premiers résultats. — La lame de verre étant posée et la pression dans l'ensemble de l'appareil descendue jusqu'à 10^{-5} à 10^{-6} torr, la solution (7,5 cm³) est disposée le plus près possible de la fenêtre (1 à 2 mm), dans un récipient de pyrex entouré de sa cage de laiton.

La première opération consiste à déterminer la valeur de la tension d'apparition V_A définie plus haut. Pour cela, on mesure, pour diverses tensions d'accélération, l'intensité i_1 collectée par l'électrode de platine immergée dans la solution, l'intensité I sur la cible escamotable étant toujours ramenée préalablement à une valeur constante, soit généralement $2,5 \times 10^{-7}$ A. L'intersection de la tangente au point d'inflexion de la courbe ainsi obtenue avec l'axe des abscisses (voir fig. 6) indique la tension d'apparition V_A . La durée de ces mesures est relativement faible, le faisceau n'atteignant en fait la solution, pour $V > V_A$, que pendant le court instant des lectures de i_1 . Les transformations chimiques parasites ainsi provoquées par ces irradiations partielles et brèves correspondent à celles qu'aurait produites une irradiation de 2 à 3 mi-

nutes à l'intensité finalement utilisée, et une correction est effectuée pour en tenir compte.

Pour une tension d'apparition V_A ainsi déterminée, à l'aide des abaques de la figure 8, calculées en utili-

FIG. 8.

Abaques indiquant la tension d'accélération.

sant la courbe parcours-énergie donnant l'équivalence en air des absorbeurs, on déduit facilement la tension V avec laquelle on doit accélérer les protons pour

FIG. 9.

Radio-oxydation de Fe^{++} par des protons de 265 keV.

qu'ils pénètrent finalement dans les solutions avec l'énergie désirée E . L'électrode supérieure de l'accélérateur est donc portée à ce potentiel V et, par réglage de la source d'ions et de la tension d'extraction, l'intensité d'irradiation $i_1 + i_2$ est amenée à la valeur voulue, soit en général $1,5 \times 10^{-8}$ A. Les temps d'exposition varient entre 6 minutes et une heure, ce qui conduit, avec une telle intensité pour des protons de 300 keV, à des doses allant de 10^{19} à 10^{20} eV.

Nos premières expériences ont consisté à irradier des solutions aqueuses de sulfate ferreux de 10^{-2} M en milieu H_2SO_4 0,8 N, les ions Fe^{3+} étant dosés par spectrophotométrie à 304 mμ. La figure 9 indique pour des protons de 265 ± 5 keV les quantités d'ions Fe^{3+} formés en fonction de la dose d'énergie absorbée. On voit que le rendement de cette oxydation est de $6,7 \pm 0,3$ ions/100 eV, ce qui est en accord satisfaisant avec les résultats de Hart et coll. précédemment cités [4] et constitue donc une vérification globale de la méthode.

FIG. 10.

Luminescence de l'air à la sortie des protons.

La variation de ce rendement en fonction de l'énergie des protons et les conclusions qu'on en peut tirer concernant la radiolyse de l'eau seront exposées dans un article ultérieur [7]. Cette étude sera suivie par celle des effets de telles irradiations sur d'autres systèmes dont le comportement radiolytique est par ailleurs bien connu. Nous espérons qu'il sera alors possible, pour ce type de rayonnement, de déterminer les valeurs des rendements radicalaires et moléculaires, l'importance des réactions intratrajectoires et leurs variations en fonction de l'énergie des protons de part et d'autre du maximum de la courbe de Bragg.

Quoi qu'il en soit, une telle méthode de sortie dans l'air et de contrôle d'un faisceau de protons de faible énergie peut être utilisée pour d'autres travaux de physico-chimie des rayonnements. Nous tenons à

remercier nos collègues physiciens des Laboratoires de Synthèse Atomique d'Ivry et de Physique Nucléaire d'Orsay pour leurs conseils précieux, et en particulier

M. Buchet qui a pris une part active dans la conception initiale de ce dispositif expérimental.

Manuscrit reçu le 15 février 1967.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] LEA (D. E.), *Action of Radiations on Living cells*, Cambridge Univ. Press, New York, 1946.
- [2] ALLEN (A. O.), *The radiation Chemistry of water and aqueous solutions*, Van Nostrand C^{le}, Princeton, 1961.
- [3] PUCHEAULT (J.), dans « *Actions chimiques et biologiques des radiations* », 5^e série, coll. dirigée par M. Haïssinsky, Masson, Paris, 1961.
- [4] HART (E. J.), RAMBER (W. J.) et ROKLIN (S. R.), *Rad. Res.*, 1956, **4**, 378.
- [5] DRAGANIC (I. G.), SIMIC (M.), MILASIN (N.) et RADAK (B.), *Trudy Vsesaj. Sovesh. Rad. Khim.*, 64, Moscou, Izd. AN. SSSR., 1958.
- [6] WHALING (W.), *Encyclopedia of physics*, vol. XXXIV, p. 208, Flugge, Springer-Verlag, Berlin, 1958.
- [7] PUCHEAULT (J.) et JULIEN (R.), *J. Chim. Phys.* (en préparation).

DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL D'ÉTUDE DE L'EFFET FARADAY A BASSE TEMPÉRATURE

Par A. C. BOCCARA,

Équipe de Recherche C.N.R.S. du Laboratoire d'Optique Physique,
École Supérieure de Physique et de Chimie, Paris.

Résumé. — On décrit un montage permettant l'étude de l'effet Faraday à basse température. Le champ magnétique est produit par un petit aimant permanent, à pièces polaires percées, qui se trouve dans la queue du cryostat.

On donne les courbes de dispersion rotatoire magnétique d'un cristal de CaF_2 dopé au N_d^{3+} à différentes températures.

Abstract. — An apparatus is described for the study of the Faraday effect at low temperature. The magnetic field is produced by a small permanent magnet with bored pole pieces, which stands in the tail end of the cryostat.

Curves for the magnetic rotatory power of N_d^{3+} in CaF_2 are given for various temperatures.

L'intérêt que présente la mesure des effets magnéto-optiques (pouvoir rotatoire et dichroïsme circulaire magnétiques) à basse température, dans le cas de cristaux dopés par exemple, nous a conduit à rechercher les meilleures conditions d'utilisation des spectromètres.

En effet, dans le domaine spectral (2 400-6 500 Å) étudié, les conditions expérimentales (flux lumineux disponible, amplitude des phénomènes à mesurer, etc.) imposent l'emploi du montage expérimental au voisinage de sa limite de sensibilité.

Compte tenu des performances actuelles des spectromètres de mesure du pouvoir rotatoire magnétique ou du dichroïsme circulaire [1, 2], le choix d'un générateur de champ magnétique conditionne assez largement les performances d'un montage d'étude de la dispersion de l'effet Faraday.

Choix d'un générateur de champ magnétique. —

Le rapport signal sur bruit sera utilisé comme facteur de qualité des appareils de mesure de l'effet Faraday.

Le signal est proportionnel à l'intensité du champ magnétique. On a donc intérêt à choisir un générateur de champ assez puissant.

Cependant, le rapport signal sur bruit est proportionnel à la racine carrée de l'étendue géométrique du montage optique [1], c'est-à-dire inversement proportionnel aux dimensions du spectromètre, le long du faisceau lumineux, et limite l'encombrement du générateur.

Nous avons renoncé à l'emploi d'un solénoïde supraconducteur coûteux et d'un maniement délicat.

Un électroaimant à pièces polaires percées, placé selon l'axe du faisceau lumineux, réduit notablement l'étendue géométrique du spectromètre ; de plus, les