



HAL
open science

Qui a découvert la fluorescence X ?

M. Quintin

► **To cite this version:**

M. Quintin. Qui a découvert la fluorescence X ?. Journal de Physique IV Proceedings, 1996, 06 (C4), pp.C4-599-C4-609. 10.1051/jp4:1996456 . jpa-00254339

HAL Id: jpa-00254339

<https://hal.science/jpa-00254339>

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.

Qui a découvert la fluorescence X ?

M. Quintin

*Laboratoire de Géologie Appliquée, Université Paris 6, 4 place Jussieu, 75252 Paris cedex 05, France
Laboratoire de Physique Enseignement, Ecole Centrale, Grande Voie des Vignes,
92000 Châtenay-Malabry, France*

Résumé :

Le monde scientifique commémore en cette année 1995, le 100^{ème} anniversaire de la découverte des rayons X par Wilhem Conrad Röntgen.

Cette découverte conduisit alors à des applications immédiates telle que la Radiographie, mais il a fallu attendre 1912 et 1913, pour voir naître une autre grande technique, la Diffraction X des rayons X avec M. von Laue puis W.L. et W.H. Bragg.

L'histoire de la Radiographie et de la Diffraction des Rayons X est donc relativement bien connue et leurs découvreurs sont dûment identifiés. En revanche l'histoire de la naissance de la Fluorescence X demeure bien plus floue. Ce n'est pas Röntgen qui la découvrit, et il serait difficile même parmi un public averti de trouver quelqu'un qui pourrait spontanément citer le nom de son découvreur.

Dans cet article, nous nous efforçons de combler ce trou de mémoire collective, et de montrer que la Fluorescence X a été découverte et appliquée très tôt, puisqu'elle aura elle aussi bientôt 100 ans .

L'histoire de la Fluorescence X croise le chemin d'illustres savants français tels Jean Perrin, Pierre Curie, Paul Langevin et Maurice de Broglie. Cependant aucun d'entre eux ne fut son véritable découvreur. Ce mérite revient à un autre physicien français, contemporain des précédents et pour lequel l'histoire a été parmi les plus discrètes. Il s'agit de Georges Sagnac, originaire de Périgueux, qui à l'âge de 27 ans découvrit la Fluorescence X en décembre 1896 à la Sorbonne à Paris.

Abstract :

In 1995, the scientific community celebrates the 100th Anniversary of the X-rays discovery by Wilhem Conrad Röntgen. Many immediate applications such as Radiography have been issued from this discovery. Concerning the X-ray Diffraction, one of the major X-ray characterisation method, this technique came out 10 years later, with M. von Laue in 1912, as well as with W.L. and W.H. Bragg in 1913. This underlines that the history of the Radiography and X-ray Diffraction is well-known, and their discoverers are clearly identified. It is not the case of X-ray Fluorescence, another main field of X-ray applications, since its history remains quite vague. Röntgen was not its discoverer, but it is actually difficult to find someone, even among the specialists of X-ray, who could instantly mention the name of the discoverer of X-ray Fluorescence. In this article, we have tried to fill in this gap of collective

memory, and to show that X-ray Fluorescence was very early discovered and applied, since in 1996 its discovery will also attain the 100th Anniversary. The X-ray Fluorescence has been studied by many of prodigious French physicists as Jean Perrin, Pierre Curie, Paul Langevin and Maurice de Broglie, but none of them is the true discoverer. Actually, the merit must be attributed to Georges Sagnac, another French physicist, contemporary of those above-mentioned but who was still very less famous. Born in Périgueux, Georges Sagnac discovered the X-ray Fluorescence in Dec. 1896, at the Sorbonne University in Paris, when he was 27 years old..

Key words :

X-ray Fluorescence history, Wilhem Conrad Röntgen, Maurice de Broglie, Georges Sagnac.

Le 8 novembre 1995, le monde scientifique commémore le centième anniversaire de la découverte des Rayons X par Wilhem Conrad Röntgen. Cette découverte, eut immédiatement un retentissement considérable, non seulement chez les scientifiques, plus particulièrement dans le monde médical, mais aussi dans le grand public, fasciné par l'observation de l'invisible.

- La *Radiographie*, première technique, résultant de la découverte des Rayons X, est née également grâce à Röntgen, avec des applications immédiates à la médecine ; elle a conduit depuis, aux scanners d'aujourd'hui.

- La *Diffraction des rayons X*, la seconde technique, résultant directement de la découverte de Röntgen, ne vit le jour qu'en 1913 soit 16 ans plus tard, grâce aux travaux de M. Von Laue [1] puis de W.L. et W.H. Bragg [2] ; elle est à la base de notre connaissance sur la structure de la matière.

- Quant à la *Fluorescence X*, la technique majeure aux yeux des analystes, son origine et son historique sont nettement moins connus. Pourtant aujourd'hui, son utilisation s'est généralisée pour l'analyse élémentaire de la plupart des matériaux terrestres ou de l'espace, naturels ou produits par l'homme, des ultra-traces aux éléments majeurs dans la recherche et l'industrie.

Mais avant d'aborder l'historique de la découverte de la Fluorescence X, rappelons quelques définitions :

Le *rayonnement X primaire* est le rayonnement résultant de l'interaction d'un rayonnement incident corpusculaire avec la matière. C'est le cas du rayonnement provenant d'un tube à rayons X, résultant de l'interaction du rayonnement incident cathodique, c'est à dire d'électrons accélérés, avec l'anticathode ; c'est ce même rayonnement provenant de la paroi en verre d'un tube cathodique qu'a observé Röntgen.

Le *rayonnement X secondaire* provient quant à lui, de l'interaction entre un rayonnement X primaire et la matière. Il comprend d'une part des rayons diffusés sans changement de longueur d'onde et d'autre part des rayons diffusés avec changement de longueur d'onde

(augmentation $\Delta\lambda$, égale à : $0,0024 \text{ \AA} (1 - \cos \Phi)$ due à l'effet Compton, Φ étant l'angle de diffusion). Par ailleurs le rayonnement secondaire comprend des rayons X modifiés constituant le spectre X caractéristique de la matière irradiée, appelé rayonnement de Fluorescence X. Par extension, on qualifie de rayonnement secondaire, celui provenant de l'interaction entre un rayonnement électromagnétique X ou GAMMA d'origine diverse et la matière.

Rappelons aussi que le phénomène de Fluorescence X est précédé de l'expulsion d'électrons d'énergie caractéristique, à savoir de photoélectrons d'énergie $h\nu - E_K$, dans le cas de l'expulsion d'un électron de la couche K, et s'accompagne en parallèle de l'éjection d'électrons Auger par exemple d'énergie $E_K - 2E_I$.

1. Découverte du rayonnement X primaire.

Rappelons brièvement les circonstances de la découverte des rayons X. Röntgen est né le 29 mars 1845, il est Professeur de Physique à Wurtzburg lorsqu'il commença à s'intéresser au rayonnement cathodique en 1894. Il ne débuta pratiquement ses manipulations qu'en octobre 1895 et c'est le soir du 8 novembre 1895 qu'il mit en évidence "*une nouvelle espèce de rayons*" qu'il baptisa RAYONS X.

Il manipulait un tube cathodique de Hittorf-Crookes, entièrement entouré de papier noir, dans une pièce obscure. Une feuille de papier traitée au platinocyanure de baryum se trouvait sur une table voisine. Röntgen la vit fluorescer. L'effet venait du tube. Il éloigna l'écran jusqu'à 2 m, la fluorescence persista, puis il interposa divers objets, puis sa main dont il vit alors les os sur l'écran. La radiographie X était née.

Röntgen décrivit sa découverte dans trois publications [3, 4, 5].

Dans la seconde, il précise, paragraphe 20 : "*tous les corps sont en fait en état de produire des Rayons X sous l'influence des rayons cathodiques*". Il s'agit donc bien là uniquement de rayons X primaires.

Au paragraphe 8 de son premier mémoire, Röntgen après avoir relaté une série d'expériences négatives sur la réfraction et la réflexion des rayons X, rapporte une observation qui "*pourrait conduire à des conclusions inverses*". Sur une plaque photographique enveloppée de papier noir, recevant le rayonnement X primaire par sa face verre libre, il observe un renforcement du noircissement, là où le papier noir qui recouvre la couche sensible jouxte une surface métallique de plomb, platine ou zinc. Il en conclut à l'existence d'une réflexion comparable à celle de la lumière dans les milieux troubles, mais il n'analysa pas les différentes composantes du rayonnement secondaire et passa ainsi à côté de la découverte du rayonnement de Fluorescence X tout comme Lénard [14] était passé à côté de celle du rayonnement X primaire.

Ce n'est qu'au paragraphe 1 de sa troisième et dernière publication du 13 juillet 1897, que Röntgen précisa, mais tardivement, la nature d'une des composantes de ce rayonnement secondaire mettant ainsi en évidence et isolant la diffusion du rayonnement primaire par l'air, dans une expérience qui masquait toute détection d'un éventuel rayonnement de Fluorescence X.

Quant à la question qu'il se posa de savoir : "*si les rayons qui tombent sur un corps font naître des rayons de même nature, et s'il faut chercher l'origine de ces rayons dans un phénomène analogue à la réflexion diffuse ou à la fluorescence*" il précisa qu'il n'avait pu la trancher.

En conclusion, si Röntgen isola le rayonnement primaire X à l'extérieur du tube cathodique, étudia ses propriétés, et mit en évidence la diffusion de celui-ci, par l'air, il n'isola ni n'expliqua le rayonnement secondaire de Fluorescence X.

Son oeuvre demeure néanmoins fondamentale et l'analyse qu'il fit de sa découverte fut presque complète, et en posant les questions qu'il n'a pas pu résoudre, il jeta les bases des recherches à venir sur les rayons X pour de longues années.

2. Découverte du rayonnement de Fluorescence X.

Durant les périodes qui séparent les parutions des mémoires de Röntgen plusieurs chercheurs s'interrogèrent sur la nature du rayonnement secondaire.

Le 2 Mars 1896 A. Imbert et H. Bertin Sans [6] à Paris, furent les premiers à mettre en évidence la diffusion "à distance" par différents corps et furent aussi les premiers à constater pour un même corps, des degrés de transparence différents pour le rayonnement incident et le rayonnement diffus, et par ailleurs des degrés de transparence différents pour le rayonnement diffus selon le diffuseur. Ils posèrent de plus la question sans y répondre, de l'homogénéité ou de la complexité des nouveaux rayons.

Le 27 Avril 1896 F.P. Le Roux [7] à Paris, décrivant une série d'expériences paradoxales et confuses, arrive néanmoins à des conclusions remarquables en exprimant clairement le principe fondamental de la Fluorescence X : *En tout cas la radiation incidente a été transformée par son passage à travers le métal. Les métaux paraissent jouir d'une sorte de fluorescence.* Mais Le Roux n'isola ni ne prouva cette fluorescence ; il a néanmoins pressenti celle-ci à partir d'expériences difficilement interprétables.

Le 8 Mai 1896 F.W. Dwelshauvers-Dery [8], à Liège, en étudiant la réflexion diffuse des métaux constate que le papier noir, sans influence sur le rayonnement primaire absorbe le rayonnement diffus ; il en conclut : *Les rayons soi-disant réfléchis sont d'une autre nature que les rayons X. Leur longueur d'onde doit être plus grande que celle de ces derniers.*

On peut donc dire que les trois auteurs précédemment cités avaient décelé une certaine transformation des rayons X dans l'étude de la diffusion ; ils furent les précurseurs de la Fluorescence X.

D'autres chercheurs étudièrent également durant cette même période le rayonnement diffus, mais ils ne soupçonnèrent ni n'envisagèrent une transformation du rayonnement primaire.

Le 13 Mars 1896, Lord Blythswood [9], à Londres, crut avoir prouvé la réflexion des rayons X.

Le 2 Avril 1896 M.I. Pupin [10], à New York, généralisa la notion de diffusion : "*Every substance when subjected to the action of the X Rays becomes a radiator of these rays*".

Le 31 Juillet 1896, A.Winkelmann et A. Staubel [11], à Jena, constatèrent l'existence d'une réflexion diffuse à la surface du clinquant, du laiton, de l'argent, du cuivre, de l'acier, de l'aluminium et du flint, ils notèrent aussi une série de rayonnements transformés, mais étant donné qu'il s'agissait de corps tels la fluorine, la célestine, la barytine, de verres aux terres rares, cette émission de rayons transformés se situait dans le visible, ce qui correspondait à un tout autre phénomène que celui de la Fluorescence X, comparable à celui de la Fluorescence classique UV ou visible, mais avec un rayonnement d'excitation situé dans le domaine des rayons X.

Enfin en Janvier 1897 A.Voller et B.Walter [12], à Hambourg, constatèrent la diffusion sur les métaux non polis. Ils classèrent ceux-ci par groupe selon leur aptitude à diffuser à savoir :

le groupe de l'argent (Ag , Pd, Cd, Sn, Sb), le groupe du cuivre (Cu, Fe, Ni, Zn, Se), le groupe du platine (Pt, Ir, Au, Hg, Pb, Bi), le groupe de l'aluminium (Al, Mg, S), et enfin le carbone.

Ces auteurs ne firent cependant aucune hypothèse sur la nature de ce rayonnement à savoir, s'il était semblable ou non au rayonnement incident ou s'il était transformé.

Ces mêmes auteurs, et d'autres non cités ont contribué certes à la mise en évidence de la diffusion, mais n'ont pas pressenti, comme le firent les précédents, la modification du rayonnement primaire ;

Toutes ces approches préparaient cependant par leur synthèse la véritable découverte de la Fluorescence X qui n'allait pas tarder (*par découverte, et pour rester dans les normes qui ont été utilisées pour attribuer ce terme à la découverte du rayonnement X primaire par Röntgen, pressenti auparavant par d'autres chercheurs tels Goldstein [13] puis Lénard [14], j'entends une identification franche, claire et nette du phénomène, suivie de son étude la plus complète possible avec les connaissances de l'époque, comme le fit remarquablement Röntgen*).

C'est en France, en décembre 1896 au Laboratoire de M. Bouty à la Sorbonne, que G. Sagnac découvrit le rayonnement secondaire pressenti par Le Roux¹. Sa publication au CRAS (Compte-Rendus à l'Académie des Sciences) du 26 juillet 1897 [16] décrit avec une grande clarté l'émission X secondaire des métaux, hormis l'aluminium pour lequel il y a confusion avec la diffusion du rayonnement primaire. Le principe de la Fluorescence X y est clairement explicité dès le paragraphe 1 :

"Le pinceau de rayons X défini par deux fentes tombe obliquement sur une lame métallique. A quelques millimètres au-dessus de la région du métal frappée par les rayons est disposée une plaque photographique dont la couche sensible est nue et tournée vers le métal. Ce dispositif permet de reconnaître que l'or, l'argent, le zinc, le cuivre, le plomb, l'étain impressionnent à distance la plaque photographique, quand ils sont frappés par les rayons X. L'aluminium se montre inactif."

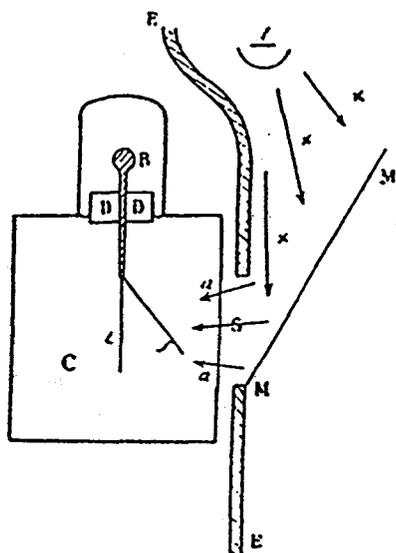
¹ Lors d'un précédent Congrès tenu à Paris en avril 1992, nous avons sensibilisé les chercheurs et analystes sur l'apport de Sagnac à la découverte de la Fluorescence X [15].

Dans sa conclusion, Sagnac évoque la possibilité pour les rayons secondaires, qu'il a mis en évidence, de pouvoir être transformés à leur tour, par d'autres substances et de donner ainsi naissance à de nouvelles radiations de longueur d'ondes plus grandes, qui permettront de remplir peu à peu l'intervalle inoccupé, qui sépare les rayons X des rayons UV.

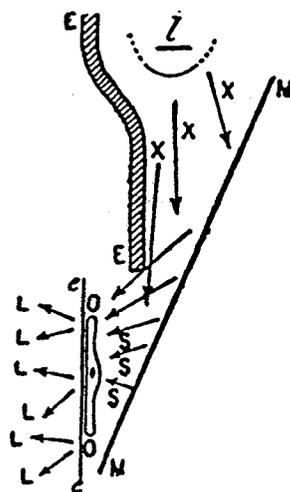
Même si Sagnac prenait la diffusion des rayons X pour de la Fluorescence X, dans le cas des diffuseurs légers, tel l'aluminium ses conclusions constituent une généralisation du domaine attribué aux rayons X, ainsi qu'une remarquable anticipation.

On peut dire que cette publication constitue l'acte de naissance de la FLUORESCENCE X.

Sagnac utilisait pour la détection soit un électroscope, soit un écran luminescent au platino-cyanure de baryum, soit une plaque photographique (Figures 1 et 2 d'après [17]).



(Figure 1 : Electroscopie)



(Figure 2 : Ecran au platino-cyanure de baryum.)

"Pour l'action radioscopique, le dispositif le plus simple consiste à faire tomber les rayons X, issus de la lame l (Figure 1) d'un tube à vide, sur la surface d'un corps quelconque MM pris, par exemple, sous forme de plaque. L'action électroscopique des rayons S se constate nettement en les recevant dans la cage C d'un électroscope (Figure 2) à travers une feuille mince aa en aluminium battu qui arrête les lignes de force du champ électrique intérieur à l'électroscope. La décharge de l'électroscope, protégé contre les rayons X par l'écran de plomb EE ne peut être due qu'à l'action à distance du corps MM frappé par les rayons X. Elle se produit, comme sous l'influence des rayons X, complétement, quel que soit le signe de la charge de la feuille f ."

Le travail de Sagnac est décisif et aurait pu constituer un parcours sans fautes, s'il n'avait confondu la diffusion par l'aluminium, avec le rayonnement secondaire transformé recherché. On sait aujourd'hui qu'en l'absence du vide, les détecteurs et les tubes à rayon X en verre, utilisés, ne lui permettaient pas de détecter le rayonnement $Al K_{\alpha}$.

Malagoli et Bonacini [18] vont alors établir avec Sagnac une controverse dans la revue "l'Eclairage Electrique en 1899", cependant ils reconnaissent à ce dernier la priorité de la découverte du rayonnement secondaire. Loin de s'opposer, leur travail complète celui de Sagnac. Ainsi, leur mise au point distingue :

- le Groupe A des métaux transformateurs
- le Groupe B des simples diffuseurs.

Dans le Groupe A, on trouve : Zn, Cu, Sn, Hg, Fe, Pt, etc.,
et dans le Groupe B : Bois, Carton, Paraffine, Al, Mg, H₂O.

Sagnac reconnaît la possibilité de l'existence d'un mélange de rayons transformés et de rayons diffusés sans transformation. Les protagonistes admettent une relation entre le poids atomique et le degré de transformation (cette remarque annonce la loi de Moseley) mais Sagnac maintient l'hypothèse d'une transformation graduelle décroissante d'un élément à un autre. En fait, ils avaient tous raison, la longueur d'onde décroît bien avec le numéro atomique comme cela sera montré ultérieurement par Moseley, et l'efficacité de l'excitation est d'autant plus faible que l'on s'écarte de la discontinuité d'absorption ; les éléments légers n'étant pas accessibles dans les conditions expérimentales utilisées, et ces auteurs ne pouvaient observer que le phénomène de diffusion sur ces matériaux.

Un autre chercheur qui deviendra illustre, fit connaître, mais un peu tard, ses travaux sur la mise en évidence du rayonnement X secondaire modifié ; P. Langevin (1872-1946) soutint sa thèse le 17 décembre 1902 [18], il y relate, paragraphe 90 son séjour à Cavendish où il commença un travail à partir d'octobre 1897 au Laboratoire de J.J. Thomson. Etudiant l'ionisation d'un gaz par le rayonnement X, il confirma un effet secondaire, créé par l'irradiation simultanée d'une plaque de métal. Il explique ainsi le phénomène observé : *"l'action du métal frappé se fait donc sentir dans les gaz à distance comme s'il émettait sous l'influence des rayons primaires qui la frappent, un rayonnement secondaire possédant aussi la propriété d'ioniser les gaz qu'il traverse."* Aucune publication ne s'en suivit mais dans sa thèse il reconnaît la priorité incontestable de Sagnac : *"J'insisterais seulement ici sur les points par lesquels mes recherches ont différé des siennes et sur les résultats qui peuvent sous certains rapports compléter ceux de l'important travail de Sagnac"*. L'intérêt du travail de Langevin fut de s'affranchir de l'absorption de l'air et de tous les autres obstacles, Il établit alors pour l'importance de cet effet, un ordre décroissant selon les métaux Pb, Zn, Cu puis Al bien plus faible, ce qui est en accord avec nos connaissances actuelles.

Les travaux de Sagnac sont résumés dans sa thèse qu'il a soutenue le 21 décembre 1900 [19]. Nous y reprenons au Chapitre III, la première analyse par Fluorescence X : celle du cuivre dans l'aluminium jusqu'à 1%. Citons Sagnac : *"l'activité électrique secondaire permet de rechercher une petite proportion d'un élément assez actif disséminé dans un corps relativement peu actif. La propriété d'activité secondaire se présente donc surtout comme une qualité atomique"*.

La découverte de la Fluorescence X donc incontestablement à G. Sagnac, comme l'ont reconnu Langevin et beaucoup d'autres depuis. Il obtint ses premiers résultats dès décembre 1896. Malheureusement, il ne publia plus sur les rayons X à partir de 1902 et ce n'est que beaucoup plus tard qu'un autre physicien français devait reprendre le relais, avant même la grande guerre.

Le 17 novembre 1913, Maurice de Broglie [20] fut le premier à enregistrer sur une plaque photographique un spectre en utilisant un tube à anticathode de platine, diffracté par un cristal de sel gemme. Moseley proposait peu de temps après la loi qui porte aujourd'hui son nom, les longueurs d'onde ayant été déterminées en dispersant les rayonnements correspondant avec un cristal immobile. C'est cependant le 25 mai 1914, que Maurice de Broglie réalisa le premier spectre de Fluorescence X [21,22] par dispersion de longueurs d'onde. Extrait de sa note au CRAS on peut lire : *"on sait depuis les beaux travaux de Sagnac, que les corps illuminés par les rayons de Röntgen émettent une radiation secondaire qui pour les éléments de poids atomique supérieur à 30 se compose surtout des spectres caractéristiques de l'élément employé. Je suis parvenu à utiliser ces radiations secondaires pour obtenir les spectres des rayonnement ainsi émis..."*

Les travaux de Georges Sagnac et de Maurice de Broglie ont été décisifs ,et à des époques différentes ont permis, d'assurer le développement futur de la Fluorescence X.

3. Découverte des Rayons " β des rayons X".

L'apport de Sagnac ne s'arrêta cependant pas au domaine de la Fluorescence X ; il publia en effet le 9 avril 1900, une découverte au moins aussi importante que la précédente, en association avec un des plus illustres chercheurs de cette fin du 19^{ème} siècle : Pierre Curie. Ensemble, ils montrèrent [23] que : *"contrairement aux rayons de Röntgen, les rayons secondaires transportent des charges négatives, comparables à celles des rayons cathodiques, comme le font les rayons du Radium."*

Georges Sagnac a émis cette hypothèse dès le 1er mars 1898 dans la revue "l'Eclairage Electrique" ; il appela ces rayons : "*rayons β des rayons X*". Cette découverte, oubliée par beaucoup, mais à laquelle Lenard a rendu hommage dans son discours de Prix Nobel, fut aussi reconnue par Innes [24], mais non mentionnée par Robinson [25], lequel utilisa un champ magnétique pour séparer ces rayonnements corpusculaires. Et là encore, Maurice de Broglie devait affirmer dans le domaine des rayons β secondaires des rayons de Röntgen, lorsqu'il s'y intéressa dès 1921, la continuité de l'oeuvre de Georges Sagnac.

Il montra que ces électrons ont des énergies spécifiques telles que étant :

$$\frac{1}{2} mv^2 = hv - E_K$$

où hv est l'énergie du rayonnement incident et E_K l'énergie de liaison des électrons K éjectés

Le même problème abordé par Robinson en 1913 ne pouvait être résolu car ce dernier utilisait un spectre polychromatique. Maurice de Broglie employa un rayonnement monochromatique produit par la Fluorescence X d'une cible secondaire.

Maurice de Broglie a été quelque peu oublié comme étant l'un des précurseurs de la spectrométrie par photoélectrons (l'ESCA). Quant à Georges Sagnac, il apparaît être aussi le découvreur de ces électrons éjectés dont l'utilisation a conduit bien plus tard au développement de la spectrométrie ESCA. Certes, Sagnac et Curie ignoraient tout de l'énergie des photoélectrons, et a fortiori des électrons Auger , mais ce sont eux qui les mirent en évidence pour la première fois.

4. Qui était Georges Sagnac ?

Georges Sagnac est né à Périgueux le 14 octobre 1869, Elève de l'Ecole Normale Supérieure (promotion 1890, celle d'Aimé Cotton), puis Agrégé, il fut préparateur au Laboratoire de Physique de la Sorbonne de 1893 à 1900.



(Figure 3 : photo de Sagnac à 21 ans)

Maître de Conférences à Lille de 1900 à 1904, il reviendra à Paris comme Professeur Adjoint, assurera le cours de Physique théorique et Physique céleste en 1920. Il ne publiera plus sur les Rayons X après 1902 et s'orientera définitivement vers l'optique et l'astronomie. Il mit ainsi au point un interféromètre et une lunette interférentielle (1914) pour repérer les avions dans le brouillard. Il établit plusieurs théories en optique.

Le 22 décembre 1919, le Prix Pierson-Perrin lui a été décerné et le 17 mars 1920 le grand Prix de Physique (Prix La Caze). Ces prix le confirmèrent sans aucune ambiguïté comme le premier à avoir mis en évidence :

- les rayons secondaires de Fluorescence X ;
- les rayons secondaires corpusculaires électrisés négativement, dénommés à l'époque rayons β des rayons X.

Il fut candidat sans succès à l'Académie des Sciences en 1923. Il disparut brusquement le 26 février 1928 à Meudon-Bellevue. Il avait été en relation étroite avec le couple Pierre et Marie Curie comme en témoigne une lettre [26] où il les sermonne sur leur régime alimentaire. Il est étonnant qu'après une telle moisson de résultats Sagnac changea totalement d'orientation à 32 ans, laissant à d'autres, tel Barkla [27], le soin d'identifier les rayons

caractéristiques, rapidement confirmés par Moseley après la découverte de la diffraction par W.L. Bragg et W.H. Bragg.

La mémoire collective n'a pas oublié Maurice de Broglie, dont l'oeuvre fut largement reconnue, même si aujourd'hui l'ombre de son jeune frère Louis l'a atténuée quelque peu. Les plus grands honneurs lui furent rendus et les plus hautes distinctions lui furent accordées.

En revanche, cette mémoire collective n'a pas été aussi reconnaissante envers Georges Sagnac, peut être parce que celui-ci est sorti trop tôt de la grande aventure des rayons X.

Georges Sagnac a préparé dès 1893 une thèse d'optique générale, mais la découverte des rayons X l'attira et l'amena à chercher plus loin que n'avait pu aller Röntgen. Il abandonna cependant trop tôt les rayons X, définitivement en 1902, pour retourner à sa discipline de prédilection l'optique où il est toujours bien vivant. En effet, c'est en 1913 qu'il fit la plus belle de ses expériences d'optique, celle de l'interférographe tournant n'empruntant aucun repère extérieur ; cette expérience est devenue classique en Physique : c'est l'interféromètre de Sagnac.

Peu de physiciens savent que sous le nom de Sagnac il y a aussi celui du précurseur de la Fluorescence X et de l'ESCA et peu de chimistes ont même entendu prononcer son nom.

Georges Sagnac n'avait que 5 ans de plus que Maurice de Broglie, mais ce dernier aborda l'étude des rayons X bien après que Sagnac l'eut abandonnée. Qu'ils se soient connus, ou simplement rencontrés, leurs oeuvres sont complémentaires et s'inscrivent dans une remarquable lignée. Citons pour terminer cet extrait de l'allocution de J. Cabannes de l'Académie des Sciences, Doyen de la Faculté des Sciences de Paris lors du jubilé scientifique de Maurice de Broglie le 13 juin 1946 :

"Sagnac avait découvert qu'une surface matérielle éclairée par un faisceau de rayons X émet à son tour des rayons secondaires plus mous que les premiers. Vos travaux lui ont donné dans la Science des rayons X, un rôle de premier plan."

5. Conclusion :

C'est à la Sorbonne que Georges Sagnac découvrit en décembre 1896 le rayonnement de Fluorescence X. C'est aussi à Paris, dans son laboratoire privé que Maurice de Broglie réalisa en mai 1914 le premier spectre de Fluorescence X par dispersion de longueur d'onde.

Sagnac mit aussi en évidence le premier les photoélectrons produits lors de l'interaction des rayons X avec la matière et Maurice de Broglie détermina en 1921 leur énergie, réalisant ainsi les premiers spectres de photoélectrons.

En revenant au centenaire de la découverte du rayonnement X primaire par Röntgen, nous devons souhaiter dès maintenant que ce cette manifestation permette aussi au monde scientifique de rendre à Georges Sagnac, la part qui lui est due dans cette grande aventure qui a commencé à la fin du siècle dernier et qui se poursuit encore aujourd'hui .

Remerciements :

Je tiens à remercier l'administration de l'Ecole Normale Supérieure de la rue d'Ulm qui m'a aimablement communiqué les photographies de la promotion 1890 sur la quelle figure Georges Sagnac à l'âge de 22 ans soit 5 ans avant sa découverte du rayonnement de Fluorescence X. Je remercie d'avance toutes les personnes qui pourront me communiquer d'autres renseignements ou des photographies sur Georges Sagnac à l'adresse suivante :

Mr. Michel Quintin, 6 rue Dr Thore, 92330 Sceaux, FRANCE.

Références :

- 1 Von Laue M., *Setzungsberichte der Königlich Bayerischen Akademie de Wissen schaften*, 1912.
- 2 Bragg W.L., *Proc. Camb. Phil. Soc.*, 1913, XVII, p. 43.
- 3 Röntgen W.C., *Ann. Physik u. Chem.*, 1898, N.F. 64, p. 1.
- 4 Röntgen W.C., *Ann. Physik u. Chem.*, 1898, N.F. 64, p. 12.
- 5 Röntgen W.C., *Ann. Physik u. Chem.*, 1898, N.F. 64, p. 18.
- 6 Imbert A et Bertin-Sans H ,*CRAS* ,1896,p 524
- 7 Le Roux F.P., *CRAS*, 1896, p. 924
- 8 Dwelshauvers-Dery F.V *Bull ,Ac , Roy ,Belgique*, 1896 ,p 482
- 9 Lord Blythswood, *Roy ,Soc , London*, 1896, p330 .
- 10 Pupin M.I, *Science*, 1896. P 528
- 11 Winklemann A et Staubel R , *Wied , Ann*,1896,T LIX,p 324
- 12 Voller A et Walter B , *Wied , Ann* , 1897,T LXI ,p173 .
- 13 Goldstein E , *Phil,Mag* 1880,T X,p 173
- 14 Lenard P. *La Lumière Electrique* 1893 T48 p 241
- 15 Quintin M., *Actes. du Col de Rayons X*, Paris avril 1992, Siemens, Ed St Denis France.
- 16 Sagnac G., *CRAS*, 1897, T CXXV, p. 230.
- 17 Malagoli R. et Bonacini C., *Eclairage Electrique*, 1898, T XVII, n°2, p. 66.
- 18 Langevin P., *Thèse, Faculté des Sciences de Paris, recherche sur les gaz ionisés, paragraphe 90*, 1902.
- 19 Sagnac G., *Thèse, Faculté des Sciences de Paris, seconde partie : rayons secondaires dérivés des rayons de Röntgen*, 1900.
- 20 de Broglie M., *CRAS*, 1913, T 157, n°20, p. 924.
- 21 de Broglie M., *CRAS*, 1914, T 158, n°24, p. 1493.
22. de Broglie M., 1922, *Journal de Physique*, Presse Universitaire de France.
- 23 Sagnac G. et Curie P., *CRAS*, 1900, T CXXX, p. 1013.
- 24 Innes, *Proc. Roy. Soc. A.*, 1907, p; 442.
- 25 Robinson H., *Phil. Mag.*, 1914, 28, p. 277.
- 26 Reid R., *Marie Curie*, 1979, Ed. Seuil, p. 129.
- 27 Barkla . G *Phil . Mag*, 1903, p 685.