

# Paul Villard's discovery of gamma rays – A centenary

Leif GERWARD<sup>a</sup>, André RASSAT<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Department of Physics, Building 307, Technical University of Denmark, DK-2800 Kongens Lyngby, Denmark

<sup>b</sup> Département de chimie (UMR CNRS 8640), École normale supérieure, 24, rue Lhomond,  
75231 Paris cedex 05, France

E-mail: gerward@fysik.dtu.dk; Andre.Rassat@ens.fr

---

**Abstract.** It is shown how Paul Villard's chemical interests guided him in his studies of cathode rays, X rays and radium rays. His experiments in radioactivity led to the unexpected discovery of gamma rays in 1900. © 2000 Académie des sciences/Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

**gamma rays / Villard P.**

## *La découverte en 1900 des rayons gamma par Paul Villard*

**Résumé.** L'intérêt que Paul Villard avait pour la chimie l'a guidé dans ses recherches sur les rayons cathodiques, les rayons X et le rayonnement du radium. Ses expériences sur la radioactivité l'ont conduit en 1900 à une découverte imprévue, celle des rayons gamma. © 2000 Académie des sciences/Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

**rayons gamma / Villard P.**

---

## *Version française abrégée*

### 1. Aperçu sur la vie de Paul Villard

Né à Lyon le 28 septembre 1860, Paul Villard [1,2] entre à l'École Normale Supérieure (ENS) en 1881. Agrégé de physique en 1884, il prend aussitôt un poste de professeur de lycée. Pendant huit ans, il enseigne successivement à Orléans, Montpellier, Bordeaux, Coutances et Rouen [3]. Chargé de conférences de physique à la Faculté des Sciences de Montpellier, il a alors la possibilité d'y faire quelques expériences. Il contacte aussi Henri Debray, Directeur du *Laboratoire de Chimie* de l'ENS, pour lui demander l'autorisation de travailler dans ce laboratoire.

Se rendant compte que ses activités d'enseignement ne lui permettent pas de consacrer suffisamment de temps à ses recherches et, une petite fortune personnelle lui permettant de subvenir à ses besoins (il acceptera à la fin de sa vie une « pension d'honneur » de la *Caisse nationale des Sciences*), il se met en congé de l'enseignement public et ne reprendra plus jamais aucun poste. À partir de 1892 et pour le restant de ses jours, il restera attaché au *Laboratoire de Chimie* de l'ENS. Une photographie le représente (*figure 1*), vers 1900, à l'époque de sa découverte des rayons gamma.

Ses travaux sur les rayons cathodiques et sur les rayons X sont reconnus par l'Académie des Sciences qui lui décerne le prix *Wilde* en 1904 et *La Caze* en 1907 avant de l'admettre comme membre en 1908. Pendant les dernières années de sa vie, sa santé va se détériorer et Villard meurt à Bayonne en 1934.

---

**Note rédigée à l'invitation du COMITÉ DE LECTURE.**

## 2. Les recherches à l'ENS

Les premières recherches de Villard portaient sur les hydrates qu'on obtient avec des gaz sous pression. Ses premiers articles, en 1888, reproduisent des travaux antérieurs, puis Villard prépara de nouveaux hydrates, travaux qui constituaient sa thèse de doctorat.

L'équipe de Debray était une des rares, avec celle de François Raoult à Grenoble, à pratiquer cette discipline alors nouvelle, la chimie-physique. À la mort d'Henri Debray en 1888, Alexandre Joly devint directeur du Laboratoire de Chimie. Une photographie (*figure 2*) prise en avril 1895 à l'occasion du centenaire de l'*École Normale Supérieure* montre ce laboratoire à l'époque des travaux de Villard. Une gravure (*figure 3*) représente ce même laboratoire 25 ans auparavant.

La *figure 2* provient de [4], avec une légende qui indique que Villard est situé à l'extrême droite, mais il serait plutôt celui qui travaille à la paillassse au premier plan. On trouve aussi sur cette figure à l'extrême gauche le professeur Gernez devenu directeur du laboratoire en 1897, et à la droite de Gernez, Raymond Jarry avec lequel Villard devait publier deux articles sur la neige carbonique en 1895.

À partir de 1897, les recherches de Villard portent sur les rayons X et sur le passage de l'électricité dans les gaz raréfiés, domaine aux frontières de la physique à la fin du dix neuvième siècle. Comme William Crookes, on parlait alors de *matière radiante* pour expliquer la phosphorescence et les autres effets des rayons cathodiques. Pour ces études, un excellent souffleur de verre était nécessaire et Villard forma le jeune Julien Morais qui devait rester plus d'un demi-siècle dans ce laboratoire et y obtenir le diplôme de *Premier Ouvrier de France* et la *Légion d'honneur* [4].

Pour étudier les constituants de la *matière radiante* dans l'environnement d'un laboratoire de chimie, Villard s'intéressa naturellement aux effets chimiques des divers rayonnements. En particulier, il mit en évidence le caractère réducteur des rayons cathodiques : par exemple, la trace de ces rayons sur un échantillon d'oxyde de cuivre prend l'éclat métallique. Il écrit alors [5] :

« Or l'hydrogène est le seul gaz réducteur connu ; /.../ En attendant qu'un autre gaz simple réducteur soit découvert, on peut considérer comme acceptable l'hypothèse que l'hydrogène constitue la matière radiante. »

Malheureusement, Villard était sur une fausse piste et cette hypothèse sur la nature des rayons cathodiques fut largement ignorée. Ainsi donc, la nature possédait un autre « gaz réducteur », les électrons émis par la cathode. ... Plus tard, Villard changea d'opinion et devint un partisan convaincu de la théorie des électrons [6].

Villard continua à étudier les effets chimiques des rayons X, en particulier la coloration du verre, qu'il interpréta comme une oxydation. Pierre et Marie Curie constataient à la même époque que les rayons du radium avaient une action semblable. Comme Villard supposait déjà une relation entre le rayonnement du radium et les rayons X [7], il s'intéressa à la radioactivité. Il obtint quelques milligrammes d'un sel faiblement radioactif et commença une série d'expériences qui devaient le conduire à une découverte imprévue.

## 3. La découverte du rayonnement gamma

L'article « Sur la réflexion et la réfraction des rayons cathodiques et des rayons déviables du radium » [8], présenté à l'*Académie* le 9 avril 1900 suggère d'après son titre qu'à l'origine, Villard avait l'intention d'étudier les rayons « déviables », c'est-à-dire les rayons bêta. Il a utilisé un rayonnement formant un cône de 20° d'ouverture dont une partie traversait une plaque d'aluminium. Une plaque photographique sensible lui révéla que le rayonnement qui avait traversé la plaque d'aluminium était réfracté et présentait une forte diffusion.

En outre, Villard observa la présence d'un rayonnement non réfracté, non dévié par un champ magnétique, et suffisamment pénétrant pour impressionner une plaque photographique sensible protégée

par plusieurs couches de papier noir ou par une feuille d'aluminium ou même une plaque de plomb de 0,2 mm. D'où sa conclusion [8] :

« Les faits précédents conduisent à admettre que la partie non déviable de l'émission du radium contient des radiations très pénétrantes, capables de traverser des lames métalliques, radiations que la méthode photographique permet de déceler. »

Pierre et Marie Curie lui fournirent alors un échantillon de radium plus important, et trois semaines après, Villard présentait des résultats nouveaux et plus détaillés sur le rayonnement du radium. Dans l'article [9] sur la comparaison du pouvoir pénétrant des rayons  $\beta$  et des nouveaux rayons, présenté à l'*Académie* le 30 avril 1900, le dispositif utilisé était quasiment le même que le précédent, mais sans la plaque d'aluminium, et les rayons déviables étaient écartés par un champ magnétique. Deux plaques sensibles superposées enregistraient les effets du rayonnement. La première montrait les traces de deux rayons dont l'un avait été dévié par le champ magnétique et était étalé, alors que l'autre s'était propagé en ligne droite et donnait une trace nette. Sur la deuxième plaque, on ne voyait plus qu'une seule trace qui était même encore plus nette parce que non voilée par les rayons déviés. Villard trouva que le rayonnement non dévié pouvait pénétrer sans atténuation une épaisseur de verre supérieure à 1 cm. Même une feuille de plomb de 0,3 mm n'atténuait que faiblement ce rayonnement. Pour la première fois, ce rayonnement pénétrant est identifié aux rayons X [9] :

« Ainsi les rayons X émis par le radium ont une puissance de pénétration beaucoup plus considérable que les rayons déviables : c'est l'analogie de ce qui a lieu avec les tubes de Crookes. »

Moins de trois semaines plus tard, Villard s'exprime plus franchement [10] :

« L'auteur pense qu'il s'agit de véritables rayons X /.../ On retrouverait ainsi les trois rayonnements des tubes de Crookes. »

Dès le début, Villard avait donc donné une interprétation correcte des trois composantes du rayonnement du radium. Cette découverte resta cependant ignorée. La nature des rayons gamma ne devait être précisée qu'après l'introduction des concepts nouveaux de la théorie quantique et de la mise en évidence des ondes électromagnétiques de haute fréquence.

Le nom de « rayons gamma » n'est pas dû à Villard, mais probablement à Rutherford : dans sa thèse [11], Marie Curie signale qu'elle suit la notation de Rutherford en désignant les trois types de rayonnement par les lettres  $\alpha$ ,  $\beta$ , et  $\gamma$ . Marie Curie y présente aussi une radiographie  $\gamma$  qui montrait ainsi une application potentielle de la découverte de Villard.

Les biographes de Villard [1,2] le présentent comme une personne solitaire et réservée. Il est vrai que depuis 1904 [1], il travaillait seul dans une petite pièce qui lui servait de laboratoire. Cependant, comme l'a fait remarqué récemment Lelong [6], ceci ne semble s'appliquer qu'à ses dernières années. Villard a été pendant des années un membre actif et estimé d'un laboratoire de pointe, où sous la direction de Lespieau, on s'intéressait déjà à l'application à la chimie des concepts et des méthodes de la physique [12]. Au début du siècle, il a aussi inventé et amélioré des instruments de radiologie appliquée.

Les rayons  $\gamma$  qu'il avait découverts ne furent reconnus que très lentement par la communauté scientifique. La nature de ces rayons était difficile à déterminer et elle fut encore discutée pendant plus de trois ans pour être établie à nouveau par des personnes comme Soddy [13] et Rutherford [14].

## 1. Biography

Paul Villard [1,2] was born in Lyon on the 28th of September 1860 and entered the *École Normale Supérieure* (ENS) in 1881. Having obtained the *agrégation des sciences physiques* in 1884 he led a



**Figure 1.** Paul Villard. Photograph from ca. 1900 (from [3]).

roaming life as a teacher at various *lycées* in the province. In the eight years prior to 1892 he taught in Orléans, Montpellier, Bordeaux, Coutances and Rouen [3]. Supported by Marcellin Berthelot he also became *chargé de conférence* at the *Faculté des Sciences* in Montpellier and got the opportunity to do some experimental research. He approached Henri Debray, Director of the *Laboratoire de Chimie de l'École Normale Supérieure*, asking for permission to work in his laboratory.

Villard soon felt it difficult to combine his scientific interests with his demanding teaching duties. Having a modest fortune that was sufficient for his needs, he asked for leave and never again held any formal position, although at the end of his life he accepted a *pension d'honneur* from the *Caisse nationale des Sciences*. From 1892 Villard was associated with the *Chemical Laboratory* of the ENS in *rue d'Ulm*, Paris. In the ENS archives there is a photograph of Villard (*figure 1*). The portrait was made about 1900, the time at which Villard made his discovery of gamma rays.

Villard became a physicist of high repute in France, in particular because of his work on cathode rays and X rays. The *Académie des Sciences* awarded him its *Wilde* prize in 1904 and its *La Caze* prize in 1907. In 1908 Villard succeeded Eleuthère Mascart as a member of the Academy. During the last years of his life, Villard suffered from bad health, possibly because of his work with X rays, and he was forced to spend extended periods of time outside Paris. He died in Bayonne on the 13th of January, 1934.

## 2. Research work at ENS

Villard's earliest research work dealt with crystallized hydrates formed by the combination of water with various gases under pressure. His first papers were published in 1888 together with Robert Hippolyte de Forcrand. Following Berthelot they repeated some earlier studies, but Villard soon continued on his own to produce completely new hydrates, work that formed the basis of his doctoral thesis.

Debray died in 1888 and was succeeded by Alexandre Joly as Director of the Chemistry Laboratory of the ENS. Désiré Gernez was Director 1897–1904, and Robert Lespieau 1904–1934. The research team at ENS, together with that of François Raoult in Grenoble, was one of the few groups devoted to the new discipline of physical chemistry. *Figure 2* shows the Chemistry Laboratory in Villard's day. The photograph was taken in April 1895 on the occasion of the centenary of the ENS. Interestingly, there is a drawing of the same laboratory 25 years earlier (*figure 3*). The two pictures clearly demonstrate the rapid development of chemistry in the second half of the 19th century.

Returning to *figure 2*, a figure caption in [4] indicates that Villard should be the person standing at the far right. However, on the back of the original photograph there is a note, probably written between 1966 and 1977, stating that Villard is number three from the left, i.e. the person in the foreground working at the bench. At the far left stands Professor Gernez. Next to him is Raymond Jarry with whom Villard published some papers on carbon dioxide snow in 1895.

The main research of Villard from 1897 onwards was devoted to X rays and the passage of electricity through gases at reduced pressure. The study of electric discharges in rarefied gases was a frontier field of physics at the end of the 19th century. Following William Crookes one talked about radiant matter to explain various effects associated with cathode rays. An important prerequisite for these researches was the production of intricate glass tubes. Under the direction of Villard, glass blower Julien Morais, who was to stay at the Chemical Laboratory for more than half a century, became one of the best in his field and was decorated with the *Diplôme de Premier Ouvrier de France* and the *Légion d'Honneur* [4].

Villard decided to determine the constituents of radiant matter. Being associated with a chemical laboratory, he came naturally to focus his interest on the chemical action of the various kinds of radiation. In particular, he noticed the reducing action of the cathode rays on chemical compounds. Thus, if the rays fell on an oxidized copper plate, the part exposed to the rays became bright. Hydrogen being the only known gaseous reducing agent, Villard concluded that hydrogen constituted the radiant matter [5]:

“Or l'hydrogène est le seul gaz réducteur connu; /.../ En attendant qu'un autre gaz simple réducteur soit découvert, on peut considérer comme acceptable l'hypothèse que l'hydrogène constitue la matière radiante.”

Unfortunately, Villard was on the wrong track and his hypothesis about the nature of cathode rays was largely neglected by the international community of physicists, who considered J.J. Thomson their principal authority. As it turned out, nature was providing another ‘gaseous’ reducing agent, namely the stream of free electrons emitted by the cathode. Later, Villard changed his mind and became a devoted supporter of the electron theory [6].

Villard went on to study the chemical effects of X rays, in particular the coloration of glass, which he interpreted as an oxidation. Simultaneously, Pierre and Marie Curie reported a similar chemical action of radium rays. These observations excited Villard's interest in radioactivity, because he supposed a relation between radium rays and X rays [7]. Villard got some milligrams of a weakly radioactive salt and initiated a series of experiments. As it happened, he was about to make an unexpected discovery.

## 3. Discovery of $\gamma$ rays

Paul Villard presented his paper, “Sur la réflexion et la réfraction des rayons cathodiques et des rayons déviés du radium” at the Monday session of the *Académie des Sciences* on the 9th of April, 1900.



**Figure 2.** The Chemistry Laboratory of ENS, April 1895 (from [4]).

**Figure 2.** *Laboratoire de Chimie à l'École Normale Supérieure, souvenir du centenaire, Avril 1895.*

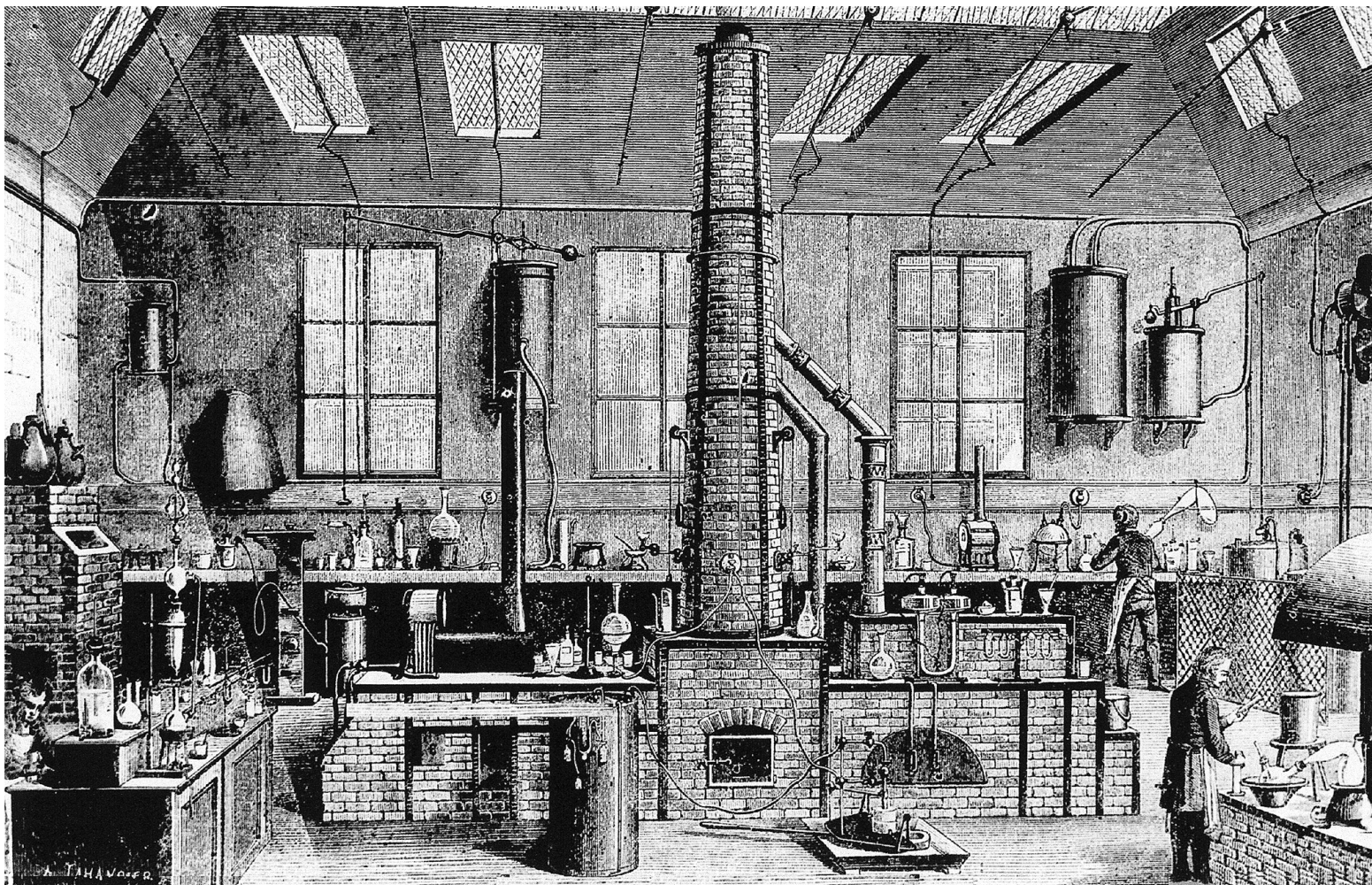


Figure 3. The Chemistry Laboratory of ENS in 1870 (from [4]).

Figure 3. Laboratoire de Chimie à l'École Normale Supérieure en 1870.

It follows from the title that Villard originally set out to study  $\beta$  rays that can be deflected by a magnetic field. The description of his experiment is hard to follow without a diagram, but none is supplied. He measured the refraction of the radium rays using a cone of radiation with an opening angle of  $20^\circ$ . An aluminium foil, inclined at  $45^\circ$  to the axis of the cone, intercepted half the beam. A photographic plate showed that the half-beam intercepted by the foil had undergone an apparent refraction accompanied by a strong scattering.

In addition to the  $\beta$  rays, Villard observed a non-refracted beam, which had been propagating in a straight line. He tried to deflect the non-refracted rays in a magnetic field, but they were unaffected. Moreover, these rays were penetrating enough to affect the photographic plate protected by several layers of black paper as well as an aluminium foil. The rays were even able to traverse a lead foil, 0.2 mm thick. Villard concluded [8]:

“Les faits précédents conduisent à admettre que la partie non déviable de l'émission du radium contient des radiations très pénétrantes, capables de traverser des lames métalliques, radiations que la méthode photographique permet de déceler.”

The Curies kindly placed a stronger radium sample at Villard's disposal, and three weeks later he presented new and more detailed results on the radium rays. His comparative study of the penetrating power of  $\beta$  rays and the new type of rays, was presented by Academy member Jules Violle at the Monday meeting on the 30th of April, 1900. Villard's experimental arrangement was similar to that of his first radium experiment but without the aluminium foil. The radiation from the radium sample was collimated by a long groove in a lead block and recorded by two photographic plates stacked on top of each other. The first plate showed traces of two beams. One beam (the  $\beta$  rays) had been deflected by an applied magnetic field and broadened. The other beam had propagated along an absolutely straight line and produced a sharp impression. The second plate showed only one trace, that of the non-deflected beam. The impression was as sharp and intense as that on the first plate and even more visible because of the lower background. Villard found that the non-deflected rays were able to penetrate at least 1 cm of glass without any noticeable attenuation. Even a lead foil, 0.3 mm thick, attenuated the rays only slightly. Villard had already associated the penetrating radiation with X rays. He concluded [9]:

“Ainsi les rayons X émis par le radium ont une puissance de pénétration beaucoup plus considérable que les rayons déviables: c'est l'analogue de ce qui a lieu avec les tubes de Crookes.”

Less than three weeks later, Villard expressed himself more boldly. At the Friday meeting of the *Société française de physique* on the 19th of May, 1900, he suggested [10]:

“L'auteur pense qu'il s'agit de véritables rayons X /.../ On retrouverait ainsi les trois rayonnements des tubes de Crookes.”

Thus, from the beginning Villard had correctly identified the three components of radium rays. However, contemporary physicists and chemists paid little attention to his discovery. The nature of  $\gamma$  rays unfolded over several years through the work of several people. This clarifying process had to await the development of new concepts, such as the quantum theory of radiation and the existence of high-frequency electromagnetic waves.

Contrary to common belief, Villard did not introduce the designation 'gamma rays'. The name was probably invented by Ernest Rutherford. Marie Curie states, in her doctoral thesis, that she will denote the three types of radium radiation by the letters  $\alpha$ ,  $\beta$  and  $\gamma$ , 'following the notation of Rutherford' [11]. Curie also showed an example of  $\gamma$  radiography thereby demonstrating a potential application of Villard's discovery.

Villard's biographers [1,2] have described him as a lonely and reserved person. As recently pointed out by Lelong [6], this description rather corresponds to the aged Villard. It is true that in 1904 Villard got

a small laboratory room of his own [1]. However, as we have shown here, Villard was an esteemed and busy member of a successful research team. The Paris school under Lespieau was characterized by physical instrumentation, and by the application of physical ideas to chemical problems [12]. For his part, Villard was devoted to improving and inventing instruments that would be useful to practical radiologists. The  $\gamma$  rays, discovered by him, were only slowly accepted by the scientific community, mainly because their nature was difficult to determine and not discussed seriously until taken up by Soddy [13] and Rutherford [14] more than three years later.

### References

- [1] Borel E., Mémoires et communications, C. R. Acad. Sci. 198 (1934) 213–215.
- [2] Picard E., La vie et l'oeuvre de Paul Villard et de Georges Gouy, Rev. Sci. 76 (1938) 41–51.
- [3] Laboratoire de Chimie de l'École Normale Supérieure, Travaux des Maîtres et des Elèves, unpublished, Library of the École Normale Supérieure, ca. 1900.
- [4] Dulou R., Kirmann A., Le Laboratoire de Chimie de l'École Normale Supérieure, Bull. Soc. Amis École Norm. Sup. 54 (1973) 2–32.
- [5] Villard P., Les rayons cathodiques, in: Rapports présentés au Congrès internationale de physique, Vol. III, Gauthier-Villars, Paris, 1900, pp. 115–137.
- [6] Lelong B., Paul Villard J.J., Thomson et la composition des rayons cathodiques, Revue Histoire Sci. 50 (1997) 89–130, and references therein.
- [7] Gerward L., Paul Villard and his discovery of gamma rays, Phys. Perspect. 1 (1999) 367–383, and references therein.
- [8] Villard P., Sur la réflexion et la réfraction des rayons cathodiques et des rayons déviés du radium, C. R. Acad. Sci. 130 (1900) 1010–1012.
- [9] Villard P., Sur le rayonnement du radium, C. R. Acad. Sci. 130 (1900) 1178–1179.
- [10] Villard P., Rayonnement du radium, in: Séances de la société française de physique, Part 3, 1900, pp. 45–46.
- [11] Curie M., Recherches sur les substances radioactives, Gauthier-Villard, Paris, 1904.
- [12] Nye M.J., From Chemical Philosophy to Theoretical Chemistry: Dynamics of Matter and Dynamics of Disciplines 1800–1950, University of California Press, Berkeley, 1993.
- [13] Soddy F., Researches relating to radium, Nature 69 (1904) 297–299.
- [14] Rutherford E., Nature of the  $\gamma$  rays from radium, Nature 69 (1904) 436–437.