

# ■ POUR LA SCIENCE

## VOTRE ABONNEMENT 100 % NUMÉRIQUE

**1 an au prix de 48 €**

soit **4 € seulement par numéro** au lieu de ~~5,20 €~~

Pour consulter et télécharger  
en toute liberté sur [www.pourlascience.fr](http://www.pourlascience.fr)  
les 12 prochains numéros  
dès leur parution.



**Oui, je m'abonne**  
à *Pour la Science* 100 % numérique  
1 an (12 numéros) pour 48 €

Je préfère découvrir toutes  
les offres d'abonnement disponibles  
**en cliquant ici.**



# La découverte des rayons gamma

LEIF GERWARD • ANDRÉ RASSAT

*À la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, le chimiste Paul Villard s'intéresse aux rayons cathodiques, puis à la radioactivité. Lors de ses expériences sur le rayonnement du radium, il découvre les rayons gamma, mais sa découverte n'est pas reconnue.*

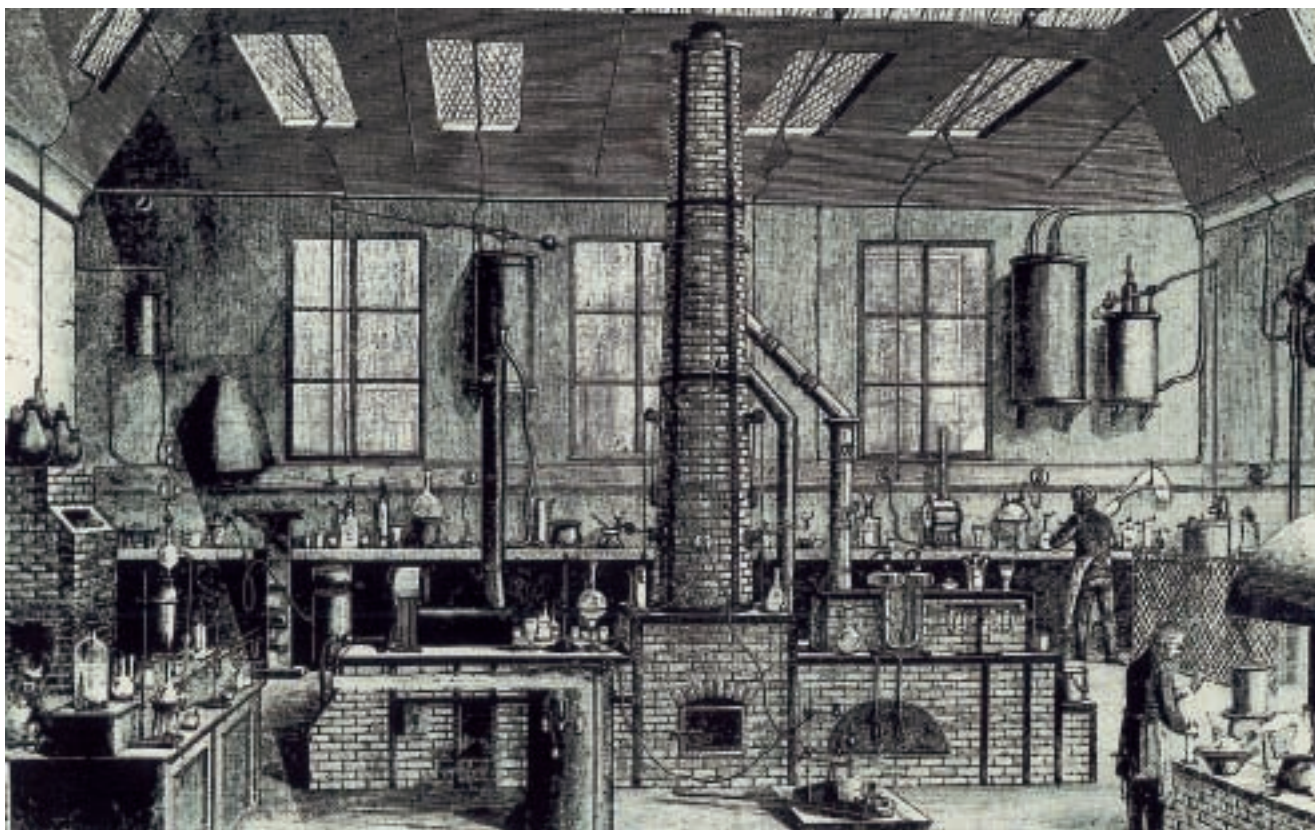
**À** l'époque où Paul Villard commence ses travaux sur les rayons cathodiques, la physique et la chimie des rayonnements sont en plein essor : en 1895, Wilhelm Röntgen réalise la première radiographie aux rayons X. Peu après, Henri Becquerel découvre la radioactivité et Joseph Thomson prouve l'existence des électrons. Marie et Pierre Curie trouvent deux nouveaux éléments radioactifs, le polonium et le radium. C'est alors que Villard observe un nouveau type de rayons extrêmement pénétrants, les rayons gamma. Hélas, la personnalité de Villard et une

certaine apathie de la communauté des physiciens font que cette découverte restera inaperçue et que le nom de Villard ne passera pas à la postérité. C'est une injustice.

Villard naît à Lyon en 1860. En 1881, il entre à l'École normale supérieure, à Paris, où il étudie les sciences physiques. En 1884, il est reçu à l'agrégation et part en province, où il enseigne dans plusieurs lycées. Avec l'appui de Marcelin Berthelot, il entre à la faculté des sciences de Montpellier. Cependant, ses fonctions de chargé de conférence lui laissent trop peu de temps pour ses activités de recherche.

En 1892, il démissionne afin de rejoindre le laboratoire de chimie de l'École normale supérieure. Il n'y occupe pas de poste officiel et subvient à ses besoins grâce à la modeste fortune qu'il a reçue en héritage. En 1904, Robert Lespieau, directeur du laboratoire de chimie de l'École normale supérieure, lui attribue une petite pièce où il installe son laboratoire et où il travaillera pratiquement jusqu'à la fin de ses jours.

Villard mène ses recherches de façon indépendante : il signe seul la plupart de ses articles et se soucie peu de sa renommée. Cependant, l'Académie



1. Le laboratoire de chimie de l'École normale supérieure en 1870.



2. Le laboratoire de chimie de l'École normale supérieure en 1895. Villard est probablement au premier plan, en train de travailler sur le banc. Comparée à la gravure de la figure 1, cette photographie montre le développement rapide de la chimie en une science moderne, à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle.

des sciences récompense ses travaux par plusieurs prix et l'accueille en son sein en 1908.

Les premiers travaux de Villard portent sur les hydrates cristallisés, qui se forment sous pression par la combinaison de molécules d'eau et de divers gaz. Il reprend d'abord les expériences de Berthelot, puis produit bientôt ses propres hydrates, sur lesquels il rédige sa thèse de doctorat. En 1896, il réussit à combiner de l'eau avec de l'argon, découvert deux ans auparavant par Walter Rayleigh et William Ramsay, et prétendu «inerte».

### BECCEREL, LES CURIE ET LA RADIOACTIVITÉ

À partir de 1897, Villard possède un tube de Crookes qu'il a fait fabriquer par l'excellent souffleur de verre de l'École normale supérieure, qu'il a formé lui-même. L'instrument produit des rayons cathodiques : le tube renferme un gaz raréfié et deux électrodes. On sait aujourd'hui que la tension appliquée entre ses dernières arrache des électrons à la cathode. Ceux-ci sont accélérés vers l'anode par le champ électrique qui règne à l'intérieur du tube et ionisent le gaz qu'il contient sur leur passage. Lorsque les électrons heur-

tent l'anode, le choc produit des rayons X. À l'époque où Villard commence à étudier les rayons cathodiques et les rayons X avec son nouveau tube de Crookes, on ne connaît pas encore leur nature.

En 1896, Becquerel découvre la radioactivité de l'uranium : cet élément émet spontanément des rayons invisibles, capables d'impressionner une plaque photographique protégée par une feuille de papier noir. En 1897, Thomson démontre l'existence d'un corpuscule chargé négativement (le terme électron, inventé en 1891, désigne alors l'unité de l'électricité et non pas la particule). En 1898 Pierre et Marie Curie découvrent le polonium et le radium, qui permet aux scientifiques de mieux comprendre la radioactivité, car son activité est plus d'un million de fois supérieure à celle de l'uranium. En 1899, Thomson mesure la charge de l'électron et en déduit la masse. La même année, Ernest Rutherford montre que les rayons de l'uranium ionisent les gaz, comme les rayons cathodiques et les rayons X. Il distingue les rayons alpha des rayons bêta, plus pénétrants. Becquerel montre qu'un champ magnétique dévie les rayons bêta, ce en quoi ils ressemblent aux rayons cathodiques. En 1900, les travaux de Becquerel et des Curie montrent que les deux types de rayons sont de même nature (ce

sont des électrons) à la différence près que les rayons bêta se déplacent bien plus vite que les rayons cathodiques.

Ainsi, à l'époque de Villard, de nombreux scientifiques s'intéressent aux rayonnements et à la radioactivité. Rutherford écrira d'ailleurs à sa mère : «Je dois publier mes travaux le plus rapidement possible, si je veux rester dans la course. Ces dernières années, Becquerel et les Curie, à Paris, ont déjà obtenu de nombreux résultats de première importance sur la radioactivité.»

Villard étudie l'action chimique des rayons cathodiques. Il remarque leur pouvoir réducteur : une plaque de cuivre oxydée retrouve son éclat lorsqu'il l'expose à ces rayons. En 1900, malgré les travaux antérieurs de Thomson, il conclut que l'hydrogène est le constituant des rayons cathodiques : «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 est sur la mauvaise piste et son hypothèse ne retient pas l'attention de la communauté scientifique, qui considère Thomson comme l'autorité en la matière. Plus tard, Villard changera d'avis et deviendra l'un des plus fervents défenseurs de la théorie des électrons.

## VILLARD ET L'ACTION CHIMIQUE DES RAYONS

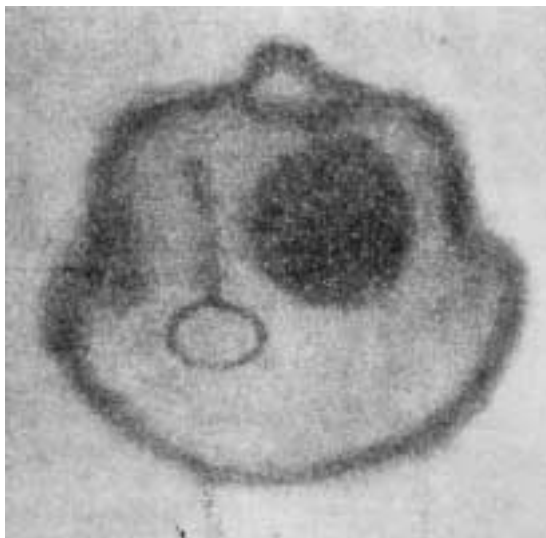
Villard étudie l'action chimique des rayons X, notamment la coloration du verre, qu'il interprète comme une oxydation (on sait aujourd'hui qu'elle est due à la création de défauts, nommés centres colorés, par les rayons X). Quand Pierre et Marie Curie annoncent une action chimique similaire du rayonnement émis par le radium, en 1899, Villard subodore l'existence d'une relation entre les deux types de rayons.

Il s'intéresse alors à la radioactivité et notamment aux rayons bêta, déviés sous l'action d'un champ magnétique. Il mesure leur réfraction, en utilisant une feuille d'aluminium, qui intercepte le faisceau émis par un sel faiblement radio-

actif. Une plaque photographique montre qu'une partie du demi-faisceau a subi une réfraction accompagnée d'une forte dispersion, tandis que l'autre partie, non réfractée, s'est propagée en ligne droite. Il essaye en vain de dévier cette dernière à l'aide d'un champ magnétique.

Ces nouveaux rayons sont suffisamment pénétrants pour impressionner une plaque photographique protégée par plusieurs couches de papier noir et par une feuille d'aluminium. Ils traversent une feuille de plomb de 0,2 millimètre d'épaisseur. Le 9 avril 1900, Villard présente ses résultats à l'Académie des sciences, dans un article intitulé *Sur la réflexion et la réfraction des rayons cathodiques et des rayons déviables du radium* et conclut que : «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.»

Poursuivant ses expériences sur du radium, Villard compare le pouvoir pénétrant des rayons bêta et des nouveaux rayons. Ceux-ci, canalisés par un sillon creusé dans un bloc de plomb, impressionnent deux plaques photographiques placées l'une derrière l'autre. La première présente la trace de deux faisceaux, dont l'un (les rayons bêta) a été dévié et élargi par le champ magnétique appliqué, tandis que l'autre s'est propagé en ligne droite et ne s'est pas élargi. Sur la seconde plaque, on n'observe que la trace du faisceau non dévié, aussi petite et nette que sur la première plaque. Villard s'aperçoit que le faisceau non dévié peut traverser une plaque de verre d'un centimètre d'épaisseur sans atténuation notable. Le 30 avril 1900, il présente



ACIC-Archives Curie et Joliot-Curie

**3. La première radiographie gamma, réalisée par Marie Curie en 1904, montre un porte-monnaie, ainsi que la pièce de monnaie et la clé qu'il contenait.**

ces résultats, identifiant les nouveaux rayons aux rayons X : «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» (c'est-à-dire l'émission de rayons X). Le 19 mai 1900, il déclare encore : «L'auteur pense qu'il s'agit de véritables rayons X.»

La découverte de Villard passe inaperçue. Becquerel refait l'expérience décrite par son confrère et nie la présence de rayons pénétrants : «L'existence de ces rayons n'aurait pu échapper aux expériences de Monsieur et Madame Curie ou aux miennes.» Becquerel doit bientôt admettre l'existence des nouveaux rayons : «Le rayonnement des corps radioactifs comprend deux groupes distincts : l'un, qui consiste en rayons cathodiques, est déviable par un champ magnétique et par un champ électrique ; l'autre, dont la nature est inconnue jusqu'ici, n'est pas déviable et paraît comprendre des rayons ayant des puissances diverses de pénétration au travers des métaux et des corps opaques pour la lumière.» Pour Becquerel, seuls deux types de rayons existent. Dans un article de synthèse paru dans *Nature* en 1901, Becquerel mentionne la découverte de Villard de manière très succincte : «Récemment, Monsieur Villard a prouvé l'existence de rayons du radium très pénétrants et non déviables.»

L'absence de nom pour les nouveaux rayons, pendant les trois années qui suivent leur découverte, est révélatrice du peu d'intérêt qu'ils suscitent (c'est Rutherford et non Villard, qui met en place les notations alpha, bêta et gamma pour les rayons du radium en 1903). Les physiciens, qui ne comprennent pas la nature

des nouveaux rayons, en acceptent difficilement l'existence. En 1903, Rutherford et Frederick Soddy remarquent que le radium «émet aussi des rayons très pénétrants, mais qui n'ont pas été étudiés en détail [...]». Ces rayons n'ont pas été suffisamment examinés pour que l'on puisse discuter du rôle qu'ils tiennent dans les processus radioactifs. En 1904, Marie Curie présente une radiographie gamma dans sa thèse, montrant ainsi une application possible de la découverte de Villard. En éliminant les rayons bêta à l'aide d'un aimant, elle obtient une image plus nette, mais les temps d'exposition nécessaires sont plus long qu'avec les rayons X pour un contraste moindre.

La découverte de Villard dérange parce qu'elle va à l'encontre des connaissances de l'époque sur

la physique et la chimie des rayonnements. Après les travaux de Thomson sur l'électron, les scientifiques ont tendance à supposer que les éléments radioactifs libéraient des particules matérielles. Cette conception s'appliquait aux rayons cathodiques, aux rayons alpha et bêta, mais pas aux rayons gamma. Plus tard, Rutherford et Soddy assimilent les rayons gamma à des rayons X très pénétrants émis par les atomes radioactifs en même temps que les rayons bêta. En 1912, Max Laue établit que les rayons X sont indubitablement des ondes électromagnétiques (ce que Stokes avait suggéré en 1898), en montrant leur diffraction par un cristal. Quelques mois plus tard, Rutherford s'aperçoit que les rayons gamma sont de même nature.

Après la publication de ces deux articles sur les rayons gamma, en 1900, Villard abandonne le sujet. Est-il déçu par le peu d'intérêt que suscite sa découverte ? Quoi qu'il en soit, il se consacre à l'étude des rayons cathodiques et des rayons X, construisant lui-même tous ses appareils de mesure. Notamment, il invente le radioscléromètre, pour déterminer la quantité de rayons X émis dans un tube cathodique. L'intérêt de cet instrument est reconnu 20 ans plus tard, quand le roentgen (ancienne unité d'exposition aux radiations) est adopté. Aujourd'hui, le nom de Villard a quasiment disparu des livres de sciences et d'histoire, malgré l'importante contribution de cet homme à la science des radiations.

**Leif GERWARD est professeur de physique à l'Université technique du Danemark. André RASSAT est professeur de chimie à l'École normale supérieure de Paris.**



# Ordres de grandeur

HERVÉ THIS

*Les systèmes dispersés permettent d'obtenir beaucoup avec peu.*

**L**e cuisinier qui fait des flans cherche souvent, pour des raisons économiques ou diététiques, à limiter la proportion d'œuf ou, ce qui revient au même, à augmenter la proportion d'eau. Jusqu'où peut-il aller ? Bien au-delà de ce que la cuisine fait classiquement.

Pour examiner ce problème, commençons par analyser deux cas voisins : combien de mayonnaise peut-on faire à partir d'un seul jaune d'œuf ? combien de blanc en neige obtient-on à partir d'un seul blanc ?

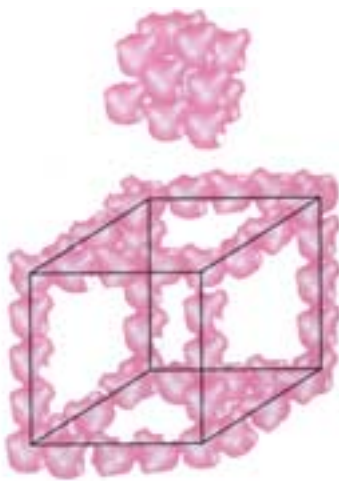
Les livres de cuisine indiquent souvent qu'un jaune d'œuf permet d'obtenir un grand bol de mayonnaise ; or, la compréhension de la physico-chimie de la mayonnaise conduit à la confection de plusieurs litres de sauce. Comment ? La mayonnaise est une dispersion de gouttelettes d'huile dans l'eau, chaque goutte étant entourée de molécules dites « tensioactives », dont une partie se dissout dans l'eau et l'autre pas. La quantité de molécules tensioactives du jaune d'œuf (environ cinq grammes) est suffisante pour couvrir un terrain de football d'une couche monomoléculaire. Aussi, quand ces molécules couvrent des gouttelettes d'huile dont le rayon moyen est de l'ordre du micromètre, ou millionième de millimètre, elles suffisent à stabiliser jusqu'à 25 litres de mayonnaise.

Pourquoi alors les mayonnaises classiques « tournent-elles » quand on y met trop d'huile, conformément à l'observation culinaire ? Parce qu'elles manquent d'eau, où les gouttelettes d'huile se dispersent. La vérification expérimentale est simple... mais elle gâche de l'huile ; faites plutôt un grand bol de mayonnaise à partir d'une seule goutte de jaune d'œuf (qui apporte le tensioactif) dissoute dans une cuillerée d'eau (ou de vinaigre, si vous souhaitez déguster votre préparation).

**P**assons au blanc d'œuf battu en neige. Formellement, il est analogue à la mayonnaise, mais l'huile (insoluble dans l'eau) est remplacée par l'air (bien peu soluble dans l'eau), et les molécules tensioactives, qui « isolent l'air », sont les protéines, qui constituent dix pour cent

du blanc. Le système obtenu n'est plus une émulsion, mais une mousse. D'où la question : combien de blanc en neige obtient-on à partir d'un seul blanc d'œuf ? Là encore, le calcul d'ordres de grandeur est simple : on commence par chercher le nombre de molécules de protéines présentes dans le blanc ; puis on détermine la surface totale que peuvent occuper ces protéines, et l'on détermine ensuite le nombre de bulles d'air qui peuvent être recouvertes par ces protéines ; en multipliant ce nombre par le volume d'une bulle, on obtient le volume maximal de blanc en neige accessible, à partir d'un seul blanc d'œuf : plusieurs litres, voire plusieurs mètres cubes, selon les hypothèses que vous choisirez pour la taille des bulles et le type de recouvrement des bulles par les protéines.

Pourquoi, alors, n'obtient-on généralement qu'un petit décimètre cube de mousse ? Puisque l'air ne manque pas,



**Les deux répartitions extrêmes des protéines que l'on cuit en présence d'eau.**

c'est l'eau qui fait défaut. Vérification expérimentale : à du blanc d'œuf, ajoutons de l'eau et fouettons ; le volume de mousse augmente et un battage assidu procure plusieurs litres de blanc en neige... moins stable toutefois qu'un blanc en neige classique : la stabilité de la mousse dépend en effet de la viscosité de la phase liquide (elle est réduite par l'ajout d'eau) et de la taille de bulles (qui détermine le jeu des forces capillaires,

entre les bulles).

**L**es émulsions et les mousses sont des systèmes dispersés. D'où l'idée : d'autres systèmes dispersés présents en cuisine auraient-ils le même comportement ? Culinairement la question se pose quand on réalise une quiche : sur de la pâte placée dans un moule, on ajoute des lardons et un mélange d'œufs et de lait. Toutefois le cuisinier qui hésite à surcharger ses plats ou à consommer des œufs qui lui semblent plus coûteux que le lait augmente parfois tant la quantité de ce dernier que la quiche reste liquide, à la cuisson. D'où la question : combien d'eau (le lait, c'est de l'eau, en première approximation) peut-on ajouter à un œuf afin d'obtenir ce qui est l'équivalent d'un flan ?

Supposons que les protéines qui assurent la coagulation soient des sphères. Lors de la coagulation, elles peuvent : soit se grouper de façon compacte, et aucune eau n'est incluse ; soit se disposer, adjacentes, selon les arêtes d'un très gros cube, et inclure un volume maximal d'eau ; soit enfin se répartir sur les arêtes d'un réseau que, pour la simplicité du calcul, on considérera comme cubique.

Dans le premier cas, le volume d'eau inclus est nul. Dans le deuxième cas, un calcul simple montre que le volume serait d'un trop grand nombre de mètres cubes pour être admissible. Considérons donc un cas intermédiaire, fondé sur l'observation d'un œuf sur le plat au microscope à force atomique. Cette fois, un calcul d'ordres de grandeur conduit à un volume de flan (ce que la physico-chimie nomme un gel) égal à un litre.

Pour vérifier ce calcul, partons d'un œuf et ajoutons-lui son volume en eau, puis cuissons. Ayant obtenu un flan, refaisons l'expérience en augmentant progressivement la quantité d'eau : deux volumes, trois volumes... On découvre ainsi que l'on fait « gélifier » jusqu'à plus de 0,7 litre d'eau avec un seul œuf, ce qui est du même ordre de grandeur que ce que prévoyait le calcul.

D'autres idées ? La gamme des systèmes dispersés est vaste : nous avons exploré le liquide dispersé dans un liquide, le gaz dispersé dans un liquide, le solide dispersé dans un liquide, mais il reste toutes les autres combinaisons.