

Herschel et les infrarouges

Pour la Science, janvier 2013

[...]

Nous découvrons tous très jeunes l'infrarouge, quand nous sentons la chaleur à distance d'un objet chaud ; et nous savons que ce rayonnement est invisible, car la chaleur se ressent aussi dans l'obscurité la plus totale. Herschel a mis en évidence l'existence de ce rayonnement et a aussi trouvé les premières preuves que la lumière et l'infrarouge sont deux aspects d'un même phénomène, nommé aujourd'hui rayonnement électromagnétique. Lors d'une série d'expériences simples, Herschel a trouvé la première pièce d'une des grandes énigmes de la physique, dont la résolution a nécessité encore un siècle.

[...]

Bien que la lumière visible et le rayonnement infrarouge correspondent à des gammes voisines de longueurs d'onde (voir la figure 3), ces deux phénomènes sont perçus de façons si différentes qu'il est difficile d'imaginer qu'ils sont de la même nature.

[...]

Herschel observait les caractéristiques de la surface du Soleil depuis un certain nombre d'années, et il soumit un article sur le Soleil et les étoiles fixes à la Royal Society en 1794. Parvenir à observer les taches solaires à travers un grand télescope sans s'abîmer les yeux était depuis longtemps un défi. En expérimentant diverses combinaisons de verres colorés et fumés qui servaient de filtres, Herschel nota dans cet article :

« Ce qui semblait remarquable était que, lorsque j'utilisais certains d'entre eux, je ressentais de la chaleur, bien que j'eusse très peu de lumière ; tandis que d'autres me donnaient beaucoup de lumière, mais très peu de sensation de chaleur. »

Cette observation le conduisit à l'idée que les différentes couleurs ont une capacité plus ou moins grande de « chauffer des corps ». Poussant le raisonnement plus loin, Herschel se rendit compte que si la puissance thermique est inégalement distribuée, cela pourrait également être le cas pour la puissance d'éclairement. Il y aurait alors une plage optimale de couleur, mais elle serait différente de celle qui correspond au chauffage maximal. La connaissance de ces propriétés devait l'aider à concevoir le meilleur filtre pour observer le Soleil.

S'appuyant sur son expérience de fabrication de télescopes et en optique, Herschel construisit un instrument pour tester cette hypothèse. [...] Herschel releva des températures, comparant tout d'abord les indications des thermomètres dans les conditions ambiantes pour vérifier la cohérence entre les instruments. Il plaça le thermomètre de mesure dans chaque bande de couleur, en l'y laissant dix minutes pour stabiliser la température. En commençant par le rouge, il obtint une mesure moyenne de 3,8 °C au-dessus de la température ambiante. Le vert et le violet donnaient respectivement 1,8 °C et 1,1 °C.

Grâce à cette expérience, Herschel confirma que la capacité de chauffage n'était pas la même d'une couleur à l'autre de la lumière incidente. Il entreprit alors de mesurer l'éclairement aux différentes longueurs d'onde.

[...]

Herschel était surpris par ses résultats sur la température. Celle-ci augmentait progressivement du violet vers le rouge, sans présenter de maximum sous la forme d'un pic. Les mesures semblaient plutôt suggérer que le chauffage se poursuit dans la région sombre au-delà du rouge. Herschel voulut savoir ce qu'il en était.

Si le maximum se trouve en dehors du spectre visible, alors le chauffage ne provient pas de la lumière, mais d'autre chose. Herschel utilisa l'expression « lumière invisible », avec des termes choisis pour indiquer qu'il savait bien que c'était un oxymore :

« Je conclus de la même façon que le rouge pur est un peu en deçà du maximum de chaleur ; lequel se trouve peut-être un peu plus loin que la réfraction visible. Dans ce cas, la chaleur radiante sera au moins partiellement, voire principalement, constituée, si je peux me permettre l'expression, de lumière invisible ; c'est-à-dire de rayons venant du Soleil, [...] [tels] qu'ils ne sont pas adaptés à la vision. »

[...]

Herschel reprit sa première expérience et mesura la température dans les zones sombres au-delà du rouge. Il utilisa la position des couleurs visibles comme référence pour noter ses points de mesure dans l'infrarouge.

Il releva avec son thermomètre une température qui augmentait jusqu'à atteindre un maximum, puis diminuait. Le ton du deuxième article de Herschel traduit beaucoup d'excitation et de confiance dans sa découverte. Dans toutes ses expériences, il avance rarement des opinions qui ne soient pas solidement étayées par les données, mais il termine cet article par un argument de nature philosophique :

« Pour conclure, si nous nommons lumière ces rayons qui éclairent les objets, et chaleur radiante ceux qui chauffent les corps, on peut se demander si la lumière est différente en essence de la chaleur radiante. En réponse à quoi je suggérerais que les règles de la philosophie ne nous autorisent pas à admettre deux causes différentes pour expliquer certains effets, s'il est possible de les expliquer par une seule. »



Ritter et les ultraviolets

Source : wikipédia

En 1802, étudiant l'effet des différentes couleurs du spectre décomposé par un prisme sur un papier imbibé de chlorure d'argent*, il postula l'existence de rayons invisibles, capables de noircir le buvard au-delà de l'indigo ; Il qualifia ce rayonnement invisible de « rayons oxydants », à la fois pour montrer leur réactivité chimique et les opposer aux « rayons thermiques » (c'est-à-dire infrarouges), découverts deux années auparavant par William Herschel en deçà du rouge du spectre solaire. On adopta peu après l'expression plus simple de « rayons chimiques », qui demeura en usage jusqu'à la fin du XIX^e siècle ; mais finalement les termes de « rayons chimiques » et de « rayons thermiques » le cédèrent aux termes de rayonnement « ultraviolet » et infrarouge, respectivement.



* Le chlorure d'argent est une substance gélatineuse blanche, qui a la propriété de noircir à la lumière. La question de Ritter était de trouver une couleur pour laquelle le noircissement était le plus rapide.

Paul Villard et les rayons gamma

Pour la Science, septembre 2000

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.

[...]

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 heurtent 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.

[...]

Villard 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 radioactif. 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 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'analogie 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.»

[...]

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.

Röntgen et les rayons X

1. La préhistoire : décharges électriques dans les gaz

En 1838, le chimiste et physicien britannique Faraday s'intéresse aux décharges électriques dans les gaz raréfiés grâce au dispositif suivant : une anode et une cathode sont placées en vis-à-vis dans un tube en verre, la cathode est mise sous tension et si celle-ci est assez élevée cela déclenche une étincelle entre les deux électrodes. Si on diminue la pression du gaz dans l'ampoule, on constate que l'apparence de l'étincelle se change en une émanation violette. Faraday pense alors avoir découvert un quatrième état de la matière qu'il nomme « matière radiante ».



Appareil de Faraday

Cette expérience fut reprise tout au long du dix-neuvième siècle en variant de nombreux paramètres (nature du gaz, forme du tube, pression dans l'ampoule...) mais la nature du phénomène observé restait incomprise. Les progrès techniques dans la conception des ampoules à vide et des pompes à vide permettent au physicien allemand Plücker d'observer que le vide poussé (très faible pression) rend le tube très résistant au passage du courant : la haute tension ne provoque plus qu'une fluorescence verte sur certaines parois du tube en verre et en particulier en face de la cathode. En 1869, son élève Hittorf prouve que cette lueur est due à l'arrivée sur le verre de rayons qui se propagent en ligne droite depuis la cathode. Pour cela il dispose une croix métallique face à la cathode et observe l'ombre de cette croix sur la paroi du tube opposée à la cathode. Ces rayons seront nommés « rayons cathodiques ».

Il montre également que les rayons cathodiques peuvent être déviés par un aimant.



Tube de Crookes
Cathode, anode, obstacle (croix de malte)

Par la suite, le chimiste et physicien Crookes perfectionnera encore le dispositif en créant les tubes qui portent son nom. Au sein d'un tube de Crookes, la pression résiduelle est comprise entre 1 et 100 Pa et la cathode est concave pour concentrer le rayonnement. Ce sont ces tubes qui permettront au physicien anglais Thompson d'élucider la nature du rayonnement cathodique en découvrant l'électron en 1897 et à l'allemand Röntgen de découvrir les rayons X.



Mise en évidence des rayons cathodiques
L'arrivée des rayons cathodiques sur la paroi du tube provoque la fluorescence du verre, la croix de malte fait obstacle à ces rayons, on en voit l'ombre sur la paroi du tube

2. La découverte des rayons X

En 1895, le physicien allemand Wilhelm Röntgen alors âgé de 50 ans étudie le rayonnement cathodique avec des tubes de Crookes. Il s'intéresse plus précisément à

la pénétration des rayons dans le verre. Il a déjà été constaté à l'époque que les rayons cathodiques peuvent franchir la paroi du tube et pénétrer de quelques centimètres dans l'air.

Dans la soirée du 8 novembre, au cours de ses travaux préliminaires il décide de recouvrir le tube d'un cache en carton noir. Il constate alors qu'un écran recouvert d'une couche de platinocyanure de baryum placé fortuitement en face du tube devient fluorescent lors de la décharge. Or il sait qu'à cette distance, la fluorescence ne peut pas être due aux rayons cathodiques. Il éloigne encore l'écran et constate que la fluorescence persiste malgré l'augmentation de la couche d'air à traverser. Puis il intercale des objets entre l'ampoule et l'écran : une feuille de papier, une feuille d'aluminium, du bois, du verre et même un livre de mille pages. À chaque fois la fluorescence persiste : il en conclut qu'il vient de découvrir un rayonnement distinct de celui émis par la cathode, très pénétrant puisqu'il est capable de traverser la matière. Ces rayons étant inconnus jusqu'alors, il les nomme « X » du nom de l'inconnue en mathématiques. Il consacre les dernières semaines de 1895 à manipuler en solitaire et parvient à attribuer les caractéristiques suivantes aux rayons X :

Ils sont faiblement absorbés par la matière. Mais cette absorption augmente avec la masse atomique des atomes absorbants : une fine couche de plomb suffit à stopper le rayonnement produit avec ses sources de rayons X.

Ils sont diffusés par la matière. C'est l'origine du rayonnement de fluorescence.

Ils impressionnent une plaque photographique.

Ils déchargent les corps chargés électriquement.

Il montre également que les rayons ont pour origine la paroi du tube de verre à l'endroit où arrive le rayonnement cathodique (i.e. les électrons).

Dans sa première communication faite à la Société Physico-Médicale de Würzburg « Sur un nouveau type de rayon » il remarque que « si l'on met la main entre l'appareil à décharges et l'écran, on voit l'ombre plus sombre des os de la main dans la silhouette un peu moins sombre de celle-ci. » Röntgen décrit la première image radiographique. Il réalise également le premier cliché radiographique le 22 décembre 1895 en intercalant la main de son épouse entre le tube de Crookes et une plaque photographique

Röntgen se verra attribuer le premier Prix Nobel de physique en 1901 en récompense « des services extraordinaires rendus possibles par sa découverte des rayons remarquables qui portent son nom » .



Premier cliché radiographique
(Röntgen, 1895)