

NUCLEAIRE - II

LA DÉCOUVERTE DE LA RADIOACTIVITÉ (2)

Robert Six

VII. ERNEST RUTHERFORD, UN PHYSICIEN DE GENIE

En 1895, le jeune physicien Ernest RUTHERFORD, originaire de Nouvelle-Zélande débarqua en Angleterre. Ses travaux sur la propagation des ondes électromagnétiques lui valurent d'être invité auprès du professeur J.J. THOMSON, au laboratoire Cavendish de Cambridge. Il sera l'un des plus importants chercheurs dans le domaine de la physique nucléaire et nous le retrouverons tout au long des premières décennies du XX^e siècle.

Cette année-là, ROENTGEN découvre les rayons X. Dès le début de février 1896, le professeur J.J. THOMSON se rendit compte que ces rayons rendaient l'air qu'ils traversaient, bon conducteur de l'électricité. Il chercha la cause de ce phénomène et en vue d'accélérer ses recherches, il prit RUTHERFORD comme assistant.

Au bout d'un an et demi de travaux, ils émettent la théorie selon laquelle, les rayons, lors de leur passage dans l'air ou tout autre gaz, arrachent par-ci, par-là une particule chargée négativement. Ces corpuscules seront ensuite désignés sous le terme d'électron. La molécule qui avait perdu son électron acquérait une charge positive. Elle fut désignée sous le nom d'ion par THOMPSON. Dans des conditions normales, l'ion et son électron perdu ayant des charges opposées se recombinaient pour donner une molécule neutre. Si l'opération se passait entre deux électrodes chargées, un courant d'ions positifs se dirigeait vers la cathode (chargée négativement) et les électrons prenaient le chemin de l'anode (chargée positivement) (fig. 5). Un électromètre relié aux électrodes permettait de visualiser et de quantifier le phénomène.

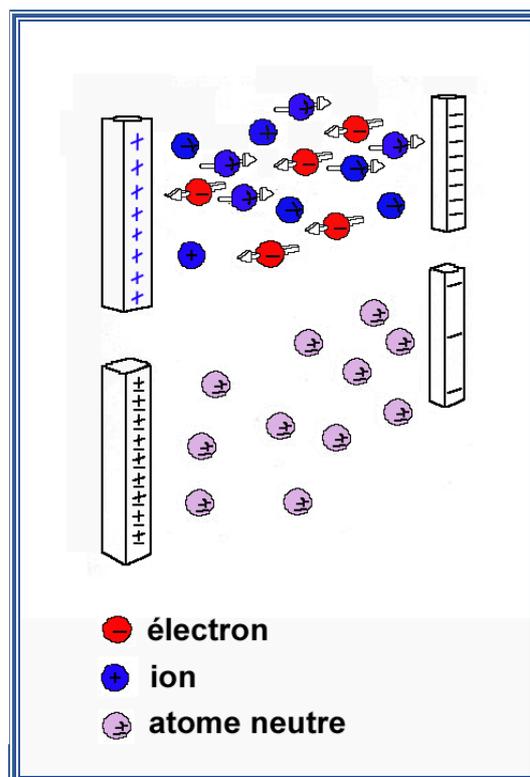


Fig. 5 – Courant ionique

Ensuite RUTHERFORD passa une autre année à étudier la nature des rayonnements émis par l'uranium. Il mesurait leur absorption au travers d'une pile de feuilles d'aluminium de 5 micromètres d'épaisseur et concluait, en janvier 1898 :

« Le rayonnement de l'uranium est complexe ; il comporte au moins deux types distincts de rayonnement – l'un qui est très facilement absorbé et que l'on dénommera par commodité le rayonnement α , et l'autre de caractère plus pénétrant qui sera dénommé rayonnement β ».

Parallèlement, **BECQUEREL** - qui revint à l'étude des corps radioactifs fin **mars 1899** - et d'autres chercheurs, dont les **CURIE**, étudiaient les rayonnements émis par l'uranium. Ils confirmèrent à l'aide de filtres l'hétérogénéité de ceux-ci mis en évidence par **RUTHERFORD** : certains **rayons (β)** étaient **fortement déviés par un champ magnétique ou électrique** et étaient absorbés comme les rayons cathodiques ; d'autres (**α**) n'étaient que **faiblement déviés** et étaient très **peu pénétrants** (fig. 6).

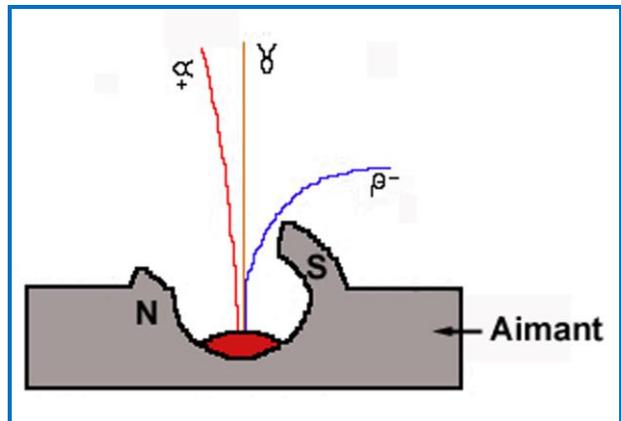


Fig. 6 – Rayonnements radioactifs soumis à l'action d'un aimant

En **avril 1900**, **Paul VILLARD**, du laboratoire de chimie de l'École normale supérieure, montra que le radium émettait également un rayonnement à forte pénétration dans le plomb et qu'il n'était pas dévié par un champ électrique ou magnétique (rayonnement γ). Ce dernier est de même nature que celle des rayons X. **RUTHERFORD** montrera, en **1902-1903**, que les **particules α** sont des **particules massives de charge positive**. Ultérieurement, il démontrera qu'elles correspondent à des atomes d'hélium ionisés.

Durant l'**été 1898** se présenta à **RUTHERFORD** l'opportunité d'occuper un poste de professeur vacant à l'Université McGill à Montréal (Canada). Les expériences qu'il mena dans cette institution au premier plan de la recherche mondiale en physique, l'amèneront à déterminer une série de **caractéristiques primordiales de la radioactivité**. Il se pencha, avec son collègue **OWENS**, sur le rayonnement émis par l'oxyde de thorium. Ils constatèrent des variations capricieuses dans les mesures de celui-ci. A l'abri de l'air, ces anomalies disparaissaient (**1899**). **RUTHERFORD** conçut un appareillage afin d'élucider le phénomène. Il plaça un **collecteur d'ions** à l'extrémité d'un long tube et de l'**oxyde de thorium** enveloppé de papier à l'autre extrémité (fig. 7). Aucun ion n'était détecté dans le collecteur tant que l'air restait immobile. Si un courant d'air était établi, le collecteur réagissait. Arrêtant le courant, et maintenant l'air qui avait baigné l'échantillon dans le collecteur, il constata que l'ionisation se poursuivait pendant de nombreuses minutes : le composé de thorium avait donc émis une substance éphémère, entraînée par le courant gazeux, auquel **RUTHERFORD** donna le nom d'**emanation** (1900). Il remarqua que celle-ci, à son tour, semblait produire une radioactivité temporaire sur tout corps placé à proximité. Cette faculté fut dénommée "**radioactivité excitée**".

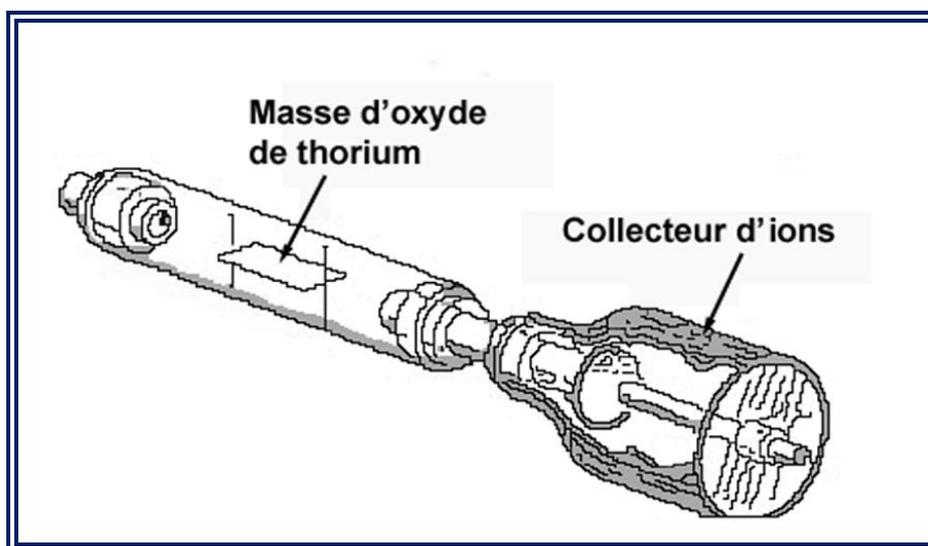


Fig. 7 – Collecteur d'ions

Dans le même temps, **Pierre et Marie CURIE** remarquaient, comme **RUTHERFORD** avec son thorium, une nouvelle propriété singulière du radium :

« En étudiant les propriétés des matières radioactives, préparées par nous (le polonium et le radium), nous avons constaté que les rayons émis par ces matières, en agissant sur des substances inertes, peuvent leur communiquer la radioactivité, et que cette radioactivité induite persiste pendant un temps assez long ».

En **juin 1900**, en Allemagne, **Ernst DORN**, en suivant la **méthode de RUTHERFORD**, s'aperçut que le **radium** émettait lui aussi une **émanation**. **GIESEL**, en premier, en **1902**, remarqua que l'**actinium** émettait également une **émanation extrêmement fugace**.

Il s'avérera que ces diverses **émanations** sont en fait des **gaz inertes** appartenant à la série des gaz rares et en **1923**, on adoptera pour les désigner les noms de : **radon**, **thoron** et **actinon**, proposés par **C. SCHMIDT (1918)**, puis par **Marie CURIE**.

Entre-temps, **RUTHERFORD** fera appel à un jeune chimiste venant d'Oxford, **Frederik SODDY**, pour se joindre à lui dans l'étude de la nature de l'émanation. **Fin 1901, début 1902**, à leur grand étonnement, ils remarquèrent que celle-ci ne provenait pas directement du thorium, mais d'un **radioélément intermédiaire** qu'ils baptisèrent **thorium X**. L'activité de ce dernier diminuait de moitié d'une manière exponentielle en quatre jours environ. Nos deux chercheurs confirmèrent également que le thorium X était un gaz chimiquement inerte, de la famille de l'argon. Les atomes de l'émanation se transformaient en un dépôt solide manifestant cette "radioactivité excitée".

Pas de doute ! Il s'agissait d'une série de transmutations d'un élément en un autre.

Je reviendrai sur ce phénomène dans un prochain article.

De son côté, en **mars 1901**, **Pierre CURIE**, en collaboration avec **André DEBIERNE**, reprenait les expériences sur la **radioactivité induite**. Ils observèrent que les gaz occlus dans le radium étaient également fortement radioactifs. En juillet, ils émirent la théorie suivante :

« On peut admettre que chaque atome de radium fonctionne comme une source continue et constante d'énergie radioactive sans qu'il soit nécessaire, d'ailleurs, de préciser d'où vient cette énergie. L'énergie radioactive accumulée [...] tend à se dissiper [...] 1° par rayonnement ; 2° par conduction, c'est-à-dire par transmission de proche en proche [...] (radioactivité induite) ».

En **janvier 1902**, Pierre et Marie publieront une **note méthodologique** dans laquelle ils avancèrent les hypothèses suivantes :

« [Quant à] l'origine de l'énergie de radioactivité, on peut faire [...] deux hypothèses très générales : 1° chaque atome radioactif possède, à l'état d'énergie potentielle, l'énergie qu'il dégage ; 2° l'atome radioactif est un mécanisme qui puise à chaque instant en dehors de lui-même l'énergie qu'il dégage. [Pour] la première hypothèse, [...] les expériences de vérification, faites jusqu'à présent, ont donné des résultats négatifs [...] [Dans la seconde hypothèse], cette énergie [...] pourrait encore être empruntée à des sources inconnues, par exemple à des radiations ignorées de nous. Il est vraisemblable, en effet, que nous connaissons peu de choses du milieu qui nous entoure, nos connaissances étant limitées aux phénomènes qui peuvent agir sur nos sens, directement ou indirectement. Dans l'étude de phénomènes inconnus on peut faire des hypothèses très générales et avancer pas à pas avec le concours de l'expérience. Cette marche méthodique et sûre est nécessairement lente. On peut, au contraire, faire des hypothèses hardies où l'on précise le mécanisme des phénomènes ; cette manière de procéder a l'avantage de suggérer certaines expériences, et surtout de faciliter le raisonnement en le rendant moins abstrait par l'emploi d'une image. En revanche on ne peut pas espérer imaginer ainsi a priori une théorie complexe en accord avec l'expérience. Les hypothèses précises renferment presque à coup sûr une part d'erreur à côté d'une part de vérité. Cette dernière partie, si elle existe, fait seulement partie d'une proposition plus générale à laquelle il faudra revenir un jour ».

Pierre CURIE préféra la **deuxième hypothèse** et y resta accroché durant plus d'un an et demi jusqu'au moment où il reprendra les expériences de **RUTHERFORD**. Celui-ci avait une approche beaucoup plus pragmatique. Il s'en tenait aux faits expérimentaux, sans a priori, vérifiant systématiquement toutes les explications possibles.

En **janvier 1903**, **Pierre CURIE** poursuit son analyse et écrit :

« M. RUTHERFORD semble croire à la nature matérielle de l'émanation et, dans l'un de ses mémoires les plus récents, il considère comme vraisemblable qu'il s'agit d'un gaz de la nature de ceux du groupe de l'argon. Je pense qu'il n'y a pas actuellement de raisons suffisantes pour admettre l'existence d'une émanation de matière sous sa forme atomique ordinaire.

L'expression d'émanation est commode [...]. J'emploierai également cette expression qui pour moi désigne l'énergie radioactive émise par les corps radioactifs sous la forme spéciale sous laquelle elle est emmagasinée dans les gaz et dans le vide [...]

Reste une troisième hypothèse qui consiste à supposer que l'émanation n'a pas pour support la matière ordinaire, et qu'il existe des centres de condensation d'énergie situés entre les molécules du gaz et qui peuvent être entraînés avec lui ».

A la lecture de cette note, **RUTHERFORD** se fâcha et rétorqua :

« M. CURIE n'a apparemment pas vu notre dernier article [...]. Au vu de ces résultats qui confirment si solidement la théorie de la nature matérielle de l'émanation, la théorie alternative proposée par M. P. CURIE [...] me paraît inutile ».

En mai **1903**, **RUTHERFORD** et **SODDY** généralisèrent l'ensemble de leurs résultats ; ils affirmèrent :

« Dans les minéraux naturels contenant ces radioéléments, ces transformations ont dû se poursuivre continûment sur de très longues périodes, et [...] les produits ultimes doivent s'être accumulés en quantité suffisante pour être observés et doivent apparaître dans la nature comme compagnons permanents des radioéléments [...]. L'hélium est peut-être un de ces produits. [...] L'expulsion d'une particule chargée constitue la transformation [...]. Dans une transformation radioactive, l'atome chimique doit subir une désintégration ».

Ils démontreront que **chaque transformation était caractérisée par une constante radioactive particulière (la probabilité de désintégration)** et établiront la **loi de décroissance radioactive** :

« L'énergie d'une transformation radioactive doit être de vingt mille à peut-être un million de fois plus grande que celle de toute transformation moléculaire. [...] La "vie" du radium ne peut pas être supérieure à quelques milliers d'années [...]. L'existence de cette énergie explique la stabilité des éléments chimiques [...]. Il faut en tenir compte en physique cosmique ».

Loi de décroissance radioactive : le nombre n d'atomes radioactifs d'une même famille qui se « désintègrent » par unité de temps (ou nombre de « rayons » émis) est proportionnel au nombre total N d'atomes, $n = \lambda N$. Le coefficient de proportionnalité λ est nommée constante radioactive : plus λ est grande, plus le corps se désintègre vite. La décroissance radioactive au cours du temps suit ainsi une loi exponentielle : $N = N_0 e^{-\lambda t}$, où t désigne le temps, et N_0 le nombre total d'atomes au temps $t = 0$. Chaque radioélément est ainsi caractérisé par sa constante radioactive, que l'on rapporte généralement au temps T au bout duquel le nombre total d'atomes a diminué de moitié ($N/N_0 = 1/2$). Ce temps, nommé « période » ou « demi-vie », est relié à λ par la relation $T = 0,693/\lambda$.

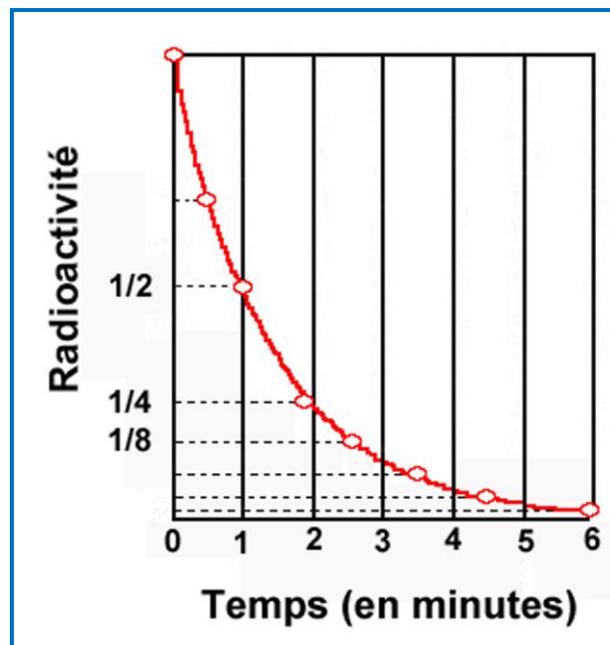


Fig. 8 – Loi de décroissance radioactive

En **mars 1904**, **Pierre CURIE** se rallia de bonne grâce à la théorie de **RUTHERFORD**, mettant fin à une première période dans la découverte de la radioactivité.

Cependant, l'interprétation de ces phénomènes est d'autant plus difficile que l'atome n'apparaît en **1896** que comme hypothèse commode dont la réalité est mise en doute par la majorité des physiciens.

C'est la radioactivité qui permettra de faire avancer les connaissances sur l'atome et d'en démontrer l'existence.

L'origine du rayonnement apparaît d'autant plus mystérieuse que le principe de conservation de l'énergie semble intangible et que l'on ne discernait pas quelle pouvait être la source de l'énergie émise. **BECQUEREL** pensait que le phénomène ne survenait pas dans la partie de l'atome où se font les réactions chimiques mais dans un niveau plus profond.

La **découverte de la radioactivité**, qui initialement avait soulevé moins d'émotion que celle des rayons X, se révéla en quelques années encore plus **féconde** et plus **révolutionnaire**.

Elle conduisit à des connaissances précises sur la structure de l'atome puis du noyau atomique. Elle démontra l'existence d'une transmutation des éléments, introduit le concept d'isotope, s'appuie sur l'équivalence entre matière et énergie pour expliquer l'origine de l'énergie des rayons émis.

En une dizaine d'années la vision du monde fut modifiée, les éléments ne sont plus immuables, la matière, l'électricité, l'énergie, les rayonnements ne sont plus des **grandeurs** continues mais **discontinues constituées de grains de matière** (les particules), **d'électricité** (l'électron), **de lumière** (les photons), **d'énergie** (les quanta).

L'étude de la **décroissance radioactive** imposa une **physique probabiliste** qui peu à peu prendra le pas sur le déterminisme qui régnait jusque là. Le temps n'est plus indéfini, sans début ni fin, car la décroissance radioactive introduit une horloge dans l'univers et permet la datation de la terre, des fossiles ou d'une œuvre d'art. La découverte de la radioactivité est à l'origine d'une véritable **révolution scientifique** dont les conséquences scientifiques, industrielles, médicales et culturelles marqueront tout le XX^e siècle.



Je voudrais terminer cet article par une entrevue de **Marie CURIE** parue dans l'hebdomadaire « *Les Inventions illustrées* », le **5 mars 1911**. Elle nous donne un aperçu de la mentalité journalistique de l'époque, tout empreint d'emphase et d'ironie.

« En ce siècle de reportage, d'interview, comment a-t-il pu se faire que à propos de la découverte inouïe du radium, de la mort du mari de Madame CURIE, de la nomination de cette dernière à une chaire de la Sorbonne, de sa présentation enfin si sensationnelle et si épisodique à l'Académie des Sciences, comment a-t-il pu se faire que personne n'ait été assez tenace pour connaître ses impressions, décrire ce qui l'entoure, interroger enfin ce rébus vivant monosyllabique aux attitudes de sphinx !

Avons-nous été plus heureux que nos confrères ? Peut-être. On va le voir.

Madame CURIE est dans son laboratoire. Elle est debout les bras tombants, l'oeil vague aux plongées lointaines. Son front n'est pas vaste, ses traits n'ont rien de saillant, elle n'est pas jolie, elle n'est pas laide, elle pense. Oh ! pas aux problèmes philosophiques, aux faits du jour, aux changements de ministère, à la robe-culotte. Oh non ! Elle pense que la 48^e capsule qui contient la dernière cristallisation de bromure de radium ne donne encore aucun cristal apparent. Il doit y avoir deux ou trois degrés de trop dans l'atmosphère de la salle. Il faudra encore un fractionnement. Et son regard se perd plus loin, toujours plus loin.

Je suis là cependant, elle ne me voit pas.

Le fractionnement ? cela ne vous dit rien, lecteur, eh bien, c'est pourtant un trait de génie. Où le génie va-t-il se nicher ? Direz-vous.

Ecoutez et vous allez comprendre :

Le bromure de baryum et le bromure de radium sont deux *sels-sosies*. Ils s'accompagnent toujours, ils réagissent de même, ils fondent de même, ils cristallisent de même. Impossible de les séparer. Et pourtant l'un est radioactif, et l'autre ne l'est pas. Comment arriver à isoler le nouveau corps soupçonné, mais non vu, non touché encore, le radium ?

CURIE désespère. Il a tout essayé, toujours baryum et radium sont soudés ensemble. Toutes les méthodes ont échoué. Et pourtant il est là, le radium révolutionnaire, renverseur de science.

Madame CURIE réfléchit toujours, lentement, sûrement comme en rêvant.

Elle a trouvé ! on ne le dirait pas. L'expérience durera trois mois : Commençons, dit-elle.

Elle prend une grande capsule de porcelaine, elle y met le sel des deux corps jumeaux, elle les dissout, elle les chauffe, elle évapore l'eau. Un moment viendra où l'eau étant suffisamment évaporée les sels prendront en masse et cristalliseront par le refroidissement. Elle n'attendra pas ce moment-là car tout serait à recommencer. Elle s'arrêtera lorsqu'un peu de sel cristallisera autour et au fond de la capsule, laissant au milieu, de l'eau-mère saturée. Elle dit alors à son mari : Il doit y avoir quelques millièmes de sel de radium de plus dans l'eau-mère que dans les cristaux. Elle prend

alors cette eau, elle l'évapore à nouveau, elle reprovoque une cristallisation et la seconde eau-mère a plus de radium que la première. D'autre part, elle redissout les premiers cristaux formés et les seconds cristaux contiennent moins de radium que les premiers et ainsi de suite. D'un côté, il y a une eau-mère qui s'enrichit en radium et de l'autre des cristaux qui s'appauvrissent. Bref, un sel de baryum qui se purifie et se sépare de son inséparable.

Finalement, après 50 cristallisations ! 50 fractionnements, il y a d'un côté du bromure de baryum à peu près pur, de l'autre, quelques gouttes d'une liqueur dans un verre de montre qui contiennent quelques milligrammes de bromure de radium pur !

Pur ! il y aurait là de quoi faire évanouir de joie toute autre femme. Madame CURIE ne bouge pas.

Et il a fallu traiter pendant six mois des milliers et des milliers de kilogrammes de minerai d'urane d'Autriche, pour arriver à ces gouttelettes dans un verre de montre !!!

Eh oui, le voilà le Génie, la méthode des fractionnements est trouvée !

Ah ! il faut l'avoir vue comme nous, cette chambrette-laboratoire où un poêle vulgaire réchauffe ces deux êtres qui travaillent sans relâche. Pour qui ? Pour quoi ? Ils ne le savent pas eux-mêmes. Ils vont, ils vont sur la piste de l'inconnu, pauvres, mais toujours heureux. O ! Foi nouvelle, envers de la première qui a nourri l'humanité, foi ardente tout de même, où les conduiras-tu ?

Lui ? à la mort vulgaire, inattendue, stupide.

Elle ? à la renommée, à l'Institut, à l'Immortalité.

- Car, Madame, si l'Académie vous a préféré BRANLY, c'est parce qu'il avait vingt-et-un an de plus que vous, Marie SKLODOWSKA, qui êtes née à Varsovie, (pardon de l'indiscrétion) le 7 novembre 1867 seulement, tandis que lui est né en 1846.

Maxima debetur senectuti reverentia. - L'Académie le sait, mais la prochaine fois votre nomination est certaine.

Et j'accentue ces derniers mots pour bien voir l'effet produit par cette assurance formelle.

Rien ! Madame CURIE ne bouge pas. L'ambition n'existe pas chez elle. Elle range quelques capsules et frotte vivement quelques baguettes de verre. Je crois qu'il faut absolument l'émouvoir par les souvenirs de sa toute jeunesse et réchauffer cette froideur.

- Vous souvenez-vous, Madame, de votre venue à Paris toute jeune ? Dès le premier jour, vous vous consacrez à la physique et aux mathématiques. Les temps sont durs, il faut vivre ; vous sollicitez, je crois, le poste de professeur de physique à l'Ecole Supérieure des femmes de Sèvres ? - Votre voie est trouvée : Professeur, voilà votre avenir. Est-ce exact ?

Un geste des deux mains me semble dire : « Peut-être, ne sais pas ».

Parlons lui, au risque d'être indiscret, de celui qui n'est plus.

- Vous vous mariez en 1895 avec le professeur de physique Pierre CURIE, vous travaillez dans le même laboratoire tantôt pour vous seule, tantôt pour des œuvres suivies en commun.

Votre première collaboration n'est-elle pas relative à un travail sur les propriétés magnétiques de l'acier ?

Cette fois, j'ai parlé d'une chose technique, c'est presque un « Oui » qui s'ébauche sur les lèvres. Mais, est-ce bien un « Oui » ou simplement un léger soupir ? Je poursuis. Qui sait ? En parlant science plus ou moins exactement, cela la fera peut-être parler aussi.

- Ah ! Madame, vous souvenez-vous de ces jours où peu à peu vous découvrez le mystère de la radioactivité du minerai d'uranium causée par la présence des éléments du radium et de ce corps nouveau également que vous avez appelé *Polonium* en souvenir de votre pays natal, la Pologne. Il me semble qu'à ce nom de Pologne quelque chose a tressailli en elle, mais n'est-ce pas plutôt un léger crépitement qui s'est fait entendre dans un appareil chauffant doucement sous la grande hotte du laboratoire ?

- Pour cette découverte vous avez reçu avec votre mari et Henri BECQUEREL le grand prix Nobel. Cela a dû être pour vous un beau jour. Hélas, il fut suivi peu après, en 1906, d'une effroyable catastrophe où votre pauvre mari trouva la mort.

Mais, Madame CURIE ne m'écoute pas, depuis un moment un second crépitement plus violent que le premier a soulevé un ballon de verre qui chauffe sur un bec Bunsen. Toute son attention est là.

L'expérience a peut-être pour but de rechercher la densité de l'émanation du radium. Le radium a pour poids atomique 226.5 et un premier résultat a donné pour l'émanation 222.5. Tout est là. Pensez donc, voilà un chiffre nouveau, une donnée certaine !

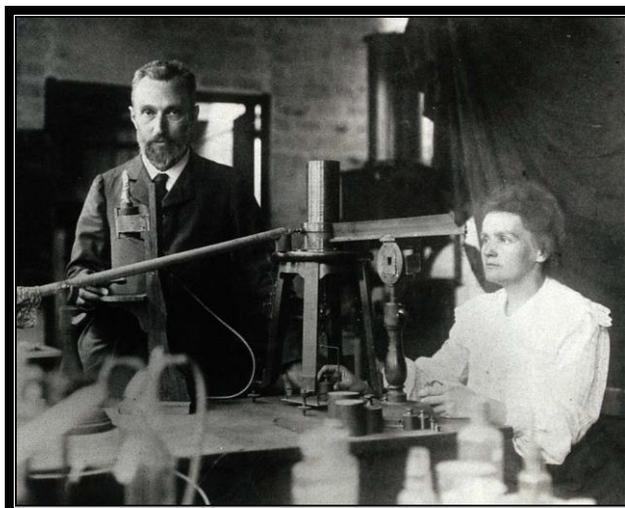
Je n'existe donc pas dans ces conditions. Inutile d'insister. Je salue, je me retire à reculons : Madame...

O ! miracle, elle m'a aperçu, son visage s'éclaire, une lueur de bonté jaillit de son regard. C'est presque un sourire. Et sa main esquisse un cordial salut.

- Adieu !

Ciel : elle a dit adieu ! Elle a parlé. J'ai eu une interview de Madame CURIE. Pends-toi, o « Matin » ! »

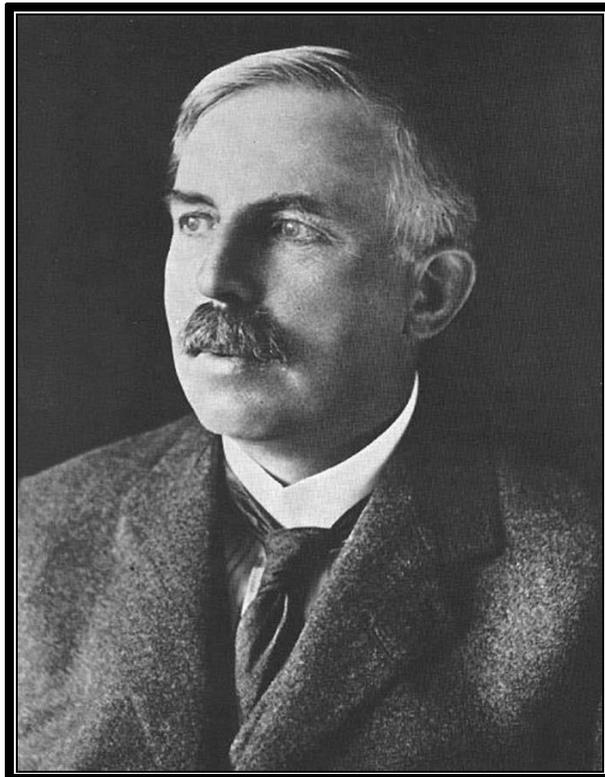
Francis LAUR.



Marie et Pierre Curie dans leur laboratoire

BIBLIOGRAPHIE

- **CURIE E.** (1938) - *Madame Curie*, Gallimard.
- **DUPUY G.** (1949) - *Radium, radioactivité, énergie nucléaire*, Presses Universitaires de France, coll. « Que sais-je ? », n° 33.
- **GURAIN G.** (1964) – *L'uranium*, Presses Universitaires de France coll. « Que sais-je ? », n° 1070.
- **LAUR L.** (1911) - *Une interview de Madame Curie*, in *Les Inventions illustrées*, hebdomadaire, 14^e année - n° 9, 5 mars.
- **RADVANYI P.** (1995) - *Les rayonnements nucléaires*, Presses Universitaires de France coll. « Que sais-je ? », n° 844.
- **RADVANYI P.** (2002) - *Les Curie, deux couples radioactifs*, in *Pour la Science*, coll. *Les génies de la science*, novembre 2001-février.
- **ROMER A.** (1960) - *La découverte de l'atome*, Petite Bibliothèque Payot, n° 26.
- **URBAIN G., BOLL M.** (sous la direction) (1933) - *La Science ses progrès, ses applications*, Tome 2, Librairie Larousse, Paris.



Ernest RUTHERFORD

(À suivre... « La course au Radium »)

