

A black and white photograph of Marie and Irène Curie in a laboratory. Marie is on the left, wearing a dark dress, looking down at a piece of equipment on a table. Irène is on the right, also in a dark dress, looking towards Marie. The background shows laboratory equipment and a chalkboard.

*Marie et Irène Curie :*

*Deux chimistes à l'origine de la  
découverte de l'énergie nucléaire*

*Pr Jacques Foos (CNAM)*

*U T B Chalon/Saône 11 février 2014*

# Deux chimistes : Marie et Irène Curie

Découverte du phénomène  
de radioactivité naturelle

(M. Curie avec P. Curie et H. Becquerel)

**Prix Nobel 1903 et 1911**

Découverte du phénomène de  
radioactivité dite « artificielle »

(Irène Joliot-Curie avec F. Joliot)

**Prix Nobel 1935**

Découverte du phénomène  
de fission provoquée

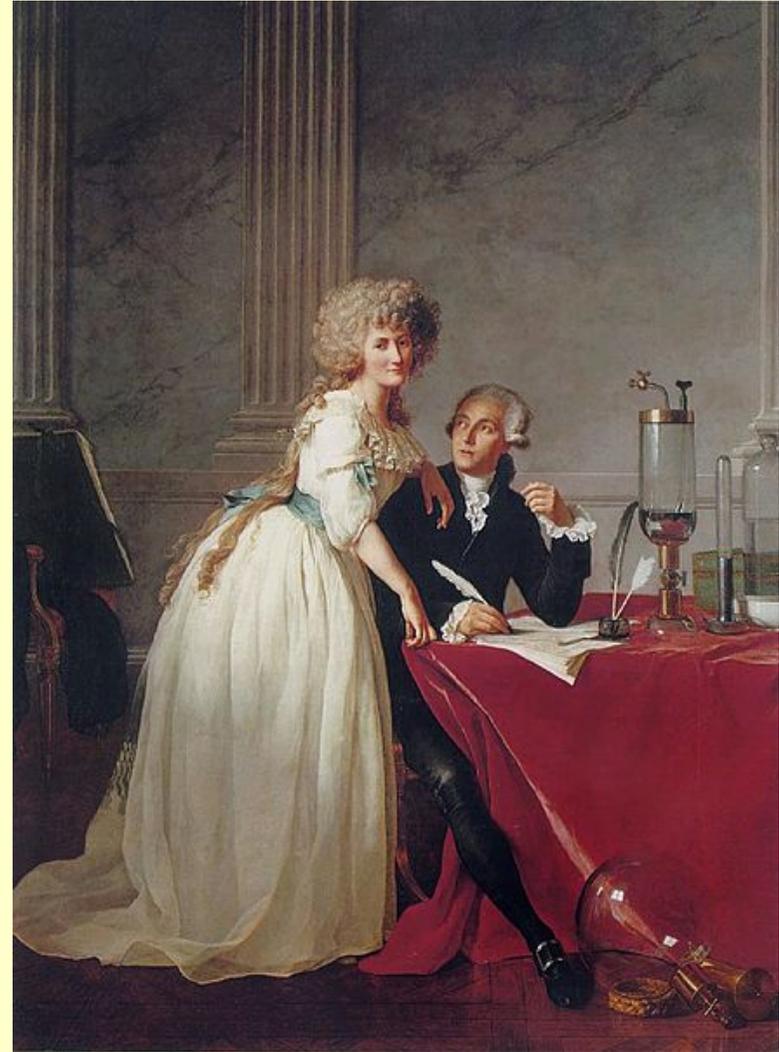
(Irène Joliot-Curie avec O. Hahn, L. Meitner  
et F. Strassmann)



# Le siècle des lumières

**Le XIX<sup>e</sup> siècle va être le siècle des lumières pour les Sciences et Techniques.**

**Il s'appuie sur les travaux d'Antoine Lavoisier, guillotiné par la Révolution et sur la création ou le développement ... par la même Révolution, des Grandes Écoles.**

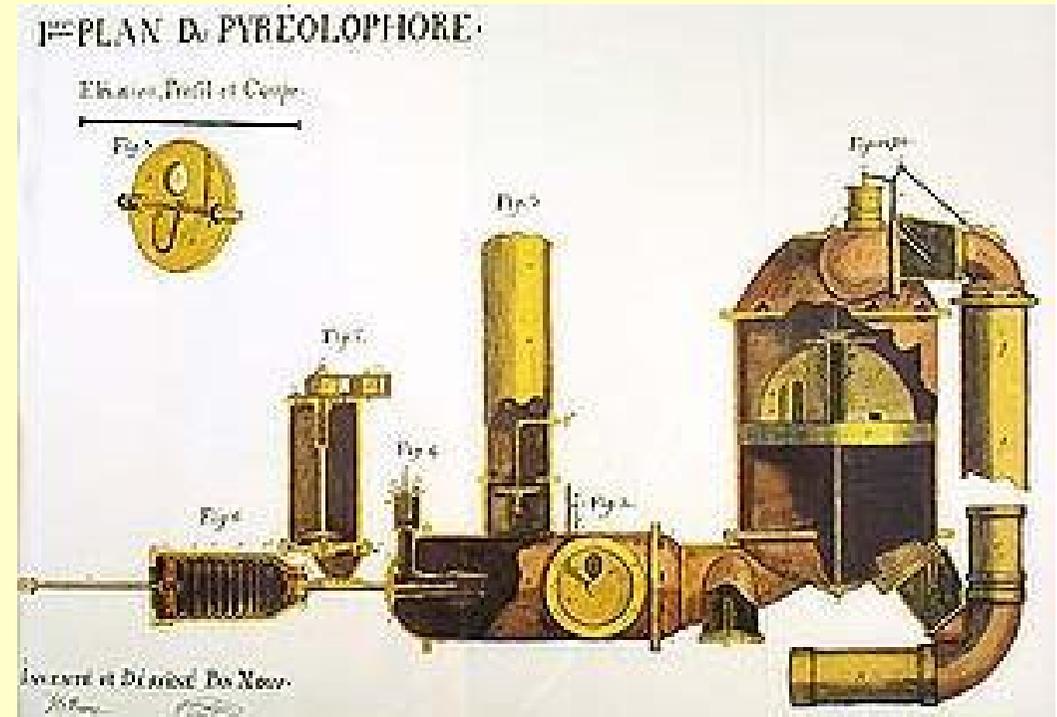


## Joseph Nicéphore Niépce (1765-1833)



**1826 : invention de la photographie et premier cliché**

# Joseph Nicéphore Niépce (1765-1833)



**1826 : invention de la photographie**

## Antoine-César Becquerel (1788 – 1878)

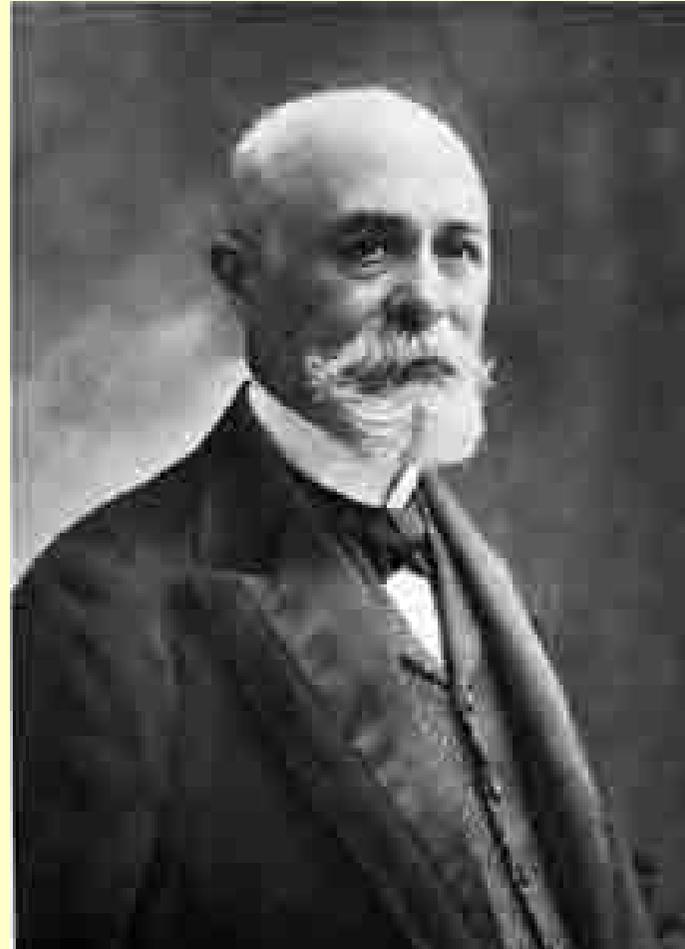
L'un des premiers élèves de l'École Polytechnique (1806). Recherches sur les courants électriques. Membre de l'Académie des Sciences en 1829 (Président en 1838), année où il est nommé Professeur au Muséum d'Histoire Naturelle.

Il s'installe alors au 57 rue Cuvier où il aménage son laboratoire où vont y travailler, pendant 115 ans, son fils Edmond (X 1837), son petit-fils Henri (X 1872) et son arrière petit-fils Jean (X 1897).



## Alexandre-Edmond Becquerel (1820 – 1891)

**Assistant de son père  
au Muséum, assistant à  
la Sorbonne ; il est élu  
à la Chaire de Physique  
au CNAM en 1852.**



# Alexandre-Edmond Becquerel (1820 – 1891)

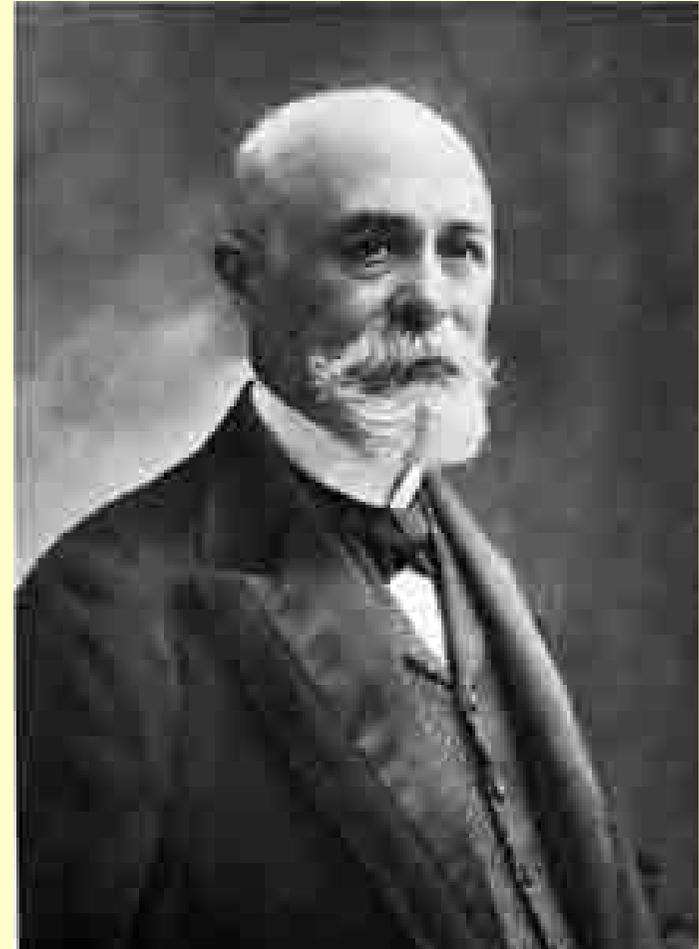
Assistant de son père  
au Muséum, assistant à  
la Sorbonne ; il est élu  
à la Chaire de Physique  
au CNAM en 1852.



## Alexandre-Edmond Becquerel (1820 – 1891)

Assistant de son père au Muséum, assistant à la Sorbonne ; il est élu à la Chaire de Physique au CNAM en 1852. Membre de l'Académie des Sciences en 1863 (Président en 1880) ; succède à son père au Muséum d'Histoire Naturelle en 1878.

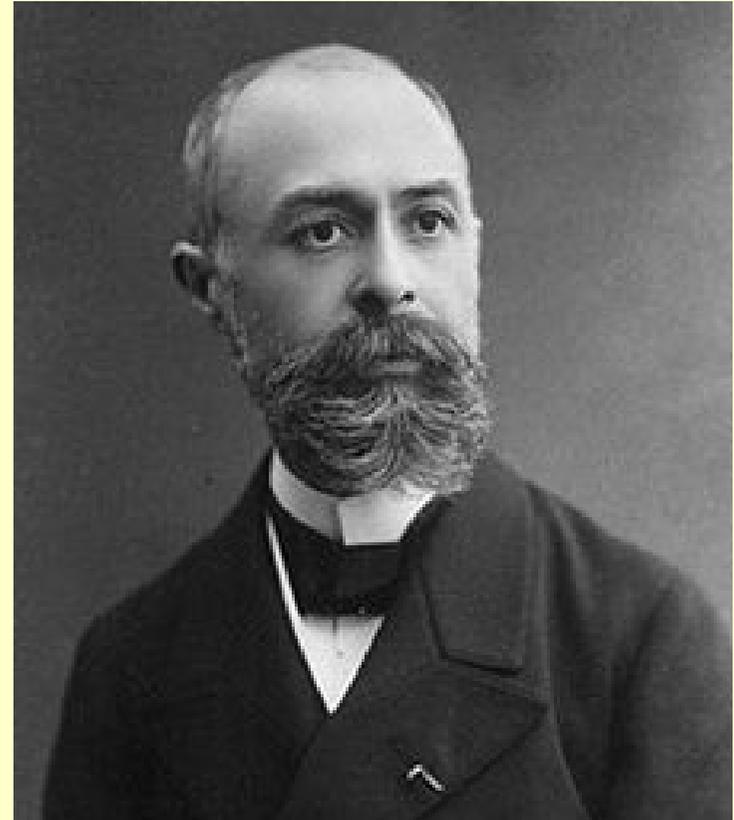
Travaux majeurs : luminescence et phosphorescence.



## Antoine-Henri Becquerel (1852 – 1908)

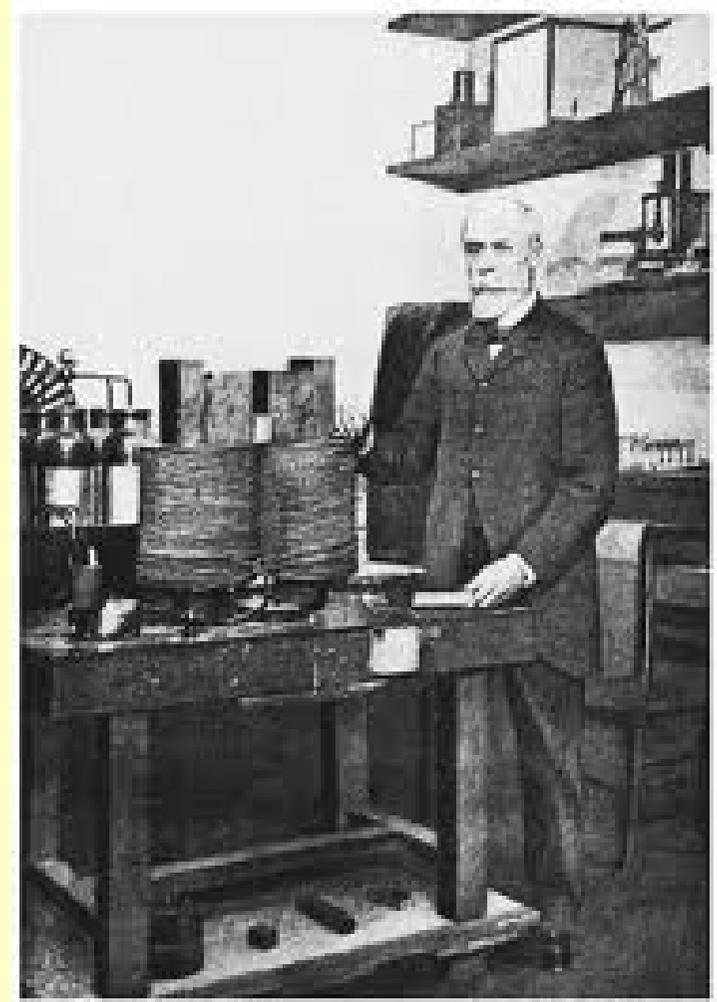
Lui aussi enseignant au Muséum,  
au CNAM et à l'École Poly-  
technique.

Reprend les travaux de son père  
sur les phénomènes de phospho-  
rescence jusqu'à la découverte des  
rayons X par Röntgen.

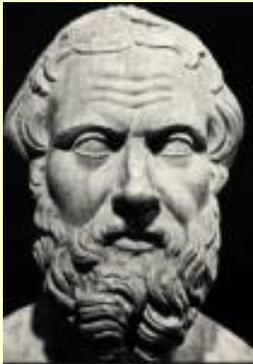


# Antoine-Henri Becquerel (1852 – 1908)

Où en sommes nous de la notion  
d'atomes en 1895 ?



*"Le doux et l'amer, le chaud et le froid, les couleurs ne sont que des apparences. En réalité, il n'y a que les atomes et le vide. Tout ce qui existe résulte des chocs et des combinaisons qui ont lieu entre d'infimes corpuscules insécables, tous faits de la même matière et doués de mouvement, les atomes ... Ces atomes sont invisibles"*



***DÉMOCRITE (vers 460 - vers 370 av J-C)***

*"Car s'il y avait des atomes dans la nature, cela irait contre les plus grands principes de la raison"*



***LEIBNITZ (1646 - 1716)***

**En 1895**

**Le modèle de l'atome est celui de J. J. Thomson :**

**Une petite bille pleine dont les dimensions sont de l'ordre de l'angström : un dixième de milliardième de mètre**



# 1895 : découverte des rayons X par W. Röntgen

1895 : découverte des rayons X par W. Röntgen



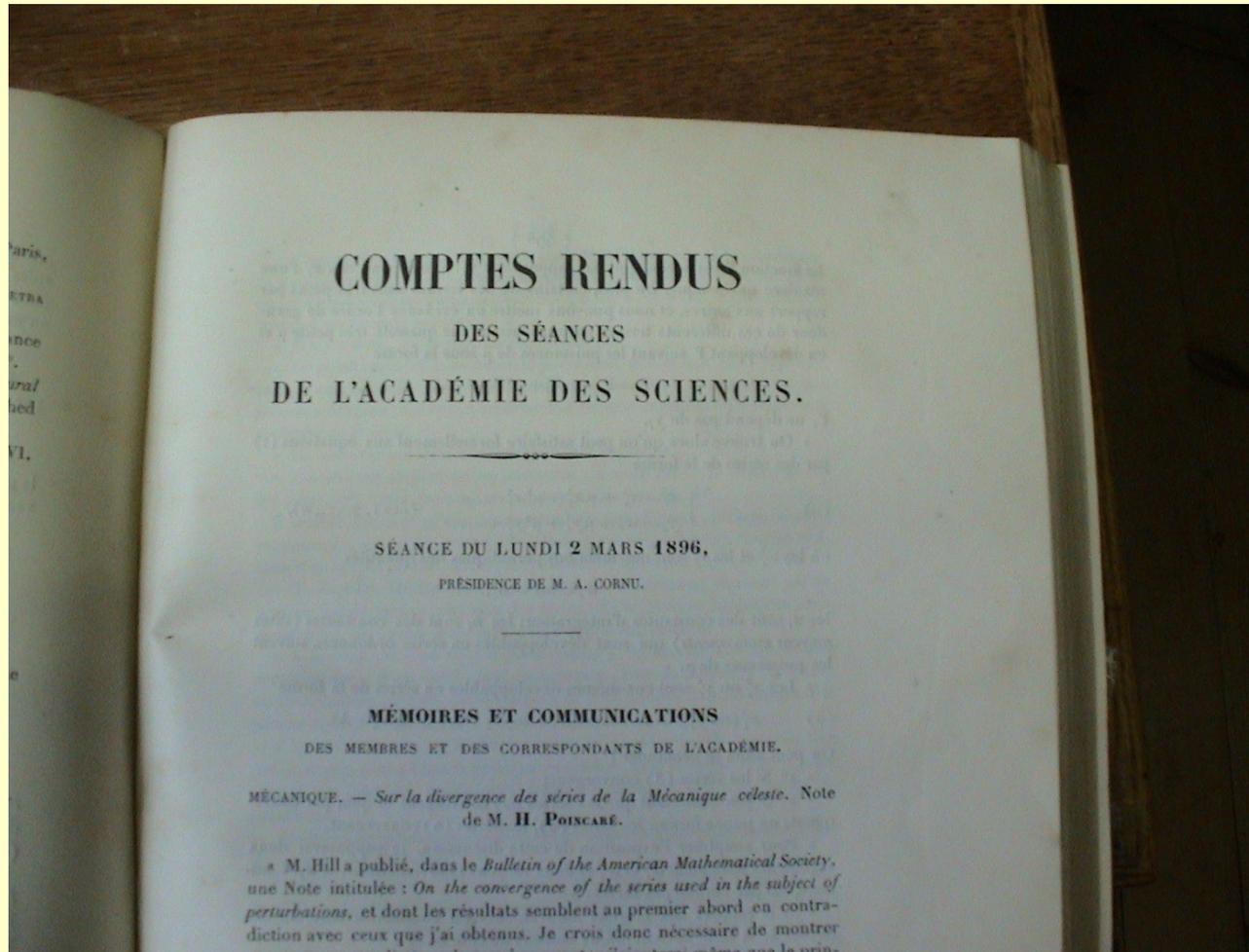
# 1896 : découverte des rayons uraniques par H. Becquerel

1896 : découverte des rayons uraniques par H. Becquerel



*Professeur Jacques Foos -12 février 2014*

# 1896 : découverte des rayons uraniques par H. Becquerel



# 1896 : découverte des rayons uraniques par H. Becquerel

Sur les radiations invisibles émises par les corps phosphorescents

Note de Mr Henri Becquerel

De tous ces faits il résulte que le rôle des rayons cathodiques dans les expériences de Röntgen semble se borner à exciter la fluorescence du verre spécial composant l'ampoule de Crookes. »

sibles émises par certains corps phosphorescents, radiations qui traversent divers corps opaques pour la lumière.

» J'ai pu étendre ces observations, et, bien que je me propose de continuer et de développer l'étude de ces phénomènes, leur actualité me conduit à exposer, dès aujourd'hui, les premiers résultats que j'ai obtenus.

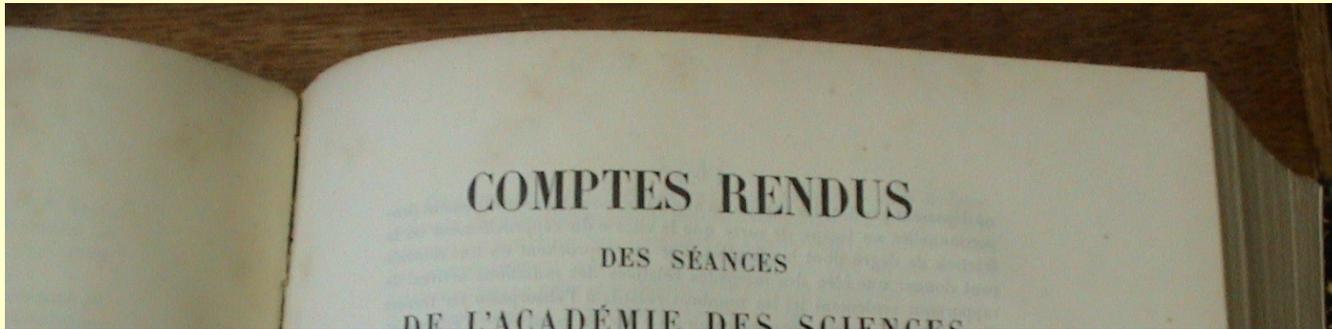
» Les expériences que je rapporterai ont été faites avec les radiations émises par des lamelles cristallines de sulfate double d'uranyle et de potassium

« Les expériences que je rapporterai ont été faites avec les radiations émises par des lamelles cristallines de sulfate double d'uranyle et de potassium, corps dont la phosphorescence est très vive. »

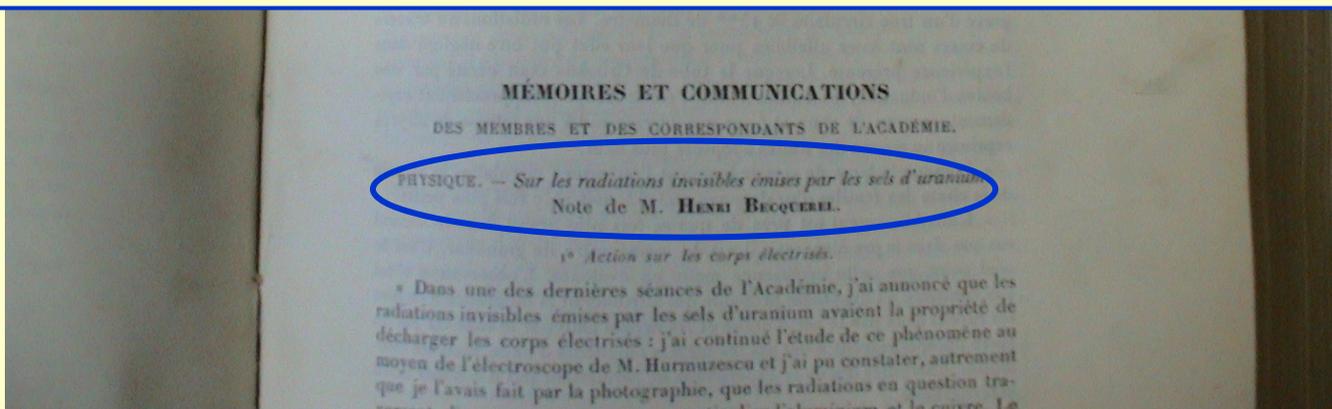
« On peut vérifier très simplement que les radiations émises par cette substance, quand elle est exposée au soleil ou à la lumière diffuse du jour traversent non seulement des feuilles de papier noir mais encore divers métaux, par exemple une plaque d'aluminium et une mince feuille de cuivre. »

dans un châssis opaque en toile noire, fermé d'un côté par une plaque

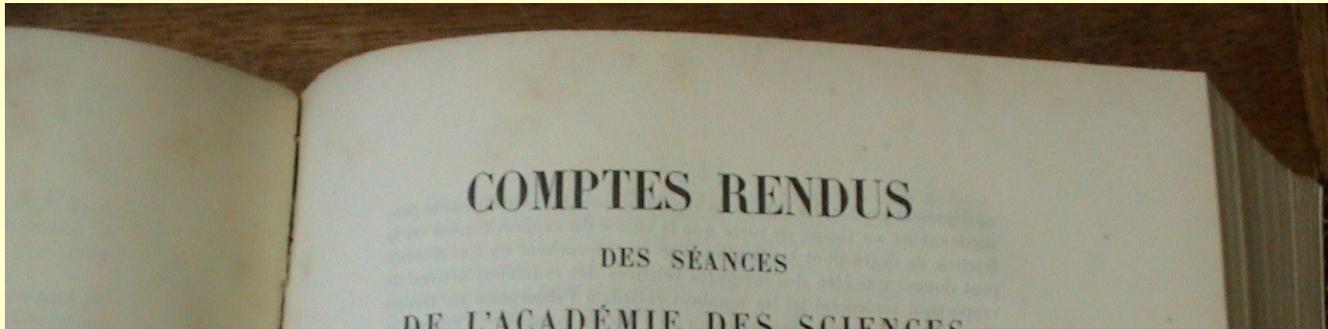
# 1896 : découverte des rayons uraniques par H. Becquerel



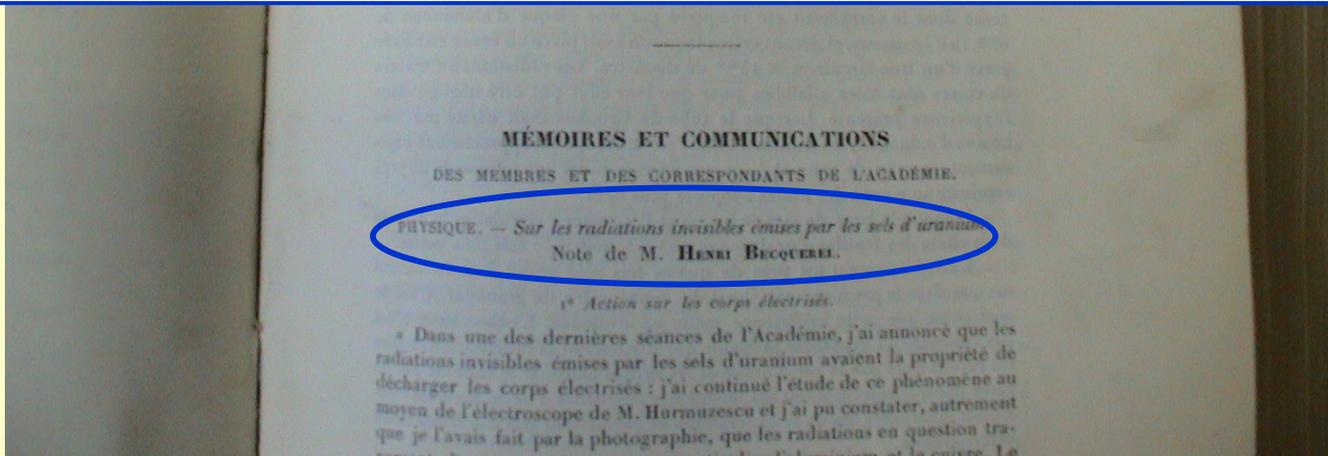
## Sur les radiations invisibles émises par les sels d'uranium Note de Mr Henri Becquerel



# 1896 : découverte des rayons uraniques par H. Becquerel



Où en sont les acteurs du « nucléaire » en 1896 ?



## Les divers acteurs du « nucléaire »

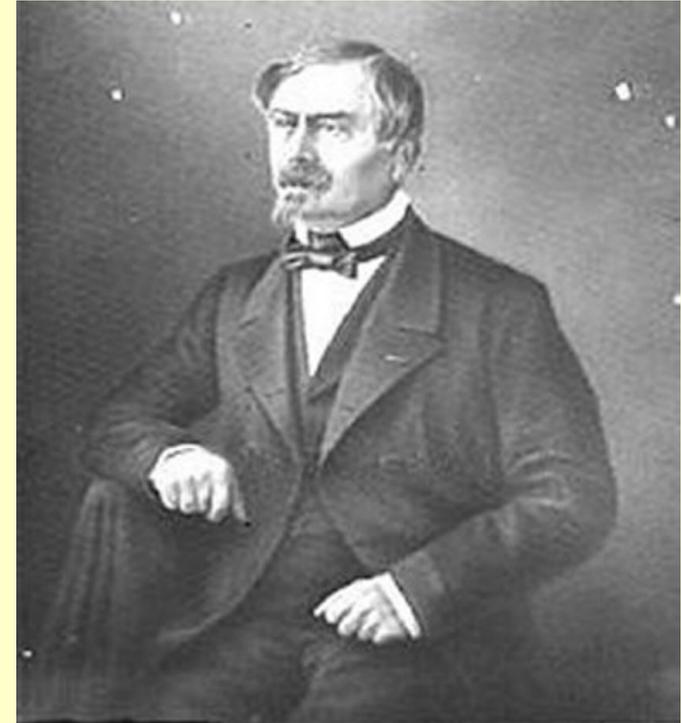
**En 1896 : H. Becquerel a 44 ans ; P. Curie a 37 ans**  
**M. Curie a 29 ans ; J. J. Thomson a 40 ans**  
**E. Rutherford a 26 ans ; A. Einstein a 17 ans**  
**M. Planck a 38 ans ; N. Bohr a 11 ans**  
**O. Hahn a 17 ans ; L. Meitner a 18 ans**  
**J. Chadwick a 5 ans ; E. Schrödinger a 9 ans**  
**L. de Broglie a 4 ans ; A. Compton a 4 ans**

**et I. Curie a -1 an ; F. Joliot a -4 ans**  
**W. Pauli a -4 ans ; W. Heisenberg a -5 ans**  
**E. Fermi a -5 ans ; J. Oppenheimer a -8 ans**  
**E. Teller a -12 ans ; G. Seaborg a -16 ans**

## Abel Niépce

En réalité, pour être tout à fait honnête avec l'Histoire, c'est *Abel Niépce (dit «de Saint Victor» ; 1805-1870)*, petit-cousin de Nicéphore Niépce, qui, le premier, a observé de façon fortuite l'impression de plaques photographiques par un dépôt de sels d'urane en 1858.

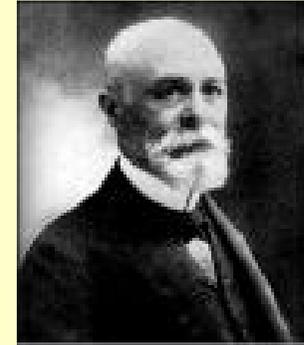
Il pressent l'importance du phénomène en cause mais se méprend sur son origine et ne pousse pas plus avant les expériences, ce que va faire Henri Becquerel, 35 ans plus tard.



# HISTORIQUE

\* H. Becquerel (1896)

→ uranium



# L'uranium ( $Z = 92$ )

Découvert en 1789 par **Martin Heinrich Klaproth**



*Professeur Jacques Foos -12 février 2014*

## L'uranium (Z = 92)

*“ Je donne à ce métal nouveau le nom d'uranium ... ”*

**« Il faut par conséquent bannir de la nomenclature les noms décevans de Pechblende & de Eifenpecherz. On doit affigner un nom nouveau à ce foffile, & le lui conferver exclusivement. Je me prévaux des droits incontestables de tout inventeur, & je donne à ce métal nouveau le nom d'**Uranium**, ou urane, emprunté de la planète Urane, dont la découverte est également récente). »**

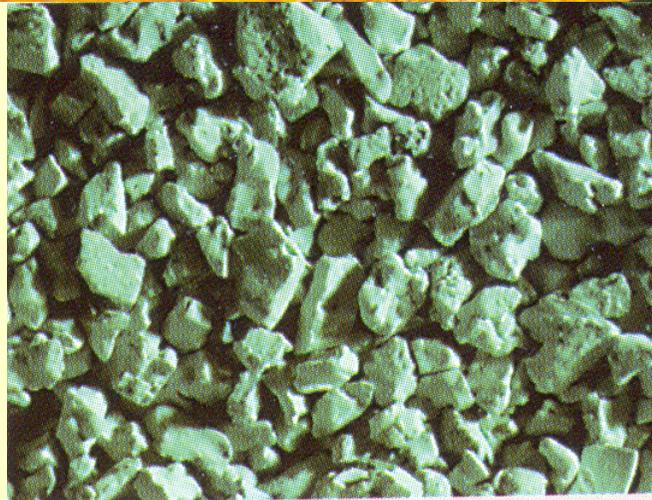
*Extraits du Mémoire de M. H. Klaproth – Mémoires de l'Académie royale de Berlin - 1792 - Page 172, § 30.*

## L'uranium ( $Z = 92$ )

**Eugène Peligot** montre en 1841 que la substance isolée par Klaproth est en réalité l'oxyde  $\text{UO}_2$  et il obtient l'uranium métallique.



# L'uranium connu alors pour les très jolies couleurs de ses sels et cristaux



*Professeur Jacques Foos -12 février 2014*

# La classification périodique en 1896

																		H 1	élément stable																		He 2
Li 3	Be 4	élément radioactif																		B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10												
Na 11	Mg 12																			Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18												
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36																				
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	élément radioactif	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54																				
Cs 55	Ba 56	<sup>57</sup> <sub>a</sub> 71		Ta 73	W 74		Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	élément radioactif	élément radioactif	élément radioactif																				
← ns →		← (n-1)d →														← np →																					
	La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	élément radioactif	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70																							
	← (n-2)f →																																				
	élément radioactif	Th 90	élément radioactif	U 92	élément radioactif																																

**1896 - 98 : Marie puis Pierre Curie  
reprennent ces travaux**

## Pierre Curie (1859-1906)

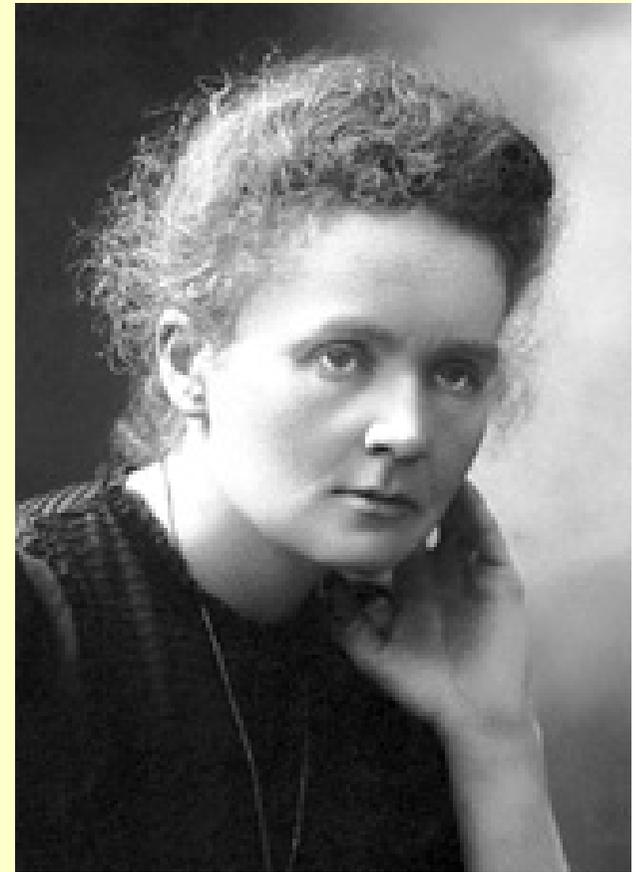
Instruit par ses parents, il passe le Baccalauréat à 16 ans ; licencié es Sciences à 18 ans (1877). Nommé préparateur-adjoint au Laboratoire de physique de la Faculté des Sciences de Paris l'année suivante puis préparateur en 1880, il découvre l'effet piézo-électrique avec son frère, Jacques.

**1895** : Thèse de Doctorat le 6 mars (loi de Curie et point de Curie) ; Professeur d'électricité et de magnétisme à l'EMPCI de Paris, le même mois et mariage avec Marie Sklodowska le 26 juillet.



# Marie Sklodowska Curie (1867-1934)

Née à Varsovie (empire russe). Diplôme de fins d'études secondaires à 16 ans (médaille d'or). Paris en 1891 où elle s'inscrit le 3 novembre à la Faculté des Sciences. Reçue 1<sup>ère</sup> en licence de Physique en 1893 et 2<sup>nde</sup> à celle de Mathématiques l'année suivante.



RÉPUBLIQUE

FRANÇAISE.

# Diplôme de Licencié en Sciences physiques.

Le Ministre de l'Instruction publique,

Voit le Certificat d'aptitude au grade de Licencié en Sciences physiques accordé, le 29 Juillet 1893  
par les Professeurs de la Faculté des Sciences de Paris, Académie de Paris  
au sieur M. Sklodowski, Marie, née Salomon, née à Posen,  
département de Poznan, le 7 Novembre 1867.

Voit l'approbation donnée à ce Certificat par le Bureau de l'Académie,  
le 21 Août 1893.

Et, par les présentes, a été décerné à M<sup>lle</sup> Sklodowski le Diplôme de Licencié en Sciences physiques  
pour en jouir avec les droits et prérogatives qui y sont attachés par les lois, décrets et règlements.

Fait à Paris, au 1<sup>er</sup> Bureau du Ministère de l'Instruction publique,

le 22 Septembre 1893

Par le Ministre, en l'absence

de M. Combes, le Ministre délégué

Le 22 Septembre 1893  
J. Skłodowska

Marie Skłodowska

et de l'Académie

Le Ministre de l'Instruction publique,

signe P. Brousseau

Le 29 Novembre 1893

de 25

## Marie Skłodowska Curie (1867-1934)

Née à Varsovie (empire russe). Diplôme de fins d'études secondaires à 16 ans (médaille d'or). Paris en 1891 où elle s'inscrit le 3 novembre à la Faculté des Sciences. Reçue 1<sup>ère</sup> en licence de Physique en 1893 et 2<sup>nde</sup> à celle de Mathématiques l'année suivante.

Rejoint en 1894 le Laboratoire où travaille Pierre Curie sur le magnétisme. Prépare le concours d'agrégation « pour l'enseignement des jeunes filles » section Mathématiques (reçue 1<sup>ère</sup>). Elle refuse alors un poste d'enseignante pour préparer une thèse de Doctorat.

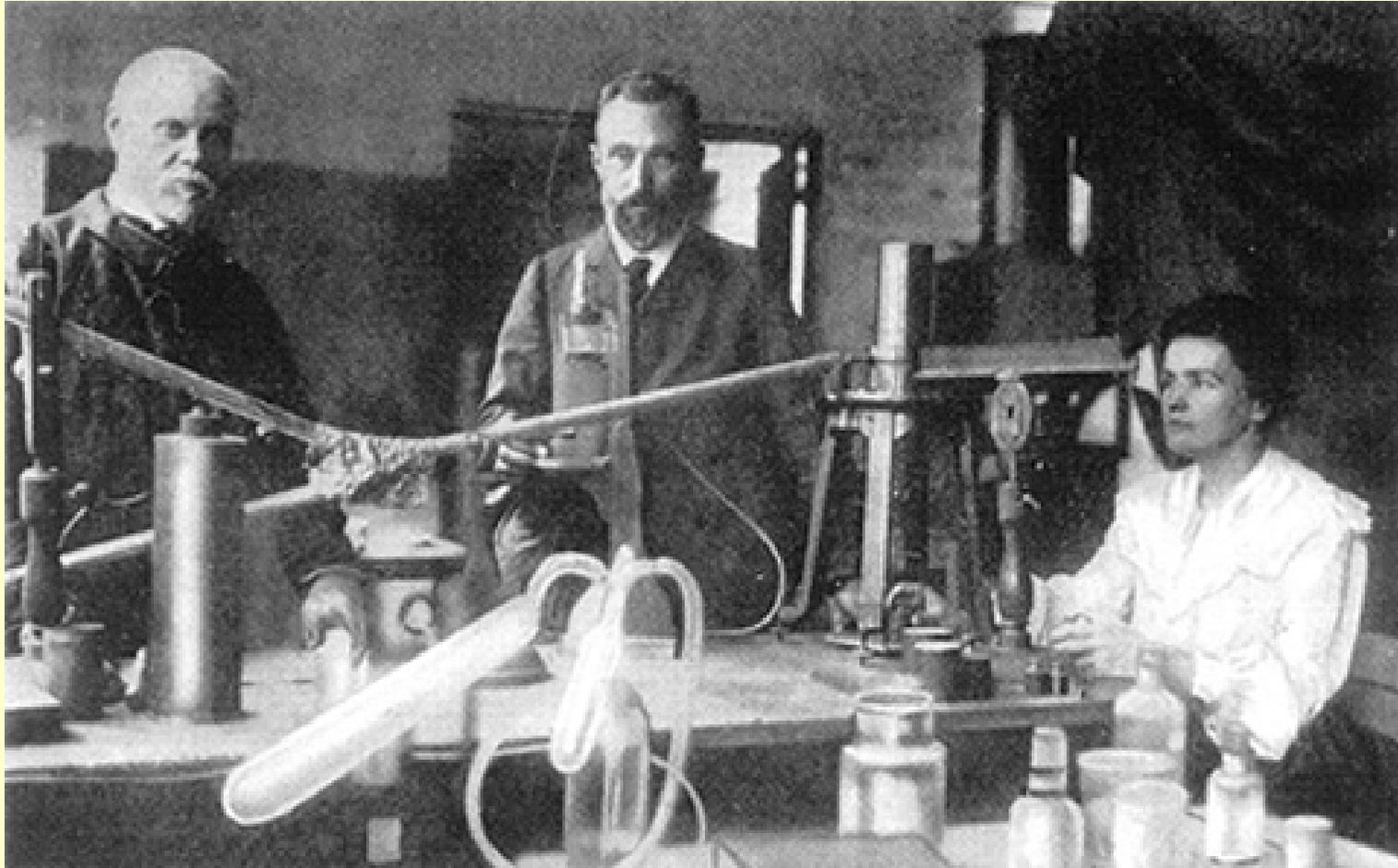
Le 26 juillet 1895, elle épouse Pierre Curie.



# 1896 - 98 : Marie puis Pierre Curie reprennent ces travaux



# 1896 - 98 : Marie puis Pierre Curie reprennent ces travaux



*Avec Mr Petit, assistant de P. Curie*

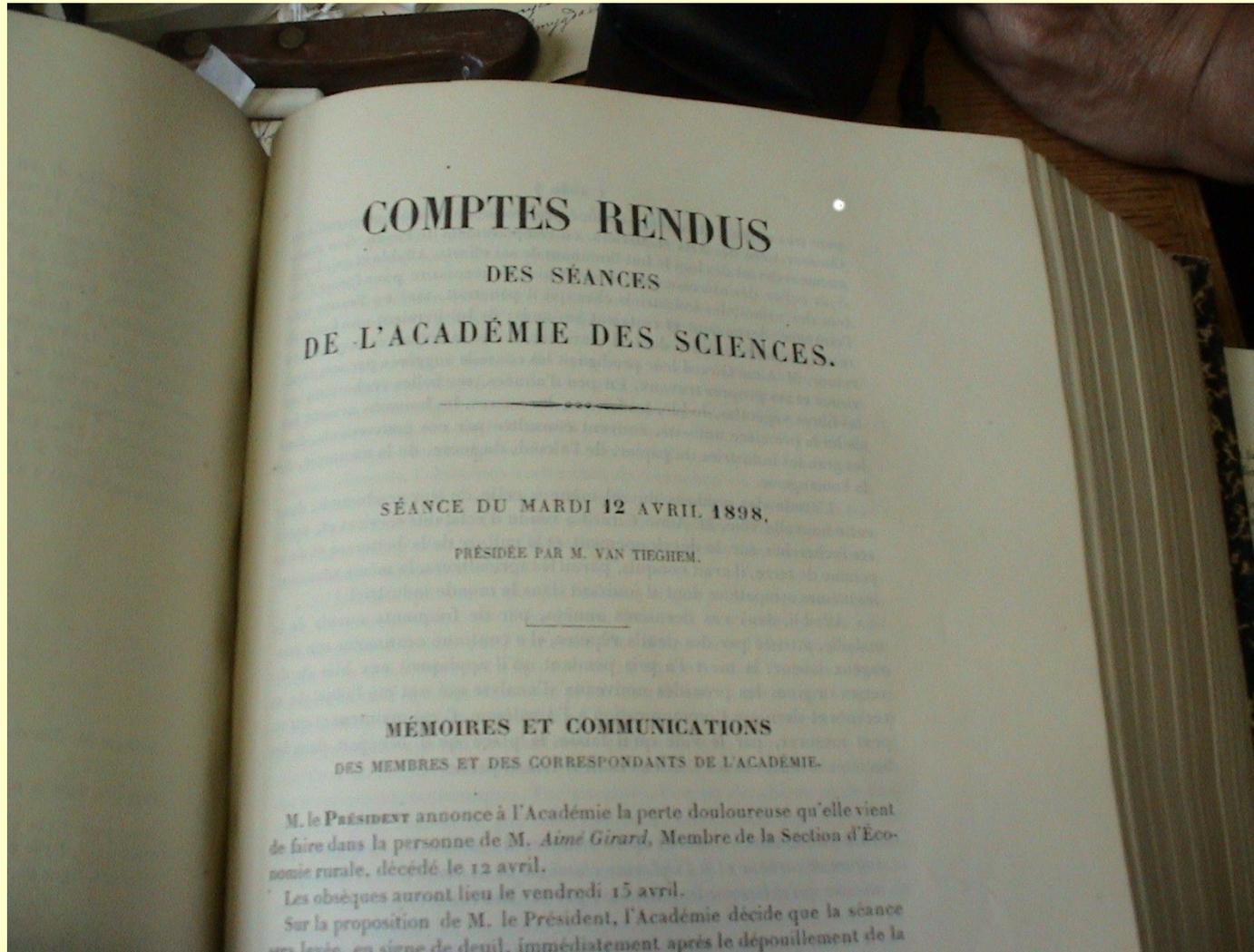
*Professeur Jacques Foos -12 février 2014*

# 1896 - 98 : Marie puis Pierre Curie reprennent ces travaux



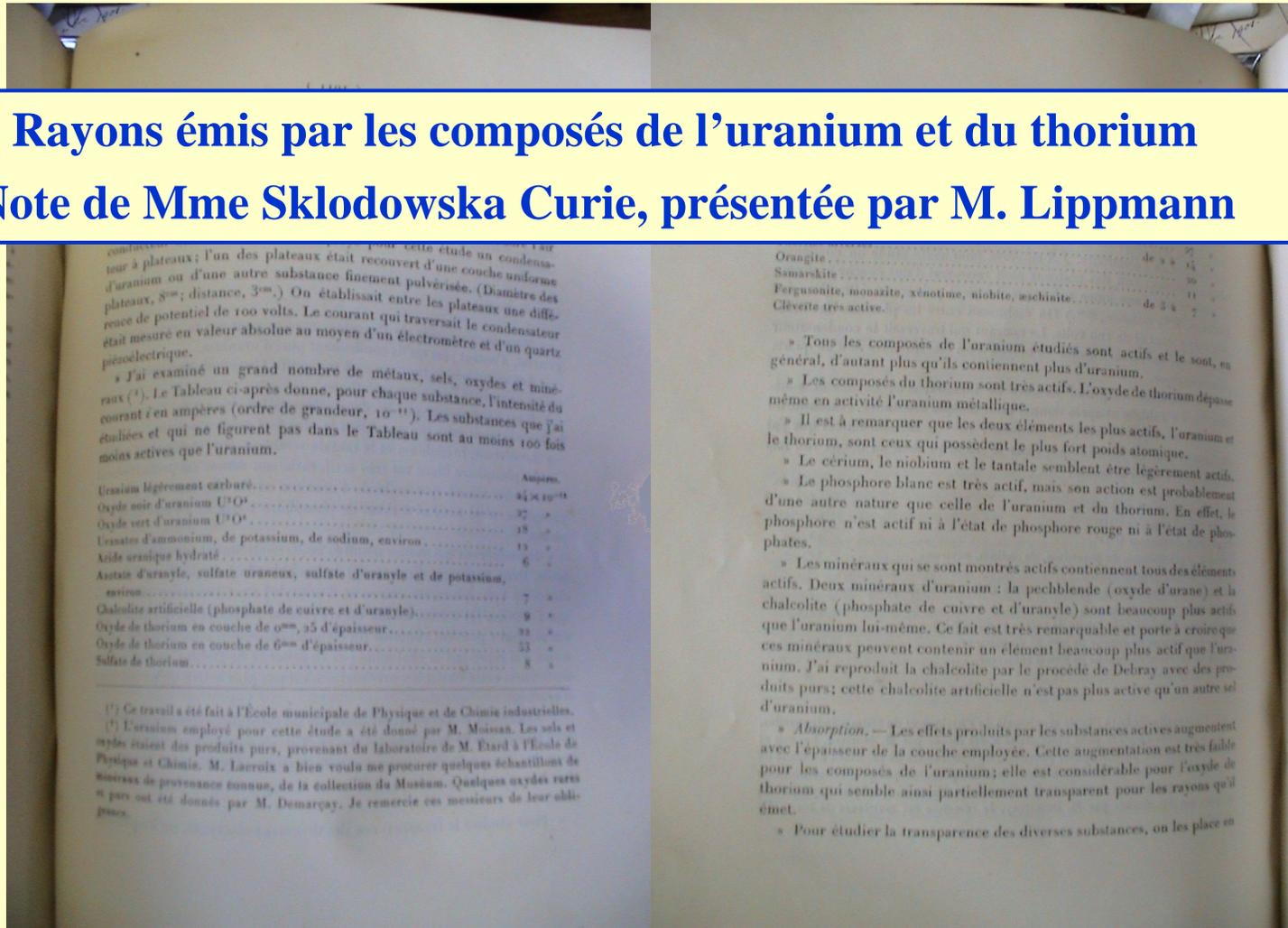
*Professeur Jacques Foos -12 février 2014*

# 1896 - 98 : Marie puis Pierre Curie reprennent ces travaux

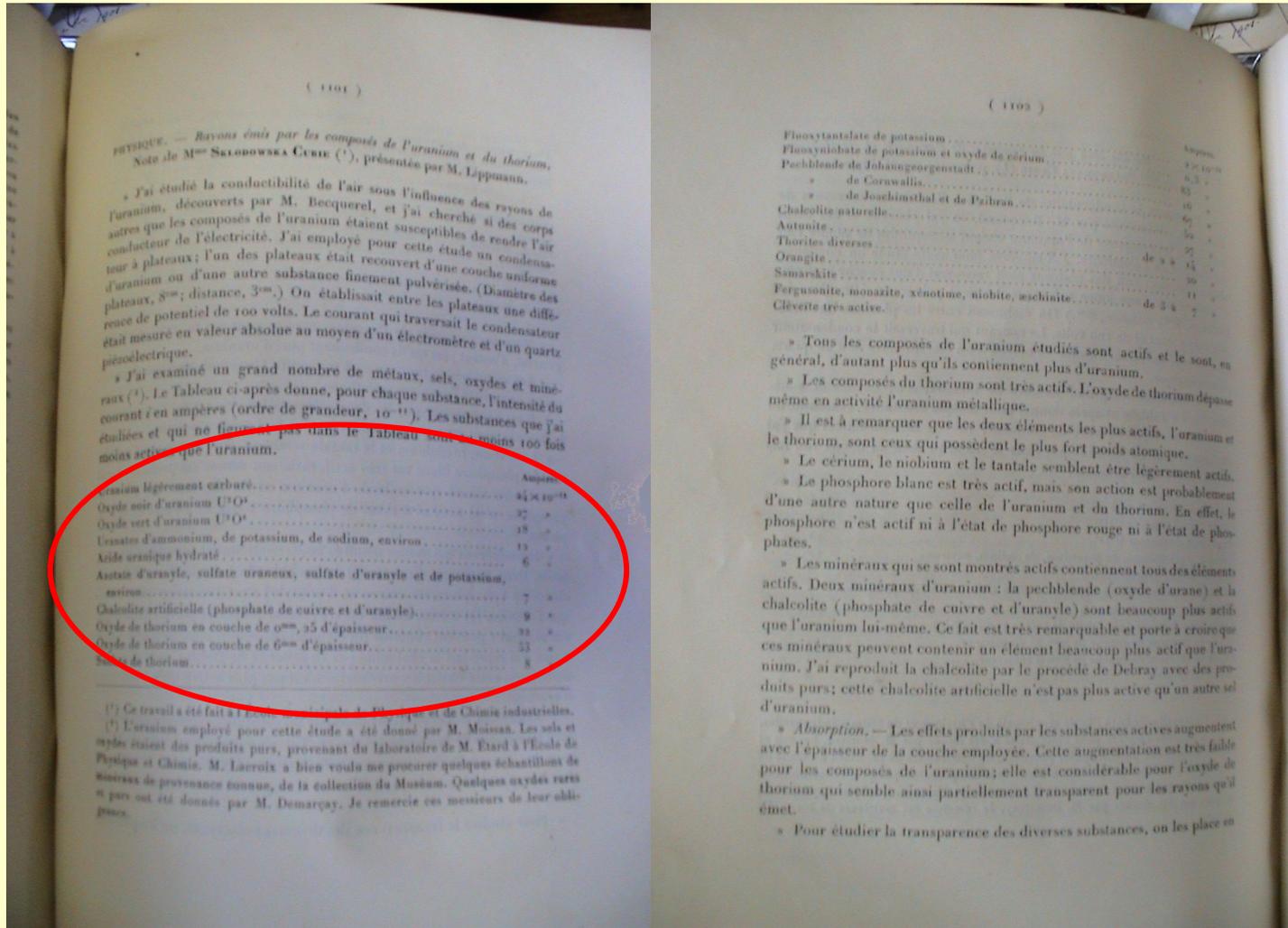


# 1896 - 98 : Marie puis Pierre Curie reprennent ces travaux

## Rayons émis par les composés de l'uranium et du thorium Note de Mme Sklodowska Curie, présentée par M. Lippmann



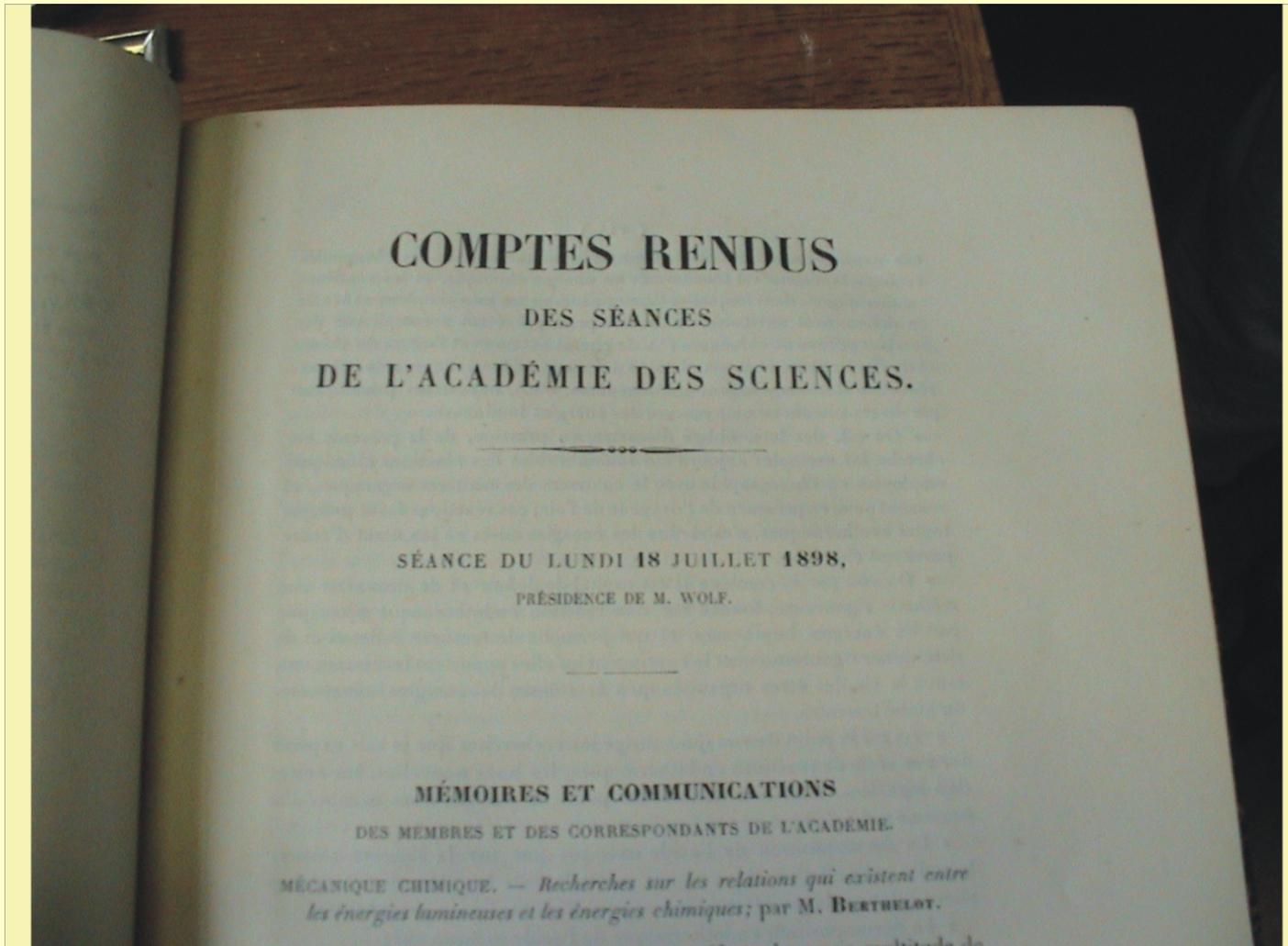
# 1896 - 98 : Marie puis Pierre Curie reprennent ces travaux



# 1896 - 98 : Marie puis Pierre Curie reprennent ces travaux

Échantillon	Intensité (pA)
Uranium métal	24
Oxyde de thorium	53
Fluoxytantalate de potassium	2
Pechblende Joachimsthal	83
Pechblende Johanngeorgenstadt	67
Chalcolite naturelle $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 6-8 \text{H}_2\text{O}$	52
Chalcolite synthétique	24

# 1896 - 98 : Marie puis Pierre Curie reprennent ces travaux



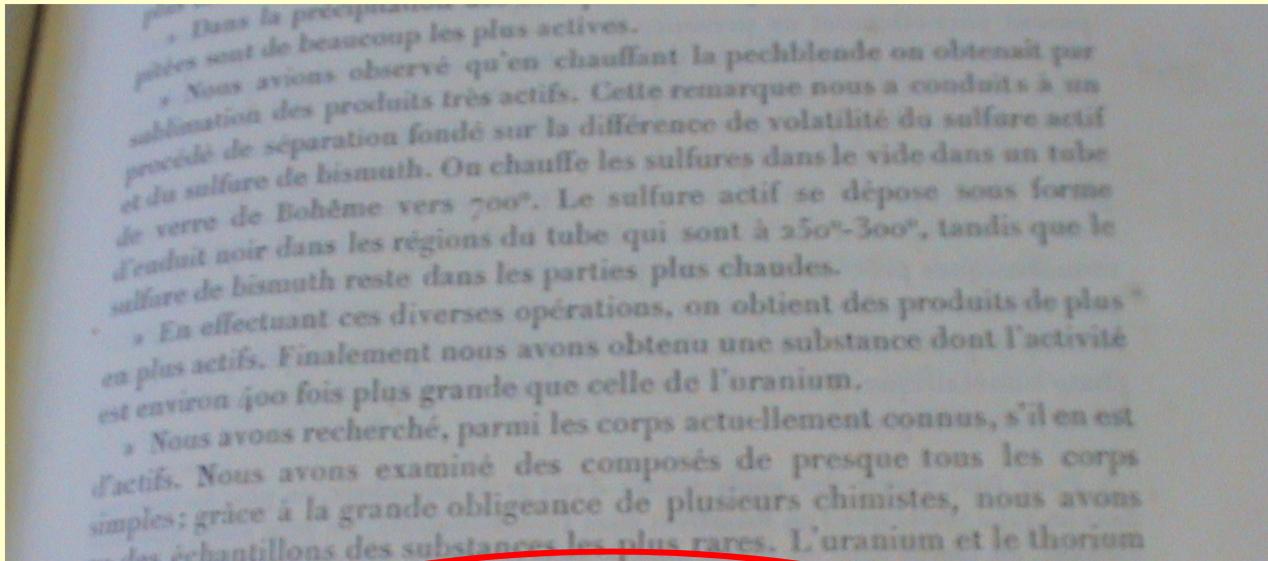
Professeur Jacques Foos -12 février 2014

# 1896 - 98 : Marie puis Pierre Curie reprennent ces travaux

Sur une substance nouvelle radio-active contenue dans la pechblende(\*)  
Note de M. P. Curie et M<sup>me</sup> S. Curie présentée par M Becquerel

*\* Ce travail a été fait à l'École municipale de Physique et Chimie industrielles.  
Nous remercions tout particulièrement Mr Bémont, Chef des travaux de Chimie  
pour les conseils et l'aide qu'il a bien voulu nous donner.*

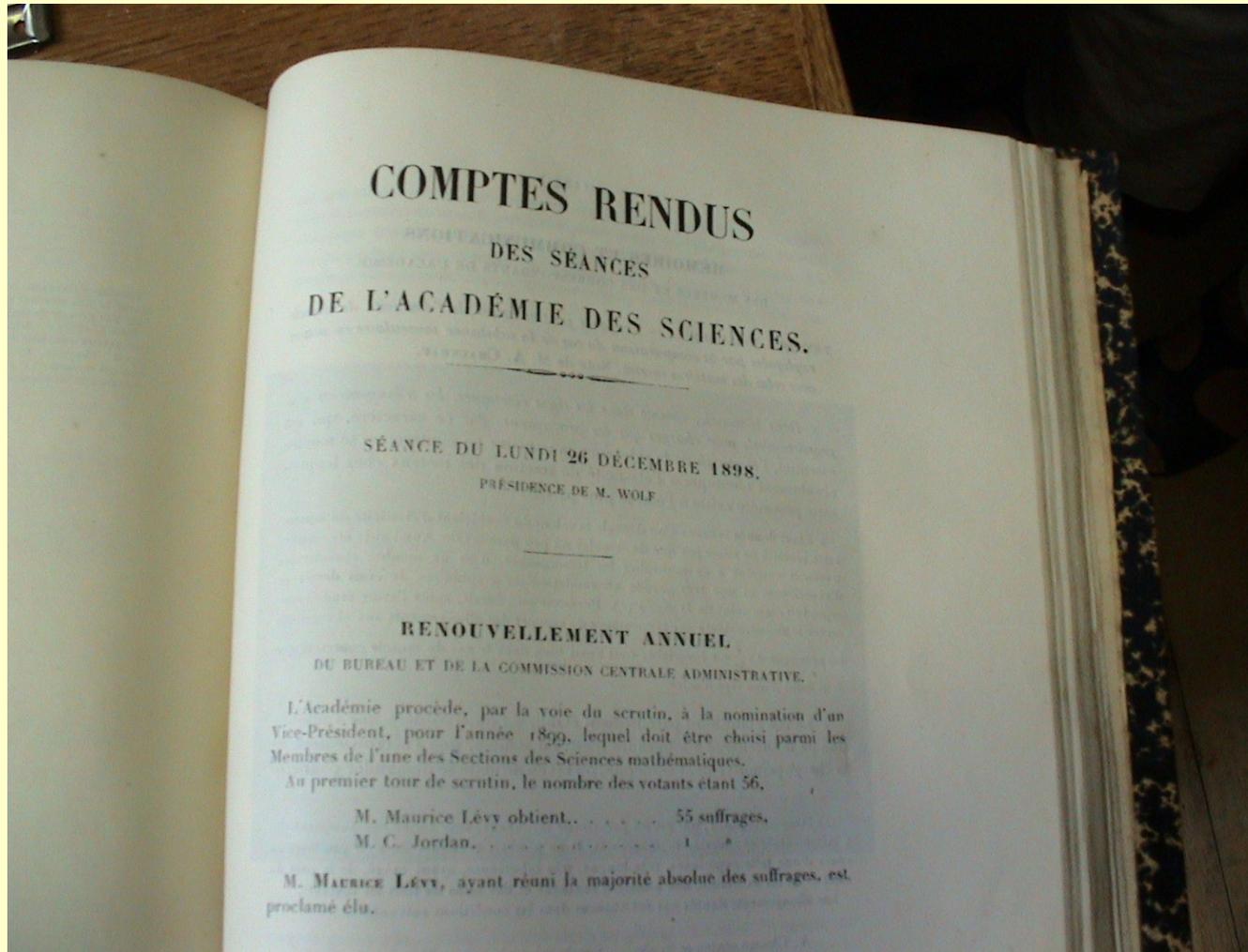
# 1896 - 98 : Marie puis Pierre Curie reprennent ces travaux



« Nous croyons donc que la substance que nous avons retirée de la pechblende contient un métal non encore signalé, voisin du bismuth et de ses propriétés analytiques. Si l'existence de ce nouveau métal se confirme, nous proposons de l'appeler *polonium* du nom du pays d'origine de l'un de nous »

« Mr Demarçay a bien voulu examiner le spectre du corps que nous étudions. Il n'a pas pu y distinguer aucune raie caractéristique en dehors de celles dues aux impuretés. »

# 1896 - 98 : Marie puis Pierre Curie reprennent ces travaux

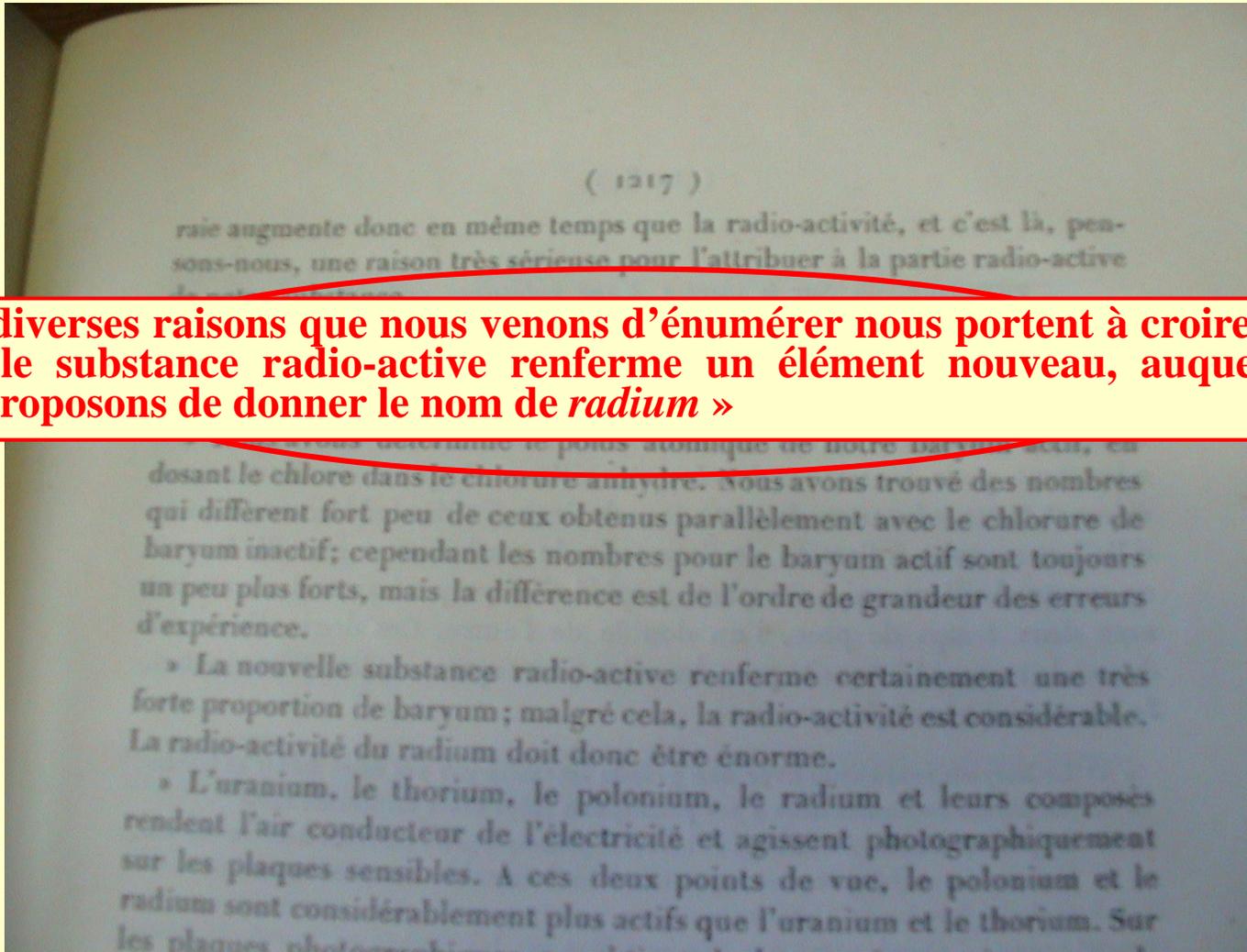


# 1896 - 98 : Marie puis Pierre Curie reprennent ces travaux

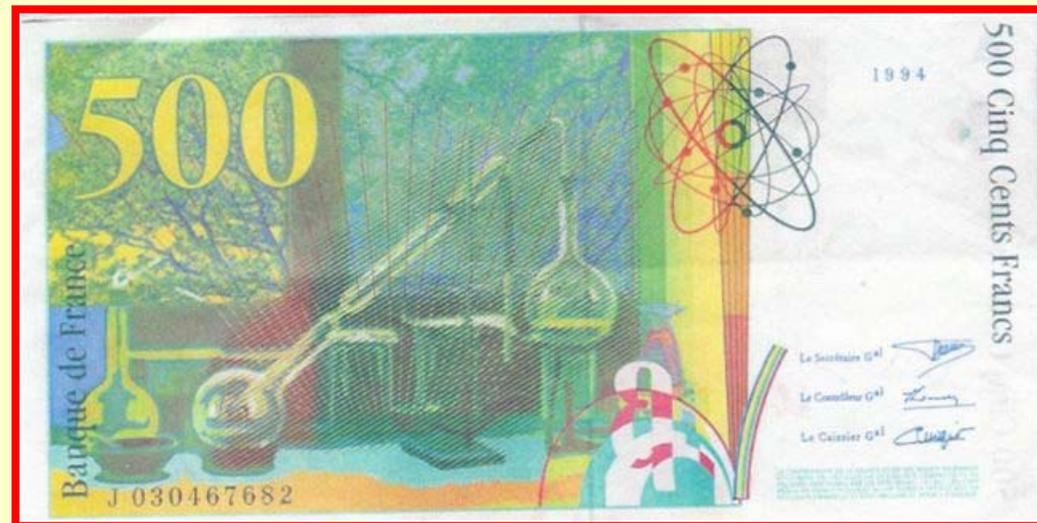
Sur la nouvelle substance fortement radio-active, contenue dans la pechblende  
Note de M. P. Curie, Mme P. Curie et de M. G. Bémont,  
présentée par M Becquerel

« La nouvelle substance radio-active que nous venons de trouver  
a toutes les apparences chimiques du baryum »

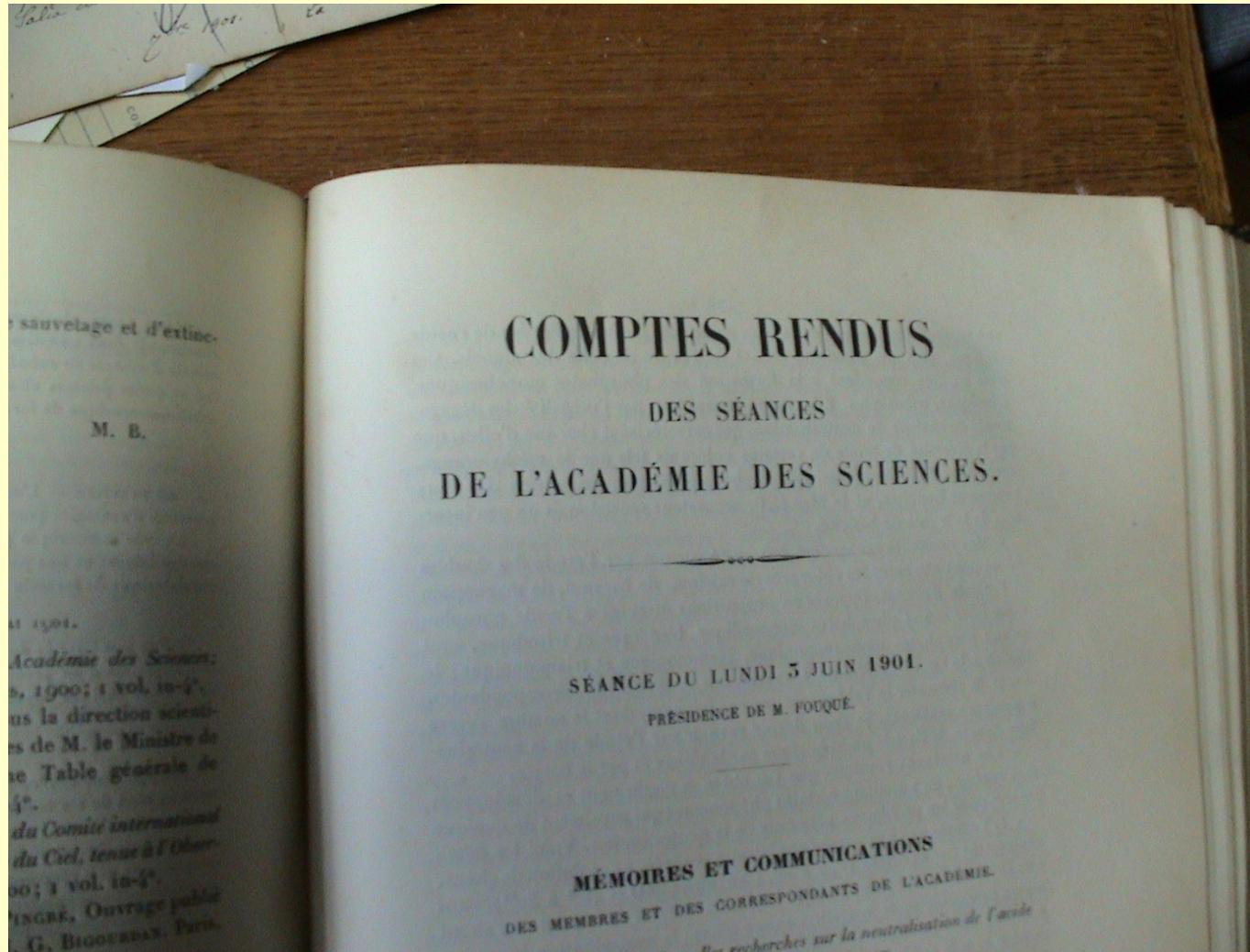
# 1896 - 98 : Marie puis Pierre Curie reprennent ces travaux



# Feu le billet de 500 francs



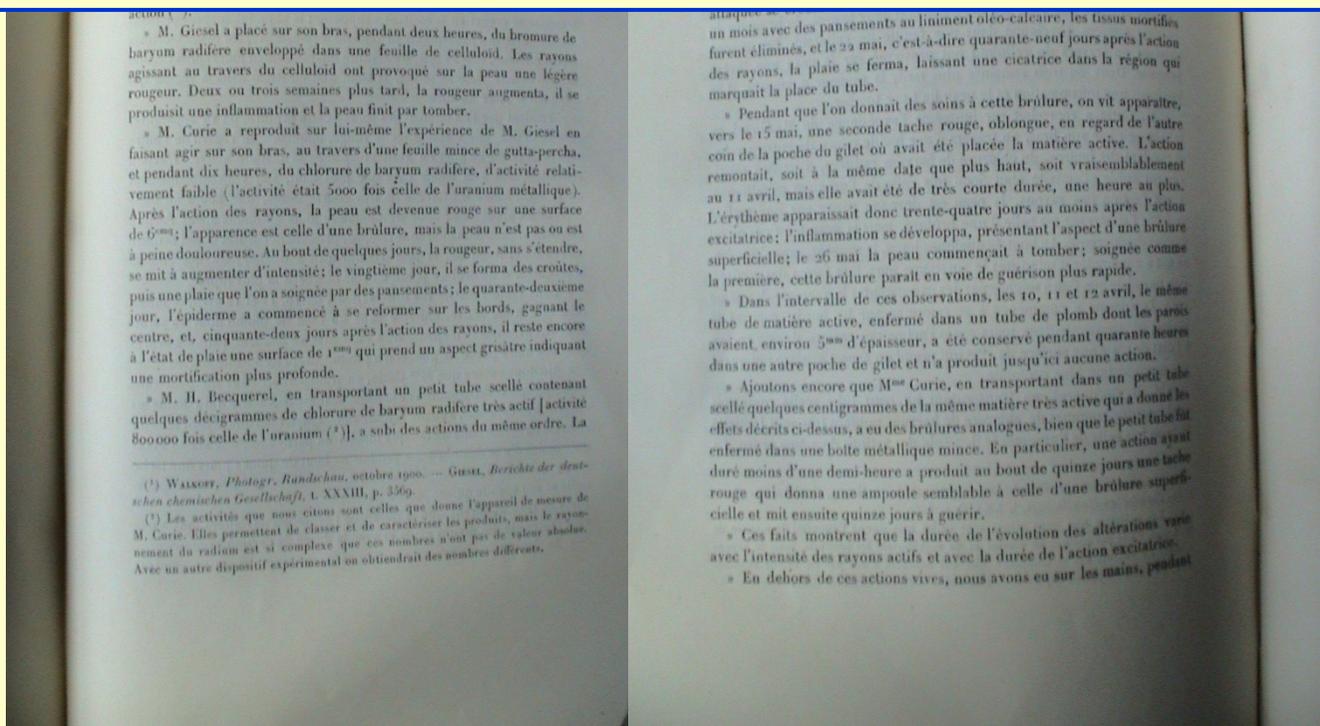
# 1901 : Découverte des effets biologiques des rayonnements



# 1901 : Découverte des effets biologiques des rayonnements



## Actions physiologiques des rayons du radium Note de MM Henri Becquerel et P. Curie



# 1901 : Découverte des effets biologiques des rayonnements

« Les mains ont une tendance générale à la desquamation ; les extrémités des doigts qui ont tenu les tubes ou capsules renfermant des produits très actifs deviennent dures et parfois très douloureuses ; pour l'un d'entre nous, l'inflammation des extrémités des doigts a duré une quinzaine de jours et s'est terminée par la chute de la peau, mais la sensibilité douloureuse n'a pas encore complètement disparu au bout de deux mois . »

encore complètement disparu au bout de deux mois.

PHYSIQUE APPLIQUÉE. — *Changements de direction et de vitesse d'un courant d'air qui rencontre des corps de formes diverses.* Note de M. MAREY.

« Depuis la Communication que j'ai eu l'honneur de faire devant l'Académie, le 27 mai 1900, j'ai reconnu que mes appareils devaient être entièrement reconstruits dans des conditions plus parfaites, mais les ressources de mon laboratoire ne me permettaient pas cette coûteuse réfection. Notre savant Correspondant M. Langley, qui veut bien s'intéresser à ces études, obtint de la Smithsonian Institution, dont il est Secrétaire, un subside qui me permit de faire ces expériences et d'obtenir des résultats beau-

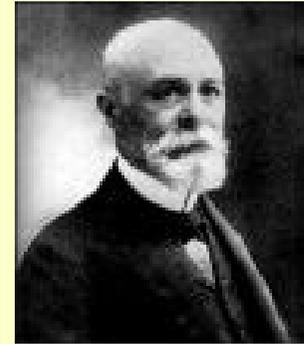
# Le cas du fluoxytantalate de potassium

Échantillon	Intensité (pA)
Uranium métal	24
Oxyde de thorium	53
<b>Fluoxytantalate de potassium</b>	<b>2</b>
Pechblende Joachimsthal	83
Pechblende Johanngeorgenstadt	67
Chalcolite naturelle $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 6-8 \text{H}_2\text{O}$	52
Chalcolite synthétique	24

# HISTORIQUE

\* **H. Becquerel (1896)**

→ uranium



\* **P. et M. Curie (1898 - 1911)**

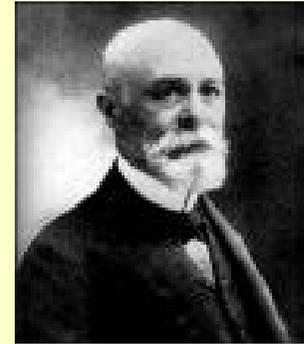
→ descendants de l'uranium et  
du thorium : 7 éléments



# HISTORIQUE

\* H. Becquerel (1896)

→ uranium



\* P. et M. Curie (1898 - 1911)

→ descendants de l'uranium et  
du thorium : 7 éléments



*« On peut se demander si l'humanité a avantage à connaître les secrets de la nature, si elle est mûre pour en profiter ou si cette connaissance ne lui sera pas nuisible. L'exemple des découvertes de Nobel est caractéristique, les explosifs puissants ont permis aux hommes de faire des travaux admirables. Ils sont aussi un moyen terrible de destruction entre les mains des grands criminels qui entraînent les peuples vers la guerre. Je suis de ceux qui pensent, avec Nobel, que l'humanité tirera plus de bien que de mal des découvertes nouvelles. »*

# Décès de Pierre Curie



L'illustration, n° 3324 (10/11/1906)  
leçon inaugurale de Marie Curie,  
le 5 novembre 1906

Paris, musée Curie  
© Musée Curie / droits réservés

Madame PIERRE CURIE

Professeur à la Sorbonne  
Prix Nobel de Physique  
Prix Nobel de Chimie

---

# RADIOACTIVITÉ

(TOME I)

Madame PIERRE CURIE

Professeur à la Sorbonne  
Prix Nobel de Physique  
Prix Nobel de Chimie

# RADIOACTIVITÉ

(TOME I)

Marie Curie : **Prix Nobel de physique en 1903** et **Prix Nobel de chimie en 1911**

Linus Pauling : **Prix Nobel de chimie en 1954** et **Prix Nobel de la paix en 1962**

John Bardeen : **Prix Nobel de physique en 1956 et en 1972**

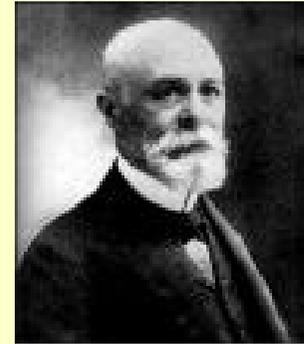
Frederick Sanger : **Prix Nobel de chimie en 1958 et en 1980**

*Professeur Jacques Foos -12 février 2014*

# HISTORIQUE

\* H. Becquerel (1896)

→ uranium



\* P. et M. Curie (1898 - 1911)

→ descendants de l'uranium et  
du thorium : 7 éléments

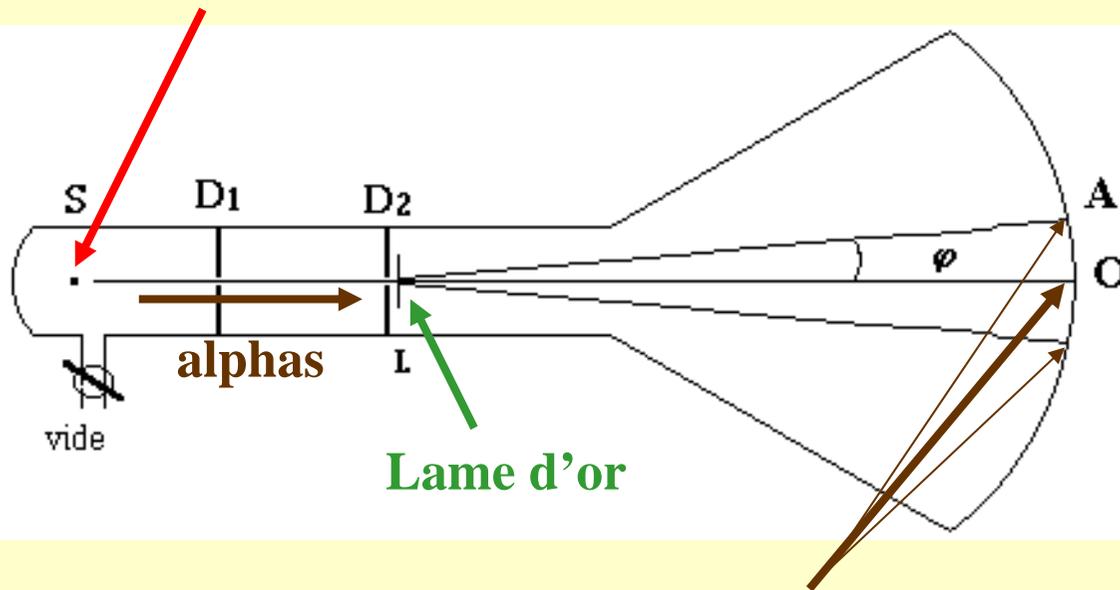


Cette découverte de la radioactivité qui est une propriété naturelle du noyau atomique (elle permet à un noyau instable de revenir vers la stabilité) a lieu *alors que l'on ne connaît pas encore la structure nucléaire de l'atome !* On en est toujours au modèle de Thomson.

Au contraire, c'est Marie Curie, en prêtant à Ernest Rutherford une source de polonium, qui va permettre à ce dernier de mettre en évidence le noyau atomique

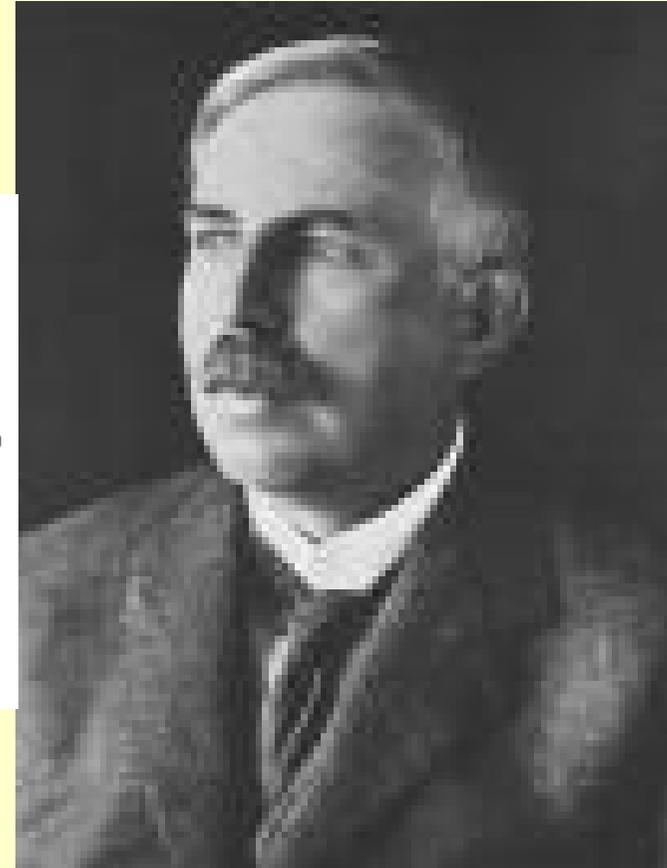
# Expérience de Rutherford (1909-1911)

Source de polonium



Lame d'or

Impacts des alphas



# Expérience de Rutherford (1909-1911)

**7 mars 1911**

*(Manchester Literary and Philosophical Society :*

*« Le nouveau modèle de l'atome consiste en une charge électrique centrale concentrée en un point et entourée par une distribution sphérique uniforme d'électricité de signe opposé en quantité égale. »*

## Beaucoup reste à faire

À cette date, on ne connaît rien des constituants de ce noyau ni de la répartition des charges électriques à l'intérieur de celui-ci.

C'est la fille de Marie Curie, Irène et son mari, Frédéric Joliot qui vont apporter une réponse décisive en contribuant fortement à la découverte du neutron et en découvrant la radioactivité dite « artificielle ».

Plus tard, Irène Joliot-Curie démontrera de façon définitive la fission du noyau atomique.

## Irène Curie (1897-1956)

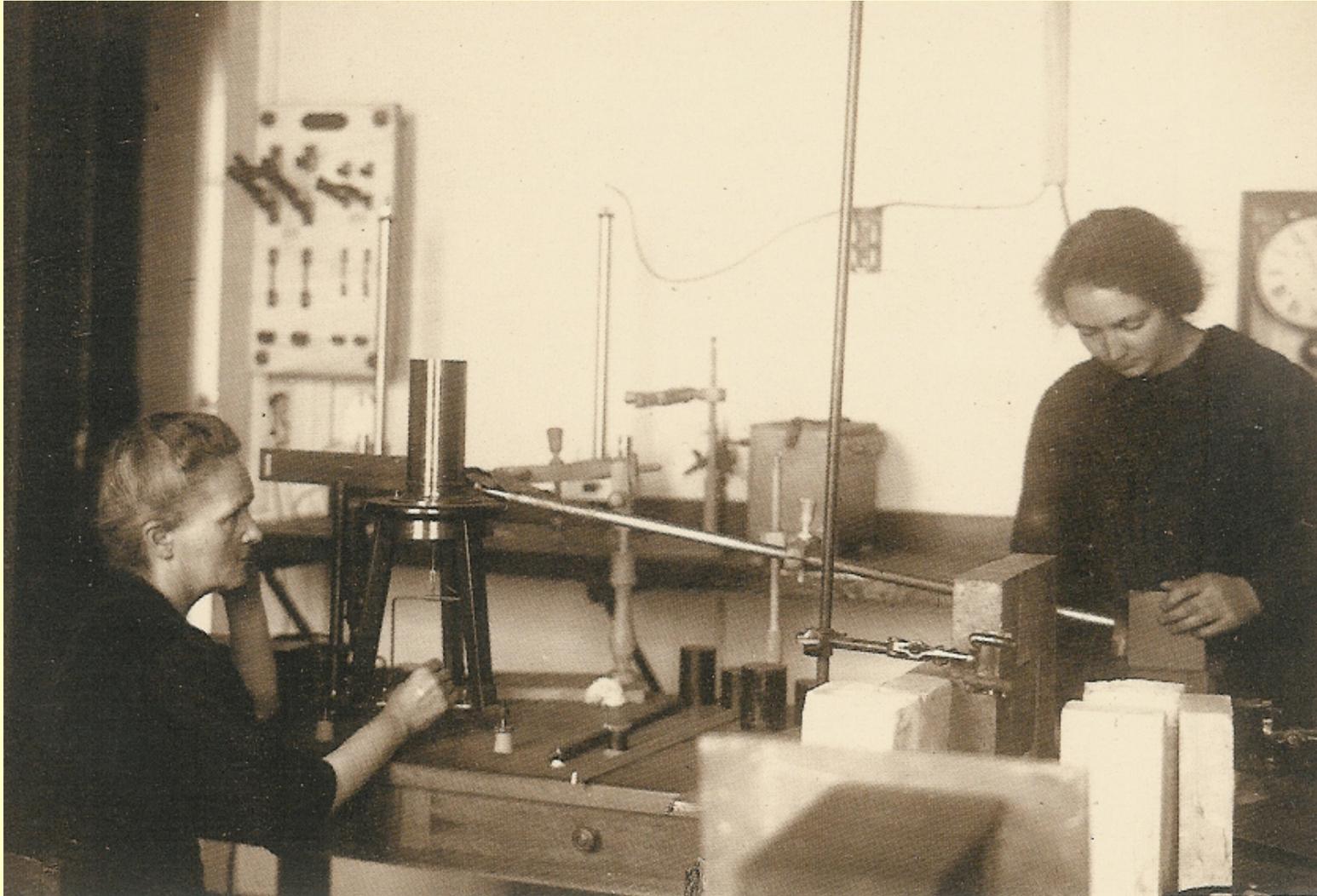
**Doctorat ès Sciences en 1925 (Faculté des Sciences de Paris). Assistante de sa mère à l'Institut du Radium où elle rencontre F. Joliot qu'elle épouse en 1926. Maître de Conférences au Collège de France en 1937 puis Professeur sans Chaire à la Faculté des Sciences de Paris.**

**Directrice de l'Institut du Radium en 1946, elle occupera la chaire de Physique Générale et radioactivité dont sa mère était la première titulaire.**

**En 1936, elle a été Sous-Secrétaire d'État sous le Front Populaire.**



# Marie et Irène Curie

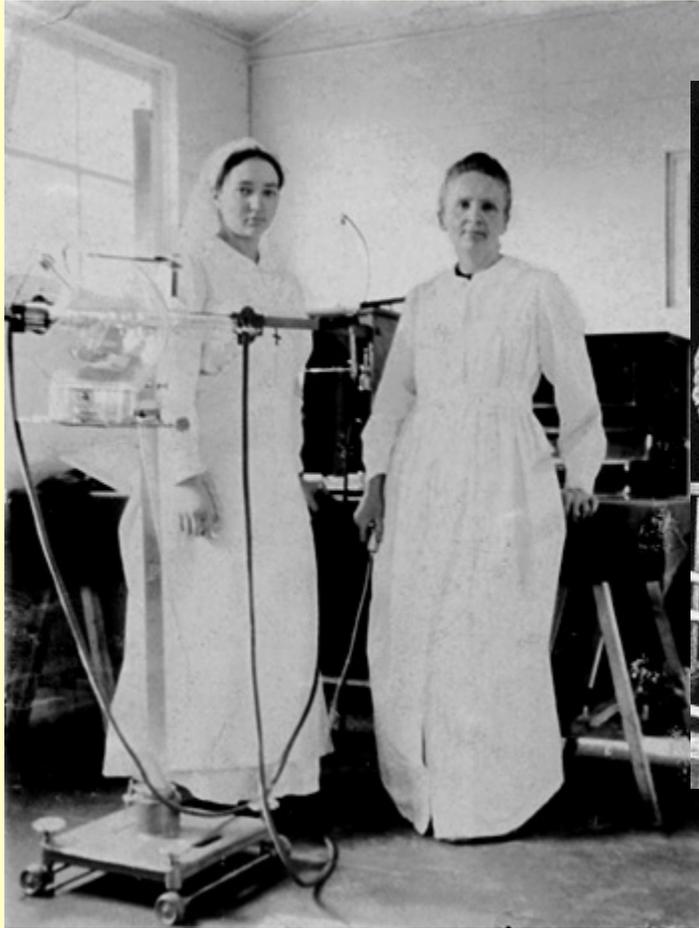


*Professeur Jacques Foos -12 février 2014*

# Marie et Irène Curie



# Marie et Irène Curie



# Jean Frédéric Joliot (1900-1958)

**Ingénieur de l'École Supérieure de Physique et Chimie de Paris, docteur ès Sciences en 1930.**

**Nommé Professeur de chimie nucléaire au Collège de France et Directeur du Laboratoire de synthèse atomique de la CNRS en 1937.**

**À la fondation du CEA, nommé Haut-Commissaire par le Général de Gaulle (1945-1950).**

**Membre de l'Académie des Sciences en 1958.**

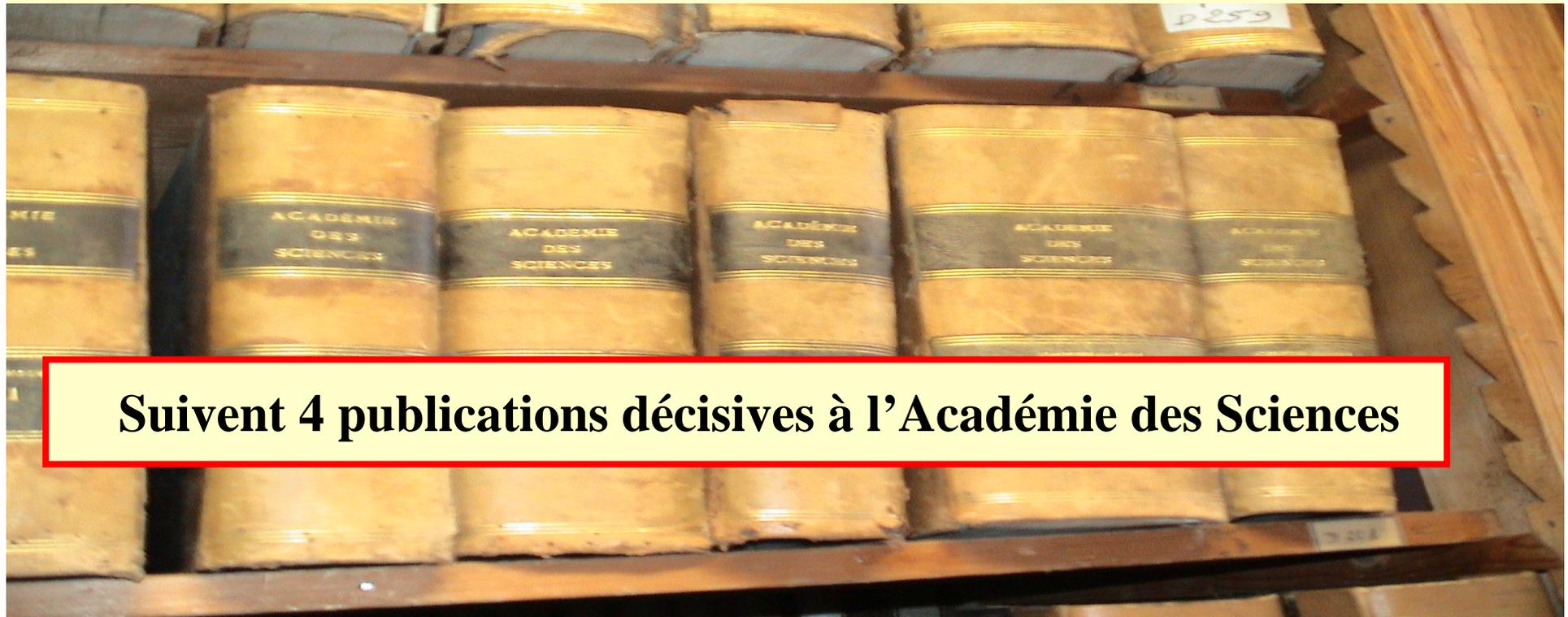


## Frédéric et Irène Joliot-Curie



## Découverte du neutron (1932)

En bombardant du « glucinium » avec des particules  $\alpha$  (issus d'une source de polonium), les Joliot-Curie constatent l'émission d'un rayonnement très pénétrant, insensible au champ magnétique : ce ne peut être qu'un rayonnement  $\gamma$ , découvert en 1900 par Paul Villard.



**Suivent 4 publications décisives à l'Académie des Sciences**

## Découverte du neutron (1932)

« Sur le rayonnement  $\gamma$  nucléaire excité dans le glucinium et dans le lithium par les rayons  $\alpha$  du polonium » *Irène Curie* ; séance de l'Académie des Sciences du 28 décembre 1931

« Sur l'excitation des rayons  $\gamma$  nucléaires du bore par les particules  $\alpha$  » *Frédéric Joliot* ; séance de l'Académie des Sciences du 28 décembre 1931

« Émission de protons de grande vitesse par les substances hydrogénées sous l'influence des rayons  $\gamma$  très pénétrants » *Irène Curie et Frédéric Joliot* ; séance de l'Académie des Sciences du 18 janvier 1932

« Effet d'absorption de rayons  $\gamma$  de très haute fréquence par projection de noyaux légers » *Irène Curie et Frédéric Joliot* ; séance de l'Académie des Sciences du 22 février 1932

# Découverte du neutron (1932)

Quelque chose ne colle pas : si c'est un rayonnement  $\gamma$ , les énergies mises en jeu sont très élevées,

du jamais vu jusque là !

*E. Rutherford*



**Mais : « j'accorde naturellement du crédit aux résultats des Joliot-Curie : c'est l'interprétation des résultats qui n'est pas bonne »**

## Découverte du neutron (1932)

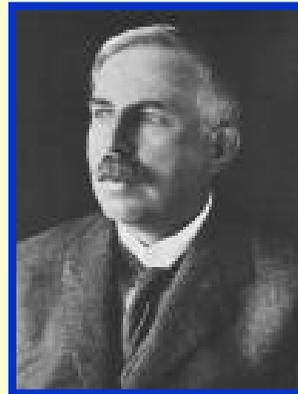
C'est James Chadwick qui, après avoir repris et confirmé les travaux des Joliot-Curie, va trouver la réponse : ce n'est pas un rayon  $\gamma$  mais une vraie particule, neutre qui est émise.

**C'est la découverte du neutron, deuxième partenaire du noyau après le proton, de charge positive, mis en évidence en 1911 par Rutherford.**



# HISTORIQUE

- **électron**                      **THOMSON**                      **1897**
- **proton**                              **RUTHERFORD**                      **1919**
- **neutron**                              **CHADWICK**                      **1932**



# Les conférences Solvay

Debout de gauche à droite : Robert Goldschmidt, Max Planck, Heinrich Rubens, Arnold Sommerfeld, Frederick Lindemann, Maurice de Broglie, Martin Knudsen, Friedrich Hasenöhrl, Georges Hostelet, Edouard Herzen, James Hopwood Jeans, Ernest Rutherford, Heike Kamerlingh Onnes, Albert Einstein et Paul Langevin.



Assis de gauche à droite :

Walther Nernst, Marcel Brillouin, Ernest Solvay, Hendrik Lorentz, Emil Warburg, Jean-Baptiste Perrin, Wilhelm Wien, Marie Curie, et Henri Poincaré.



# Les conférences Solvay

**Debout de gauche à droite : Henriot, Perrin, Joliot, Heisenberg, Kramers, Stahel, Fermi, Walton, Dirac, Debye, Mott, Cabrera, Gamow, Bothe, Blackett, Rosenblum, Errera, Bauer, Pauli, Verschaffelt, Cosyns, Herzen, Cockcroft, Ellis, Peierls, Piccard, Lawrence, Rosenfeld**

**Assis de gauche à droite : Schrodinger, Joliot, Bohr, Joffe, Curie, Langevin, Richardson, Rutherford, DeDonder, M. deBroglie, L. deBroglie, Meitner, Chadwick**

**1933**

# Découverte de la radioactivité artificielle (1934)

Au congrès Solvay de 1933, les communications portent essentiellement sur le neutron et les réactions nucléaires susceptibles de le produire.

**F. et I. Joliot-Curie présentent des résultats d'expériences montrant que le rayonnement très pénétrant neutre obtenu lorsqu'on bombarde de l'aluminium avec des  $\alpha$  pouvait être un neutron.**



# Découverte de la radioactivité artificielle (1934)

Mais, quand on bombarde de l'aluminium (élément n°13) avec des  $\alpha$  (n°2), on obtient le n°15 : du phosphore

En l'occurrence, si un neutron est émis (n°0), on a fabriqué alors du phosphore-30 *qui est alors inconnu sur la planète*

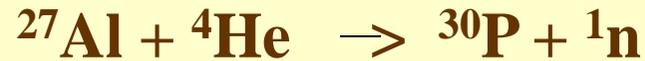
Jusque là, on pensait que cette réaction nucléaire conduisait à du silicium (n°14) grâce à l'émission, non pas d'un neutron mais d'un proton (n°1)

$$13 + 2 = 14 + 1 = 15 + 0$$

**Ce silicium-30 est lui naturel**

# Découverte de la radioactivité artificielle (1934)

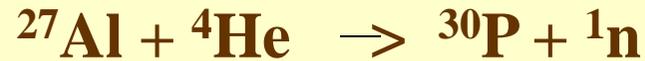
Mais, quand on bombarde de l'aluminium (élément n°13) avec des  $\alpha$  (n°2), on obtient le n°15 : du phosphore



En l'occurrence, si un neutron est émis (n°0), on a fabriqué alors du phosphore-30 *qui est alors inconnu sur la planète*

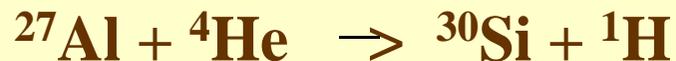
# Découverte de la radioactivité artificielle (1934)

Mais, quand on bombarde de l'aluminium (élément n°13) avec des  $\alpha$  (n°2), on obtient le n°15 : du phosphore



En l'occurrence, si un neutron est émis (n°0), on a fabriqué alors du phosphore-30 *qui est alors inconnu sur la planète*

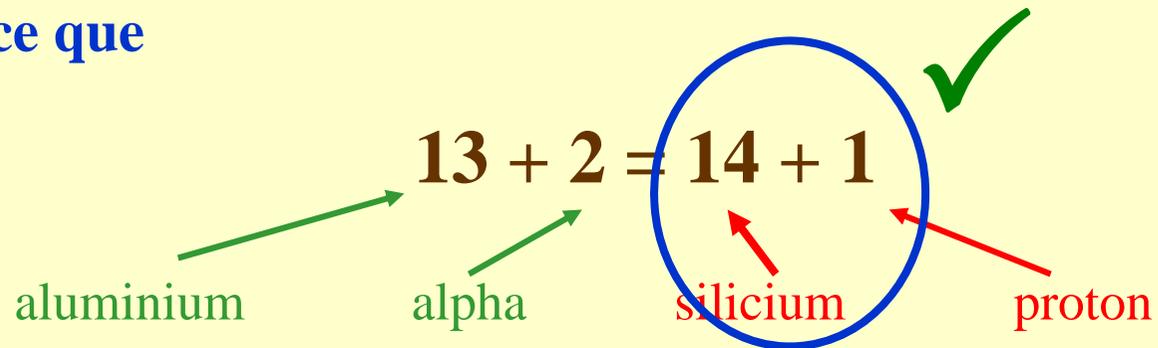
Jusque là, on pensait que cette réaction nucléaire conduisait à du silicium (n°14) grâce à l'émission, non pas d'un neutron mais d'un proton (n°1)



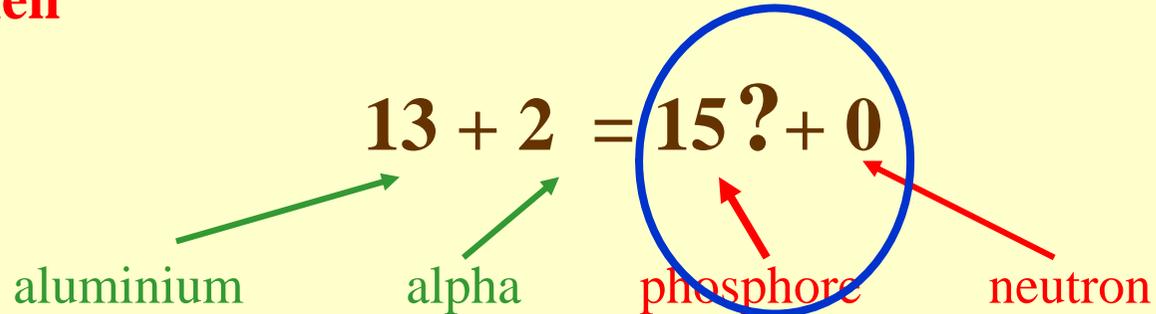
**Ce silicium-30 est lui naturel**

# Découverte de la radioactivité artificielle (1934)

Est ce que



Ou bien

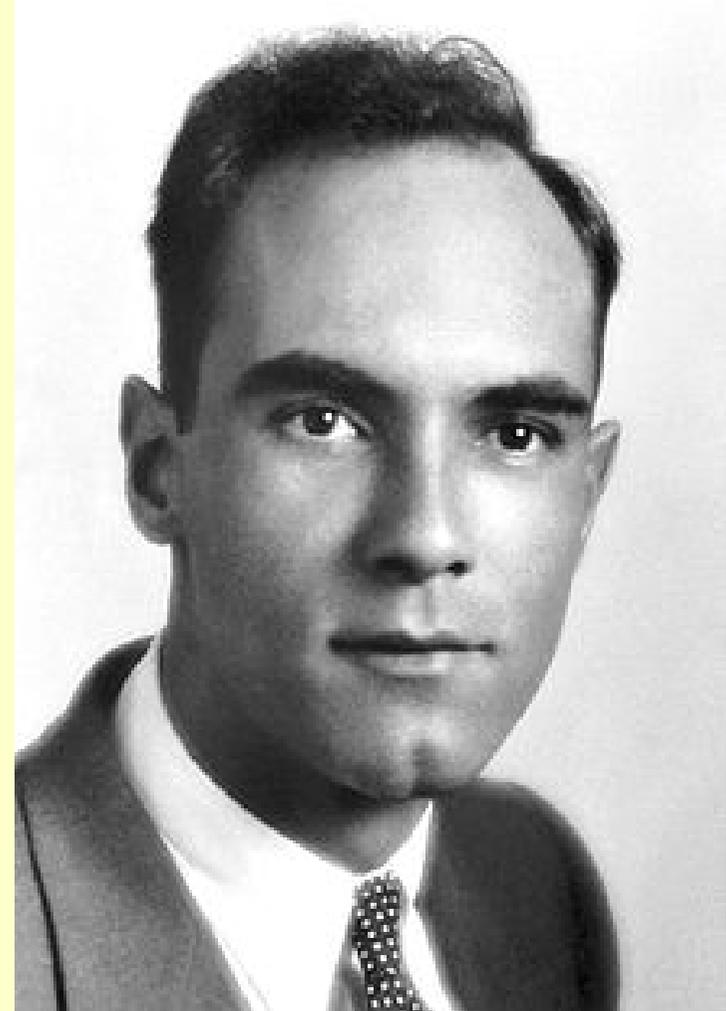


?

# Découverte de la radioactivité artificielle (1934)

Peu de temps auparavant (1932), Carl David Anderson a découvert le positon prédit par Paul Dirac l'année précédente.

Ce positon est l'anti-électron, même masse, même charge électrique, sauf qu'elle est positive.



# Découverte de la radioactivité artificielle (1934)

Or, les Joliot-Curie ont observé des traces de positons lors de leurs expériences. Ils proposent donc à la conférence Solvay de 1933 une hypothèse qui permet de résoudre le problème :



# Découverte de la radioactivité artificielle (1934)

Or, les Joliot-Curie ont observé des traces de positons lors de leurs expériences. Ils proposent donc à la conférence Solvay de 1933 une hypothèse qui permet de résoudre le problème :



*« Parfois la transmutation s'effectuerait avec émission d'un neutron et d'un électron positif, donc un positon, au lieu d'un proton »*

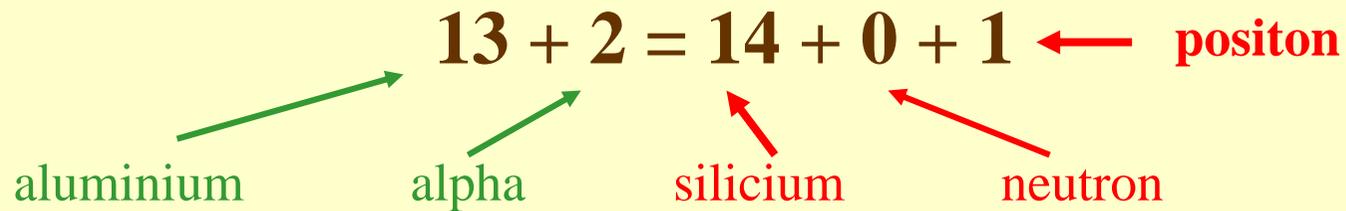


# Découverte de la radioactivité artificielle (1934)

Or, les Joliot-Curie ont observé des traces de positons lors de leurs expériences. Ils proposent donc à la conférence Solvay de 1933 une hypothèse qui permet de résoudre le problème :

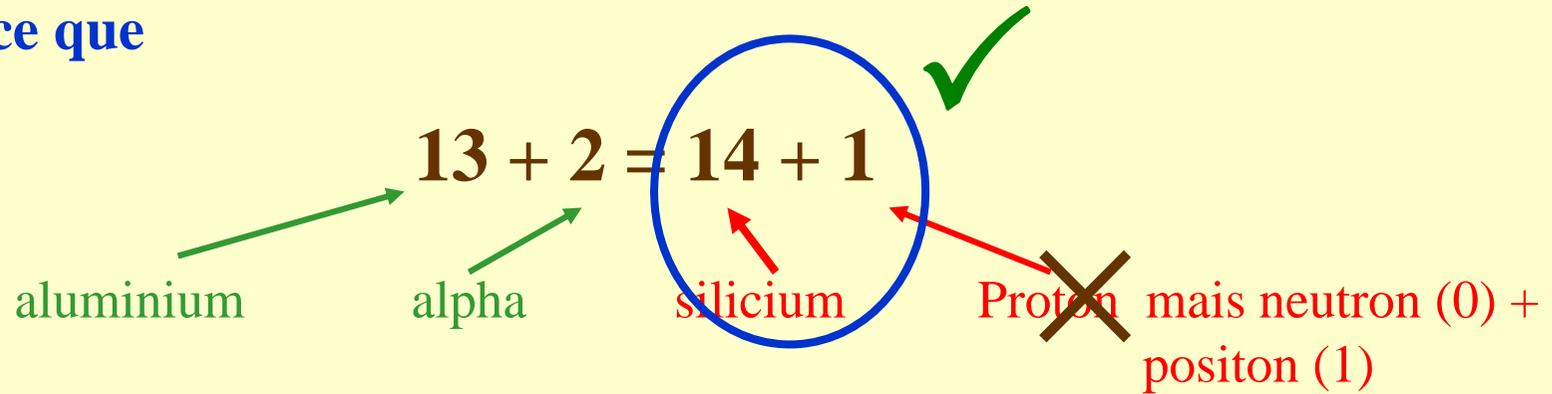


*« Parfois la transmutation s'effectuerait avec émission d'un neutron et d'un électron positif, donc un positon, au lieu d'un proton »*

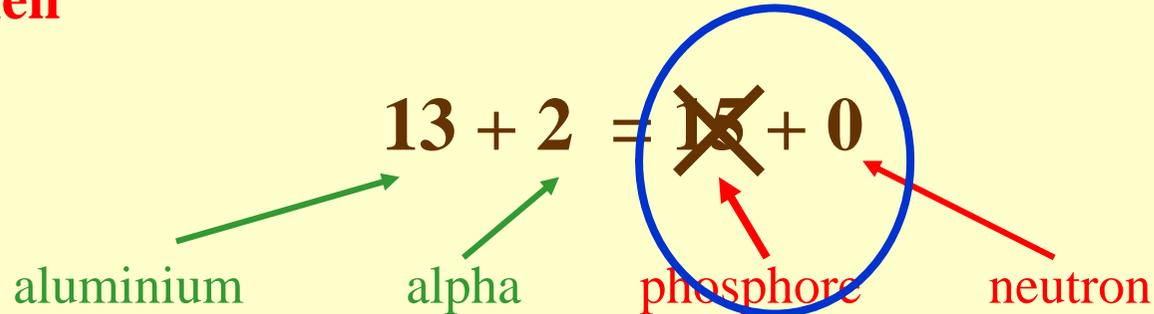


# Découverte de la radioactivité artificielle (1934)

Est ce que



Ou bien



# Découverte de la radioactivité artificielle (1934)

C'est l'incrédulité générale !



*« Finalement, la grande majorité des physiciens présents ne crurent pas à l'exactitude de nos expériences. Seuls, Bohr et Pauli nous apportèrent des encouragements. » F. et I. Joliot Curie ; Atomes ; 1951*

# Découverte de la radioactivité artificielle (1934)

**11 janvier 1934 – 15 heures**

**Joliot reprend ses expériences. Il augmente l'énergie cinétique des  $\alpha$  jusqu'au seuil à partir duquel la réaction peut se produire.**

**Effectivement, le détecteur de positons se met à crépiter.**

**Il augmente alors la pression pour retomber au-dessous du seuil d'occurrence de la réaction : l'expérience est finie.**

**Mais ...**

# Découverte de la radioactivité artificielle (1934)

**Le compteur continue à crépiter !!**

**Joliot a laissé « la porte ouverte »**

**Le compteur enregistre des positons créés dans la feuille d'aluminium alors que le bombardement a cessé !**

**Il s'aperçoit que cette émission décroît avec le temps : cela ressemble étrangement à de la radioactivité mais ..... laquelle ?**

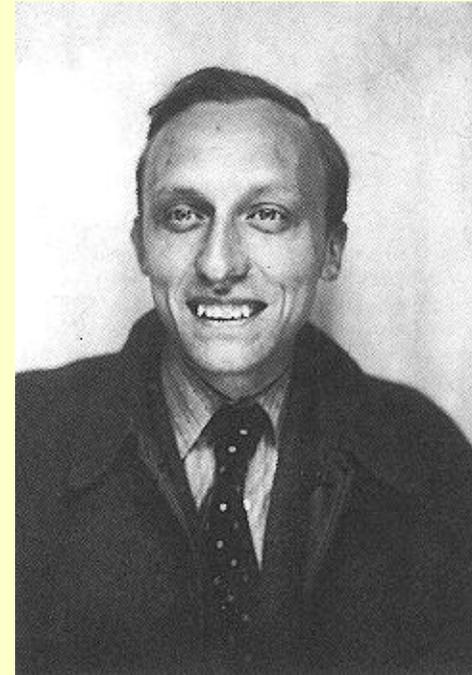


# Découverte de la radioactivité artificielle (1934)

Les Joliot-Curie devant s'absenter en soirée, ils demandent à W. Gentner de vérifier le bon fonctionnement du détecteur.

Le lendemain, ils trouvent un mot de celui-ci sur son bureau : **le détecteur fonctionne parfaitement !**

Nous sommes le vendredi 12 janvier et les Joliot-Curie viennent de faire deux découvertes majeures :



# Découverte de la radioactivité artificielle (1934)

1) Ils viennent de démontrer qu'il est possible de provoquer artificiellement une radioactivité dans des éléments stables.

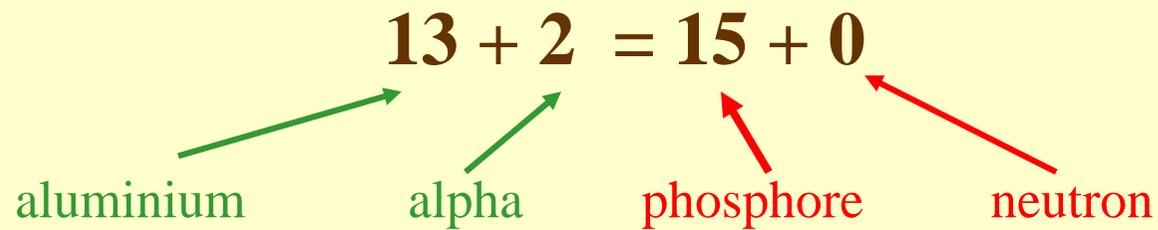
2) Ils viennent de découvrir la radioactivité  $\beta^+$  à côté de l'autre mode de désintégration, naturel celui-là qu'on appelait jusque là  $\beta$  et qu'il va falloir appeler à compter de ce jour :  $\beta^-$

**Cela leur vaudra le Prix Nobel  
de chimie 1935**

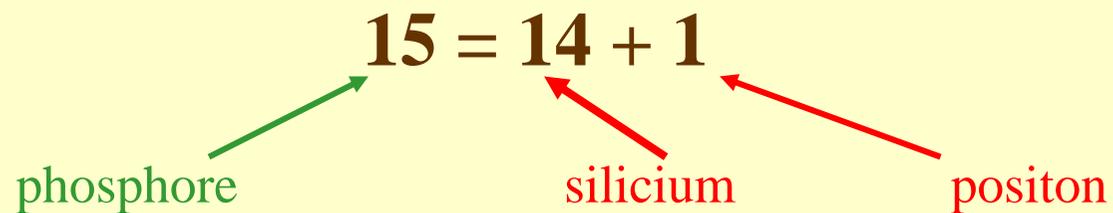


# Découverte de la radioactivité artificielle (1934)

**En fait :**

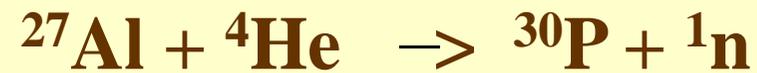


**Suivi de**



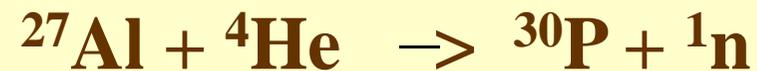
# Découverte de la radioactivité artificielle (1934)

**En fait :**



# Découverte de la radioactivité artificielle (1934)

**En fait :**



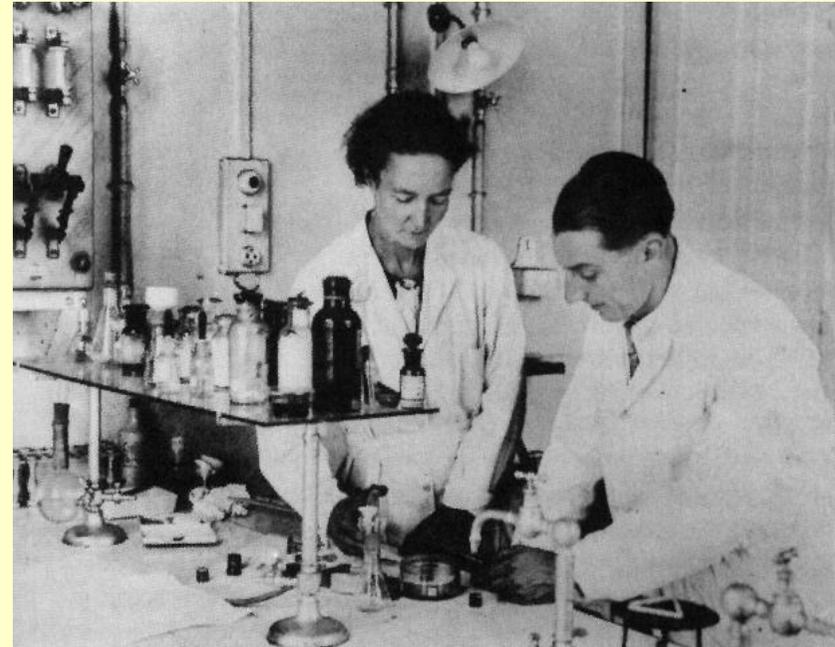
**Suivie de :**



# Pourquoi Prix Nobel de Chimie ?

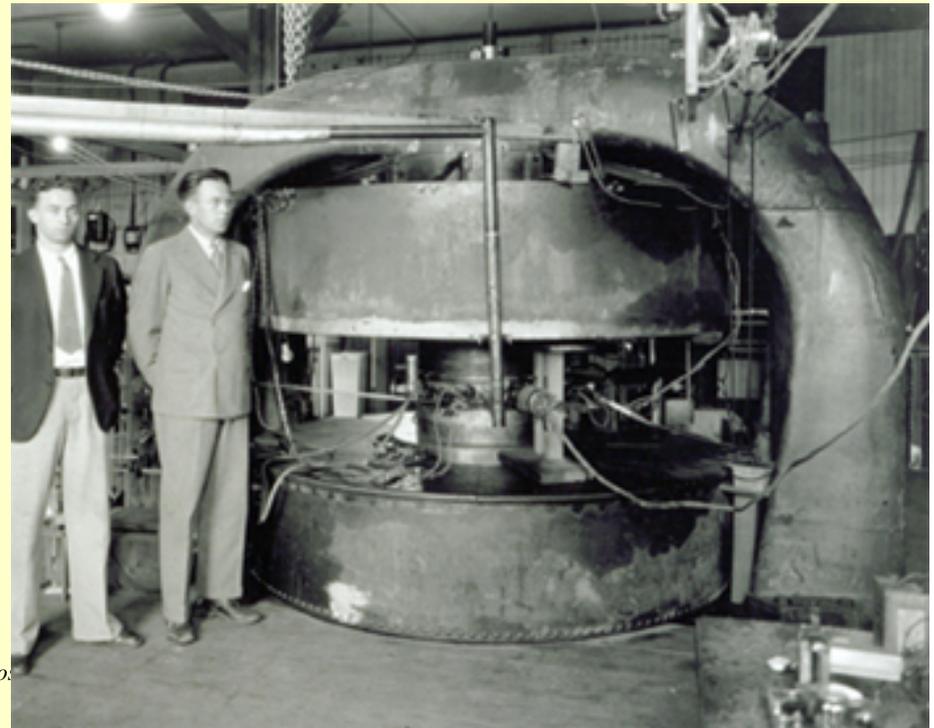
Parce que les Joliot-Curie veulent apporter une preuve flagrante de leur découverte en isolant ce fameux phosphore-30 que personne avant eux n'aura jamais vu.

C'est grâce aux techniques radiochimiques mises au point par l'Institut du Radium qu'ils peuvent isoler ce radioélément dont la période est de 3 mn 15 s.



# Clin d'œil aux collègues

« Il est sans doute possible de créer d'autres radioéléments en bombardant des corps avec des deutons, par exemple. »

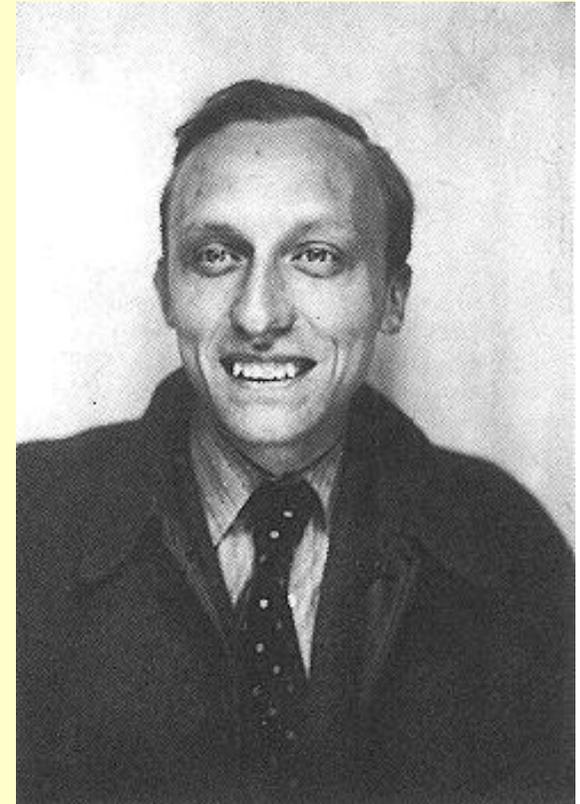


*Professeur Jacques Foo.*

## Clin d'œil (plutôt sinistre !) de l'Histoire

*Début août 1940, l'administrateur du Collège de France demande à F. Joliot ainsi qu'aux autres professeurs du Collège de rentrer sans plus tarder à Paris. On lui fait toutefois comprendre qu'il pourra laisser fonctionner les laboratoires français si Joliot s'engage à ne faire que de la recherche pure, sans but militaire. Pour le surveiller, les Allemands font appel à un physicien francophone, bien connu de Joliot .... Wolfgang Gentner.*

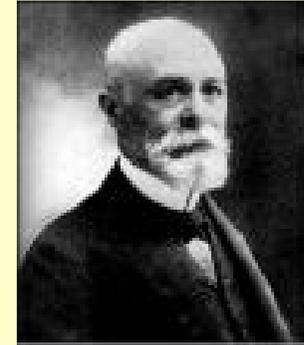
*Cela n'empêchera pas Joliot de s'engager dans la Résistance en 1941. Il prendra part en août 1944 à l'insurrection de Paris contre l'occupation nazie.*



# HISTORIQUE

\* **H. Becquerel (1896)**

→ uranium



\* **P. et M. Curie (1898 - 1911)**

→ descendants de l'uranium et  
du thorium : 7 éléments



\* **I. et F. Joliot-Curie (1934)**

→ tous les éléments sans exception



## Bien avant ... Marie Curie

« Des recherches récentes ont montré que le potassium et le rubidium émettent un rayonnement très faible, semblable au rayonnement  $\beta$  de l'uranium et du radium. Nous ne savons pas encore si nous devons envisager ces substances comme de vrais corps radioactifs, c'est-à-dire des corps en voie de transformation atomique. »

*Extrait de la conférence Nobel de Marie Curie le 11 décembre 1911*

## Bien avant ....

Échantillon	Intensité (pA)
Uranium métal	24
Oxyde de thorium	53
<b>Fluoxytantalate de potassium</b>	<b>2</b>
Pechblende Joachimsthal	83
Pechblende Johannegeorgenstadt	67
Chalcolite naturelle $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 6-8 \text{H}_2\text{O}$	52
Chalcolite synthétique	24

# Classification périodique

																		<table border="1"> <tr><td>H 1</td></tr> </table> élément stable		H 1																			<table border="1"> <tr><td>He 2</td></tr> </table>		He 2
H 1																																									
He 2																																									
<table border="1"> <tr><td>Li 3</td><td>Be 4</td></tr> </table>		Li 3	Be 4																			<table border="1"> <tr><td><i>Fr</i> 87</td></tr> </table> élément radioactif		<i>Fr</i> 87	<table border="1"> <tr><td>B 5</td><td>C 6</td></tr> </table>		B 5	C 6	<table border="1"> <tr><td>N 7</td><td>O 8</td></tr> </table>		N 7	O 8	<table border="1"> <tr><td>F 9</td><td>Ne 10</td></tr> </table>		F 9	Ne 10					
Li 3	Be 4																																								
<i>Fr</i> 87																																									
B 5	C 6																																								
N 7	O 8																																								
F 9	Ne 10																																								
<table border="1"> <tr><td>Na 11</td><td>Mg 12</td></tr> </table>		Na 11	Mg 12																			<table border="1"> <tr><td>Al 13</td><td>Si 14</td></tr> </table>		Al 13	Si 14	<table border="1"> <tr><td>P 15</td><td>S 16</td></tr> </table>		P 15	S 16	<table border="1"> <tr><td>Cl 17</td><td>Ar 18</td></tr> </table>		Cl 17	Ar 18								
Na 11	Mg 12																																								
Al 13	Si 14																																								
P 15	S 16																																								
Cl 17	Ar 18																																								
<table border="1"> <tr><td>K 19</td><td>Ca 20</td></tr> </table>		K 19	Ca 20	<table border="1"> <tr><td>Sc 21</td><td>Ti 22</td></tr> </table>		Sc 21	Ti 22	<table border="1"> <tr><td>V 23</td><td>Cr 24</td></tr> </table>		V 23	Cr 24	<table border="1"> <tr><td>Mn 25</td><td>Fe 26</td></tr> </table>		Mn 25	Fe 26	<table border="1"> <tr><td>Co 27</td><td>Ni 28</td></tr> </table>		Co 27	Ni 28	<table border="1"> <tr><td>Cu 29</td><td>Zn 30</td></tr> </table>		Cu 29	Zn 30	<table border="1"> <tr><td>Ga 31</td><td>Ge 32</td></tr> </table>		Ga 31	Ge 32	<table border="1"> <tr><td>As 33</td><td>Se 34</td></tr> </table>		As 33	Se 34	<table border="1"> <tr><td>Br 35</td><td>Kr 36</td></tr> </table>		Br 35	Kr 36						
K 19	Ca 20																																								
Sc 21	Ti 22																																								
V 23	Cr 24																																								
Mn 25	Fe 26																																								
Co 27	Ni 28																																								
Cu 29	Zn 30																																								
Ga 31	Ge 32																																								
As 33	Se 34																																								
Br 35	Kr 36																																								
<table border="1"> <tr><td>Rb 37</td><td>Sr 38</td></tr> </table>		Rb 37	Sr 38	<table border="1"> <tr><td>Y 39</td><td>Zr 40</td></tr> </table>		Y 39	Zr 40	<table border="1"> <tr><td>Nb 41</td><td>Mo 42</td></tr> </table>		Nb 41	Mo 42	<table border="1"> <tr><td><i>Tc</i> 43</td><td>Ru 44</td></tr> </table>		<i>Tc</i> 43	Ru 44	<table border="1"> <tr><td>Rh 45</td><td>Pd 46</td></tr> </table>		Rh 45	Pd 46	<table border="1"> <tr><td>Ag 47</td><td>Cd 48</td></tr> </table>		Ag 47	Cd 48	<table border="1"> <tr><td>In 49</td><td>Sn 50</td></tr> </table>		In 49	Sn 50	<table border="1"> <tr><td>Sb 51</td><td>Te 52</td></tr> </table>		Sb 51	Te 52	<table border="1"> <tr><td>I 53</td><td>Xe 54</td></tr> </table>		I 53	Xe 54						
Rb 37	Sr 38																																								
Y 39	Zr 40																																								
Nb 41	Mo 42																																								
<i>Tc</i> 43	Ru 44																																								
Rh 45	Pd 46																																								
Ag 47	Cd 48																																								
In 49	Sn 50																																								
Sb 51	Te 52																																								
I 53	Xe 54																																								
<table border="1"> <tr><td>Cs 55</td><td>Ba 56</td></tr> </table>		Cs 55	Ba 56	<table border="1"> <tr><td><sup>57</sup> à 71</td><td>Hf 72</td></tr> </table>		<sup>57</sup> à 71	Hf 72	<table border="1"> <tr><td>Ta 73</td><td>W 74</td></tr> </table>		Ta 73	W 74	<table border="1"> <tr><td>Re 75</td><td>Os 76</td></tr> </table>		Re 75	Os 76	<table border="1"> <tr><td>Ir 77</td><td>Pt 78</td></tr> </table>		Ir 77	Pt 78	<table border="1"> <tr><td>Au 79</td><td>Hg 80</td></tr> </table>		Au 79	Hg 80	<table border="1"> <tr><td>Tl 81</td><td>Pb 82</td></tr> </table>		Tl 81	Pb 82	<table border="1"> <tr><td>Bi 83</td><td><i>Po</i> 84</td></tr> </table>		Bi 83	<i>Po</i> 84	<table border="1"> <tr><td><i>At</i> 85</td><td><i>Rn</i> 86</td></tr> </table>		<i>At</i> 85	<i>Rn</i> 86						
Cs 55	Ba 56																																								
<sup>57</sup> à 71	Hf 72																																								
Ta 73	W 74																																								
Re 75	Os 76																																								
Ir 77	Pt 78																																								
Au 79	Hg 80																																								
Tl 81	Pb 82																																								
Bi 83	<i>Po</i> 84																																								
<i>At</i> 85	<i>Rn</i> 86																																								
<table border="1"> <tr><td><i>Fr</i> 87</td><td><i>Ra</i> 88</td></tr> </table>		<i>Fr</i> 87	<i>Ra</i> 88	<table border="1"> <tr><td><sup>89</sup> à 103</td><td><i>Rf</i> 104</td></tr> </table>		<sup>89</sup> à 103	<i>Rf</i> 104	<table border="1"> <tr><td><i>Db</i> 105</td><td><i>Sg</i> 106</td></tr> </table>		<i>Db</i> 105	<i>Sg</i> 106	<table border="1"> <tr><td><i>Bh</i> 107</td><td><i>Hs</i> 108</td></tr> </table>		<i>Bh</i> 107	<i>Hs</i> 108	<table border="1"> <tr><td><i>Mt</i> 109</td><td><i>Ds</i> 110</td></tr> </table>		<i>Mt</i> 109	<i>Ds</i> 110	<table border="1"> <tr><td><i>Rg</i> 111</td><td><i>Cn</i> 112</td></tr> </table>		<i>Rg</i> 111	<i>Cn</i> 112	<table border="1"> <tr><td>? 113</td><td>? 114</td></tr> </table>		? 113	? 114	<table border="1"> <tr><td>? 115</td><td>? 116</td></tr> </table>		? 115	? 116	<table border="1"> <tr><td>? 117</td><td>? 118</td></tr> </table>		? 117	? 118						
<i>Fr</i> 87	<i>Ra</i> 88																																								
<sup>89</sup> à 103	<i>Rf</i> 104																																								
<i>Db</i> 105	<i>Sg</i> 106																																								
<i>Bh</i> 107	<i>Hs</i> 108																																								
<i>Mt</i> 109	<i>Ds</i> 110																																								
<i>Rg</i> 111	<i>Cn</i> 112																																								
? 113	? 114																																								
? 115	? 116																																								
? 117	? 118																																								

$\leftarrow$  ns                       $\leftarrow$  (n-1)d                       $\leftarrow$  np                       $\rightarrow$

La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	<i>Pm</i> 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71
----------	----------	----------	----------	-----------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

$\leftarrow$  (n-2)f                       $\rightarrow$

<i>Ac</i> 89	<i>Th</i> 90	<i>Pa</i> 91	<i>U</i> 92	<i>Np</i> 93	<i>Pu</i> 94	<i>Am</i> 95	<i>Cm</i> 96	<i>Bk</i> 97	<i>Cf</i> 98	<i>Es</i> 99	<i>Fm</i> 100	<i>Md</i> 101	<i>No</i> 102	<i>Lr</i> 103
-----------------	-----------------	-----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	------------------	------------------	------------------	------------------

# Classification périodique

H  
1

élément possédant des isotopes stable(s) et radioactif(s)

Fr  
87

élément ne possédant que des isotopes radioactifs

H 1																	He 2
Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
Cs 55	Ba 56	<sup>57</sup> <sub>a</sub> 71	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86
Fr 87	Ra 88	<sup>89</sup> <sub>a</sub> 103	Rf 104	Db 105	Sg 106	Bh 107	Hs 108	Mt 109	Ds 110	Rg 111	Cn 112	? 113	? 114	? 115	? 116	? 117	? 118

La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103
----------	----------	----------	---------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------

# HISTORIQUE

« La diversité des natures chimiques, la diversité des vies moyennes de ces radioéléments synthétiques, permettent sans doute des recherches nouvelles en biologie et physicochimie....

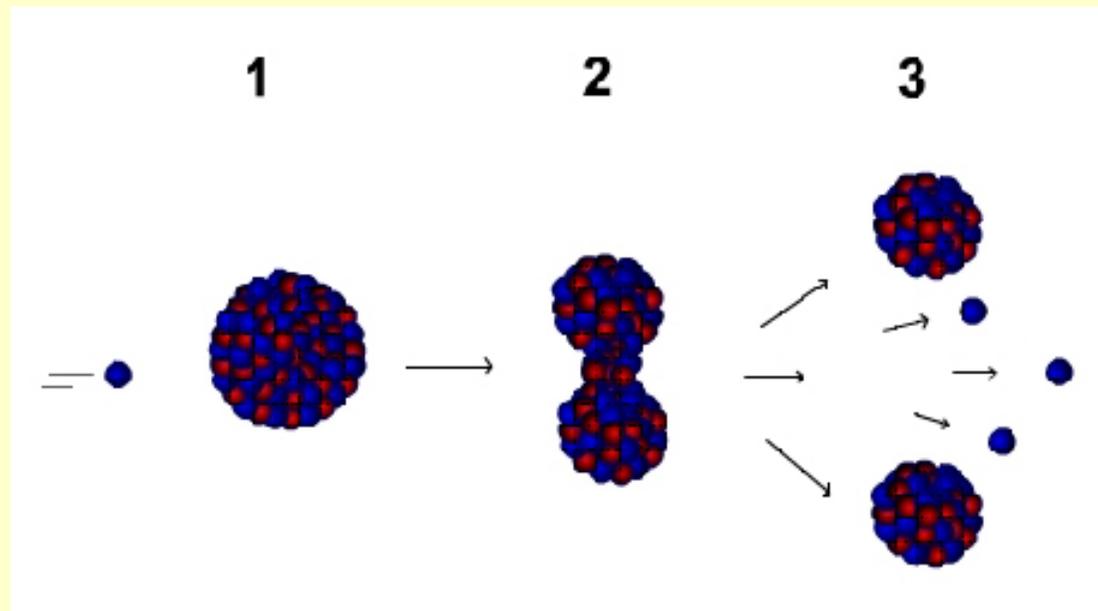
La méthode des indicateurs radioactifs jusqu'alors réservée aux éléments de masse atomique élevée, peut être généralisée à un très grand nombre d'éléments distribués dans toute la classification périodique.

En biologie, par exemple, la méthode des indicateurs, employant des radioéléments synthétiques, permettra d'étudier facilement le problème de la localisation et de l'élimination d'éléments divers introduits dans les organismes vivants. *Il n'est pas utile dans ces recherches, d'introduire des quantités importantes de l'isotope radioactif. Ces quantités sont fixées par la sensibilité de l'appareil détecteur.* »

*Professeur Jacques Foos -12 février 2014*

*Discours Nobel d'Irène Joliot-Curie - 1935*

# La découverte de l'énergie nucléaire : la fission provoquée





*Professeur Jacques Foos -12 février 2014*

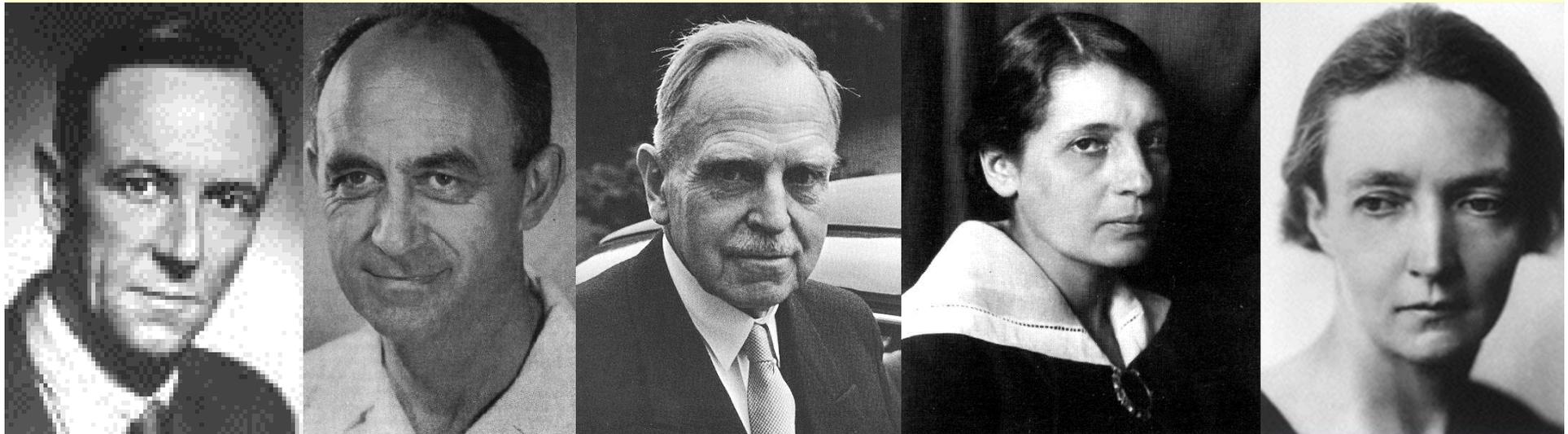
# Les acteurs de la découverte

**J. Chadwick E. Fermi**

**O. Hahn**

**L. Meitner**

**I. Joliot-Curie**



# Chadwick et le neutron - 1932



**Cousin du proton, particule  
constitutive du noyau atomique,  
comme lui, à peu près de même masse  
( à 1/1000<sup>e</sup> près)**

**MAIS**

***de charge électrique nulle !***

# Le neutron

Le neutron est donc la particule idéale pour une cible comme le noyau atomique, de charge positive. Il n'y a pas de répulsion entre eux.



Si le neutron est assez lent, il va pouvoir facilement être absorbé par le noyau et modifier ainsi sa structure !

# Le neutron



**S'il est absorbé par un noyau stable, en modifiant sa structure interne, il va lui faire perdre cette stabilité car le noyau « nouveau » aura trop de neutrons !**

**Il transformera alors un de ses neutrons en proton et se déplacera donc d'une place dans la classification périodique.**

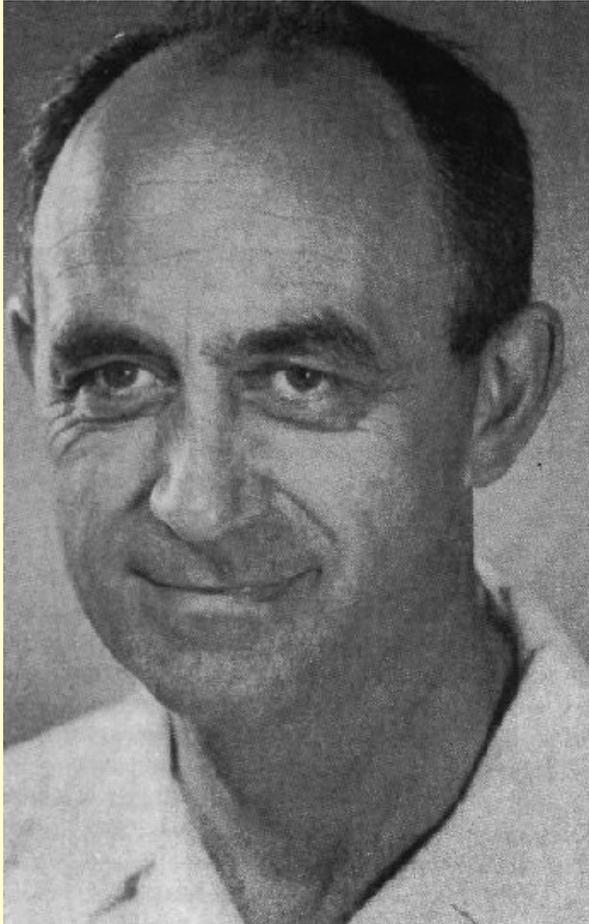
# Classification périodique

																<table border="1"> <tr><td>H 1</td></tr> <tr><td><i>Fr</i> 87</td></tr> </table>	H 1	<i>Fr</i> 87	<p>élément possédant des isotopes stable(s) et radioactif(s)</p> <p>élément ne possédant que des isotopes radioactifs</p>																															
H 1																																																		
<i>Fr</i> 87																																																		
H 1															He 2																																			
Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10																																	
Na 11	Mg 12									Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18																																			
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36																																	
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	<i>Tc</i> 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54																																	
Cs 55	Ba 56	<sup>57</sup> <sub>a</sub> 71	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	<i>Po</i> 84	<i>At</i> 85	<i>Rn</i> 86																																	
<i>Fr</i> 87	<i>Ra</i> 88	<sup>89</sup> <sub>a</sub> 103	<i>Rf</i> 104	<i>Db</i> 105	<i>Sg</i> 106	<i>Bh</i> 107	<i>Hs</i> 108	<i>Mt</i> 109	<i>Ds</i> 110	<i>Rg</i> 111	<i>Cn</i> 112	?	?	?	?	?	?																																	
																La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	<i>Pm</i> 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71																				
																<i>Ac</i> 89	<i>Th</i> 90	<i>Pa</i> 91	<i>U</i> 92	<i>Np</i> 93	<i>Pu</i> 94	<i>Am</i> 95	<i>Cm</i> 96	<i>Bk</i> 97	<i>Cf</i> 98	<i>Es</i> 99	<i>Fm</i> 100	<i>Md</i> 101	<i>No</i> 102	<i>Lr</i> 103																				

# Le noyau a trop de neutrons

<b>du carbone</b>	<b>se transforme</b>	<b>en azote</b>	
<b>de l'azote</b>	<b>se transforme</b>	<b>en oxygène</b>	
<b>du fer</b>	<b>se transforme</b>	<b>en cobalt</b>	
<b>du cobalt</b>	<b>se transforme</b>	<b>en nickel</b>	
<b>du nickel</b>	<b>se transforme</b>	<b>en cuivre</b>	<b>etc.</b>

# Fermi et ses réactions nucléaires



Fermi entreprend donc, dès le printemps 1934, de bombardier tous les éléments possibles avec des neutrons lents pour étudier le résultat.

Jusqu'au jour où ...

# Idée géniale de Fermi



Fermi se dit : « Si je bombarde de l'uranium, dernier élément de la classification (dossard 92), avec des neutrons, les noyaux obtenus, devenus instables, vont revenir vers la stabilité en transformant un neutron en proton et donc ... *Je créerai ainsi le premier élément artificiel au delà de l'uranium, dossard 93*

# Classification périodique

H  
1

élément possédant des isotopes stable(s) et radioactif(s)

Fr  
87

élément ne possédant que des isotopes radioactifs

H 1																	He 2
Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
Cs 55	Ba 56	<sup>57</sup> <sub>a</sub> 71	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86
Fr 87	Ra 88	<sup>89</sup> <sub>a</sub> 103	Rf 104	Db 105	Sg 106	Bh 107	Hs 108	Mt 109	Ds 110	Rg 111	Cn 112	? 113	? 114	? 115	? 116	? 117	? 118

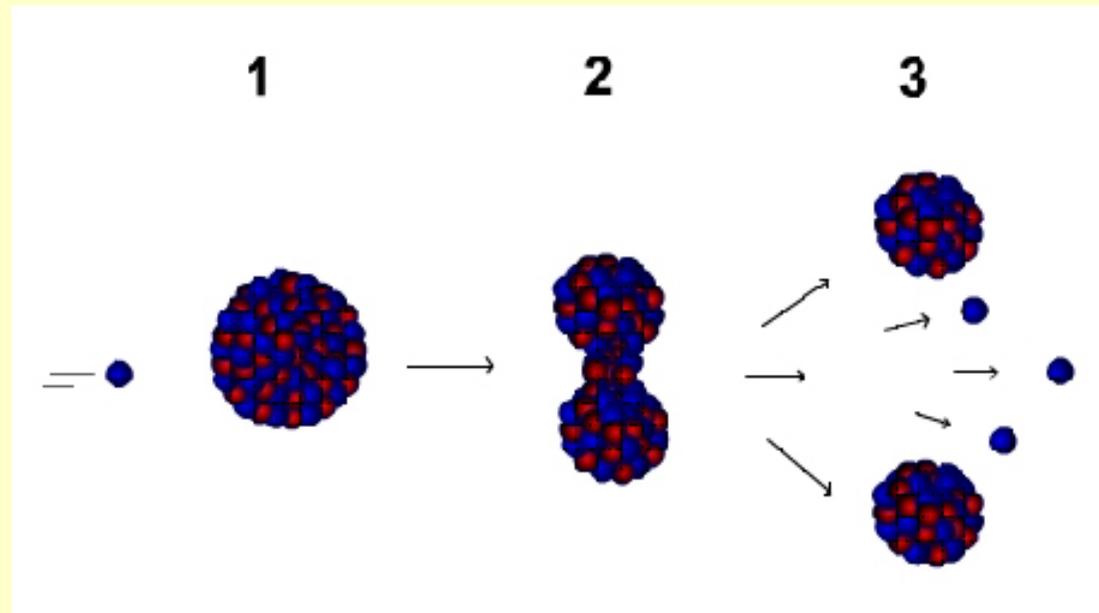
La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103
----------	----------	----------	---------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------



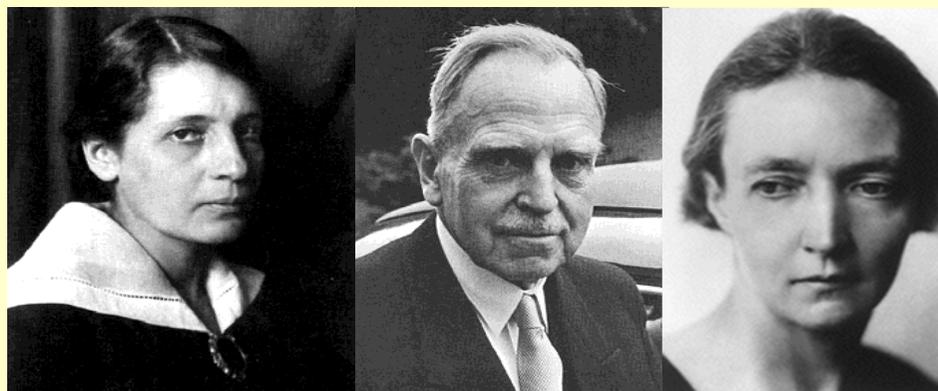
# Débuts des ennuis de Fermi

Comment identifier un nouvel élément : par ses propriétés chimiques. Les ennuis commencent car



## Les laboratoires européens s'en mêlent

Les trois derniers acteurs de cette aventure rentrent alors en piste : une physicienne, Lise Meitner et deux chimistes, Otto Hahn et Irène Joliot-Curie.



Personne n'imagine que le noyau atomique peut se couper en deux et produire de nombreux noyaux plus petits (jusqu'à une centaine).

# Les produits issus de la fission de l'uranium

Radioéléments se trouvant dans les combustibles usés

																		<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: #00FF00; margin-right: 5px;"></div> <span>Produit de fission</span> </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: #FFFF00; margin-right: 5px;"></div> <span>produit d'activation de matériau de structure</span> </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: #FF0000; margin-right: 5px;"></div> <span>actinide majeur</span> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: #FF00FF; margin-right: 5px;"></div> <span>actinide mineur</span> </div> </div>	
H 1																	He 2		
Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10		
Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18		
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36		
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54		
Cs 55	Ba 56	<sup>57</sup> à <sub>71</sub>	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86		
<i>Fr</i> 87	<i>Ra</i> 88	<sup>89</sup> à <sub>103</sub>	<i>Rf</i> 104	<i>Db</i> 105	<i>Sg</i> 106	<i>Bh</i> 107	<i>Hs</i> 108	<i>Mt</i> 109	<i>Ds</i> 110	<i>Rn</i> 111	<i>Cn</i> 112	? 113	? 114	? 115	? 116				

lanthanides

La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

actinides

<i>Ac</i> 89	<i>Th</i> 90	<i>Pa</i> 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	<i>Bk</i> 97	<i>Cf</i> 98	<i>Es</i> 99	<i>Fm</i> 100	<i>Md</i> 101	<i>No</i> 102	<i>Lr</i> 103
-----------------	-----------------	-----------------	---------	----------	----------	----------	----------	-----------------	-----------------	-----------------	------------------	------------------	------------------	------------------

**Les laboratoires européens s'en mêlent**



**Les laboratoires européens s'emmêlent**

# Les laboratoires européens s'emmèlent

1<sup>ère</sup> hypothèse : on a découvert non pas 1 mais les 4 éléments suivant l'uranium, les 93 ; 94 ; 95 et 96 que l'on nomme eka-Re ; eka-Os ; eka-Ir et eka-Pt

H 1		élément possédant des isotopes stable(s) et radioactif(s)																He 2																													
Fr 87		élément ne possédant que des isotopes radioactifs																																													
Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10																														
Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18																														
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36																														
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54																														
Cs 55	Ba 56	<sup>57</sup> <sub>a</sub> 71	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86																														
Fr 87	Ra 88	<sup>89</sup> <sub>a</sub> 103	Rf 104	Db 105	Sg 106	Bh 107	Hs 108	Mt 109	Ds 110	Rg 111	Cn 112	? 113	? 114	? 115	? 116	? 117	? 118																														
<table border="1"> <tr> <td>La 57</td><td>Ce 58</td><td>Pr 59</td><td>Nd 60</td><td>Pm 61</td><td>Sm 62</td><td>Eu 63</td><td>Gd 64</td><td>Tb 65</td><td>Dy 66</td><td>Ho 67</td><td>Er 68</td><td>Tm 69</td><td>Yb 70</td><td>Lu 71</td> </tr> <tr> <td>Ac 89</td><td>Th 90</td><td>Pa 91</td><td>U 92</td><td>Np 93</td><td>Pu 94</td><td>Am 95</td><td>Cm 96</td><td>Bk 97</td><td>Cf 98</td><td>Es 99</td><td>Fm 100</td><td>Md 101</td><td>No 102</td><td>Lr 103</td> </tr> </table>																		La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71	Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103
La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71																																	
Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103																																	

# Les laboratoires européens s'emmêlent

2<sup>de</sup> hypothèse : on vérifie que ce ne sont pas les descendants de l'uranium que l'on a obtenus. Otto Hahn pense en effet avoir « vu » du radium.

H 1		élément possédant des isotopes stable(s) et radioactif(s)																He 2	
Fr 87		élément ne possédant que des isotopes radioactifs																	
Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10		
Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18		
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36		
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54		
Cs 55	Ba 56	<sup>57</sup> à 71	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86		
Fr 87	Ra 88	<sup>89</sup> à 103	Rf 104	Db 105	Sg 106	Bh 107	Hs 108	Mt 109	Ds 110	Rg 111	Cn 112	? 113	? 114	? 115	? 116	? 117	? 118		
La 57		Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71				
Ac 89		Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103				

# Les laboratoires européens s'emmèlent

3<sup>ème</sup> étape : Irène Joliot-Curie pense avoir détecter du radio-lanthane de période 3,5 h !

Idée jugée poliment absurde par les autres !

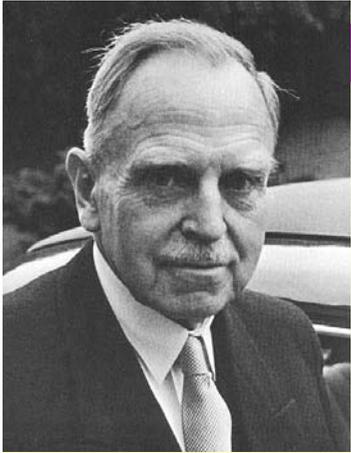
		<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>H</td></tr><tr><td>1</td></tr></table> élément possédant des isotopes stable(s) et radioactif(s)		H	1																	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>He</td></tr><tr><td>2</td></tr></table>	He	2																													
H																																																					
1																																																					
He																																																					
2																																																					
		<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Fr</td></tr><tr><td>87</td></tr></table> élément ne possédant que des isotopes radioactifs		Fr	87																																																
Fr																																																					
87																																																					
<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>H</td></tr><tr><td>1</td></tr></table>	H	1													<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>B</td></tr><tr><td>5</td></tr></table>	B	5	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>C</td></tr><tr><td>6</td></tr></table>	C	6	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>N</td></tr><tr><td>7</td></tr></table>	N	7	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>O</td></tr><tr><td>8</td></tr></table>	O	8	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>F</td></tr><tr><td>9</td></tr></table>	F	9	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Ne</td></tr><tr><td>10</td></tr></table>	Ne	10																					
H																																																					
1																																																					
B																																																					
5																																																					
C																																																					
6																																																					
N																																																					
7																																																					
O																																																					
8																																																					
F																																																					
9																																																					
Ne																																																					
10																																																					
<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Li</td></tr><tr><td>3</td></tr></table>	Li	3	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Be</td></tr><tr><td>4</td></tr></table>	Be	4											<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Al</td></tr><tr><td>13</td></tr></table>	Al	13	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Si</td></tr><tr><td>14</td></tr></table>	Si	14	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>P</td></tr><tr><td>15</td></tr></table>	P	15	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>S</td></tr><tr><td>16</td></tr></table>	S	16	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Cl</td></tr><tr><td>17</td></tr></table>	Cl	17	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Ar</td></tr><tr><td>18</td></tr></table>	Ar	18																				
Li																																																					
3																																																					
Be																																																					
4																																																					
Al																																																					
13																																																					
Si																																																					
14																																																					
P																																																					
15																																																					
S																																																					
16																																																					
Cl																																																					
17																																																					
Ar																																																					
18																																																					
<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Na</td></tr><tr><td>11</td></tr></table>	Na	11	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Mg</td></tr><tr><td>12</td></tr></table>	Mg	12											<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Ga</td></tr><tr><td>31</td></tr></table>	Ga	31	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Ge</td></tr><tr><td>32</td></tr></table>	Ge	32	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>As</td></tr><tr><td>33</td></tr></table>	As	33	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Se</td></tr><tr><td>34</td></tr></table>	Se	34	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Br</td></tr><tr><td>35</td></tr></table>	Br	35	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Kr</td></tr><tr><td>36</td></tr></table>	Kr	36																				
Na																																																					
11																																																					
Mg																																																					
12																																																					
Ga																																																					
31																																																					
Ge																																																					
32																																																					
As																																																					
33																																																					
Se																																																					
34																																																					
Br																																																					
35																																																					
Kr																																																					
36																																																					
<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>K</td></tr><tr><td>19</td></tr></table>	K	19	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Ca</td></tr><tr><td>20</td></tr></table>	Ca	20	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Sc</td></tr><tr><td>21</td></tr></table>	Sc	21	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Ti</td></tr><tr><td>22</td></tr></table>	Ti	22	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>V</td></tr><tr><td>23</td></tr></table>	V	23	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Cr</td></tr><tr><td>24</td></tr></table>	Cr	24	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Mn</td></tr><tr><td>25</td></tr></table>	Mn	25	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Fe</td></tr><tr><td>26</td></tr></table>	Fe	26	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Co</td></tr><tr><td>27</td></tr></table>	Co	27	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Ni</td></tr><tr><td>28</td></tr></table>	Ni	28	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Cu</td></tr><tr><td>29</td></tr></table>	Cu	29	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Zn</td></tr><tr><td>30</td></tr></table>	Zn	30	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Ga</td></tr><tr><td>31</td></tr></table>	Ga	31	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Ge</td></tr><tr><td>32</td></tr></table>	Ge	32	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>As</td></tr><tr><td>33</td></tr></table>	As	33	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Se</td></tr><tr><td>34</td></tr></table>	Se	34	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Br</td></tr><tr><td>35</td></tr></table>	Br	35	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Kr</td></tr><tr><td>36</td></tr></table>	Kr	36
K																																																					
19																																																					
Ca																																																					
20																																																					
Sc																																																					
21																																																					
Ti																																																					
22																																																					
V																																																					
23																																																					
Cr																																																					
24																																																					
Mn																																																					
25																																																					
Fe																																																					
26																																																					
Co																																																					
27																																																					
Ni																																																					
28																																																					
Cu																																																					
29																																																					
Zn																																																					
30																																																					
Ga																																																					
31																																																					
Ge																																																					
32																																																					
As																																																					
33																																																					
Se																																																					
34																																																					
Br																																																					
35																																																					
Kr																																																					
36																																																					
<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Rb</td></tr><tr><td>37</td></tr></table>	Rb	37	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Sr</td></tr><tr><td>38</td></tr></table>	Sr	38	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Y</td></tr><tr><td>39</td></tr></table>	Y	39	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Zr</td></tr><tr><td>40</td></tr></table>	Zr	40	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Nb</td></tr><tr><td>41</td></tr></table>	Nb	41	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Mo</td></tr><tr><td>42</td></tr></table>	Mo	42	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Tc</td></tr><tr><td>43</td></tr></table>	Tc	43	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Ru</td></tr><tr><td>44</td></tr></table>	Ru	44	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Rh</td></tr><tr><td>45</td></tr></table>	Rh	45	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Pd</td></tr><tr><td>46</td></tr></table>	Pd	46	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Ag</td></tr><tr><td>47</td></tr></table>	Ag	47	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Cd</td></tr><tr><td>48</td></tr></table>	Cd	48	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>In</td></tr><tr><td>49</td></tr></table>	In	49	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Sn</td></tr><tr><td>50</td></tr></table>	Sn	50	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Sb</td></tr><tr><td>51</td></tr></table>	Sb	51	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Te</td></tr><tr><td>52</td></tr></table>	Te	52	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>I</td></tr><tr><td>53</td></tr></table>	I	53	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Xe</td></tr><tr><td>54</td></tr></table>	Xe	54
Rb																																																					
37																																																					
Sr																																																					
38																																																					
Y																																																					
39																																																					
Zr																																																					
40																																																					
Nb																																																					
41																																																					
Mo																																																					
42																																																					
Tc																																																					
43																																																					
Ru																																																					
44																																																					
Rh																																																					
45																																																					
Pd																																																					
46																																																					
Ag																																																					
47																																																					
Cd																																																					
48																																																					
In																																																					
49																																																					
Sn																																																					
50																																																					
Sb																																																					
51																																																					
Te																																																					
52																																																					
I																																																					
53																																																					
Xe																																																					
54																																																					
<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Cs</td></tr><tr><td>55</td></tr></table>	Cs	55	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Ba</td></tr><tr><td>56</td></tr></table>	Ba	56	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td><sup>57</sup> à 71</td></tr></table>	<sup>57</sup> à 71	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Hf</td></tr><tr><td>72</td></tr></table>	Hf	72	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Ta</td></tr><tr><td>73</td></tr></table>	Ta	73	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>W</td></tr><tr><td>74</td></tr></table>	W	74	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Re</td></tr><tr><td>75</td></tr></table>	Re	75	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Os</td></tr><tr><td>76</td></tr></table>	Os	76	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Ir</td></tr><tr><td>77</td></tr></table>	Ir	77	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Pt</td></tr><tr><td>78</td></tr></table>	Pt	78	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Au</td></tr><tr><td>79</td></tr></table>	Au	79	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Hg</td></tr><tr><td>80</td></tr></table>	Hg	80	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Tl</td></tr><tr><td>81</td></tr></table>	Tl	81	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Pb</td></tr><tr><td>82</td></tr></table>	Pb	82	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Bi</td></tr><tr><td>83</td></tr></table>	Bi	83	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Po</td></tr><tr><td>84</td></tr></table>	Po	84	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>At</td></tr><tr><td>85</td></tr></table>	At	85	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Rn</td></tr><tr><td>86</td></tr></table>	Rn	86	
Cs																																																					
55																																																					
Ba																																																					
56																																																					
<sup>57</sup> à 71																																																					
Hf																																																					
72																																																					
Ta																																																					
73																																																					
W																																																					
74																																																					
Re																																																					
75																																																					
Os																																																					
76																																																					
Ir																																																					
77																																																					
Pt																																																					
78																																																					
Au																																																					
79																																																					
Hg																																																					
80																																																					
Tl																																																					
81																																																					
Pb																																																					
82																																																					
Bi																																																					
83																																																					
Po																																																					
84																																																					
At																																																					
85																																																					
Rn																																																					
86																																																					
<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Fr</td></tr><tr><td>87</td></tr></table>	Fr	87	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Ra</td></tr><tr><td>88</td></tr></table>	Ra	88	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td><sup>89</sup> à 103</td></tr></table>	<sup>89</sup> à 103	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Rf</td></tr><tr><td>104</td></tr></table>	Rf	104	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Db</td></tr><tr><td>105</td></tr></table>	Db	105	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Sg</td></tr><tr><td>106</td></tr></table>	Sg	106	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Bh</td></tr><tr><td>107</td></tr></table>	Bh	107	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Hs</td></tr><tr><td>108</td></tr></table>	Hs	108	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Mt</td></tr><tr><td>109</td></tr></table>	Mt	109	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Ds</td></tr><tr><td>110</td></tr></table>	Ds	110	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Rg</td></tr><tr><td>111</td></tr></table>	Rg	111	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Cn</td></tr><tr><td>112</td></tr></table>	Cn	112	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>?</td></tr><tr><td>113</td></tr></table>	?	113	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>?</td></tr><tr><td>114</td></tr></table>	?	114	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>?</td></tr><tr><td>115</td></tr></table>	?	115	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>?</td></tr><tr><td>116</td></tr></table>	?	116	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>?</td></tr><tr><td>117</td></tr></table>	?	117	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>?</td></tr><tr><td>118</td></tr></table>	?	118	
Fr																																																					
87																																																					
Ra																																																					
88																																																					
<sup>89</sup> à 103																																																					
Rf																																																					
104																																																					
Db																																																					
105																																																					
Sg																																																					
106																																																					
Bh																																																					
107																																																					
Hs																																																					
108																																																					
Mt																																																					
109																																																					
Ds																																																					
110																																																					
Rg																																																					
111																																																					
Cn																																																					
112																																																					
?																																																					
113																																																					
?																																																					
114																																																					
?																																																					
115																																																					
?																																																					
116																																																					
?																																																					
117																																																					
?																																																					
118																																																					

<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>La</td></tr><tr><td>57</td></tr></table>	La	57	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Ce</td></tr><tr><td>58</td></tr></table>	Ce	58	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Pr</td></tr><tr><td>59</td></tr></table>	Pr	59	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Nd</td></tr><tr><td>60</td></tr></table>	Nd	60	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Pm</td></tr><tr><td>61</td></tr></table>	Pm	61	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Sm</td></tr><tr><td>62</td></tr></table>	Sm	62	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Eu</td></tr><tr><td>63</td></tr></table>	Eu	63	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Gd</td></tr><tr><td>64</td></tr></table>	Gd	64	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Tb</td></tr><tr><td>65</td></tr></table>	Tb	65	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Dy</td></tr><tr><td>66</td></tr></table>	Dy	66	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Ho</td></tr><tr><td>67</td></tr></table>	Ho	67	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Er</td></tr><tr><td>68</td></tr></table>	Er	68	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Tm</td></tr><tr><td>69</td></tr></table>	Tm	69	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Yb</td></tr><tr><td>70</td></tr></table>	Yb	70	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Lu</td></tr><tr><td>71</td></tr></table>	Lu	71
La																																												
57																																												
Ce																																												
58																																												
Pr																																												
59																																												
Nd																																												
60																																												
Pm																																												
61																																												
Sm																																												
62																																												
Eu																																												
63																																												
Gd																																												
64																																												
Tb																																												
65																																												
Dy																																												
66																																												
Ho																																												
67																																												
Er																																												
68																																												
Tm																																												
69																																												
Yb																																												
70																																												
Lu																																												
71																																												
<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Ac</td></tr><tr><td>89</td></tr></table>	Ac	89	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Th</td></tr><tr><td>90</td></tr></table>	Th	90	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Pa</td></tr><tr><td>91</td></tr></table>	Pa	91	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>U</td></tr><tr><td>92</td></tr></table>	U	92	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Np</td></tr><tr><td>93</td></tr></table>	Np	93	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Pu</td></tr><tr><td>94</td></tr></table>	Pu	94	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Am</td></tr><tr><td>95</td></tr></table>	Am	95	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Cm</td></tr><tr><td>96</td></tr></table>	Cm	96	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Bk</td></tr><tr><td>97</td></tr></table>	Bk	97	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Cf</td></tr><tr><td>98</td></tr></table>	Cf	98	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Es</td></tr><tr><td>99</td></tr></table>	Es	99	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Fm</td></tr><tr><td>100</td></tr></table>	Fm	100	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Md</td></tr><tr><td>101</td></tr></table>	Md	101	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>No</td></tr><tr><td>102</td></tr></table>	No	102	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>Lr</td></tr><tr><td>103</td></tr></table>	Lr	103
Ac																																												
89																																												
Th																																												
90																																												
Pa																																												
91																																												
U																																												
92																																												
Np																																												
93																																												
Pu																																												
94																																												
Am																																												
95																																												
Cm																																												
96																																												
Bk																																												
97																																												
Cf																																												
98																																												
Es																																												
99																																												
Fm																																												
100																																												
Md																																												
101																																												
No																																												
102																																												
Lr																																												
103																																												

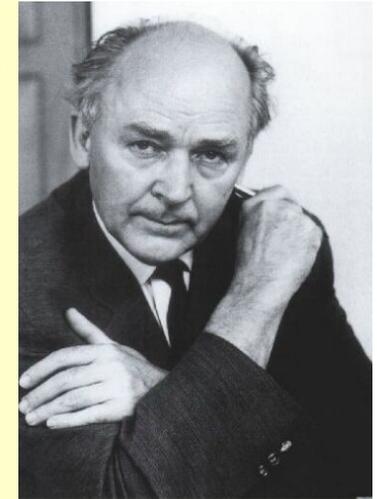
# Le curi osium !

4<sup>ème</sup> étape : Otto Hahn se moque gentiment d'Irène Joliot-Curie et reprend ses travaux sur le « radium » pour démontrer son erreur mais ... constate que « son » radium est en fait *du baryum* !

																H 1	élément possédant des isotopes stable(s) et radioactif(s)																		He 2
																Fr 87	élément ne possédant que des isotopes radioactifs																		
Li 3		Be 4																		B 5		C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10									
Na 11		Mg 12																		Al 13		Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18									
K 19		Ca 20		Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36																
Rb 37		Sr 38		Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54																
Cs 55		Ba 56		La 57	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86																
Fr 87		Ra 88		Ac 89	Rf 104	Db 105	Sg 106	Bh 107	Hs 108	Mt 109	Ds 110	Rg 111	Cn 112	?	?	?	?	?	?																
		La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71																			
		Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103																			



Publication du 22 décembre 1938  
(Otto Hahn et Fritz Strassmann)  
à *Naturwissenschaften*

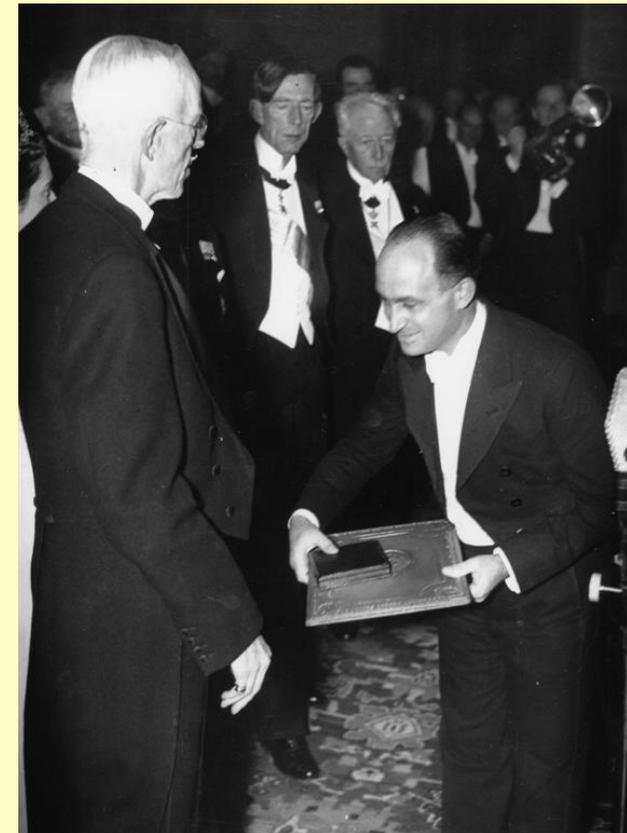


« Sur la mise en évidence et le comportement de métaux alcalino-terreux lors de l'irradiation de l'uranium par des neutrons »

« En accord avec I. Curie ... et en tant que chimistes, nous devrions renommer le schéma proposé et mettre les symboles Ba, La et Ce à la place de Ra, Ac et Th. En tant que « chimistes nucléaires », proches d'une certaine manière de la physique, nous ne sommes pas encore prêts à franchir ce pas, contraire à toutes les expériences connues à ce jour en physique nucléaire. Il serait encore possible, malgré tout, qu'une série d'improbables coïncidences ait entaché d'erreurs nos résultats. »

# Fermi perd patience

Quelques jours plus tôt, dans son discours Nobel de 1938, il succombe à la tentation à laquelle il avait résisté jusque là : il déclare avoir créé les 2 éléments suivant l'uranium et les nomme **ausonium** (Ao) et **hesperium** (Es).



*Professeur Jacques Foos -12 février 2014*

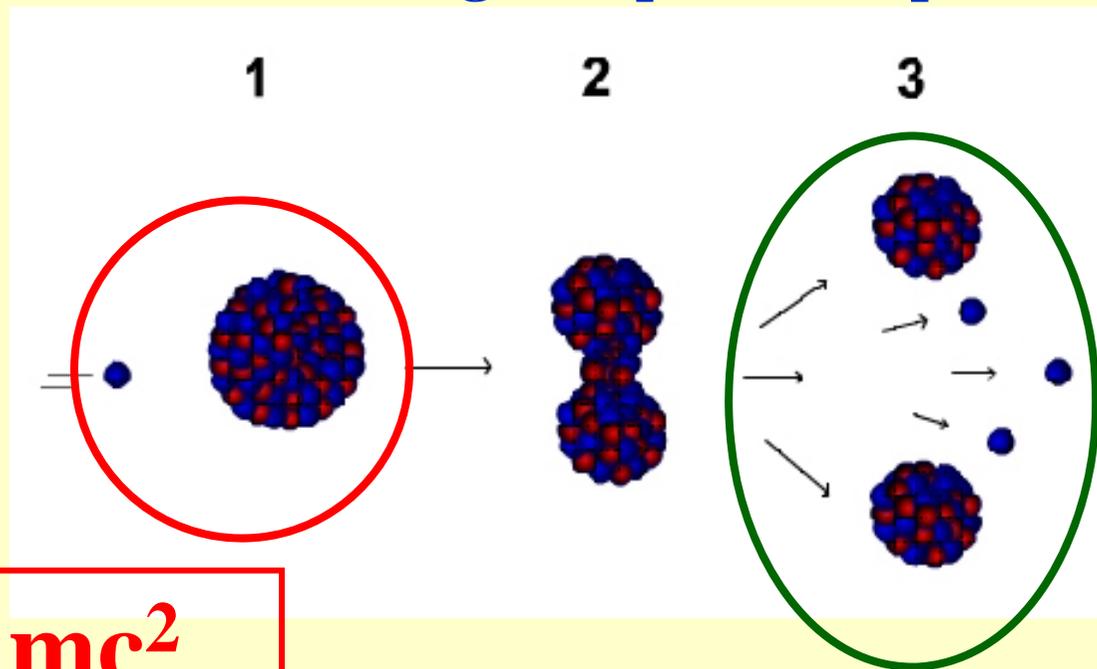
# Lise Meitner et Otto Frish résolvent l'énigme

Comment imaginer obtenir des noyaux nettement plus petits que l'uranium ?



# Lise Meitner et Otto Frish résolvent l'énigme

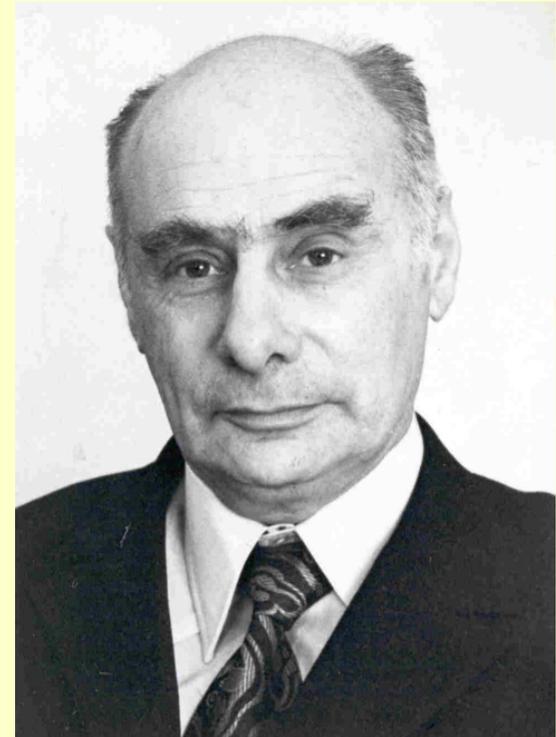
Si la somme des masses du neutron et du noyau d'uranium est supérieure à la somme des masses des noyaux et particules résultantes, c'est donc que cette réaction fournit de l'énergie et qu'elle est possible !



$$E = mc^2$$

# Lise Meitner et Otto Frish résolvent l'énigme

C'est donc la découverte de la fission provoquée. Toutefois, cette désintégration des très gros noyaux est un phénomène naturel qui ne sera découvert que quelques années plus tard en 1940, par Flérov sur l'uranium-238.



## Et pourtant ...



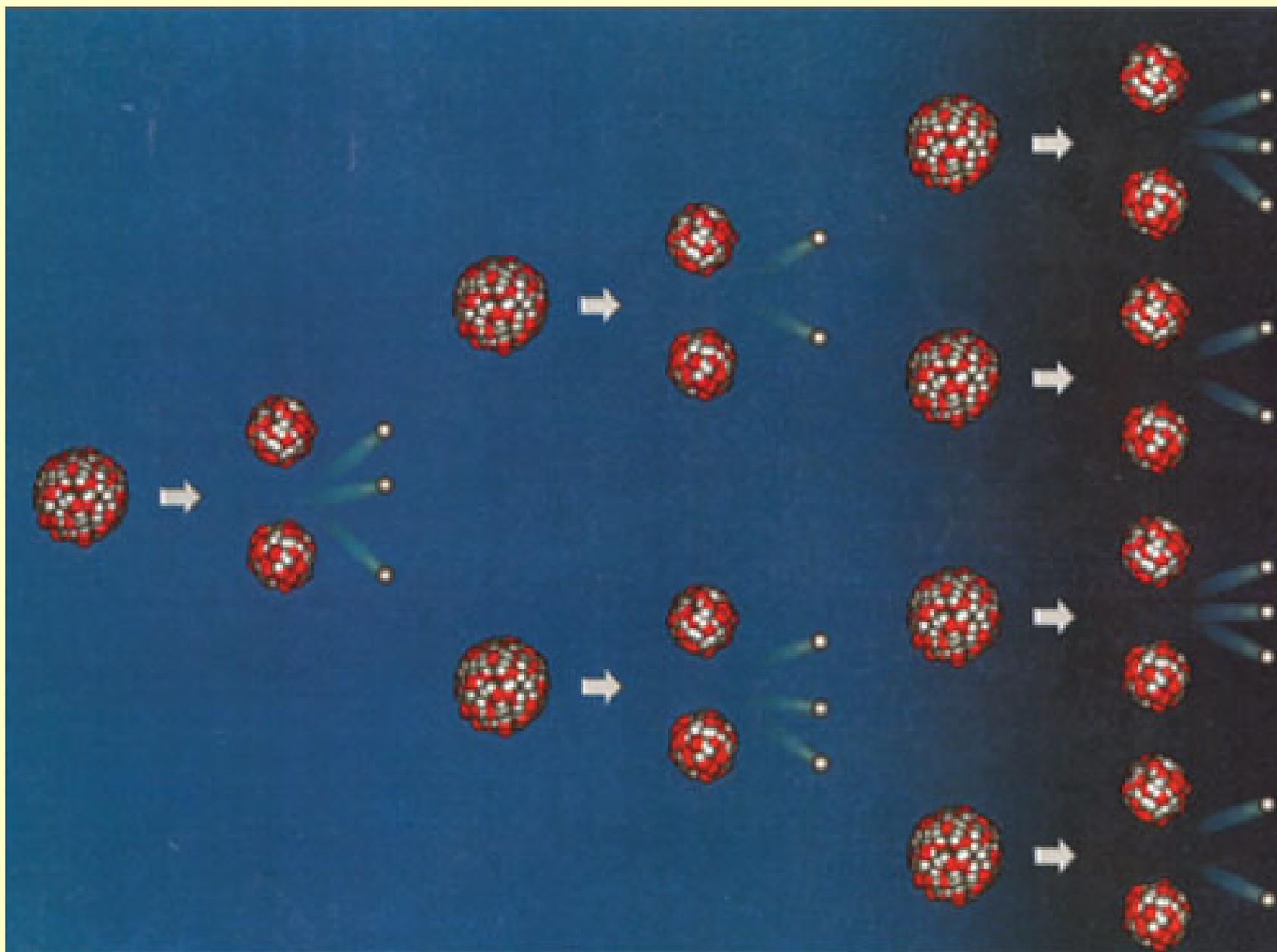
Dès 1934, la chimiste Ida Noddack, déjà connue pour avoir découvert le rhénium (n°75), écrivait : *« Lors de ces désintégrations nucléaires provoquées par des neutrons, ... , il serait concevable que ces noyaux se brisent en plusieurs gros morceaux qui seraient certes des isotopes d'éléments connus, sans être voisins de l'élément irradié. »*

# La découverte des neutrons permet d'envisager de récupérer cette énergie

**En 1939, Enrico Fermi, Léo Szilard, Herbert-Lawrence Anderson et Frédéric Joliot-Curie mettent en évidence le processus de la réaction en chaîne.**



# La réaction en chaîne



# La famille aux six Prix Nobel

**Marie Curie : 2 prix Nobel**

**Pierre Curie : 1 prix Nobel**

**Irène Joliot- Curie : 1 prix Nobel**

**Frédéric Joliot : 1 prix Nobel**

**Et ..**

# La famille aux six Prix Nobel

**Eve Curie (1904 – 2007)**



*Professeur Jacques Foos -12 février 2014*

## La famille aux six Prix Nobel



## La famille aux six Prix Nobel

Eve Curie accompagnera son mari, Henri Labouisse, lorsqu'il recevra le prix Nobel en 1965 au nom de l'Unicef.



# Classification périodique

		<table border="1"> <tr><td>H 1</td></tr> <tr><td><i>Fr</i> 87</td></tr> </table>		H 1	<i>Fr</i> 87	élément possédant des isotopes stable(s) et radioactif(s)																										
H 1																																
<i>Fr</i> 87																																
		<table border="1"> <tr><td>H 1</td></tr> <tr><td><i>Fr</i> 87</td></tr> </table>		H 1	<i>Fr</i> 87	élément ne possédant que des isotopes radioactifs																										
H 1																																
<i>Fr</i> 87																																
Li 3	Be 4																	B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10									
Na 11	Mg 12																	Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18									
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36															
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	<i>Tc</i> 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54															
Cs 55	Ba 56	<sup>57</sup> <sub>a</sub> 71	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	<i>Po</i> 84	<i>At</i> 85	<i>Rn</i> 86															
<i>Fr</i> 87	<i>Ra</i> 88	<sup>89</sup> <sub>a</sub> 103	<i>Rf</i> 104	<i>Db</i> 105	<i>Sg</i> 106	<i>Bh</i> 107	<i>Hs</i> 108	<i>Mt</i> 109	<i>Ds</i> 110	<i>Rg</i> 111	<i>Cn</i> 112	?	?	?	?	?	?															
<table border="1"> <tr> <td>La 57</td> <td>Ce 58</td> <td>Pr 59</td> <td>Nd 60</td> <td><i>Pm</i> 61</td> <td>Sm 62</td> <td>Eu 63</td> <td>Gd 64</td> <td>Tb 65</td> <td>Dy 66</td> <td>Ho 67</td> <td>Er 68</td> <td>Tm 69</td> <td>Yb 70</td> <td>Lu 71</td> </tr> </table>																		La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	<i>Pm</i> 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71
La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	<i>Pm</i> 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71																		
<table border="1"> <tr> <td><i>Ac</i> 89</td> <td><i>Th</i> 90</td> <td><i>Pa</i> 91</td> <td><i>U</i> 92</td> <td><i>Np</i> 93</td> <td><i>Pu</i> 94</td> <td><i>Am</i> 95</td> <td><i>Cm</i> 96</td> <td><i>Bk</i> 97</td> <td><i>Cf</i> 98</td> <td><i>Es</i> 99</td> <td><i>Fm</i> 100</td> <td><i>Md</i> 101</td> <td><i>No</i> 102</td> <td><i>Lr</i> 103</td> </tr> </table>																		<i>Ac</i> 89	<i>Th</i> 90	<i>Pa</i> 91	<i>U</i> 92	<i>Np</i> 93	<i>Pu</i> 94	<i>Am</i> 95	<i>Cm</i> 96	<i>Bk</i> 97	<i>Cf</i> 98	<i>Es</i> 99	<i>Fm</i> 100	<i>Md</i> 101	<i>No</i> 102	<i>Lr</i> 103
<i>Ac</i> 89	<i>Th</i> 90	<i>Pa</i> 91	<i>U</i> 92	<i>Np</i> 93	<i>Pu</i> 94	<i>Am</i> 95	<i>Cm</i> 96	<i>Bk</i> 97	<i>Cf</i> 98	<i>Es</i> 99	<i>Fm</i> 100	<i>Md</i> 101	<i>No</i> 102	<i>Lr</i> 103																		

# Classification périodique

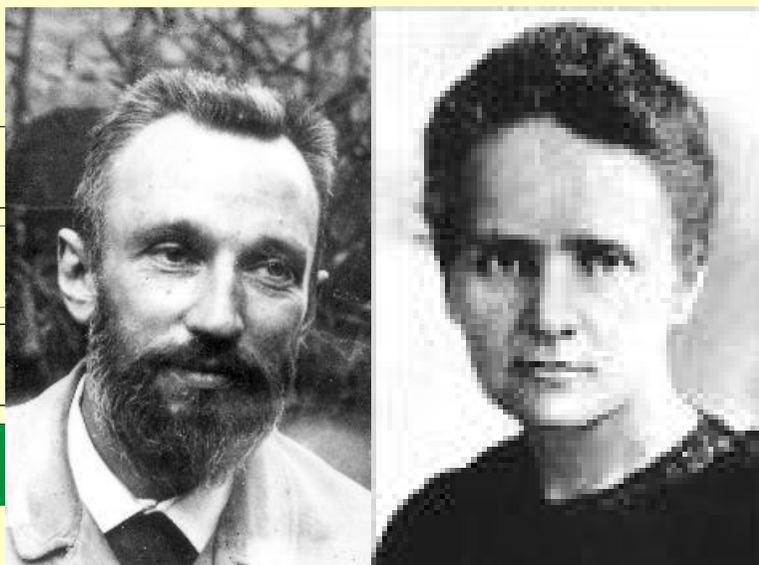
H  
1

élément possédant des isotopes stable(s) et radioactif(s)

Fr  
87

élément ne possédant que des isotopes radioactifs

H 1																	He 2									
Li 3	Be 4																	B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10			
Na 11	Mg 12																	Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18			
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23																	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41																	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
Cs 55	Ba 56	<sup>57</sup> à 71	Hf 72	Ta 73																	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86
Fr 87	Ra 88	<sup>89</sup> à 103	Rf 104	Db 105																	? 113	? 114	? 115	? 116	? 117	? 118



La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71
Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103

# Classification périodique

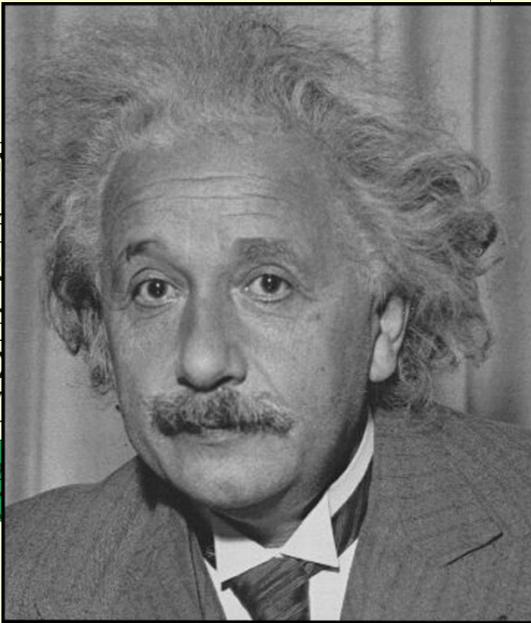
H  
1

élément possédant des isotopes stable(s) et radioactif(s)

Fr  
87

élément ne possédant que des isotopes radioactifs

H 1																	He 2															
Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10															
Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18															
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26											Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36							
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44											Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54										
Cs 55	Ba 56	<sup>57</sup> <sub>a</sub> 71	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76											Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86										
Fr 87	Ra 88	<sup>89</sup> <sub>a</sub> 103	Rf 104	Db 105	Sg 106	Bh 107	Hs 108											113	? 114	? 115	? 116	? 117	? 118									
																		La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71
																		Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103



# Classification périodique

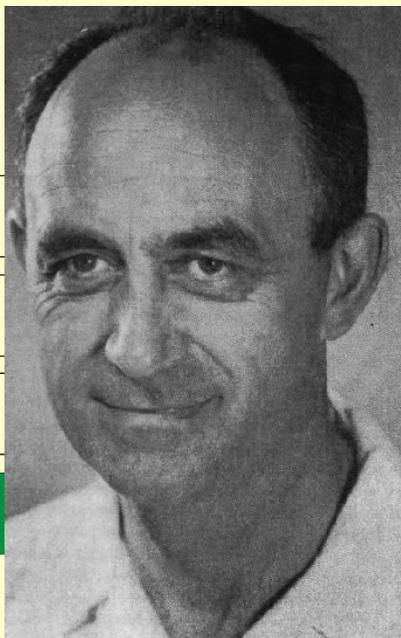
H  
1

élément possédant des isotopes stable(s) et radioactif(s)

Fr  
87

élément ne possédant que des isotopes radioactifs

H 1																	He 2														
Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10														
Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18														
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25											Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36								
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43											Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54								
Cs 55	Ba 56	<sup>57</sup> <sub>a</sub> 71	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75											Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86								
Fr 87	Ra 88	<sup>89</sup> <sub>a</sub> 103	Rf 104	Db 105	Sg 106	Bh 107											Cn 112	? 113	? 114	? 115	? 116	? 117	? 118								
																	La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71
																	Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103



# Classification périodique

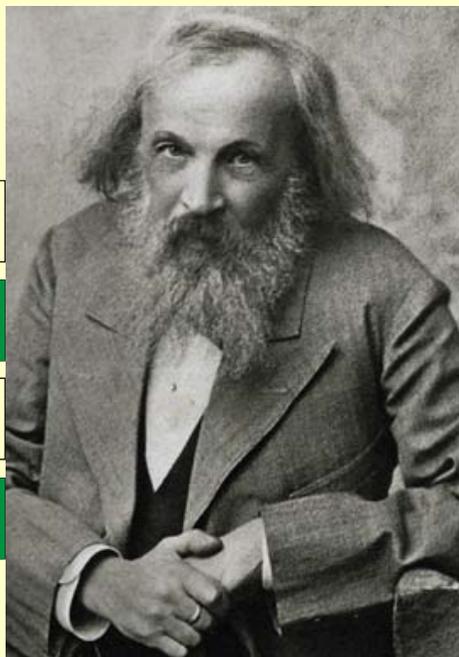
H  
1

élément possédant des isotopes stable(s) et radioactif(s)

Fr  
87

élément ne possédant que des isotopes radioactifs

H 1																	He 2						
Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10						
Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18						
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25											Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43											Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
Cs 55	Ba 56	<sup>57</sup> <sub>a</sub> 71	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75											Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86
Fr 87	Ra 88	<sup>89</sup> <sub>a</sub> 103	Rf 104	Db 105	Sg 106	Bh 107											Cn 112	? 113	? 114	? 115	? 116	? 117	? 118
		La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71							
		Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103							



# Classification périodique

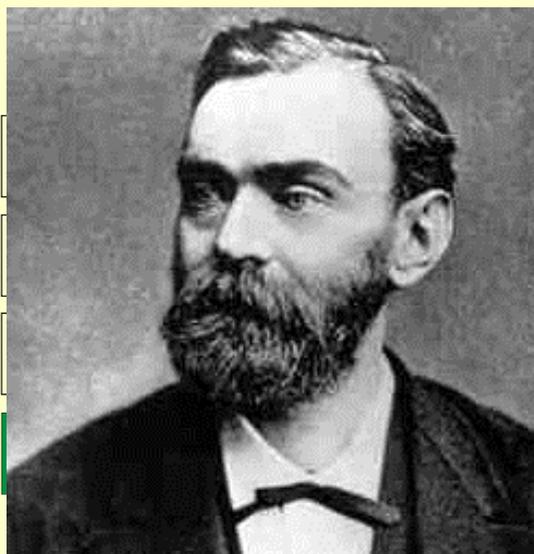
H  
1

élément possédant des isotopes stable(s) et radioactif(s)

Fr  
87

élément ne possédant que des isotopes radioactifs

H 1																	He 2					
Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10					
Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18					
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25											Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43											In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
Cs 55	Ba 56	<sup>57</sup> <sub>a</sub> 71	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75											Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86
Fr 87	Ra 88	<sup>89</sup> <sub>a</sub> 103	Rf 104	Db 105	Sg 106	Bh 107											? 113	? 114	? 115	? 116	? 117	? 118



La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71
Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103

# Classification périodique

H  
1

élément possédant des isotopes stable(s) et radioactif(s)

Fr  
87

élément ne possédant que des isotopes radioactifs

H 1																	He 2														
Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10														
Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18														
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25											Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36								
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43											Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54								
Cs 55	Ba 56	<sup>57</sup> <sub>a</sub> 71	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75											Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86								
Fr 87	Ra 88	<sup>89</sup> <sub>a</sub> 103	Rf 104	Db 105	Sg 106	Bh 107											Cn 112	? 113	? 114	? 115	? 116	? 117	? 118								
																	La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71
																	Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103



Professeur Jacques Foos -12 février 2014

# Classification périodique

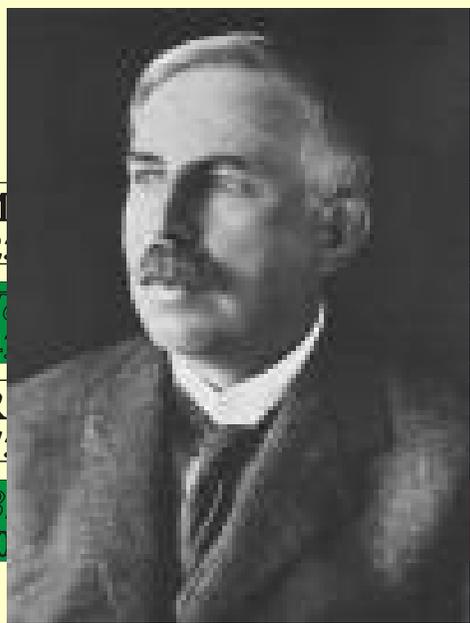
H  
1

élément possédant des isotopes stable(s) et radioactif(s)

Fr  
87

élément ne possédant que des isotopes radioactifs

H 1																	He 2														
Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10														
Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18														
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25											Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36								
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43											Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54								
Cs 55	Ba 56	<sup>57</sup> à 71	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75											Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86								
Fr 87	Ra 88	<sup>89</sup> à 103	Rf 104	Db 105	Sg 106	Bh 107											Cn 112	? 113	? 114	? 115	? 116	? 117	? 118								
																	La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71
																	Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103



# Classification périodique

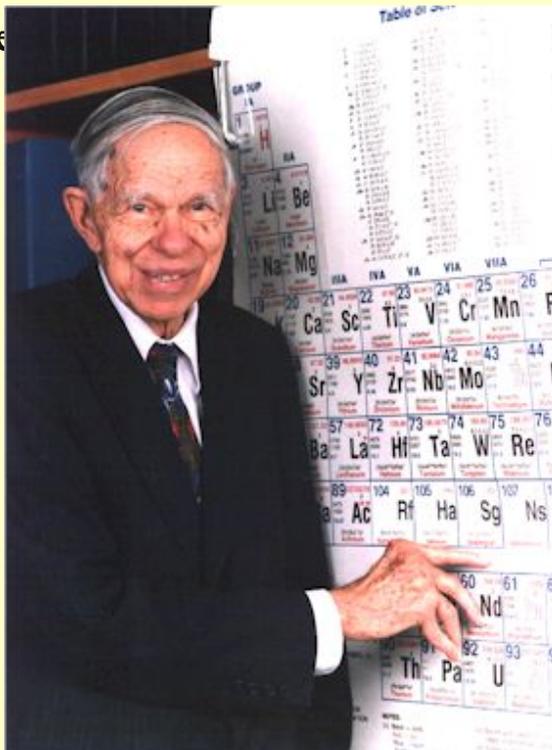
H  
1

élément possédant des isotopes stable(s) et radioactif(s)

Fr  
87

élément ne possédant que

H 1																	He 2														
Li 3	Be 4											C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10															
Na 11	Mg 12											Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18															
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26											Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36									
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44											Sr 38	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54									
Cs 55	Ba 56	<sup>57</sup> <sub>a</sub> 71	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76											Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86									
Fr 87	Ra 88	<sup>89</sup> <sub>a</sub> 103	Rf 104	Db 105	Sg 106	Bh 107	Hs 108											? 114	? 115	? 116	? 117	? 118									
																	La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71
																	Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103



# Classification périodique

H  
1

élément possédant des isotopes stable(s) et radioactif(s)

Fr  
87

élément ne possédant que des isotopes radioactifs

H 1																	He 2
Li 3	Be 4											N 7	O 8	F 9	Ne 10		
Na 11	Mg 12											P 15	S 16	Cl 17	Ar 18		
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28					As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46					Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
Cs 55	Ba 56	<sup>57</sup> <sub>a</sub> 71	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78					Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86
Fr 87	Ra 88	<sup>89</sup> <sub>a</sub> 103	Rf 104	Db 105	Sg 106	Bh 107	Hs 108	Mt 109	Ds 110					? 115	? 116	? 117	? 118



La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103
----------	----------	----------	---------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------

# Classification périodique

H  
1

élément possédant des isotopes stable(s) et radioactif(s)

isotopes radioactifs

H 1																	He 2					
Li 3	Be 4																	N 7	O 8	F 9	Ne 10	
Na 11	Mg 12																	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18	
K 19	Ca 20																	Ni 28				
Rb 37	Sr 38																	Pd 46				
Cs 55	Ba 56																	Pt 78				
Fr 87	Ra 88	<sup>89</sup> a 103	Rf 104	Db 105	Sg 106	<b>Bh 107</b>	Hs 108	Mt 109	Ds 110					Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86					
																	? 115	? 116	? 117	? 118		



La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	<b>Pm 61</b>	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71
----------	----------	----------	----------	------------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

<b>Ac 89</b>	<b>Th 90</b>	<b>Pa 91</b>	<b>U 92</b>	<b>Np 93</b>	<b>Pu 94</b>	<b>Am 95</b>	<b>Cm 96</b>	<b>Bk 97</b>	<b>Cf 98</b>	<b>Es 99</b>	<b>Fm 100</b>	<b>Md 101</b>	<b>No 102</b>	<b>Lr 103</b>
------------------	------------------	------------------	-----------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

# Classification périodique

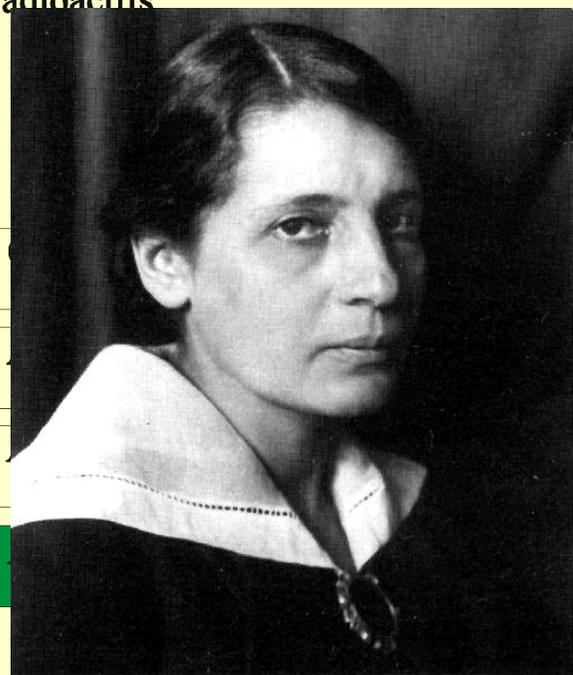
H  
1

élément possédant des isotopes stable(s) et radioactif(s)

Fr  
87

élément ne possédant que des isotopes radioactifs

H 1																	He 2						
Li 3	Be 4																	B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
Na 11	Mg 12																	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18	
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36						
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54						
Cs 55	Ba 56	<sup>57</sup> à 71	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86						
Fr 87	Ra 88	<sup>89</sup> à 103	Rf 104	Db 105	Sg 106	Bh 107	Hs 108	Mt 109	Ds 110	Rg 111	Cn 112	Nh 113	Fl 114	Mc 115	Lv 116	? 117	? 118						



La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103
----------	----------	----------	---------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------

# Classification périodique

H  
1

élément possédant des isotopes stable(s) et radioactif(s)

Fr  
87

élément ne possédant que des isotopes radioactifs

H 1																	He 2				
Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10				
Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18				
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22					V 23	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36				
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40					Nb 41	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54				
Cs 55	Ba 56	<sup>57</sup> à 71	Hf 72					Rh 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86				
Fr 87	Ra 88	<sup>89</sup> à 103	Rf 104					Mt 109	Ds 110	Rg 111	Cn 112	? 113	? 114	? 115	? 116	? 117	? 118				
			La 57	Ce 58					Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71
			Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103				



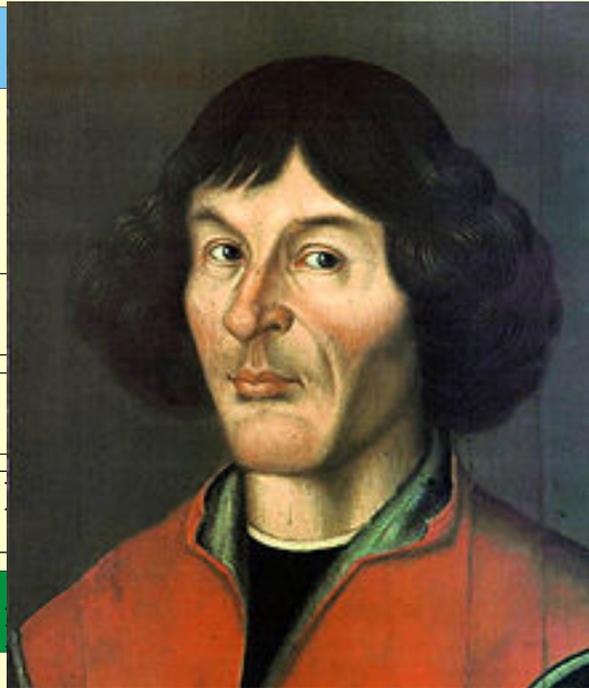
# Classification périodique

H  
1

élément possédant des isotopes stable(s) et radioactif(s)

isotopes radioactifs

H 1																	He 2										
Li 3	Be 4																	B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10				
Na 11	Mg 12																	Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18				
K 19	Ca 20	Sc 21																	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
Rb 37	Sr 38	Y 39																	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
Cs 55	Ba 56	<sup>57</sup> à 71																	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86
Fr 87	Ra 88	<sup>89</sup> à 103																	Ds 110	Rg 111	Cn 112	? 113	? 114	? 115	? 116	? 117	? 118

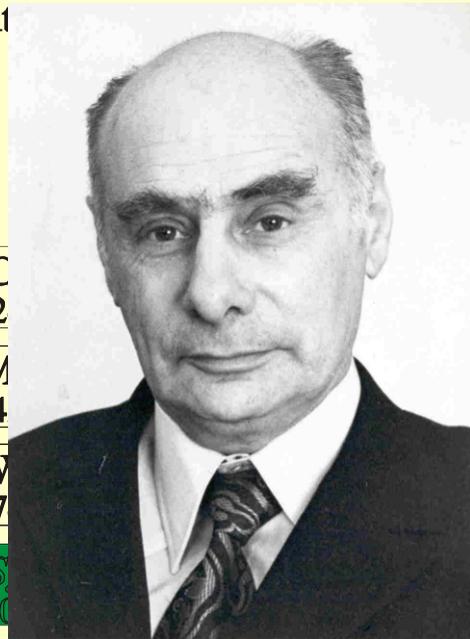


La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71
Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103

# Classification périodique

## Flérovium : Fl ou Fv ?

																H 1	élément possédant des isotopes stable(s) et radioactif(s)										He 2
																Fr 87	éléments radioactifs										
H 1																		B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10				
Li 3	Be 4																		Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18			
Na 11	Mg 12																										
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36												
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54												
Cs 55	Ba 56	<sup>57</sup> a 71	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86												
Fr 87	Ra 88	<sup>89</sup> a 103	Rf 104	Db 105	Sg 106	Bh 107	Hs 108	Rg 111	Cn 112	Fl 113	Fv 114	Lv 115	Ts 116	Uu 117	Uub 118												



La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71
Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103

# Classification périodique

## Livermorium : Lv ?

H  
1

élément possédant des isotopes stable(s) et radioactif(s)

Fr  
87

élément ne possédant que des isotopes radioactifs

H 1																	He 2
Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
Cs 55	Ba 56	<sup>57</sup> <sub>a</sub> 71	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86
Fr 87	Ra 88	<sup>89</sup> <sub>a</sub> 103	Rf 104	Db 105	Sg 106	Bh 107	Hs 108	Mt 109	Ds 110	Rg 111	Cn 112	? 113	? 114	? 115	? 116	? 117	? 118

La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103
----------	----------	----------	---------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------

A black and white photograph of a historical laboratory. The room features several wooden tables cluttered with various pieces of scientific equipment, including glass flasks, beakers, and complex apparatuses. The walls are made of wood, and there are large windows on the right side. The overall atmosphere is that of a well-used, early 20th-century scientific workspace.

# Bibliographie

*De l'atome au noyau ; B. Fernandez ; Ed. Ellipses 2006*

*Pionniers de l'atome ; B. Goldschmidt ; Ed. Stock 1987*



*Remerciements*

*La bibliothèque de la Société Nationale  
des Sciences Naturelles  
et Mathématiques de Cherbourg*

*et vous tous pour votre attention !*

Jacques FOOS & Yves DE SAINT JACOB

## PEUT-ON SORTIR DU NUCLÉAIRE ?

*Après Fukushima, les scénarios énergétiques de 2050*

Fukushima ! Un nom que certains font sonner comme Hiroshima... après Tchernobyl. Faut-il « sortir du nucléaire » ? Et le peut-on ?

Cet ouvrage s'appuie sur une conviction profonde : pour répondre aux besoins de santé, d'éducation, de bien-être de la planète, et notamment de ses habitants les plus pauvres, il faut de l'énergie. Sans doute trois ou quatre fois plus qu'aujourd'hui à l'horizon 2050. Or même si l'on développe au maximum les énergies renouvelables, même si l'on relance un nucléaire plus sûr, même si l'on se serre la ceinture, cela ne suffira pas.

Alors, no future ? L'Apocalypse ? Non. Comme nous l'avons fait au <sup>xx</sup>e siècle, nos enfants trouveront des solutions.

*Peut-on sortir du nucléaire ?* est fondé sur une double expérience : l'approche universitaire du Pr Jacques Foos, titulaire pendant 25 ans de la chaire de sciences nucléaires du Conservatoire National des Arts et Métiers, et l'approche médiatique d'Yves de Saint Jacob, ancien rédacteur en chef de l'Agence France-Presse.



HERMANN

ISBN 978 2 7058 8172 2



9 782705 681722

19 €



PEUT-ON SORTIR DU NUCLÉAIRE ?

Jacques Foos  
Yves de Saint Jacob

Jacques FOOS  
YVES DE SAINT JACOB

## PEUT-ON SORTIR DU NUCLÉAIRE ?

*Après Fukushima,  
les scénarios  
énergétiques de 2050*



HERMANN