



Contribution de Marie Curie à la physique médicale

Jean-Claude Rosenwald

jean-claude.rosenwald@wanadoo.fr

1^{ère} Journée Internationale de Physique Médicale

Paris, Institut Curie, 7 Novembre 1913

Dates clés de la vie de Marie Curie

Maria Skłodowska, née le 7 novembre 1867 à Varsovie

- 1891 : arrivée à Paris – inscription Sorbonne
- 1895 : mariage avec Pierre Curie
- 09/1897 : naissance d'Irène Curie
- 12/1897 : début de thèse sur les rayons uraniques
- 1898 : découverte du polonium et du radium
- 1903 : soutenance de thèse et prix Nobel de physique
- 1906 : décès accidentel de Pierre Curie
- 1908 : professeur Faculté des sciences-Université de Paris
- 1911 : prix Nobel de chimie
- 1921 : premier voyage aux USA – donation d'1 g de radium
- 1934 : décès à Sancellemoz (Haute Savoie)

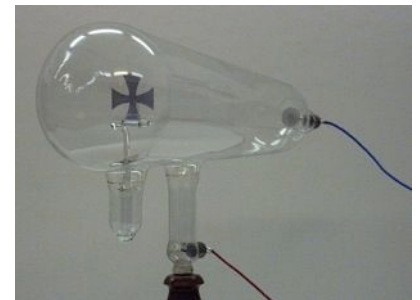
La physique en 1897

– connaissance de la matière fondée sur la chimie

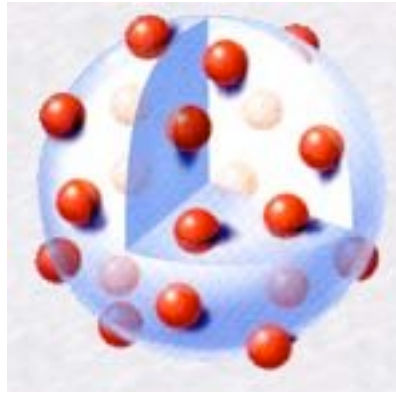
- hypothèse atomique (Dalton 1808) controversée
- identification d'*éléments*, de poids atomique donné, se combinant – cas des gaz (Avogadro 1811, Ampère 1814)
- analyse spectrale (Bunsen, Kirchoff vers 1860)
- classification périodique (Mendeleïev 1869)
- hypothèse **démontrée formellement par Perrin (1908)**

– le rayonnement cathodique

- Faraday (1833), Geissler (1857), Crookes (1879)
- identifié comme corpusculaire (Perrin 1895)
- base de la découverte des **rayons X** par Röntgen (1895)
- base de la découverte de l'**électron** par J.J. Thomson (1897)



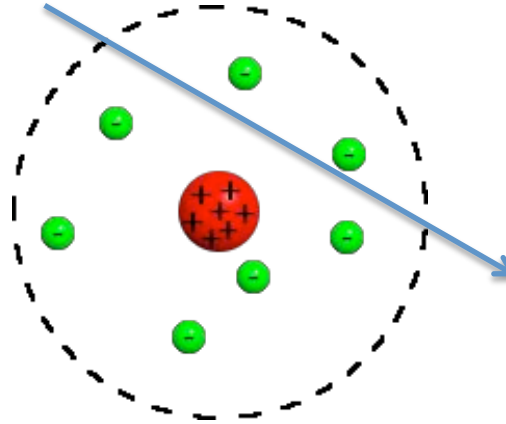
Le modèle atomique



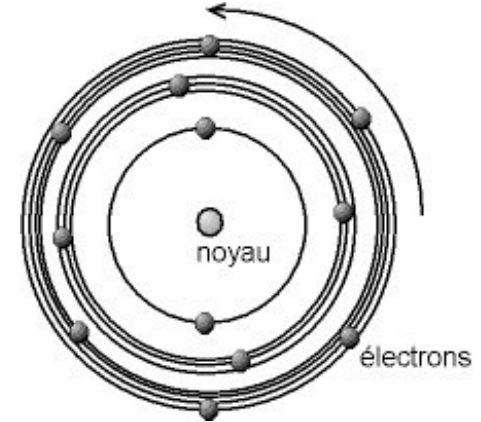
J. J. Thomson 1897



(rayons α du radium)



E. Rutherford 1911



N. Bohr 1913



Marie et Irène
à Sceaux
mai 1898



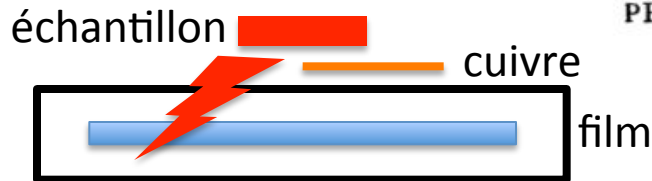
Marie entre
H. Poincaré et J. Perrin
1^{er} congrès Solvay
1911

Les rayons uraniques

(Henri Becquerel 1896)



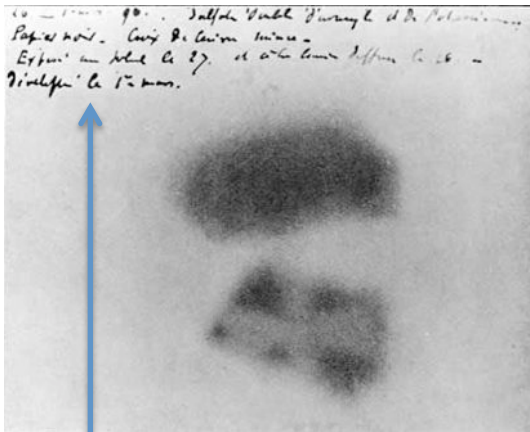
COMPTES RENDUS
HEBDOMADAIRES
DES SÉANCES
DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES
séance du 2 mars 1896



PHYSIQUE. — *Sur les radiations invisibles émises par les corps phosphorescents.*
Note de M. **HENRI BECQUEREL.**

...

» Une hypothèse qui se présente assez naturellement à l'esprit serait de supposer que ces radiations, dont les effets ont une grande analogie avec les effets produits par les radiations étudiées par MM. Lenard et Röntgen, seraient des radiations invisibles émises par phosphorescence, et dont la durée de persistance serait infiniment plus grande que la durée de persistance des radiations lumineuses émises par ces corps. Toutefois, les expériences présentes, sans être contraires à cette hypothèse, n'autorisent pas à la formuler. Les expériences que je poursuis en ce moment pourront, je l'espère, apporter quelques éclaircissements sur ce nouvel ordre de phénomènes. »

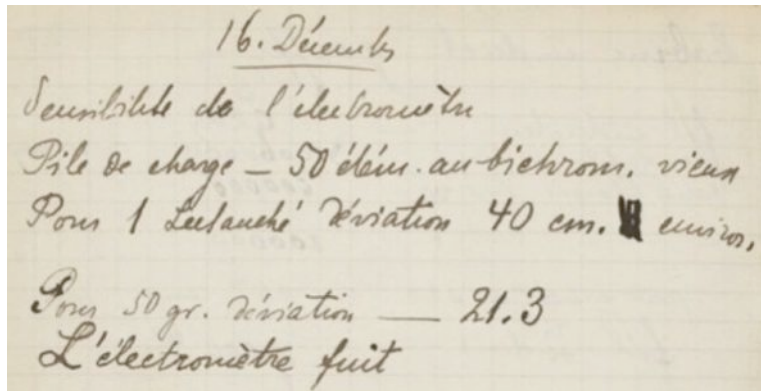


26 février 1896, sulfate double d'uranyle et de potassium - papier noir, croix de cuivre mince - exposé au soleil le 27 - développé le 1^{er} mars

⇒ l'uranium émet spontanément un rayonnement persistant, dit « uranique », dont les propriétés sont proches de celles des rayons X

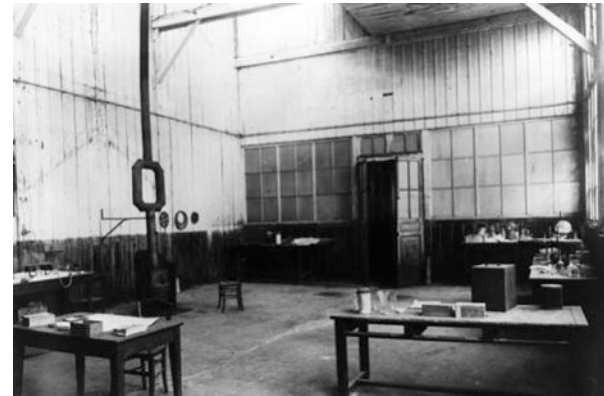
Les 3 premiers mois de thèse

- 12/1897 : début de la thèse de M. Curie (rayons uraniques)



16. Décembre
Sensibilité de l'électrostat
Pile de charge - 50 éléments au bichrom. vieux
Pour 1 Leclanché' variation 40 cm. 11 divisions,
Pour 50 gr. variation - 21.3
L'électromètre fuit

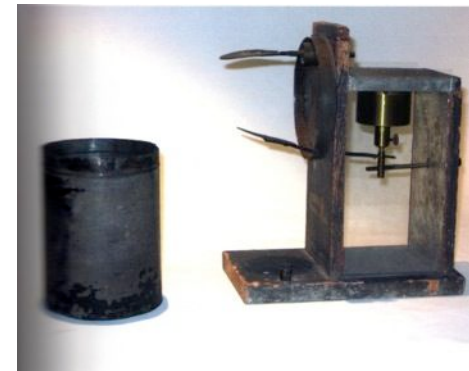
Premières notes prises par M. Curie



Hangar de l'ESPCI rue Lhomond

- jusqu'en 02/1898 : mise au point de la méthode

- peu ou pas d'utilisation de l'électroscope ou de la photographie (qualitatifs)
- approche quantitative systématique
- utilisation privilégiée de l'électromètre à quartz
- utilisation des RX
- optimisation du montage :
 - distance plateaux, isolation, nb de piles,...
- maîtrise de l'instrumentation



Chambre d'ionisation originale

Mystère de la pechblende

20 janvier 1898

20. Janvier. Pechblende, quartz, platine et toile
Monument spontané électromoteur à Diète
- 5 grammes ou 70 Electromètre à quartz

10 février 1898

Le cuivre n'aient pas de rayons seulement
Le zinc dans platine ~~rien~~ rien de net
Plomb, fer rien de net
Platine rien (peut être au début ?)
Vain Matériaux divers - « rien de net »

17 février 1898

plateau zinc recouvert de pechblende

+ pile	200	13"	13.0	15.4
.		13"		
	500	30"	30"	16.7

Pechblende : $i = 16$

7 mars 1898

Pechblende très noire Johannsgeorgenstadt (Lacrosin)

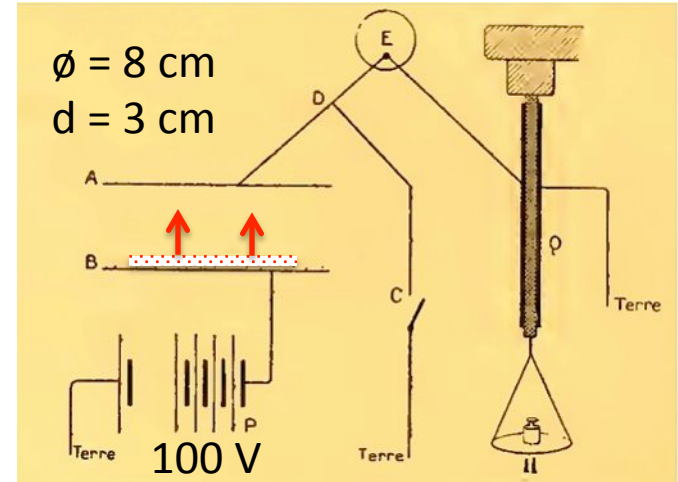
+1 pile	-500	12.7	$i = 39.4$
---------	------	------	------------

$i = 39.4$

12 avril 1898 – CR de l'Académie des Sciences

PHYSIQUE. — Rayons émis par les composés de l'uranium et du thorium.

Note de M^{me} SKLODOWSKA CURIE (1), présentée par M. Lippmann.



utilisation d'un matériau de référence : l'Uranium « Moissan »
 $i = M/t = 10 \text{ (g/sec)} \Leftrightarrow 2 \cdot 10^{-11} \text{ A}$

Pechblende de Johannsgeorgenstadt
 $i = 39,4 \text{ (g/sec)}$

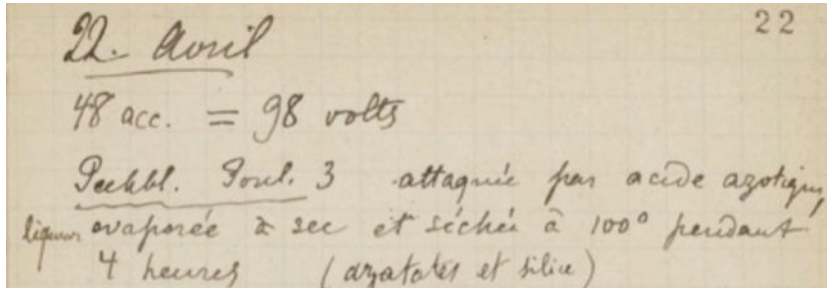
la pechblende, minéral d'uranium, est 4 fois plus active que l'uranium !

- contiendrait un élément plus actif que l'uranium ?

Découverte du polonium

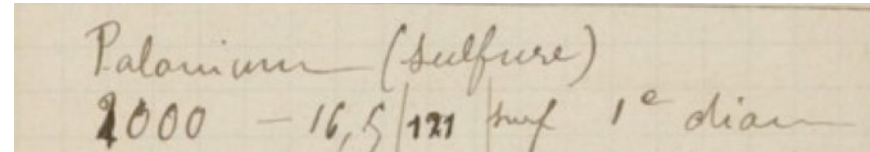
15 avril 1898

début des traitements chimiques



22. Avril 22
48 acc. = 98 volts
Pechbl. Souf. 3 attaquée par acide azotique,
liquur évaporée à sec et séchée à 100° pendant
4 heures (azotate et bisme)

15 juillet 1898



Polonium (sulfure)
2000 - 16,5/121 sur 1^{er} dia

18 juillet 1898 – CR de l'Académie des Sciences

PHYSICO-CHIMIE. — *Sur une substance nouvelle* **radio-active**, *contenue dans la pechblende* (1). Note de M. P. CURIE et de M^{me} S. CURIE, présentée par M. Becquerel.

» En effectuant ces diverses opérations, on obtient des produits de plus en plus actifs. Finalement nous avons obtenu une substance dont l'activité est environ 400 fois plus grande que celle de l'uranium.

» Nous croyons donc que la substance que nous avons retirée de la pechblende contient un métal non encore signalé, voisin du bismuth par 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.

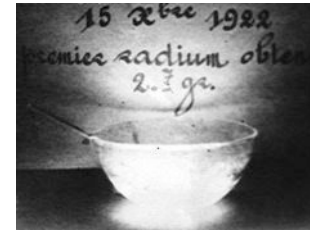
analyse du spectre de raies non concluante

Découverte du radium

11 novembre 1898

reprise des expériences

- poursuite de la séparation à partir de la pechblende
- présence d'un « chlorure de baryum radifère » très radioactif
- cristallisations fractionnées => substance 60 fois, puis 900 fois plus active que l'uranium



26 décembre 1898 – CR de l'Académie des Sciences

PHYSIQUE. — *Sur une nouvelle substance **fortement radio-active**, contenue dans la pechblende (²). Note de M. P. CURIE, de M^{me} P. CURIE et de M. G. BÉMONT, présentée par M. Becquerel.*

« ... il est à prévoir que l'activité aurait encore beaucoup augmenté, si nous avions pu continuer. [...] La radioactivité du radium doit donc être énorme. »

S'agit-il d'un nouvel élément présent dans le baryum ?

- raie caractéristique : OUI avec intensité qui ↗ avec radio-activité
- poids atomique : indissociable de celui du baryum (quantité infime)

Nouveau challenge : déterminer le poids atomique du radium.

Impossible avec les quelques cg de chlorure de baryum dont M. Curie dispose.

Vers un traitement industriel

- Possibilité d'utiliser les *résidus* de pechblende consécutifs à l'extraction d'uranium.
- Dès **juillet 1899** : collaboration avec la Société centrale des produits chimiques (SCPC).
- Au bout de 3 ½ mois, 1 tonne de minerai traitée.
- Au total 13 tonnes de pechblende seront livrées jusqu'en 1902.
- En échange, les Curie disposent d'échantillon de radium très actifs
 - Pierre => étude des propriétés
 - Marie => détermination du poids atomique



Le hangar de la rue Lhomond



Pierre et Marie – extraction chimique

La réussite

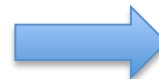
- Grâce à sa ténacité, M. Curie atteint son objectif. **En 1902**, elle publie le poids atomique trouvé pour le radium :

$$225 \pm 1$$

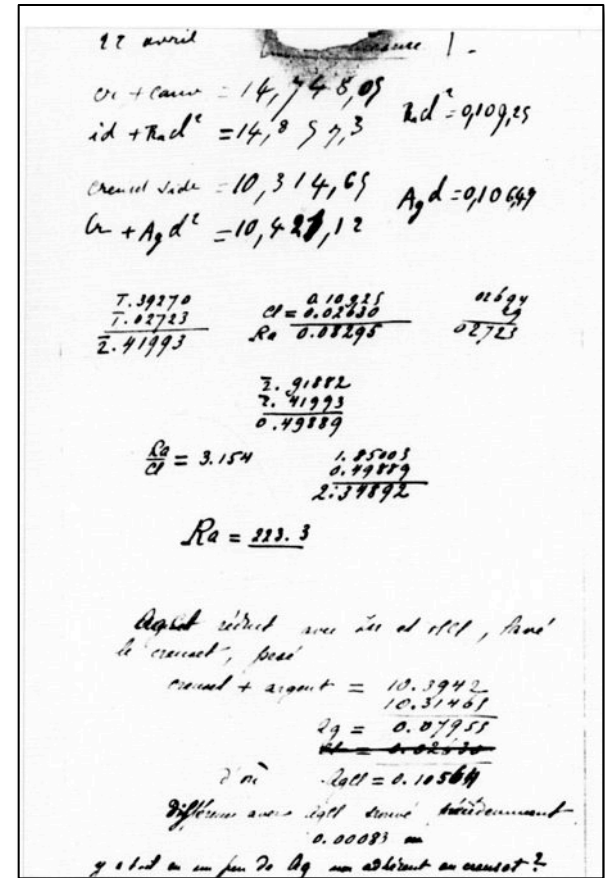
- En 1903** elle soutient sa thèse et est associée à H. Becquerel et P. Curie, pour l'obtention du prix Nobel de *physique*.



2,8 tonnes d'uranium



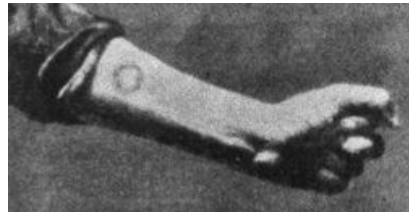
1 g de radium très pur
activité $\times 1,4 \cdot 10^6$



Note de calcul du poids du radium (feuille contaminée)

Industrie

- Applications en
 - recherche
 - médecine
 - agriculture



1901 – P. Curie teste le radium sur son bras
(cette photographie l'illustre, mais sa provenance est incertaine)

USINES DE NOGENT-SUR-MARNE
pour la Fabrication
des **SELS DE RADIUM**
et autres Substances Radioactives

BUREAUX :
13, rue Vignon, Paris

Marque de Fabrication.

Nous serons en mesure de livrer prochainement les commandes de **Sels de Radium** qui nous seront faites, depuis l'activité de l'uranium étant prise pour unité jusqu'à l'activité 500.000, et de livrer aussi du **Bromure de Radium pur**.

Il est bien entendu que les premières commandes faites qui nous parviendront seront les premières exécutées.

NOTA. — Nos sels étant vendus avec une activité garantie, nous déclinons toute responsabilité pour les sels qui ne seraient pas livrés directement.

PRIX DE VENTE DES SELS DE RADIUM :

Activité	le gramme	France	Activité 100.000 le centigramme	France
— 50	30	— le centigramme	300	—
— 100	40	— le gramme	4.000	—
— 500	150	— 500.000 le centigramme	15.000	—
— 1.000	300	— le centigramme	3.000	—
— 5.000	1.500	— le gramme	15.000	—
— 10.000 le décigramme	250	— le gramme	500.000	—
— le gramme	2.500	BROMURE DE RADIUM PUR		
— 20.000 le décigramme	500	5 milligrammes	5.000	
— le gramme	5.000	Le centigramme	4.000	
— 50.000 le décigramme	1.000	Le décigramme	40.000	
— le gramme	10.000	Le gramme	400.000	

Adresser toutes les commandes 13, rue Vignon, PARIS.

1g de bromure de radium à 92% :

- 500 tonnes de minerai
- 200 tonnes de réactifs
- 200 tonnes de charbon
- 1000 tonnes d'eau
- 30 employés

coût +++

(1,5 million de francs-or le gramme)

Usine Armet de Lisle
à Nogent/Marne

1904 – publicité parue
dans « Le radium »

+ développement de l'instrumentation

Importance de la collaboration avec l'industrie

Enseignement et recherche



Laboratoire du 12 rue Cuvier

- Pierre Curie 1904-1906
- Marie Curie 1906-1912

179 publications

- Radium métallique isolé en 1910 (avec André Debierne)
- Prix Nobel de *Chimie* en 1911



5 /11/1906 – Sorbonne
(décès P. Curie 19/04/1906)



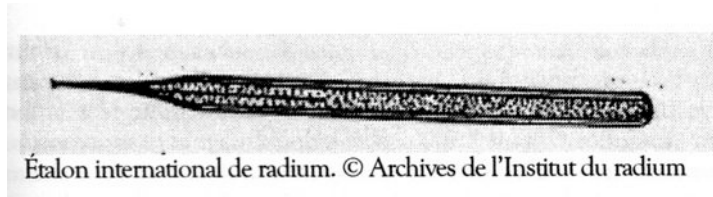
dans son laboratoire
de la rue Cuvier



Métrologie

- Importance d'une référence commune en radioactivité pour recherche, industrie et médecine :
grandeur spécifique et étalon international (radium).
- Commission créée au congrès d'électricité et de radiologie de Bruxelles (09/1910).
- Marie Curie convainc la commission d'adopter le *curie* :
« quantité d'émanation en équilibre avec 1 g de radium ».
- Chargée de préparer l'étalon (08/1911)
- Intercomparaisons (03/1912) : écarts de l'ordre de 0,3%.
- Service de mesures et certification rue Cuvier (fin 1911), officialisé par l'université en 1914, puis transféré à l'Institut du radium.

1911 – longueur 32 mm,
diamètre intérieur 0,9 mm
épaisseur du verre 0,27 mm



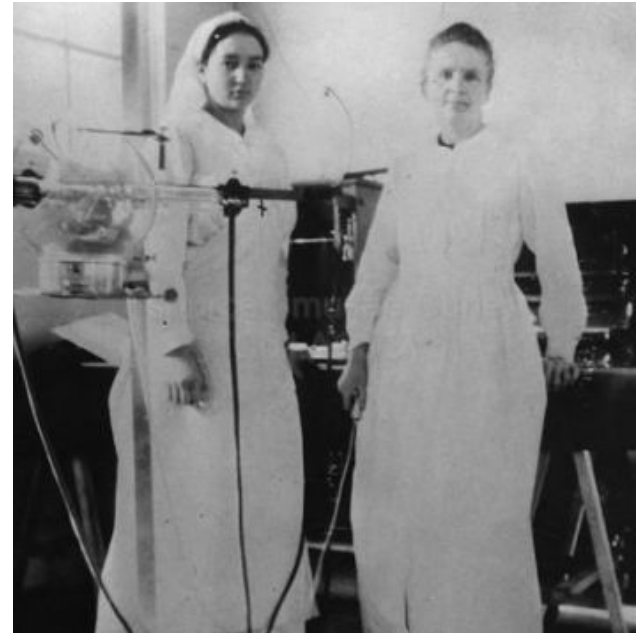
21,99 mg de chlorure de radium
soit 16,75 mg de radium métal

intercomparaisons :
mesure des gammas émis

La guerre de 1914-1918



1916 – Hôpital École Edith Cavell :
Marie forme des infirmières à la radiologie



1915 – Marie et Irène, hôpital de Hoogstade



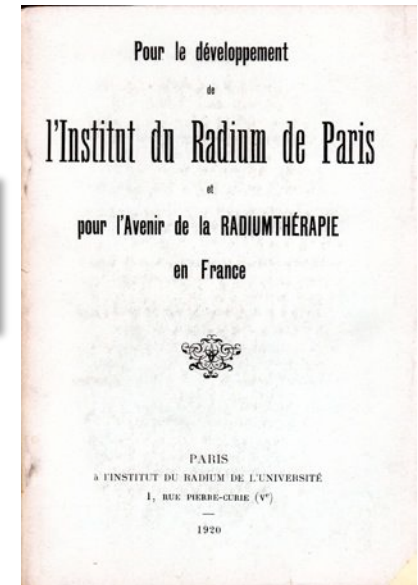
Équipement radiologique : 200 postes fixes et 18 voitures légères (les « Petites Curie »)



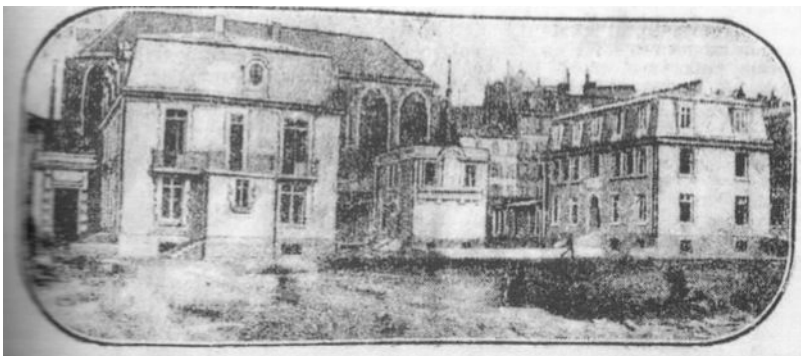
L'Institut du Radium

- 1909 Projet original (biologie et physique) associant Institut Pasteur et Université de Paris
- 1911-1914 Construction de trois pavillons
- 1918 Ouverture effective
- 1920 Création de la fondation Curie
- 1921 Tournée de Marie Curie aux Etats Unis
- 1922 Ouverture des dispensaires
- 1922 Éluë à l'académie de Médecine
- 1929 Deuxième voyage aux Etats Unis
- 1932 Inauguration de l'Institut du radium de Varsovie

M^{me} M. CURIE.
D^r Cl. REGAUD.



1920 : recherche de fonds



vers 1913 : pavillon Curie (à G) et Pasteur (à D)



1922 : les dispensaires



1933 – 7^{ème} congrès Solvay

Conclusion : apport de Marie Curie

Valeur ajoutée de la physique à la médecine

- Une approche systématique et rigoureuse peut conduire à une découverte très importante.
- Une coopération scientifique internationale large et ouverte favorise le développement de la science et de ses applications.
- La coopération avec des partenaires industriels est fondamentale.
- L'utilisation médicale des rayonnements doit être basée sur une physique bien établie et raccordée à des références métrologiques indiscutables.

Références et remerciements

- “Les rayons de la vie”, ouvrage publié sous la direction de M. Bordry et S. Boudia, Institut Curie 1998
- “Marie Curie et son laboratoire”, S. Boudia, Edition des archives contemporaines, 2001
- “L’expérience retrouvée”, L. Barbo, D. Beaudoin et M. Laguës, Belin, 2005
- “Pionniers de la radiothérapie”, J.P. Camileri et J. Coursaget, EDP Sciences, 2005
- “Radium history mosaic”, R. Mould, Nowotwory Journal of Oncology, 2007, supplement.
- “La naissance de la physique moderne racontée au fil des conseils Solvay”, P. Marage et G. Wallenborn, Éditions de l’Université de Bruxelles, 2009

Merci à Renaud Huynh et Natalie Pigeard
du Musée Curie pour leur collaboration amicale.