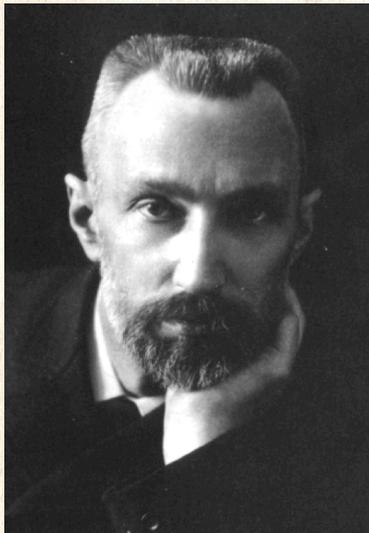


PETITE HISTOIRE DE LA PHYSIQUE NUCLÉAIRE



3 – LES CURIE



Alain Bouquet

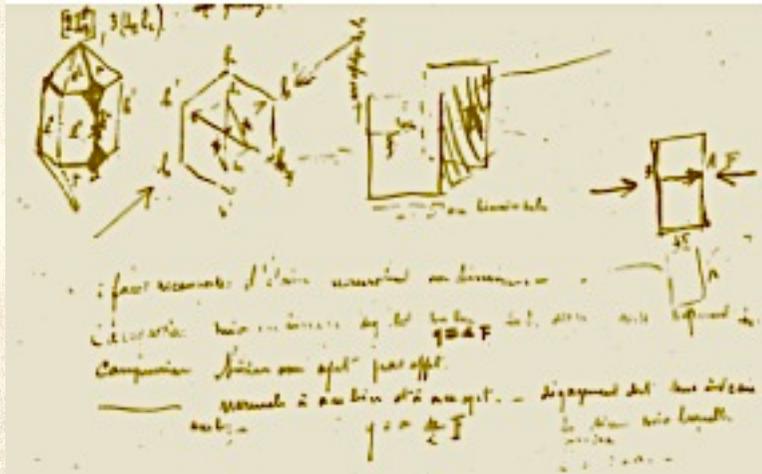
Laboratoire AstroParticule et Cosmologie

CNRS - Université Denis Diderot - CEA - Observatoire de Paris



PIERRE CURIE (1859-1906)

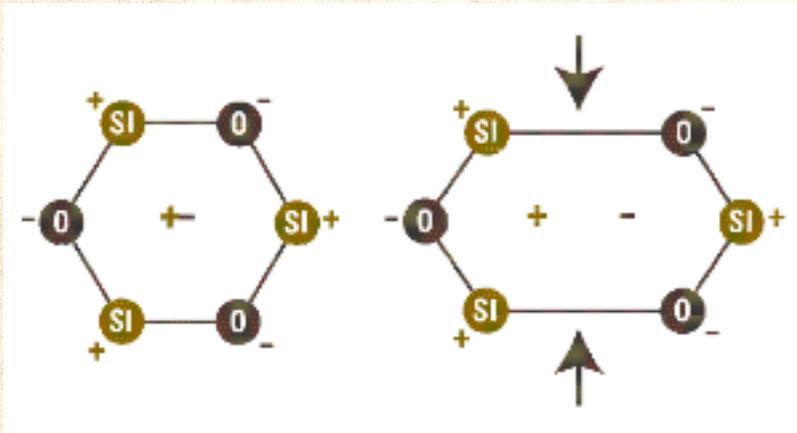
- Autodidacte → la voie royale (Sorbonne, Académie des Sciences...) lui est d'emblée fermée
- Découvre – et explique – la piézoélectricité en 1880 avec son frère Jacques



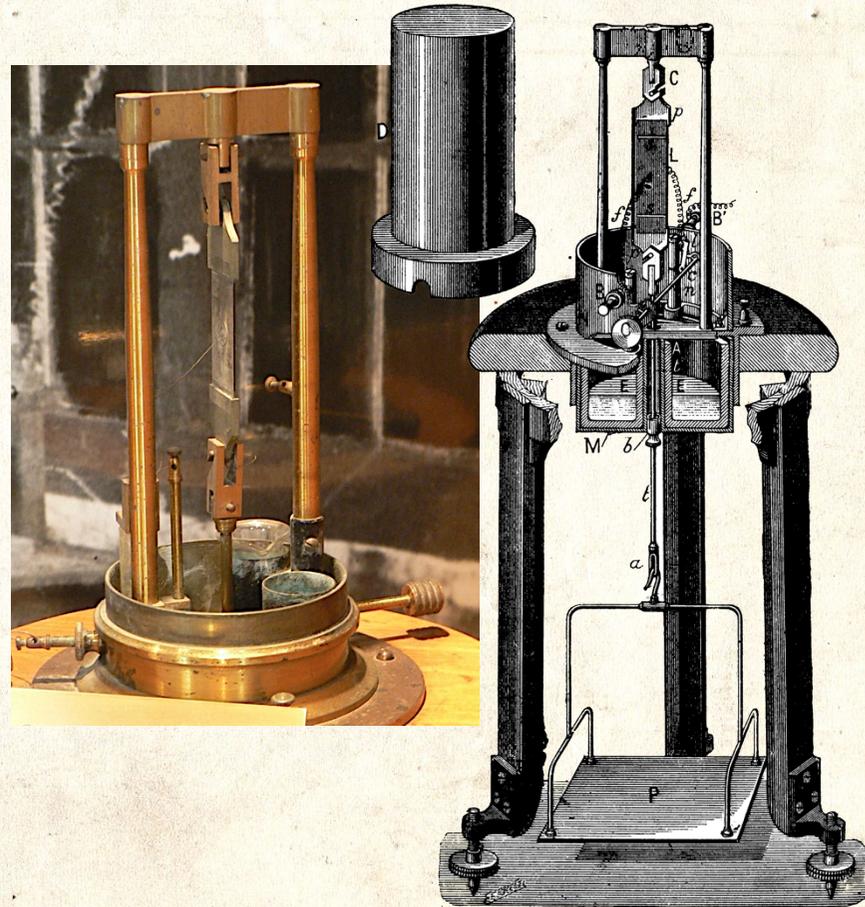
Pierre et Jacques Curie et leurs parents

LA PIÉZOÉLECTRICITÉ

- Une pression sur un cristal de quartz déplace les charges électriques
- → champ électrique → courant
- inversement champ → pression
- ⇒ courant alternatif ⇔ vibration du quartz

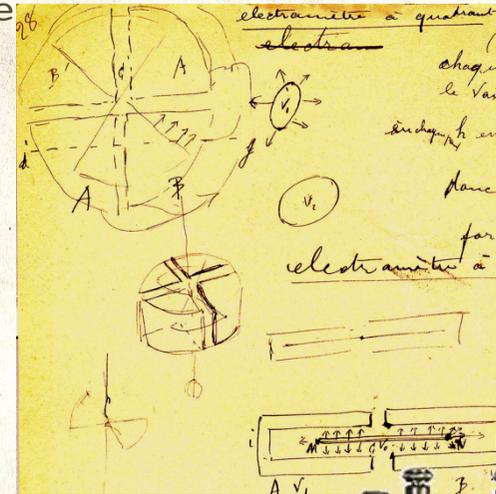
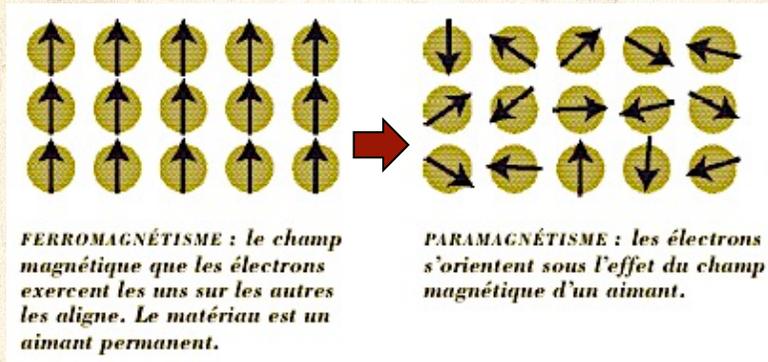


- Balance à quartz : le quartz sert de capteur de pression (ou de tension)

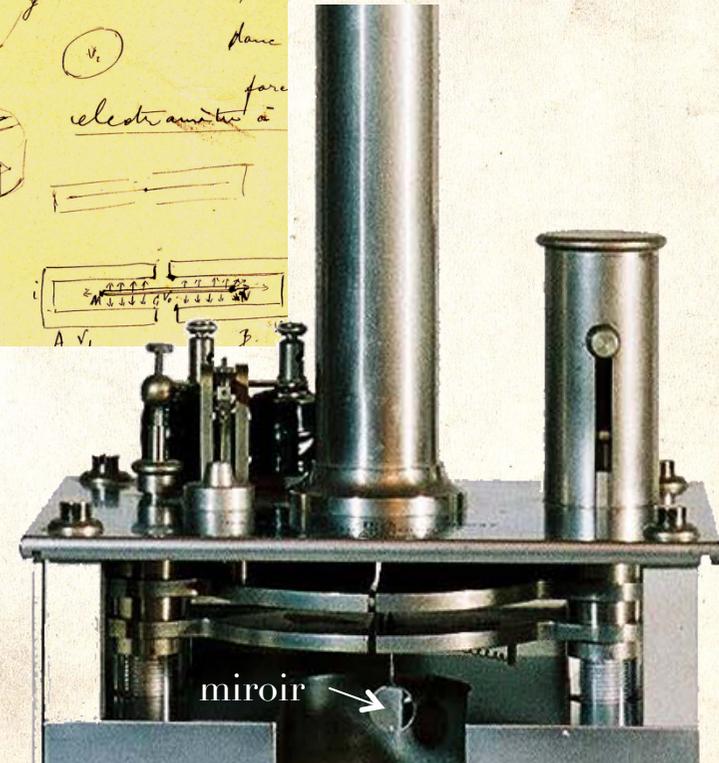


MAGNÉTISME & INSTRUMENTATION

- Travaux sur les effets de température sur les propriétés magnétiques (thèse en 1895)
 - au dessus de la température de Curie, le fer perd son aimantation ($T_C = 1043 \text{ K}$)



- Instruments de précision
 - Électromètre à quadrants 1885
 - Balance à quartz 1890



- Travaux majeurs sur les principes de symétrie
 - → principe de Curie
- Professeur à l'École de Physique et Chimie Industrielles de la Ville de Paris (actuelle ESPCI) en 1882

MARIA SKŁODOWSKA CURIE (1867-1934)

- Cinquième enfant du professeur Skłodowski, Maria devint, après son baccalauréat à 16 ans, préceptrice dans la famille Żorawski, aidant sa sœur Bronia à faire ses études de médecine à Paris
- Elle l'y rejoignit en 1891
- Études à la Sorbonne (licence de physique en 1893, de mathématiques en 1894)
- Bourse en 1894 pour l'étude des propriétés magnétiques des métaux
- Elle est mise en contact avec un bon spécialiste du sujet: Pierre Curie



Maria, Bronisława et Helena autour de leur père

PIERRE ET MARIE – À LA VIE, À LA MORT...

○ 26 07 1895 : mariage



○ 1895–1896 : agrégation de physique

○ Voyage de noces

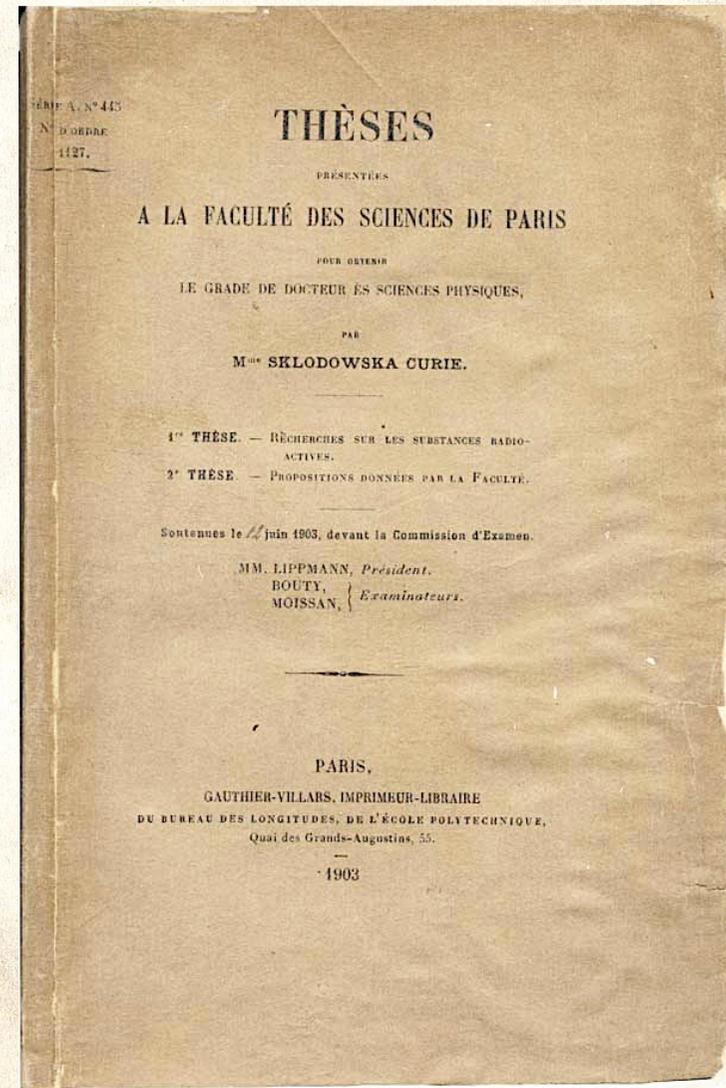


○ 12 09 1897 : naissance d'Irène

○ 6 12 1904 : naissance d'Eve

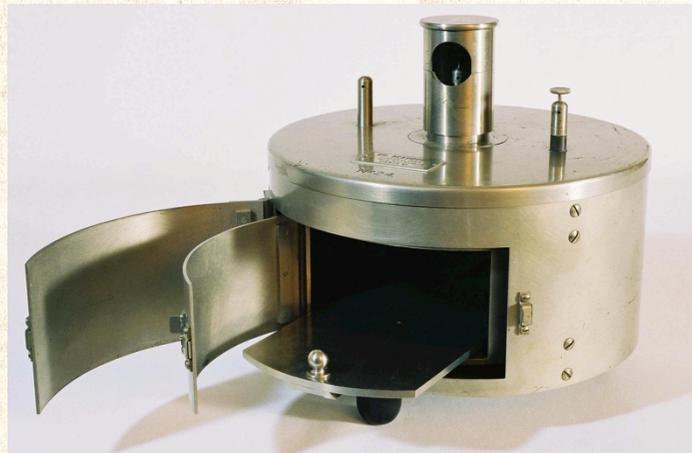
UNE THÈSE

- Reçue première à l'agrégation, Marie Curie préféra se lancer dans une thèse de doctorat
- Pierre suggéra à Marie fin 1897 de reprendre pour sa thèse l'étude des rayons « uraniques » abandonnée par Becquerel
- Elle soutint le 25 juin 1903 sa thèse « Recherches sur les substances radio-actives »
- Entretemps, elle avait découvert avec Pierre
 - Le polonium
 - Le radium
- Et ils reçurent ensemble le prix Nobel de physique pour ces travaux

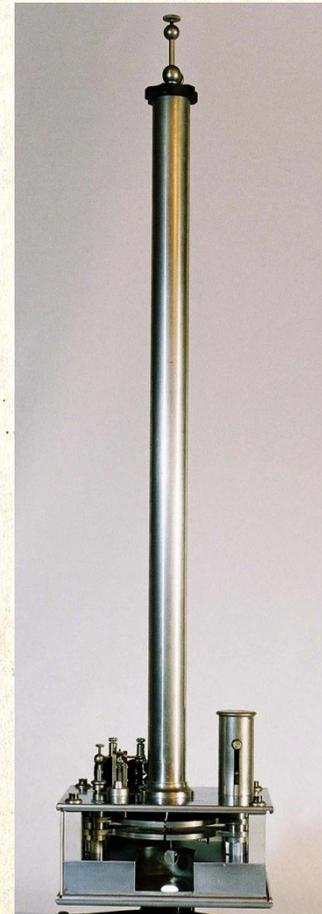


CHAMBRE D'IONISATION ET ÉLECTROMÈTRE

- Becquerel avait remarqué que le rayonnement de l'uranium rendait l'air conducteur (il *ionisait* l'air)
- D'où l'idée de Pierre Curie de mesurer l'intensité du rayonnement *via* l'intensité du courant traversant une *chambre d'ionisation*

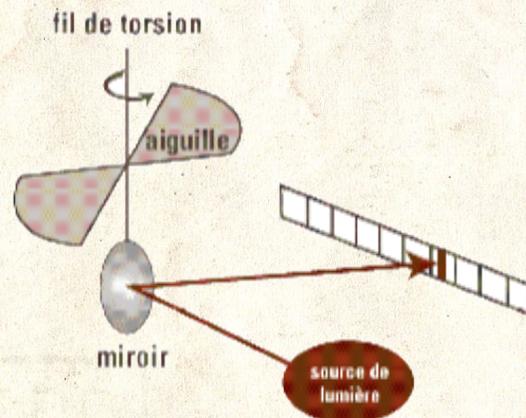


- Montage très délicat, mais très sensible grâce à l'électromètre à quadrants inventé en 1872 par Kelvin et amélioré par Pierre



PRINCIPE DE MESURE DE LA RADIOACTIVITÉ

- On place un échantillon dans la chambre d'ionisation
- S'il est radioactif, il ionise l'air
- Un courant passe et il fait tourner l'aiguille de l'électromètre
- La vitesse de déplacement du spot mesure l'intensité i du courant

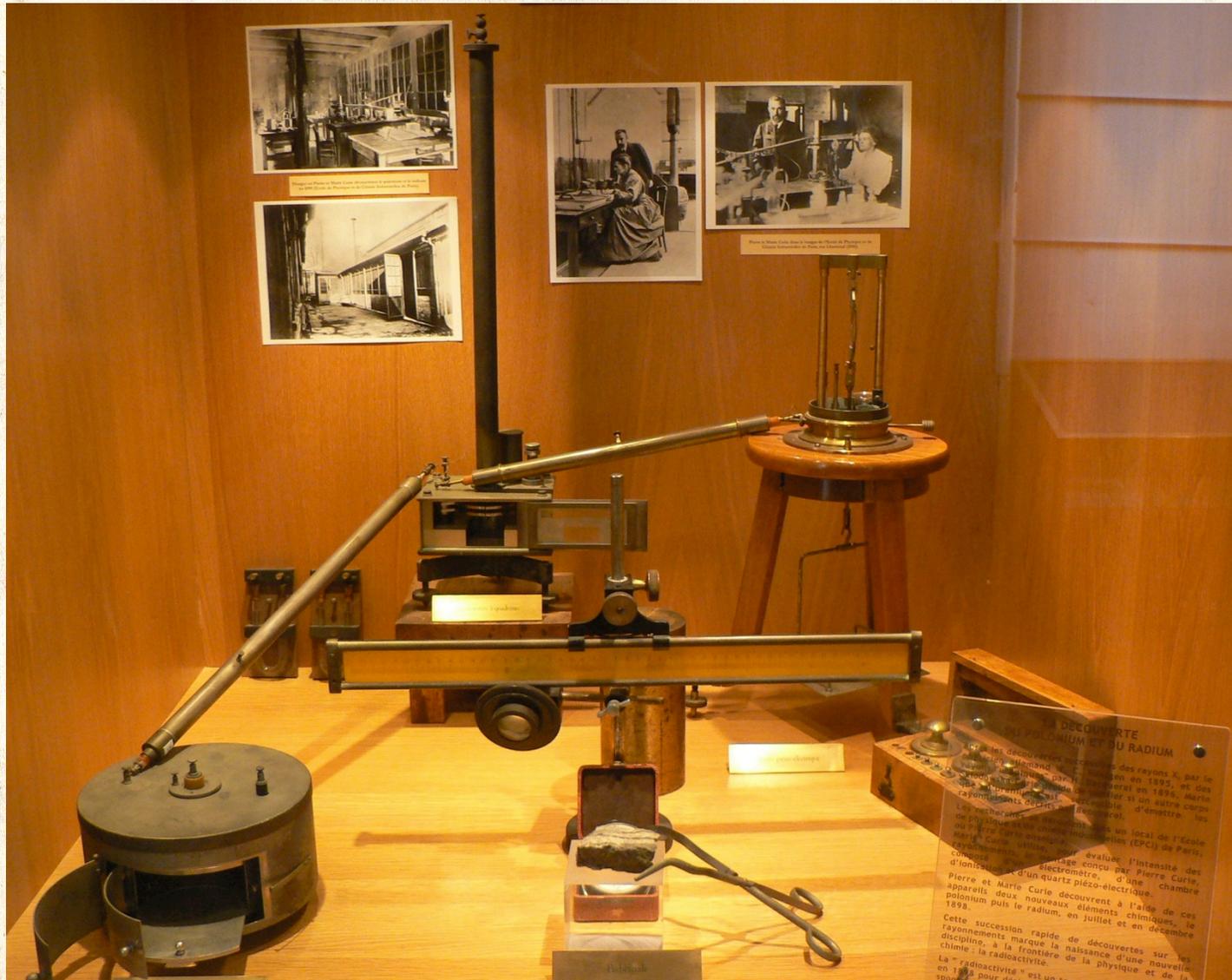


- Le courant est d'autant plus intense que l'échantillon est radioactif

○ Raffinement de Pierre Curie: méthode différentielle

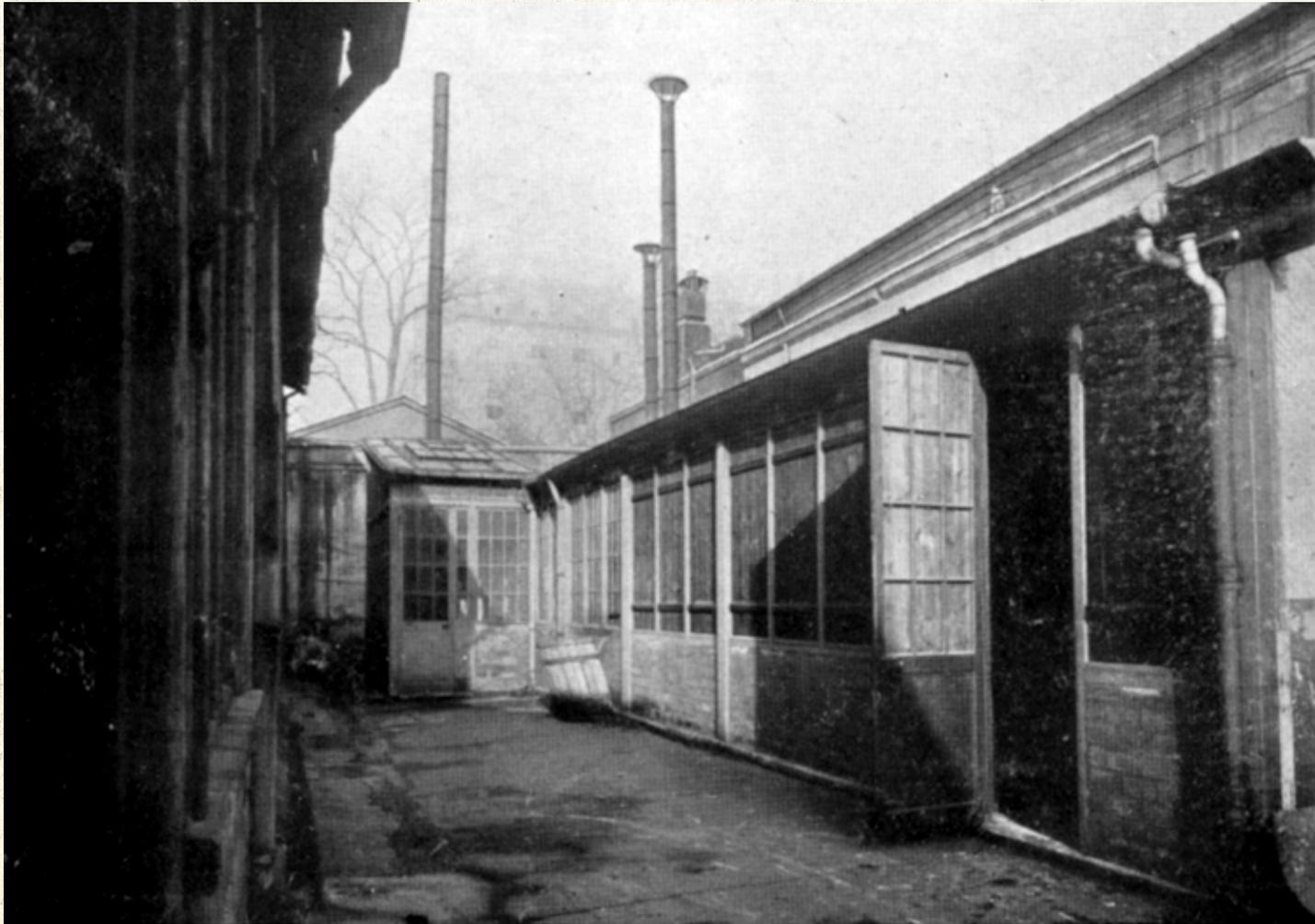
- On ajoute une balance à quartz
- Le poids génère une charge électrique Q
- Et on mesure le temps t nécessaire au courant de la chambre d'ionisation pour équilibrer la charge $Q \rightarrow i = Q/t$
- En pratique, c'est très fastidieux !
- (méthode utilisée jusque dans les années 1950)

LE « MONTAGE CURIE »



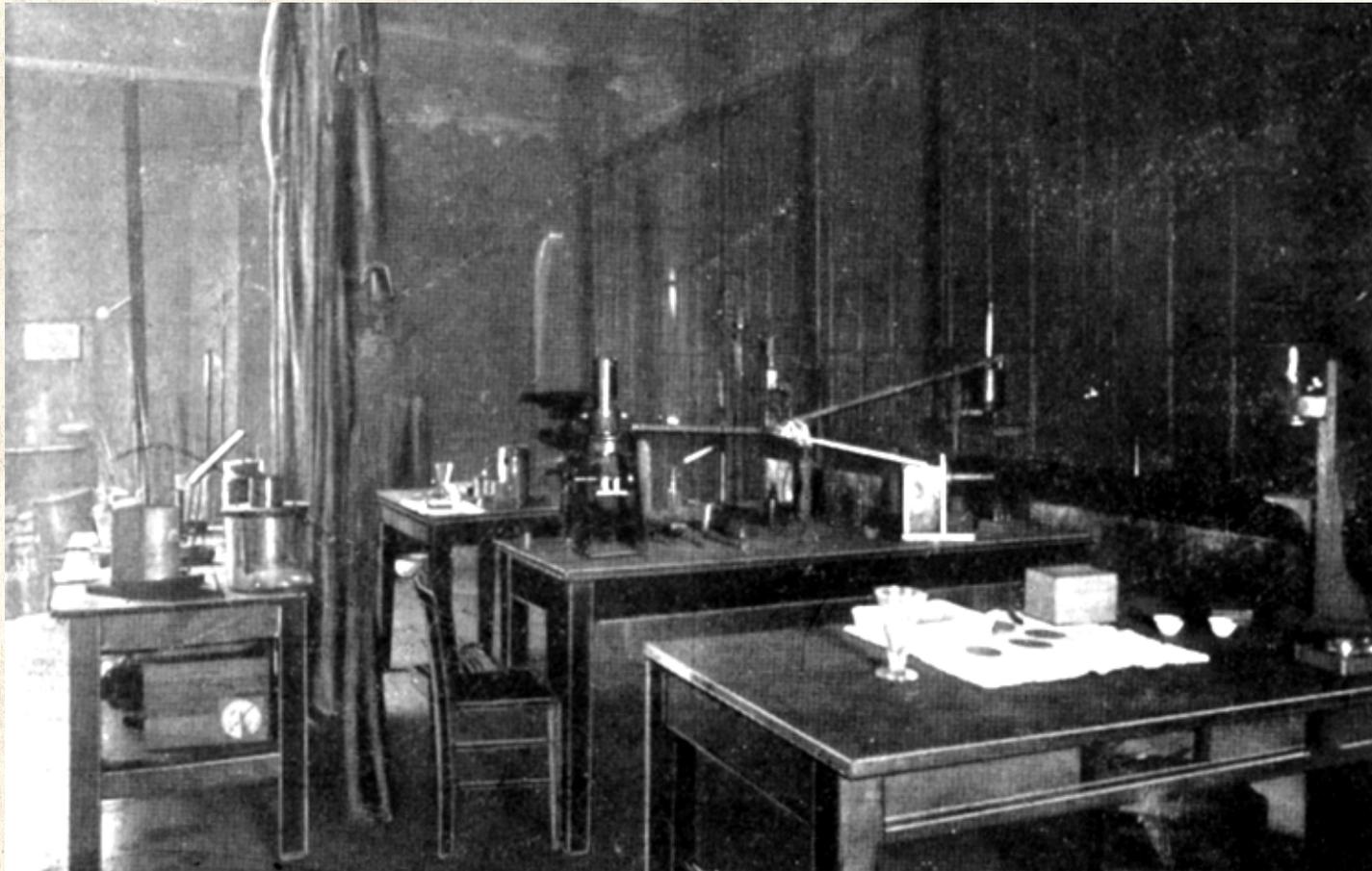
LABORATOIRE DES CURIE À L'EPCI DE PARIS

○ Extérieur



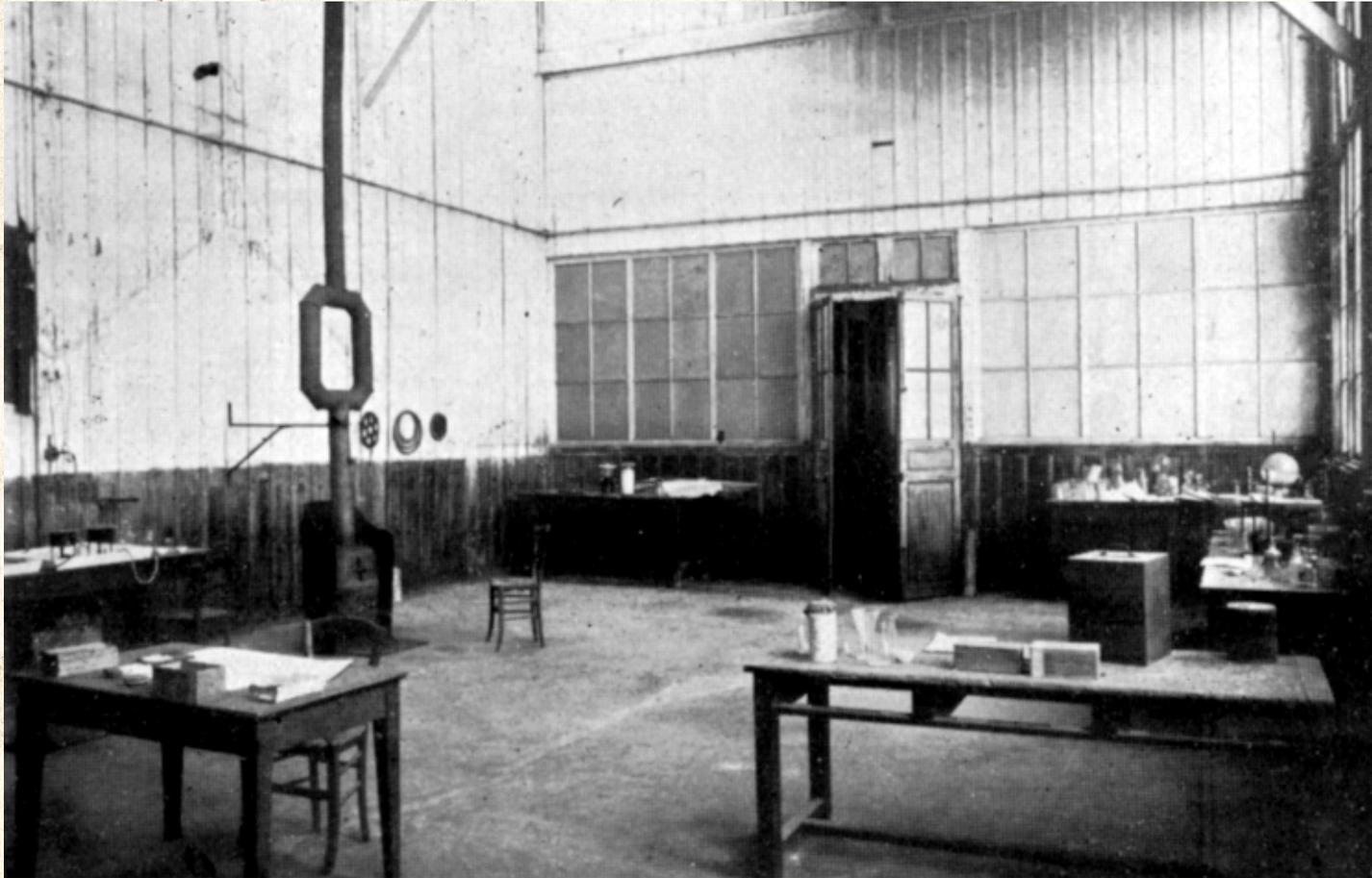
LABORATOIRE DES CURIE À L'EPCI DE PARIS

○ Le laboratoire de physique



LABORATOIRE DES CURIE À L'EPCI DE PARIS

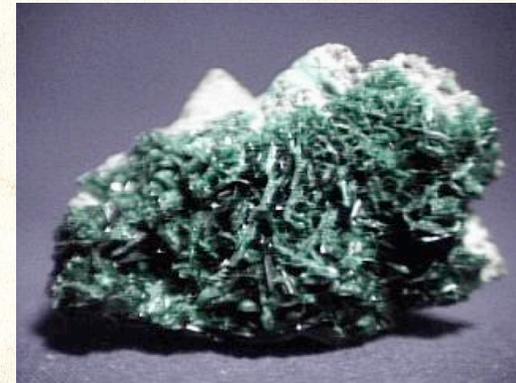
○ Le laboratoire de chimie



LE POLONIUM

UNE BIZARRERIE DE LA PECHBLENDE

- Marie Curie découvrit le 24 février 1898 que le thorium ($Z=90$) émettait des rayonnements ionisants comme l'uranium ($Z=92$). Mais Gerhardt Schmidt l'avait annoncé dès le 14 février!
- Elle avait constaté avec surprise le 17 février 1898 que la pechblende et la chalcopite, minerais d'uranium, étaient plus actives que l'uranium contenu

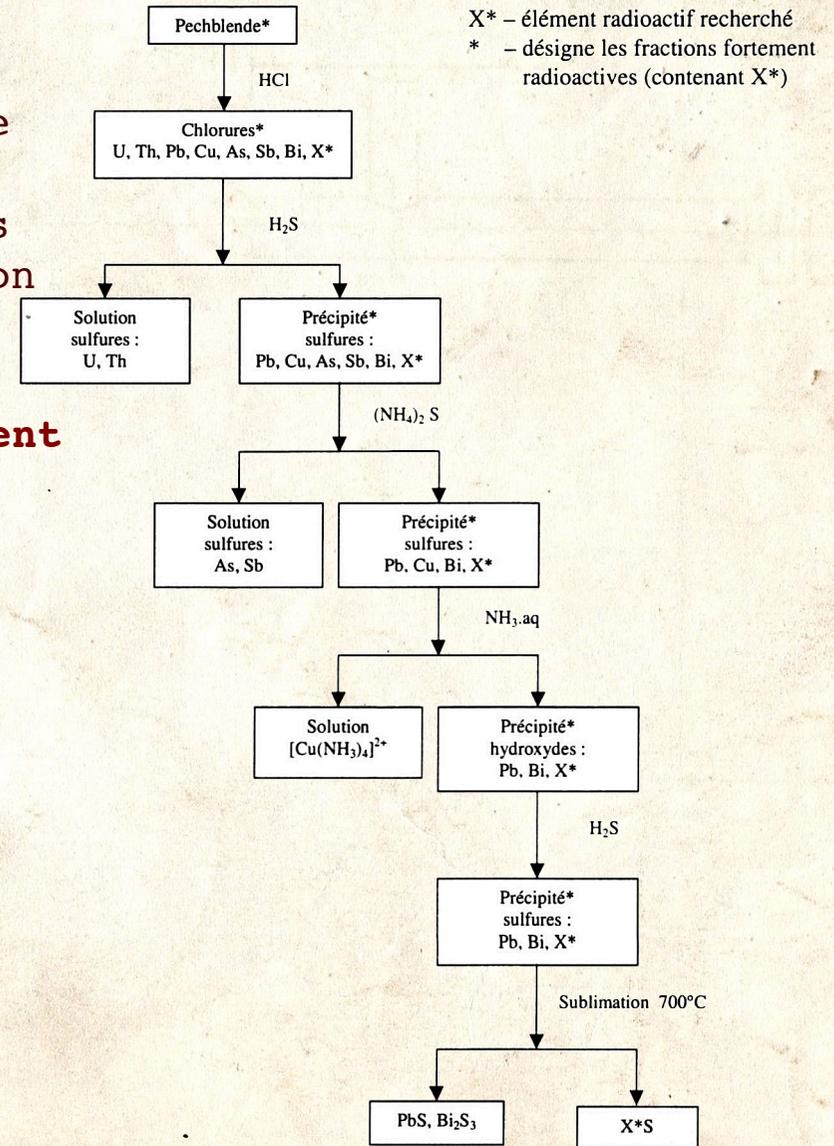


Deux minéraux d'uranium : la pechblende (oxyde d'urane) et la chalcopite (phosphate de cuivre et d'uranyle) sont beaucoup plus actifs que l'uranium lui-même. Ce fait est très remarquable et porte à croire que ces minéraux peuvent contenir un élément beaucoup plus actif que l'uranium. J'ai reproduit la chalcopite par le procédé de Debray avec des produits purs; cette chalcopite artificielle n'est pas plus active qu'un autre sel d'uranium.

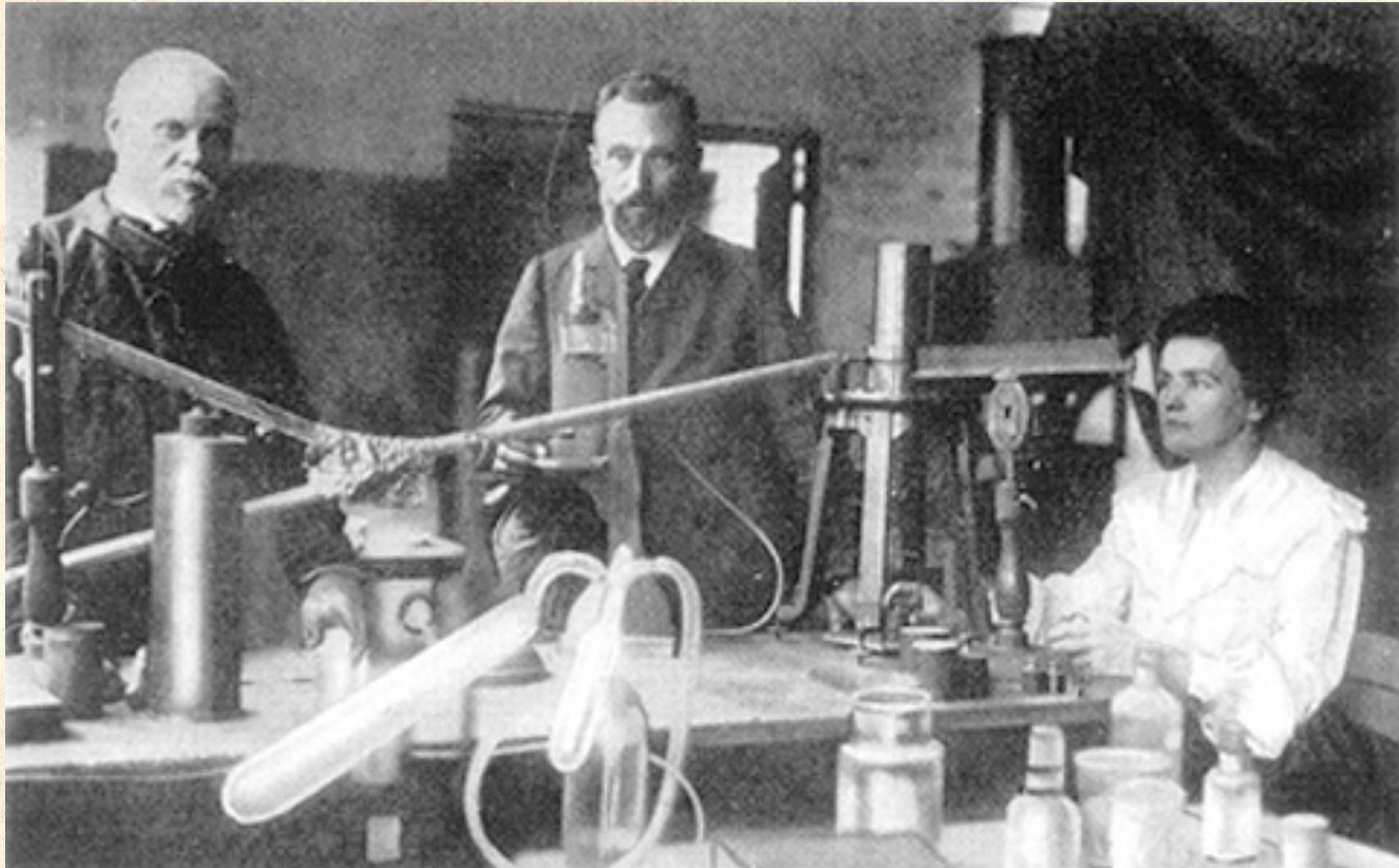
Note du 12
avril 1898

POLONIUM

- Marie Curie avait exploré tous les éléments chimiques sur lesquels elle avait pu mettre la main: seuls l'uranium et le thorium étaient actifs (Marie Curie inventa à cette occasion le terme de **radioactivité**)
- Il s'agissait donc d'un **nouvel élément**
 - donc en quantité infinitésimale
 - donc **extrêmement radioactif**
- Pierre Curie la rejoignit dans ses recherches
- Ils isolèrent le nouvel élément en suivant la radioactivité
- Puis ils le séparèrent du bismuth (chimiquement très voisin) par cristallisation fractionnée



PIERRE ET MARIE CURIE AU TRAVAIL (1898)



UN TRAVAIL LONG ET PÉNIBLE

- La substance nouvelle était 400 fois plus active que l'uranium. Les Curie décidèrent de l'appeler *polonium* ($Z=84$) en l'honneur de la patrie de Marie (Note du 13 juillet 1898: « Sur une substance nouvelle radio-active, contenue dans la pechblende »).

Les Curie avaient en réalité isolé du sulfure de bismuth avec des traces de polonium (moins d'une partie par million). Le Po_{210} est 10 *milliards* de fois plus radioactif que l'uranium

Le célèbre « hangar » où se faisait la mesure de radioactivité à chaque étape de la séparation du polonium



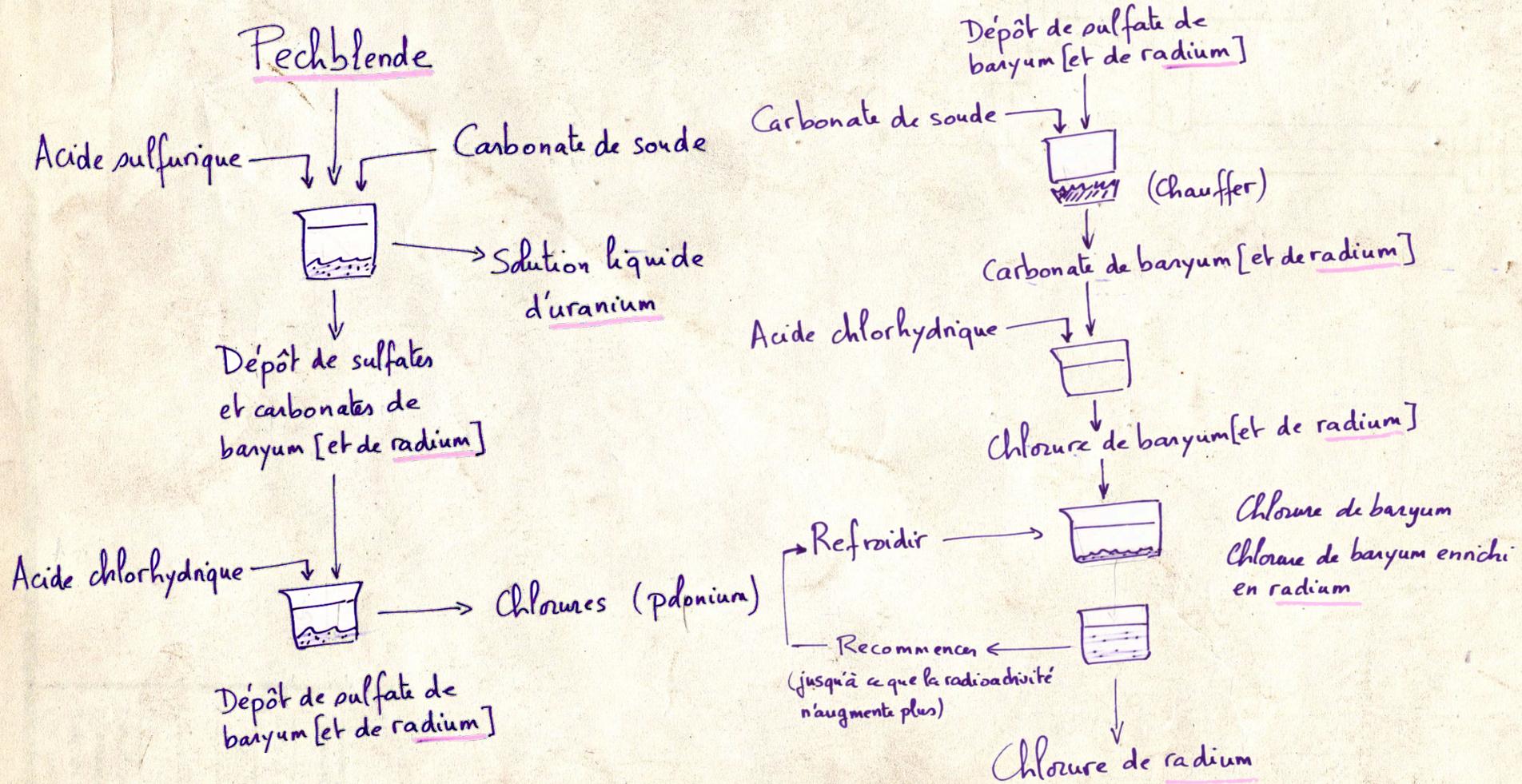
LE RADIUM

RADIUM

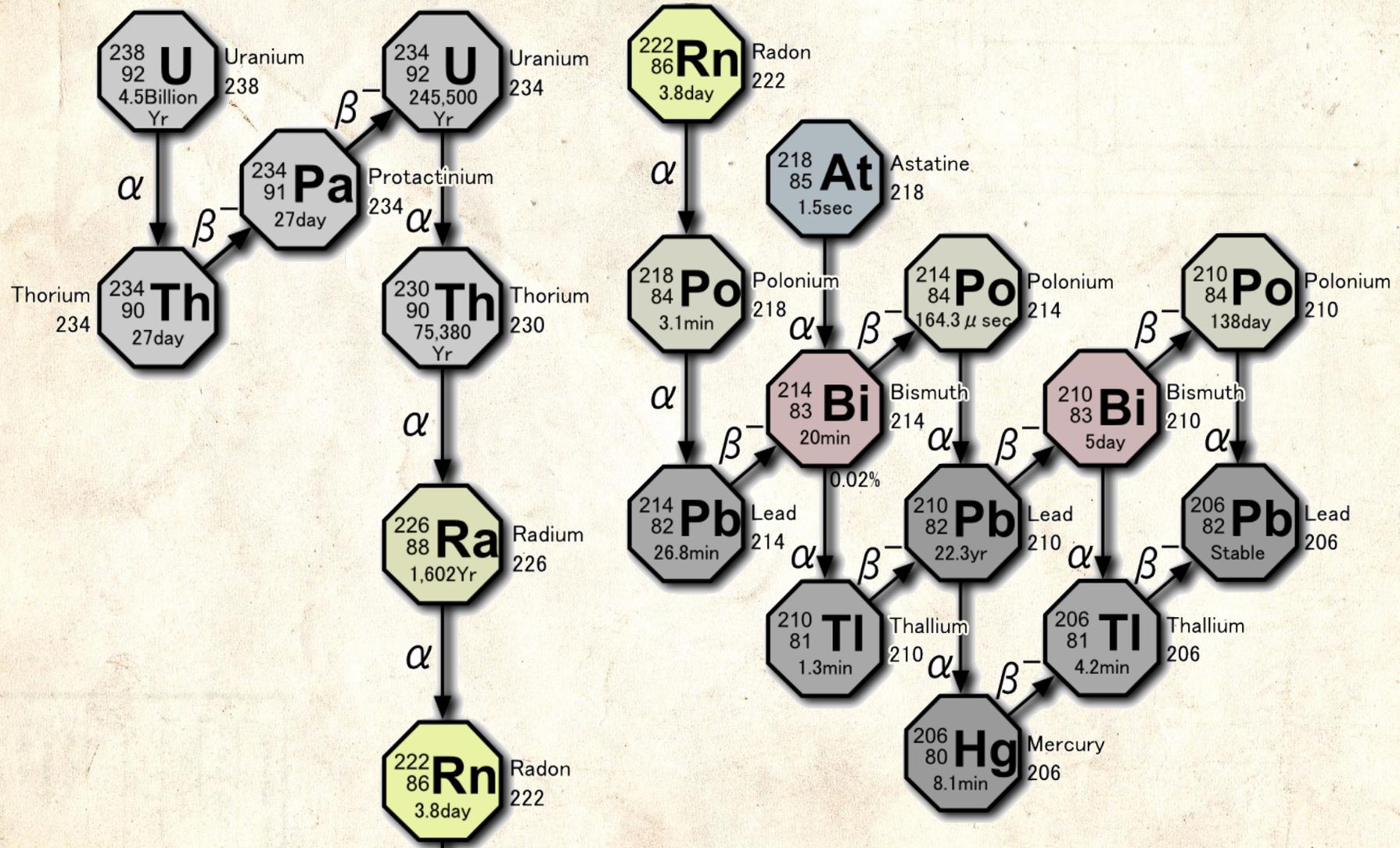
- En isolant le polonium, les Curie avaient repéré la présence d'une autre substance radioactive, au comportement chimique complètement différent
- Après livraison de 5 kg de pechblende, ils reprirent en novembre 1898 leurs séparations chimiques
- La deuxième substance était chimiquement analogue au baryum, et 1000 fois plus radioactive que l'uranium
- Les Curie annoncèrent le 26 décembre cette nouvelle substance, baptisée radium ($Z=88$)
- En 1902, Marie parvient à isoler 0,1 g de chlorure de radium, lui permettant d'estimer à 225 ± 1 sa masse atomique

Ici encore, les Curie avaient en réalité isolé du sulfure de baryum contenant moins de 0,1% de radium, qui est 3 millions de fois plus radioactif que l'uranium

LA RECETTE DU RADIUM



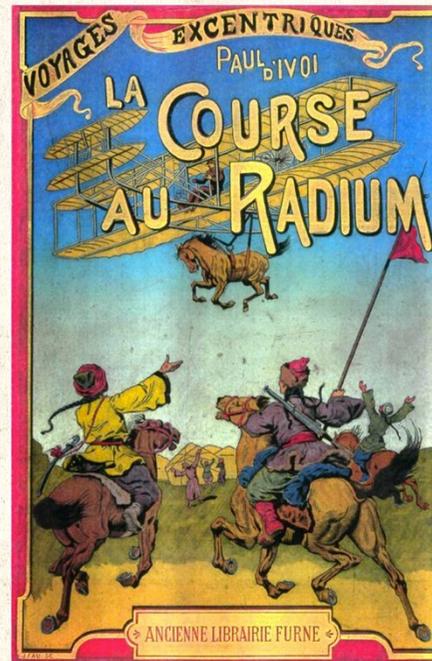
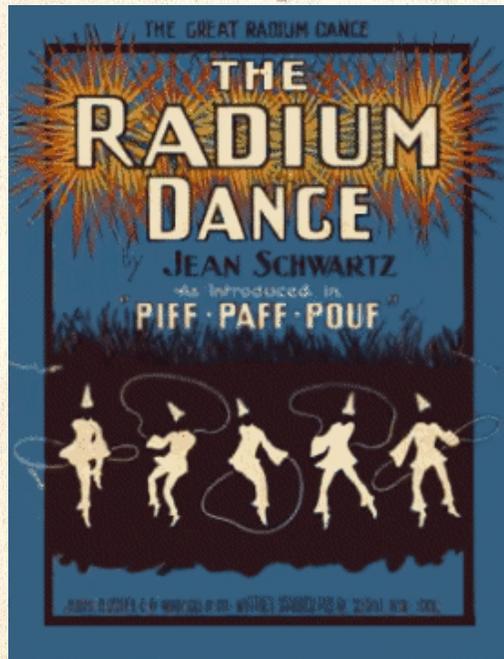
URANIUM, RADIUM, POLONIUM ET LES AUTRES



RADIUM



- Tout le monde se passionna pour le radium
 - Les physiciens, de Paris à Londres, Cambridge, Berlin, Heidelberg, Halle, Vienne...
 - Les romanciers, journalistes, dramaturges, danseurs, hommes politiques...
- Becquerel s'y remit Crookes inventa le *spinthariscopes*



DU RADIUM PARTOUT

○ Dans le laboratoire

22 avril

$Cr + Ca^{2+} = 14,748,05$
 $id + Ra^{2+} = 14,857,3$ $Ra^{2+} = 9109,25$
 $Cr + Ag^{2+} = 10,314,65$ $Ag^{2+} = 910,649$
 $Cr + Ag^{2+} = 10,421,12$

$\frac{7.39270}{7.02723}$	$\frac{0.10225}{0.02250}$	$\frac{02694}{02723}$
$\frac{2.41973}{2.41973}$	$\frac{0.08295}{0.08295}$	
	$\frac{2.91882}{2.41993}$	
	$\frac{0.49889}{0.49889}$	
$\frac{Ra}{Cr} = 3.154$	$\frac{1.85203}{0.49889}$	
	$\frac{2.34892}{2.34892}$	
	$Ra = 223.3$	

AgCl séché avec Zn et HCl, dans le creuset, pesé

$Cr + Ag^{2+} = 10.3942$
 10.31465
 $Ag = 0.07955$
 $Cr = 0.02330$
 $AgCl = 0.10564$

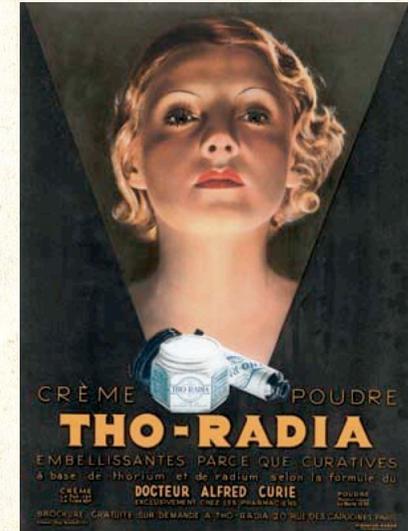
Différence avec AgCl trouvé précédemment
 0.0083 m

q est en un peu de Ag non adhérent au creuset?



Fiche de calcul rendue radioactive par les dépôts (le négatif est noirci par la radioactivité)

○ Dans toute la société



Vêtements, produits de beauté, aliments pour animaux, fontaines à eau enrichie en radium, le radium est partout promesse de santé et de jeunesse...

À L'ÉCHELLE INDUSTRIELLE

- Armet de Lisle installa en 1904 la première usine à Nogent/Marne
 - Elle effectuait les premières étapes de la séparation
 - une tonne de résidu de pechblende
 - cinq tonnes de produits chimiques
 - cinquante tonnes d'eau de lavage
 - → 1 à 2 mg de bromure de radium
 - Les produits semi-finis partaient au laboratoire Curie pour les dernières étapes

- Utilisations
 - Médicales (radium puis radon)
 - Industrielles (montres phosphorescentes...)

- En 1904, il y avait seulement 1.5 g de radium en France, 1 en Allemagne, 0.5 en Grande-Bretagne et 0.5 aux Etats-Unis

SELS DE RADIUM
 POLONIUM ← ACTINIUM
 et autres substances radioactives
 ARMET de LISLE

USINES
 NOGENT-SUR-MARNE
 BUREAUX
 13, Rue Vignon, PARIS

PRIX DES SELS DE RADIUM :

DES ÉLÉMENTS DES	DES ÉLÉMENTS DES	DES ÉLÉMENTS DES	DES ÉLÉMENTS DES
1. Radium	2. Polonium	3. Actinium	4. Thorium
100 mg	100 mg	100 mg	100 mg
1000 mg	1000 mg	1000 mg	1000 mg
10000 mg	10000 mg	10000 mg	10000 mg
100000 mg	100000 mg	100000 mg	100000 mg
1000000 mg	1000000 mg	1000000 mg	1000000 mg

(Note: The table content is partially illegible due to image quality. The header and sub-headers are clearly visible.)



**PRIX NOBEL
ET INSTITUT
DU RADIUM**

LE PRIX NOBEL, UNE NOUVEAUTÉ



- Alfred Nobel avait créé en 1895 un prix récompensant des œuvres exceptionnelles en Physique, Chimie, Physiologie et médecine, Littérature et Paix
- Les premier prix furent attribués en 1901
- Röntgen reçut le prix de physique en 1901, Lorentz et Zeeman se partagèrent celui de 1902 (effets du magnétisme sur le rayonnement)
- Des rumeurs suggéraient que le prix de 1903 allait être partagé entre Henri Becquerel et Pierre Curie
- Pierre Curie insista fortement pour que sa femme soit considérée comme son égale, et non une simple assistante
- → Becquerel reçut la moitié du prix et Pierre et Marie chacun un quart

D'OÙ VIENT L'ÉNERGIE?

- La question se posa vite de la source d'énergie du rayonnement apparemment inépuisable (car constant) de l'uranium ou du radium
- Dès sa note du 12 avril 1898, Marie Curie suggérait:

» Pour interpréter le rayonnement spontané de l'uranium et du thorium on pourrait imaginer que tout l'espace est constamment traversé par des rayons analogues aux rayons de Röntgen mais beaucoup plus pénétrants et ne pouvant être absorbés que par certains éléments à gros poids atomique, tels que l'uranium et le thorium. »

et les Curie défendirent longtemps cette idée

- Pierre Curie et Albert Laborde mesurèrent en 1903 un dégagement constant de chaleur de l'ordre de 100 calories par heure et par gramme de radium
- Ernest Rutherford soutenait, lui, que l'énergie venait d'une modification interne des substances radioactives. Il avait raison.

EFFETS BIOLOGIQUES

- En 1900, Giesel puis Walkoff annoncèrent que les sels de radium brûlaient la peau
- En 1901, Becquerel fut sérieusement brûlé par un échantillon de radium que lui avait confié Pierre Curie
- Celui-ci explora alors les effets biologiques du radium, d'abord sur lui-même, puis avec avec le Dr Danlos, dermatologue à l'Hôpital Saint-Louis
- Pas d'efficacité contre la tuberculose, mais peut-être en dermatologie et cancérologie
- En 1901, J.J. Thomson avait constaté que certaines eaux étaient plus radioactives que d'autres: une explication du thermalisme?



LA MORT DE PIERRE CURIE

- 1906 : Pierre Curie meurt, renversé par un camion



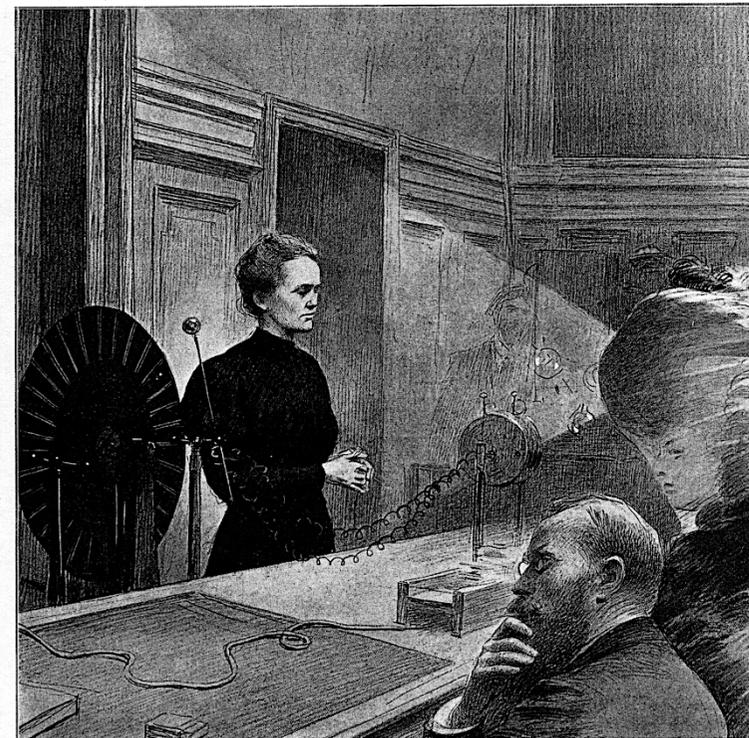
- Le choc est immense pour Marie
- Elle est nommée professeur à la Sorbonne à la place de Pierre

L'ILLUSTRATION

Prix de ce Numéro : Un Franc.

SAMEDI 10 NOVEMBRE 1906

6^e Année. — N° 3324



L'INSTITUT DU RADIUM



10 novembre 2011

Alain Bouquet – Petite histoire de la physique nucléaire – 3

32

L'INSTITUT DU RADIUM DE PARIS

- Émile Roux, directeur de l'Institut Pasteur, proposa en 1909 à Marie Curie la création conjointe avec l'université d'un institut destiné à l'étude du radium
 - Grâce à un legs de D. Osiris, l'Institut du Radium est inauguré en 1914
- Il est formé de deux pavillons
 - Le pavillon Curie où sont étudiées les propriétés physiques de la radioactivité
 - Le pavillon Pasteur consacré aux applications médicales sous la direction de Claudius Regaud (1870-1940), pionnier de la radiothérapie

- Pavillon Pasteur



- Un dispensaire fut ajouté en 1923, puis un hôpital en 1936
- L'Institut du Radium est devenu Institut Curie en 1970

PREMIÈRE CONFÉRENCE SOLVAY - 1911



GOLDSCHMIDT
NERNST

PLANCK
BRILLOUIN

RUBENS LINDEMANN
SOMMERFELD DE BROGLIE
SOLVAY
LORENTZ

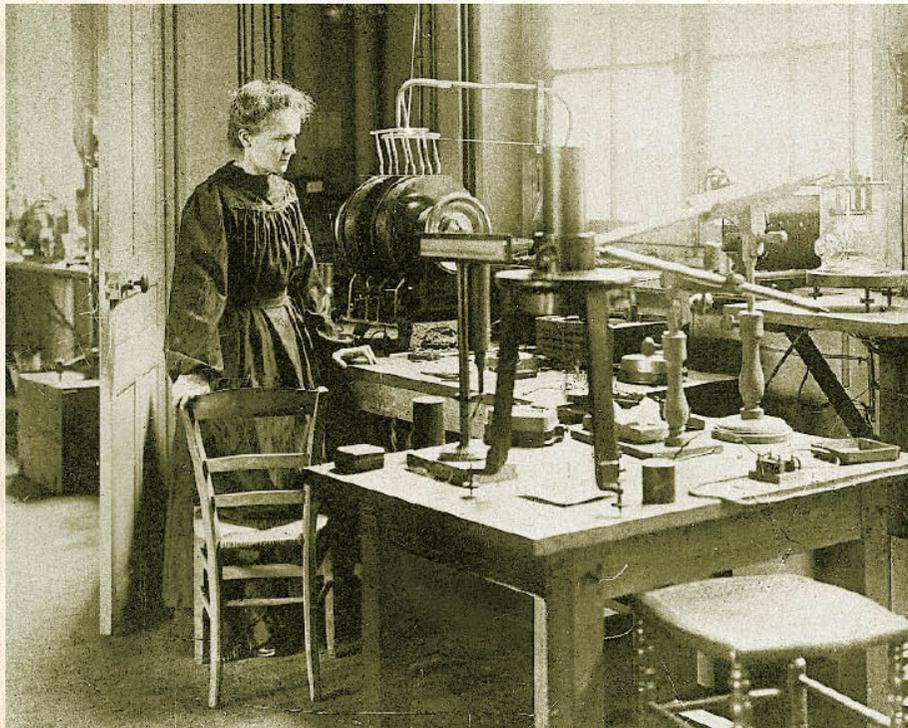
HASENOHRL
HOSTELET
KNUDSEN
WARBURG
PERRIN

HERZEN JEANS RUTHERFORD
WIEN
Madame CURIE
POINCARÉ

KAMERLINGH ONNES
ENSTEIN
LANGEVIN

TURBULENCES ET HONNEURS

- Prix Nobel de chimie 1911
- Le *curie*, unité de radioactivité = nombre de désintégrations par seconde dans un gramme de radium. [en principe en l'honneur de Pierre]
- 1 curie (Ci) = 10^{10} becquerels (Bq)



- Les « petites Curie »
- Unités mobiles de radioscopie



MARIE ET IRÈNE CURIE, COLLABORATRICES

- « Le gramme de radium », une belle opération de relations publiques



Marie Curie et le président américain Warren Harding en 1921

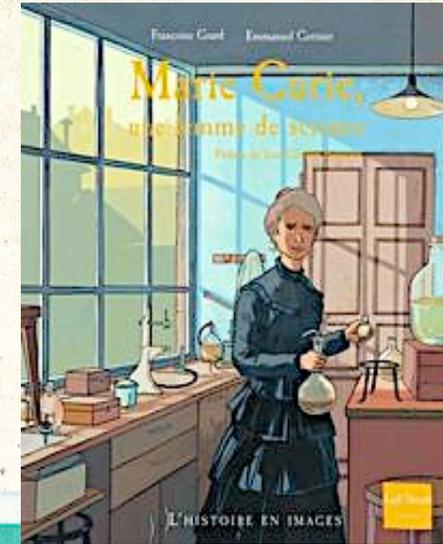
- Irène et Marie Curie en 1921 à l'Institut du Radium



CE QU'IL EN RESTE...

*« J'ai retiré ce radium de la pechblende
Et j'ai brûlé mes doigts à ce feu défendu »*

Aragon (Les yeux d'Elsa 1942)



À SUIVRE !



Mais c'est tout pour aujourd'hui!