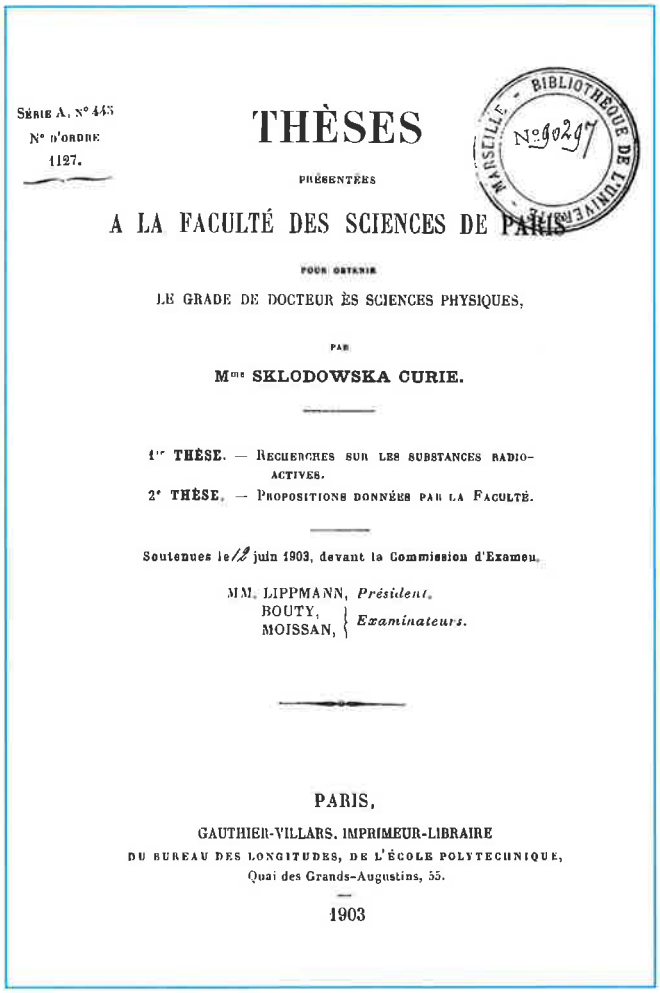
Sur la thèse de doctorat de Marie Curie

Józef Hurwic* *professeur*

Le 25 juin 1903, Marie Sklodowska-Curie soutient, à la faculté des sciences de Paris, deux thèses pour obtenir le grade de docteur ès sciences physiques. La première "Recherches sur les substances radioactives", la deuxième "Propositions données par la Faculté" que je passe sous silence puisque ce n'est pas un travail de recherche.

Quelques mois après la soutenance, les travaux décrits dans la thèse (la première) apportent au nouveau docteur le prix Nobel de physique. C'est, à ma connaissance, un des deux cas où une thèse est couronnée par ce prix suprême. Le deuxième cas, c'est la thèse de Louis de Broglie, de 1924, sur la nature ondulatoire des électrons, pour laquelle le jeune théoricien reçoit, en 1929, le prix Nobel.

Je commencerai par un bref rappel de quelques faits biographiques. Marie Sklodowska est née le 7 novembre 1867 à Varsovie, à l'époque annexée par la Russie, dans une famille de modestes enseignants possédant des deux côtés de solides traditions scientifiques. N'ayant pas encore seize ans, elle termine ses études secondaires, avec la mention "très bien" dans toutes les matières et la médaille d'or. Elle pense faire des études supérieures, mais les femmes ne sont pas admises à l'université (russe) de Varsovie et l'argent lui fait défaut pour un départ à l'étranger. Afin de réunir la somme nécessaire, elle donne des leçons particulières. En novembre 1891, âgée déjà de vingt-quatre ans, elle peut, enfin, réaliser son rêve : étudier à la Sorbonne. Deux ans après, elle est reçue (première, avec la mention "très bien") à la licence ès sciences physiques et, l'année suivante, elle devient licenciée ès sciences mathématiques (cette fois seconde et avec la mention "assez bien"). Avant qu'elle n'obtienne sa seconde licence, la Société d'Encouragement à l'Industrie Nationale chargea la jeune physicienne d'étudier les propriétés magnétiques de divers types d'acier. Le 25 juillet 1895, Marie Sklodowska épouse Pierre Curie, physicien connu. Au printemps 1897, elle termine son travail technologique sur les aciers [1] et, à la fin de l'année, décide de préparer un doctorat.



Série A, N° 445
N° d'ordre
1127.

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES,

PAR

Mme SKLODOWSKA CURIE.

1re THÈSE. — RECHERCHES SUR LES SUBSTANCES RADIO-ACTIVES.

2e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 12 juin 1903, devant la Commission d'Examen.

MM. LIPPMANN, *Président*.
BOUTY, MOISSAN, *Examinateurs*.

PARIS,
GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1903

BIBLIOTHÈQUE DE L'UNIVERSITÉ MARSEILLE N° 90297

Couverture de la thèse, soutenance prévue le 12 (écriture de Marie Curie) juin et reportée au 25 juin.

Elle choisit, comme sujet de thèse, l'étude des rayons uraniques découverts, l'année précédente, par Henri Becquerel. Celui-ci constata que l'uranium et tous ses composés émettent spontanément un rayonnement invisible qui agit sur la plaque photographique, même à travers des corps opaques, et ionise l'air. Seule cette deuxième propriété est mesurable. C'est pourquoi Madame Curie, attribuant l'importance principale aux recherches quantitatives, commence par répéter les expériences de Becquerel, en étudiant le pouvoir ionisant des sels d'uranium. Mais, tandis que Becquerel, muni d'un simple électroscope, ne put faire que des mesures peu précises,

* Résidence Motte-Tourtel,
1, rue Clary, 13003 Marseille.
Tél. : 91.50.43.34.
Université de Provence, Marseille.

Marie Curie réussit une étude quantitative avec bien plus d'exactitude, grâce à l'utilisation d'un dispositif avec quartz piézo-électrique, mis au point, pour d'autres fins, quinze ans auparavant, par Pierre Curie et son frère aîné Jacques. Ce dispositif permettait de mesurer de très faibles courants électriques d'ionisation. Marie Sklodowska-Curie confirme ainsi incontestablement que l'intensité des rayons de Becquerel est proportionnelle à la teneur en uranium de l'échantillon émetteur, indépendamment de son état physique et de sa composition chimique. Le pouvoir de radiation, c'est-à-dire la radioactivité (appellation qu'elle inventera plus tard) est donc - conclut la chercheuse - une propriété de l'élément uranium, autrement dit, de ses atomes ; c'est donc une propriété atomique.

Marie Curie entreprend ensuite de rechercher si d'autres éléments donnent lieu au même phénomène. Elle étudie tous les éléments connus à l'époque, soit sous forme de substances simples, soit de leurs composés, en mesurant la conductibilité de l'air en présence de chacune de ces substances. Bientôt, elle constate la radioactivité du thorium [2], indépendamment du physicien allemand Gerhard Carl Schmidt qui, travaillant à Erlangen, avait publié la même découverte deux mois plus tôt [3]. En revanche, tous les autres éléments examinés se montrèrent inactifs. Cette constatation négative est encore plus importante, comme on le verra par la suite. L'étude de l'activité du thorium prouva qu'il s'agit, là aussi, d'une propriété atomique mais, naturellement, d'intensité différente.

Continuant les mesures, Madame Curie constate que certains minéraux uranifères, tels que la pechblende, l'autunite, la chalcolite, émettent un rayonnement quelques fois plus puissant que celui que provoquerait leur teneur en uranium. Mais le minéral n'est pas un composé chimique pur ; il contient des impuretés. Ce sont elles - raisonne Madame Curie - qui sont responsables de l'activité accrue ou, plus précisément, un élément s'y trouvant, plus actif que l'uranium (et le thorium). Cependant, aucun élément connu, comme elle l'a déjà constaté, sauf l'uranium et le thorium, n'est radioactif. D'où l'audacieuse hypothèse que les minéraux en question devraient contenir un (ou peut-être plusieurs) élément jusque là inconnu et très actif. Afin de vérifier son hypothèse, Madame Curie synthétise un composé semblable à la chalcolite, le phosphate de cuivre et d'uranyle hydraté, $Cu(UO_2)_2(PO_4)_2.8\text{-}12H_2O$, à partir des produits purs. L'activité de la "chalcolite" synthétique se montra, en accord avec la quantité d'uranium présent, six fois mois importante que celle de la chalcolite naturelle.

De cette façon, Marie démontra expérimentalement l'existence d'au moins un élément fortement radioactif. C'est, à mon avis, la découverte la plus importante de la savante.

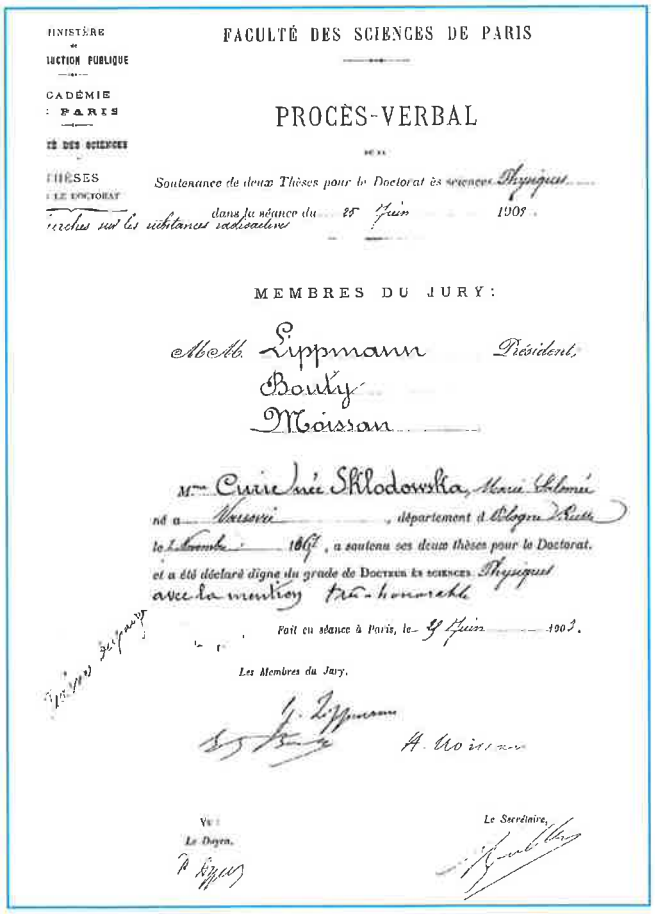
Il fallait maintenant isoler le nouvel élément. Marie et Pierre Curie, qui, à ce moment, rejoint sa femme, décident d'extraire cet élément de la pechblende provenant de la mine d'uranium de Jàchymov (Joachimsthal) en Bohème. Pour effectuer ces recherches, Pierre Curie avait obtenu du directeur de l'École de Physique et de Chimie industrielles de la ville de Paris l'autorisation d'utiliser un atelier vitré situé au rez-de-chaussée, servant de magasins et de salle des machines.

Les Curie attaquent la pechblende par les acides et traitent la solution obtenue par le sulfure d'hydrogène. L'uranium et le thorium restent dans la solution. La forte activité des sulfures précipités témoigne qu'ils contiennent l'élément recherché, en même temps que du plomb, du bismuth, du cuivre, de l'arsenic et de l'antimoine. Par des mesures de l'activité, les chercheurs constatent que la substance active est entièrement insoluble dans le sulfure d'ammonium qui la sépare de l'arsenic et de l'antimoine. Les sulfures insolubles dans le sulfure d'ammonium sont dissous dans l'acide nitrique et, utilisant ensuite successivement l'acide sulfurique et l'ammoniaque, on obtient finalement la substance active avec le bismuth. Ne pouvant trouver aucun procédé pour séparer la substance active du bismuth par voie humide, les Curie utilisent la différence de volatilité du sulfure actif et du sulfure de bismuth pour enrichir par sublimation le sulfure de bismuth en élément actif.

Pour ce travail appliquant les méthodes de la chimie analytique classique, le stage de Marie Sklodowska, avant son départ de Pologne, au laboratoire de chimie du Muséum de l'Industrie et de l'Agriculture à Varsovie, fut plus utile que ses études ultérieures à la Sorbonne.

Dans les séparations chimiques, les Curie ont été guidés par les mesures du pouvoir ionisant parce que la seule propriété connue de l'élément recherché était son intense radiation. De cette façon, ils inventèrent la méthode des indicateurs radioactifs qui trouvera, plus tard, des applications importantes non seulement en physique et en chimie, mais surtout en biologie, en médecine, en agriculture, etc.

Après quelques mois d'un travail épuisant, les chercheurs obtiennent, enfin, un produit dont l'activité est 400 fois plus forte que celle de l'uranium. Il était évident que ce produit contenait



FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

PROCÈS-VERBAL

Soutenance de deux Thèses pour le Doctorat ès sciences Physiques

dans la séance du 25 Juin 1903.

MEMBRES DU JURY :

MM. Lippmann Président
Bouty
Moissan

Mme Curie née Sklodowska, Marie Salomée
né à Varsovie, département de Pologne Russe
le 7 Novembre 1867, a soutenu ses deux thèses pour le Doctorat,
et a été déclaré digne du grade de Docteur ès sciences Physiques
avec la mention très-honorable

Fait en séance à Paris, le 25 Juin 1903.

Les Membres du Jury,

Le Doyen,

Le Secrétaire,

Le procès-verbal de la soutenance (Archives Nationales, Paris, F 17 13 248).

l'élément provoquant l'intense radiation. Il semblait être un métal voisin (analytiquement) du bismuth. En l'honneur du pays natal de Marie Curie, les deux savants donnent au nouvel élément le nom de polonium. Ils publient la découverte en juillet 1898 [4].

On venait de découvrir, mais pas encore isoler, un nouvel élément sans voir, sans pouvoir le peser, uniquement grâce au rayonnement ionisant qu'il émettait. Toutefois, la découverte ne fut pas complète. La quantité obtenue du polonium était trop faible pour qu'on puisse déterminer sa masse atomique, et même de l'identifier par spectroscopie (dans le spectre du bismuth polonifère on n'a trouvé aucune raie nouvelle). Par conséquent, pendant très longtemps, il ne figura pas sur la liste des éléments chimiques. "*Il partageait ainsi* - écrira, en 1910, un des élèves de Marie Curie - *le sort qui était à l'époque celui du pays auquel il devait son nom : il existait en fait, mais pas officiellement*".

Il faut ajouter que, quatre ans après la découverte du polonium, le chimiste allemand Willy Marckwald, à Berlin, démontra l'analogie chimique de cet élément au tellure [5-7]. La ressemblance du polonium, d'un côté, au bismuth, de l'autre, au tellure est aujourd'hui tout à fait compréhensible en tenant compte de la position du polonium dans la classification périodique : il se trouve dans la même colonne que le tellure, au dessous de celui-ci, et, en même temps, il est voisin direct du bismuth, dans la même période. Effectivement, le polonium, par des propriétés de son hydroxyde, se rapproche du tellure, tandis que, par celles de son sulfure, il est proche du bismuth.

La situation du radium, découvert quelques mois plus tard que le polonium [8], était entièrement différente.

Au cours des recherches sur le polonium, les Curie trouvent un nouvel élément radioactif, totalement dissemblable du premier par ses propriétés chimiques, très voisin du baryum. Sans entrer dans les détails des séparations chimiques, guidées, comme précédemment, par les mesures d'activité, notons que les Curie, avec l'aide du chimiste Gustave Bémont, après avoir éliminé quelques métaux connus, ont obtenu une certaine quantité de chlorure de baryum radifère. Eugène Demarçay, spécialiste de la spectrographie d'émission, à la demande des Curie, entreprit l'analyse de l'échantillon et confirma l'existence d'un nouvel élément par la présence dans le spectre d'une raie 381,48 nm jusque là inconnue [9]. Il fallait ensuite isoler le chlorure de radium à partir d'une grande quantité de chlorure de baryum radifère.

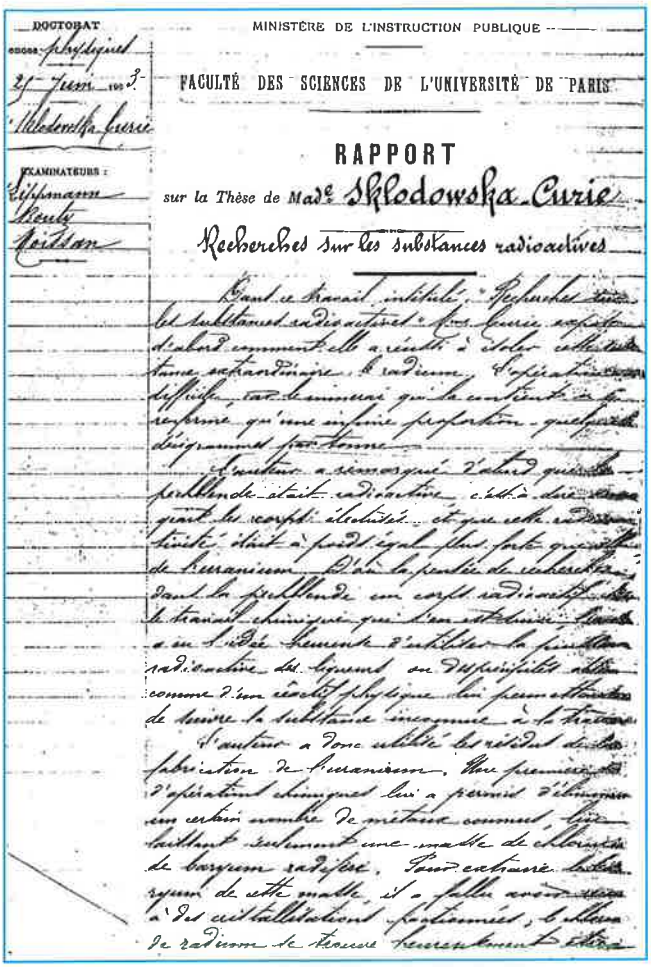
Les résidus de pechblende ne contenait plus d'uranium après son extraction industrielle à Jáchymov (l'uranium était utilisé pour la fabrication d'un colorant jaune pour le verre) mais il y restait toujours du polonium et du radium. Plusieurs tonnes de ce matériel servaient aux Curie de matière première dans leurs longs travaux ultérieurs, effectués dans un hangar abandonné, rue Lhomond, qui fut jadis une salle de dissection pour les étudiants de l'École de médecine.

Marie Sklodowska-Curie en 1912 (Archives du Laboratoire Curie). DR.

De la première tonne des résidus, Marie Curie a extrait elle-même 8 kg de chlorure de baryum radifère. Pour le traitement de 5 tonnes suivantes, elle eut recours à l'aide d'un autre chimiste, André Debierne. Afin d'extraire le chlorure de radium d'une grande masse de chlorure de baryum radifère, Marie Curie utilise le fait que le chlorure de radium est beaucoup moins soluble que le chlorure de baryum. La cristallisation fractionnée permit donc de concentrer le radium. Le processus de concentration a été constamment contrôlé par les mesures de l'activité, par l'étude du spectre faite par Demarçay et par la détermination de la masse atomique. Le procédé d'évaluation de la masse atomique consistait en la détermination, sous forme de chlorure d'argent, de la quantité de chlore contenue dans la masse connue du chlorure de baryum radifère, le radium étant considéré comme bivalent. De cette façon, la masse trouvée du métal (mélange de baryum et de radium) liée à une masse déterminée de chlore permettait de calculer la masse atomique moyenne (moyenne pondérée) du métal. Cette masse atomique moyenne augmente avec la concentration du radium.

Au bout de nombreuses cristallisations, Madame Curie parvient enfin, en 1902, à obtenir 1 dg de chlorure de radium dont la pureté fut vérifiée par Demarçay. Ce produit permit de déterminer la masse atomique exacte du radium. La valeur obtenue est 225 ± 1 [10]. Ainsi, Marie Curie démontra indiscutablement, selon les exigences de la chimie, que le radium est réellement un élément nouveau. On peut donc l'inscrire dans le tableau périodique sous le baryum, comme le plus lourd élément alcalino-terreux.

La découverte du radium n'est pas la simple découverte d'un nouvel élément. La radioactivité fut découverte par Becquerel mais c'est seulement la découverte par les Curie du radium, élément beaucoup plus actif que l'uranium (et le thorium), qui a ouvert des nouvelles possibilités de recherches sur la radioactivité et, de cette façon, créa une nouvelle science. Lawrence Badash, historien des sciences américain, remarqua [11] que Becquerel qui, en 1896, publia huit notes sur la radioactivité n'en publia que deux l'année suivante et, en 1898, aucune. Les possibilités des recherches dans ce domaine avec


DOCTORAT

MINISTÈRE DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

RAPPORT

sur la Thèse de Mme Sklodowska-Curie

Recherches sur les substances radioactives

La première page du rapport du professeur Lippmann sur la thèse de Mme Sklodowska-Curie (Archives Nationales, Paris).

l'uranium, faiblement radioactif, se sont épuisées. Becquerel, lui-même, ne reprit l'étude de la radioactivité qu'en utilisant des préparations de polonium et de radium offertes par les Curie.

Simultanément avec les travaux sur l'obtention du chlorure de radium pur, les découvreurs des nouveaux éléments étudient les différentes propriétés des rayons qu'ils émettent : pouvoir de traverser les divers corps, effets lumineux, dégagement de chaleur, action chimique, action physiologique, influence des champs électrique et magnétique sur les rayons, etc.

Madame Curie se chargea surtout du travail chimique, alors que son mari se consacrait principalement à l'étude des propriétés physiques des rayons émis.

Tous (ou presque tous) les faits établis par les Curie sont indéniables, mais l'interprétation de quelques-uns d'entre eux se révéla inexacte.

Marie Curie écrit dans sa thèse que le radium émet des rayons chargés d'électricité négative, c'est-à-dire des rayons ß. En réalité, ce n'est pas le radium qui est ß-radioactif, mais certains radionucléides qui l'accompagnent dans la préparation.

Le chapitre IV de la thèse est consacré à la "radioactivité induite". Les Curie constatèrent que toute substance (inactive) se trouvant au voisinage d'une préparation de radium devient elle-même, "sous l'action des rayons de Becquerel", radioactive et appelèrent ce phénomène radioactivité induite. En fait, comme on l'apprit plus tard, le radium se transforme en radon gazeux (émanation) qui s'adsorbe sur les corps avoisinants, devenant une source de radioactivité. Les expériences d'"activation" et de "désactivation", décrites par les Curie peuvent être facilement expliquées par la formation du radon à partir du radium et, ensuite, par la désintégration du radon.

Dans le paragraphe final, sur la nature et les causes de la radioactivité, Marie Curie relate les résultats des expériences d'Ernest Rutherford et Frederick Soddy [12,13] démontrant que la radioactivité consiste en la transformation d'un atome radioactif en atome d'un autre élément. Mais Marie Curie n'est pas encore totalement convaincue du bien fondé de cette interprétation. Il faut quand même remarquer que ce fut elle qui la première, déjà trois ans auparavant [14,15,16], avait parlé d'un tel processus, bien que seulement comme l'une des quelques différentes possibilités d'expliquer la radioactivité. Néanmoins, ne pouvant constater expérimentalement ni la diminution de la radioactivité avec le temps, sauf dans le cas du polonium, ni aucune variation de masse des substances radioactives, Marie et Pierre Curie se sont rétractés, préférant plutôt l'hypothèse que l'atome radioactif est un transformateur d'énergie empruntée de l'extérieur [17]. Ajoutons que Madame Curie considérait l'activité radioactive comme une propriété caractéristique de l'élément. A cause de la longue durée de vie de l'uranium, du thorium, de l'actinium et pratiquement du radium, elle pouvait penser que l'activité de ces éléments est constantes. Le comportement différent du polonium provoqua même quelques doutes de Madame Curie concernant l'existance de l'élément polonium (ne représente-il pas plutôt le bismuth activé par le radium ?), doutes qu'elle n'abondonnera que bien plus tard.

En plus de l'absence des faits expérimentaux confirmant l'hypothèse d'une transformation atomique, il y a, comme l'a indiquée Isabelle Stengers [18], une autre raison du renoncement à cette hypothèse : la pression de la tradition scientifique française "rationnelle" ne s'en tenant qu'aux faits et régularités observables et évitant toutes hypothèses interprétatives, surtout l'hypothèse atomique. Jean-Baptiste Dumas, dans une des leçons au Collège de France, déclara ; "*Si j'étais maître, j'effacerais le mot atome de la science, persuadé qu'il va plus loin que l'expérience : et jamais, en chimie, nous ne devons aller plus loins que l'expérience*" [19]. Marcelin Berthelot fut aussi un anti-atomiste acharné.

L'ensemble de résultats des recherches sur la radioactivité effectuées par Madame Curie jusqu'en 1902, seule, avec son mari ou encore avec l'aide de Bémont et de Debierne, fut réuni dans sa thèse, avec l'indication de sa contribution personnelle. Le texte fut imprimé, en 1903, chez Gauthier-Villars. Le fascicule comporte : "Introduction", "Historique", quatre chapitres (I. "Radioactivité de l'uranium et du thorium. Minéraux radioactifs", II. "Les nouvelles substances radioactives", III. "Rayonnements des nouvelles substances radioactives", IV. "La radioactivité induite"), un paragraphe sur la nature et la cause des phénomènes de la radioactivité et "Conclusions".

La commission d'examen fut composée de trois personnes : deux physiciens, Edmond Bouty et Gabriel Lippmann, et un chimiste, Henri Moissan, sous la présidence de Lippmann. Parmi les quatre noms qui figurent sur la couverture de la thèse, la candidate et ses trois examinateurs, trois obtiendront le prix Nobel : Marie Curie ceux de physique en 1903 et de chimie en

1911, Moissan celui de chimie en 1906 et Lippmann celui de physique en 1908. Marie Curie était jusqu'en 1909 la seule femme prix Nobel ; en 1909, la Suédoise Selma Lagerlöf reçut le prix Nobel de littérature. Mais encore, jusqu'en 1935, Marie Curie fut la seule femme prix Nobel scientifique. La deuxième deviendra, en 1935, sa fille, Irène Joliot-Curie, pour la découverte de la radioactivité artificielle. Jusqu'en 1963, Marie Curie sera le seul double lauréat du prix Nobel. En 1963, l'Américain Linus Pauling, déjà prix Nobel de chimie, recevra, pour l'année 1962, le prix de la paix. Toutefois, Marie Curie restera jusqu'en 1972 le seul double lauréat scientifique. En 1972, l'Américain John Bardeen recevra le deuxième prix de physique. Dans toute l'histoire du prix Nobel il y a, jusqu'à aujourd'hui, seulement trois doubles lauréats scientifiques, à part Madame Curie et Bardeen, encore le Britannique Frederick Sanger, titulaire de deux prix de chimie en 1958 et en 1980.

Revenons à la soutenance. Lippmann termine son rapport, dans lequel il résume la thèse, par la conclusion : "*En isolant le radium Mme Curie a rendu assurément à la science un service de premier ordre*". Remarquons, en passant, un détail caractéristique : le rapporteur remplace l'appellation "poids atomique", liée à l'hypothèse atomique, utilisé par la thésarde, par la notion expérimentale l'"équivalent".

La thèse a été également publiée en trois parties dans trois numéros consécutifs des *Annales de Chimie et de Physique* de septembre, octobre et novembre 1903 (7e série, vol. XXX, p. 99 - 144, 145-203 et 289-326). En 1904, parut, toujours chez Gauthier-Villars, la deuxième édition de la thèse, revue et corrigée. Cette édition a été entièrement réimprimée, en 1954, dans les "*Œuvres de Marie Sklodowska Curie*" recueillies par Irène Joliot-Curie, publiées par l'Académie Polonaise de Sciences en hommage à la savante pour le vingtième anniversaire de sa mort (p. 139 - 239). Ce texte, légèrement abrégé et sans le chapitre IV, se trouve aussi dans le numéro 37 (1991) de la série "*Cahiers d'Histoire et de Philosophie des Sciences*", intitulé "La radioactivité : découverte et premiers travaux", recueil des textes originaux avec l'introduction et commentaires de J. Hurwic (p. 69 - 134). La thèse de Marie Curie parut, aussitôt après la première édition française, dans d'autres langues : en anglais, allemand, russe (quatre traductions différentes) et polonais.

L'édition polonaise, préparée par l'auteur lui-même, a été publiée en six parties dans six numéros consécutifs de l'hebdomadaire *Chemik Polski* (Le chimiste polonais) de l'année 1904 (vol. IV, p. 141-153, 161-166, 181-190, 201-209, 221-235 et 241-249). L'ensemble de ces six parties fut ensuite publié sous forme d'un fascicule (tiré à part) avec une pagination indépendante. Ce texte est réimprimé, en 1954, dans les "*Œuvres de Marie Sklodowska Curie*" (p. 241-307), déjà citées, après le texte français. En 1992, pour commémorer le 125e anniversaire de la naissance de l'auteur, le Comité d'Histoire de la Science et de la Technique de l'Académie Polonaise des Sciences a réédité le texte polonais de la thèse de Marie Sklodowska-Curie, sous forme d'une édition critique avec une introduction, des commentaires (page par page) et une postface par J. Hurwic.

La couverture de la thèse de Marie Sklodowska-Curie en traduction polonaise.

Références

[1] Mme Sklodowska-Curie, Propriétés magnétiques des aciers trempés, *Bull. de la Sté d'Encouragement à l'Industrie nationale*, 5e série, **1898**, *3*, p. 36-76.

[2] Mme Sklodowska-Curie, Rayons émis par les composés de l'uranium et du thorium, *C. R. Acad. Sci. Paris*, **1898**, *126*, p. 1101-1103.

[3] Schmidt G. C. , Über die vom Thorium und den Thorverbindungen ausgehende Strahlung, *Verhandlungen der Physikalischen Gesellschaft*, Berlin, **1898**, *17*, p. 14-16.

[4] Curie P., Curie Mme S., Sur une substance nouvelle radioactive, contenue dans la pechlende, *C. R. Acad. Sci. Paris*, **1898**, *127*, p. 175-178.

[5] Marckwald W., Das radioaktive Wismut (Polonium), *Physikal. Z.*, **1902**, *4*, p. 51-54.

[6] Marckwald W., Ueber das radioaktive Wismut (Polonium), *Ber.*, **1902**, *35*, p. 2285-2288.

[7] Marckwald W., Ueber den radioaktiven Bestandheil des Wismuts aus Joachimsthaler Pechblende, *Ibid.*, **1902**, *35*, p. 4239-4240.

[8] Curie P., Curie Mme P., Bémont G., Sur une nouvelle substance fortement radioactive, contenue dans la pechblende, *C. R. Acad. Sci. Paris*, **1898**, *127*, p. 1215-1217.

[9] Demarsay E., Sur le spectre d'une substance radio-active, *Ibid*, **1898**, *127*, p. 128.

[10] Curie Mme, Sur le poids atomique du radium, *Ibid.*, **1902**, *135*, p. 161-163.

[11] Badash L., Radioactivity before the Curies, *American J. of Physics*, **1965**, *33*, p. 771-777.

[12] Rutherford E., Soddy F., The radioactivity of thorium compounds. I. An investigation of the radio-active emanation, *Trans. Chem. Soc. London*, **1902**, *81*, p. 321-350.

[13] Rutherford E., Soddy F., The cause and nature of radio-activity, *Phil. Mag.*, **1902**, *4*, p. 370-396, p. 569-585.

[14] Sklodowska Curie, Les rayons de Becquerel et le polonium, *Rev. gen. Sci. pur appl.*, **1899**, *10*, p. 41-50.

[15] Curie P., Curie M., Les nouvelle substances radioactives et les rayons qu'elles émettent. *Rapports présentés au Congrès international de Physique*, **1990**, T. III, p. 79-114.

[16] Curie Mme, Les nouvelles substances radioactives, *Rev. sci (Rev. rose)*, série 4, **1900**, *14*, p. 65-71.

[17] Curie P., Curie Mme S., Sur les corps radioactifs, *C.R. Acad. Sci. Paris*, **1902**, *134*, p. 85-87.

[18] Stengers I., La radioactivité, de l'élément à l'atome, In *Marie Sklodowska Curie et la Belgique*, Université Libre de Bruxelles, **1990**, p. 43-51.

[19] Dumas J.-B., *Leçons sur la philosophie chimique, professées au Collège de France en 1836, recueillies par M. Bineau*, seconde édition, Gauthier-Villars, Paris, **1878**, p. 315.