

# radiochimie et chimie sous rayonnement

## positionnement français

### L'enseignement de la chimie sous rayonnement ionisant en France

#### Le rôle clé de certains enseignants

**Résumé** Cet article décrit l'histoire de l'enseignement de la chimie sous rayonnement en France, depuis la fondation de cette discipline jusqu'à nos jours. Contrairement à l'activité de recherche dans le domaine, pour laquelle l'analyse des articles, de rapports et de quelques biographies de personnalités scientifiques permet d'avoir une idée plus claire sur les différentes contributions, les indices sur l'activité d'enseignement sont parcellaires. Quelques éléments ont pu être reconstitués à travers des discussions avec plusieurs collègues.

**Mots-clés** Chimie sous rayonnement, enseignement, histoire.

**Abstract** **Players involved in the teaching of radiation chemistry in France**

This article describes the history of the teaching of radiation chemistry in France, from the foundation of this discipline to the present day. Contrary to the research activity in the field, for which the analysis of articles, reports and some biographies of scientific personalities gives a clearer idea of the different contributions, the clues on the teaching activity are fragmentary. Some elements have been reconstituted through discussions with several colleagues.

**Keywords** Radiation chemistry, teaching, history.

#### Les pionniers

La France a joué un rôle de premier plan dans le développement de la chimie sous rayonnement dans le monde grâce aux pionniers Henri Becquerel et Pierre et Marie Curie, qui ont fait naître ce domaine de la recherche très vite après la découverte de la radioactivité à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, activité poursuivie par leurs élèves, notamment Jean Perrin. La mise au point de sources diverses d'ionisation a déclenché une nouvelle recherche autour des effets observés [1]. L'Institut du Radium a été créé en 1909 à la demande de Marie Curie par la Faculté des sciences de Paris et l'Institut Pasteur comme laboratoire de recherche sur la radioactivité [2]. Une partie des chercheurs a commencé une activité de recherche dans le domaine de l'effet des rayonnements ionisants sur la matière, les systèmes inertes ou biologiques. C'est l'émergence de cette activité très riche, en parallèle avec celle de la radiochimie et de la physique nucléaire, qui a peu à peu donné naissance à une nouvelle discipline avec des formations à l'université et des livres dédiés [3]. Mais c'est surtout après la Seconde Guerre mondiale et cette première phase de développement de la recherche, avec un niveau important de connaissances en chimie sous rayonnement et un nombre croissant d'étudiants, que la nécessité de mettre en place un enseignement spécifique est devenue incontournable.

#### Les fondateurs : Moïse Haïssinsky et Michel Magat

Les deux personnalités fondatrices de l'enseignement de la chimie sous rayonnement en France sont sans conteste Moïse Haïssinsky (1898-1976, originaire d'Ukraine) et Michel Magat (1908-1978, originaire de Russie). Le premier avait été depuis 1930 l'assistant de Marie Curie et le deuxième, qui a effectué sa thèse à Berlin, avait rejoint en 1932 le laboratoire de Paul Langevin, ancien collaborateur de Pierre Curie, et Edmond Bauer à Paris. La guerre arrête leur activité ; Michel Magat s'exile alors aux États-Unis et Moïse Haïssinsky entre en

clandestinité. Ils reprennent tous deux leur activité après la guerre, Haïssinsky à l'Institut du Radium et Magat au Laboratoire de Chimie Physique de Paris. Maîtrisant plusieurs langues, ils établissent de multiples et excellentes relations avec des chercheurs d'autres pays – américains, russes, allemands, polonais, israéliens... – et leur expertise internationalement reconnue attirera de nombreux étudiants étrangers.

Haïssinsky devient directeur scientifique au CNRS et professeur de radiochimie de 1957 à 1962 à la Faculté des sciences de Paris (future Université Pierre et Marie Curie) pour remplacer Irène Joliot-Curie, décédée en 1956, dans ses enseignements. En 1957, il publie un livre très complet, *La Chimie nucléaire et ses applications* (voir encadré), traduit aussi en anglais. De 1955 à 1971, il dirige une collection de quinze volumes intitulée *Actions Chimiques et Biologiques des Radiations* à laquelle contribuent les meilleurs experts mondiaux du domaine. Il a beaucoup étudié la radiolyse des solutions aqueuses et a établi les rendements radiolytiques des espèces radicalaires et des molécules stables dans différentes conditions. Moïse Haïssinsky enseignait la *chimie sous rayonnement* dans le cadre du DEA\* « Radiochimie et chimie nucléaire » de la Faculté des sciences de Paris, en interaction avec l'INSTN (Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires) de Saclay et l'Institut du Radium où il menait ses activités de recherche. Il était entouré, entre autres, de quatre éminentes futures personnalités françaises de la chimie sous rayonnement qui vont promouvoir plus tard son enseignement en France : Jean-Pierre Adloff, Marc Lefort, Christiane Ferradini et Jacqueline Belloni.

#### Enseignement à Strasbourg

Jean-Pierre Adloff (disparu en 2019) développa la chimie sous rayonnement à Strasbourg, en particulier pour l'étude des rendements de scintillation déjà mis en place par un ancien élève d'Haïssinsky, André Coche, au Centre de recherches nucléaires de Strasbourg qui avait été créé par Marguerite



**Marguerite  
Perey**  
(1949)



**Moïse  
Haïssinsky**  
(1949)



**Michel  
Magat**  
(1970)



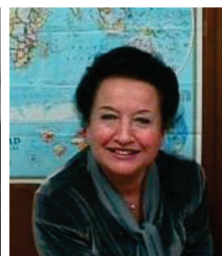
**Marc Lefort**



**Jean-Pierre  
Adloff**



**Christiane  
Ferradini**



**Jacqueline  
Belloni**  
(1988)

Perey (1909-1975), elle-même radiochimiste, élève de Marie Curie et collaboratrice d'Irène Joliot-Curie, et qui avait découvert le francium en 1939. En 1949, Marguerite Perey occupe la chaire de chimie nucléaire créée à son intention à la Faculté des sciences de Strasbourg. Elle y organise un enseignement de *chimie et physique nucléaires*, de second cycle d'abord, puis de troisième cycle. L'activité de l'interaction rayonnement-matière à Strasbourg a continué avec René Voltz puis Jean-Marc Jung sur les scintillateurs, et avec Jean-Charles Abbé et Gilles Duplâtre sur les processus radiolytiques du positron (antimatière de l'électron). L'activité actuelle de recherche du groupe, réuni comme le groupe radiochimie dirigé par Rémi Barillon, est centrée davantage autour de la radiochimie, la spéciation et la dosimétrie. L'enseignement de la chimie sous rayonnement proprement n'a plus lieu, mais en revanche, l'interaction rayonnement-matière est enseigné en M2 Chimie physique et l'effet des rayonnements sur la matière biologique est enseigné en particulier dans le cadre du Master Physique, parcours physique des rayonnements, détecteurs, instrumentation et imagerie.

### Première formation de DEA partagée Faculté des sciences de Paris/ Faculté des sciences d'Orsay

Embauché, après sa démobilisation, au CNRS par Irène Joliot-Curie en 1946, Marc Lefort (disparu en février 2021) étudie l'action des rayonnements sur les solutions aqueuses sous la direction de Moïse Haïssinsky et Paul Bonét-Maury jusqu'en 1957, date à laquelle il transfère toute son activité à l'Institut de physique nucléaire d'Orsay (IPN) où il crée un groupe de chimie nucléaire qui jouera un rôle essentiel pour le développement de la physique des ions lourds en France. Lorsque la Faculté des sciences d'Orsay se sépare de celle de Paris, elle met en place un 3<sup>e</sup> cycle ; Marc Lefort et Georges Bouissières, qui avait succédé à Haïssinsky sur la chaire de radiochimie (Faculté des sciences de Paris, puis la chaire est rattachée à l'Université Paris 6), acceptent d'être responsables à tour de rôle du DEA « Radiochimie et chimie nucléaire ». Lefort donnait un cours sur le passage des rayonnements dans la matière et un autre sur les réactions nucléaires, leurs applications et leurs conséquences à l'échelle atomique. Professeur de chimie à l'Université Paris-Sud de 1963 à 1985, il est l'auteur de plusieurs ouvrages scientifiques (voir *encadré*). Il a progressivement orienté son domaine en s'impliquant très fortement dans la construction de l'accélérateur ALICE à Orsay, puis du GANIL à Caen, dont il fut le premier directeur.

### Université René Descartes

Christiane Ferradini (1924-2002) et Jacques Pucheault ont développé la chimie sous rayonnement à la Faculté de médecine de l'Université René Descartes (Paris V) depuis 1973, en particulier la radiolyse des solutions aqueuses d'intérêt biologique au Laboratoire de Chimie Physique qu'ils ont créé. Lorsqu'elle était au laboratoire de Moïse Haïssinsky, Ferradini a enseigné la *chimie sous rayonnement* à la Faculté des sciences de Paris après Haïssinsky à partir de 1963. Plus tard, elle a continué cet enseignement à l'IPN à l'Université Paris-Sud dans le cadre du DEA 3R : « Radioactivité, radioélément et radiochimie » qui était co-habilité avec l'Université Paris VI et l'INSTN, où Marc Lefort donnait aussi des cours. Le livre *Biologie de l'action des rayonnements ionisants* (1982) qu'elle a rédigé avec Pucheault est un manuel toujours très utilisé par les étudiants en chimie et biochimie sous rayonnement. Après le décès de Christiane Ferradini en 2002, l'enseignement de la chimie sous rayonnement à l'Université René Descartes est organisé au niveau de la Licence et de la Maîtrise de chimie par sa collaboratrice, Zohreh Abedinzadeh, jusqu'en 2005, date de son départ à la retraite ; ce cours est repris par Samy Remita jusqu'en 2007. Chantal Houée-Levin, aussi collaboratrice de Ferradini, quitte le laboratoire de Paris V juste après le départ de cette dernière de la direction du laboratoire en 1992, pour rejoindre le Laboratoire de physico-chimie des rayonnements à Orsay, alors dirigé par Jacqueline Belloni. Pendant deux ans, le cours de Ferradini du DEA 3R est dispensé par Abedinzadeh puis repris par Houée-Levin. Samy Remita rejoignant le CNAM, l'activité de formation à l'Université de Paris V sur la chimie sous rayonnement s'arrête ainsi vers 2007 ; quant à l'activité de recherche, elle prend fin en 2010 avec le départ de Monique Gardès-Albert, dernière directrice du Laboratoire de Chimie Physique de l'Université Paris Descartes.

### Université Paris-Sud

L'équipe de Michel Magat au Laboratoire de Chimie Physique de la Faculté des sciences de Paris (dirigé par Jean Perrin, puis par Edmond Bauer et ensuite par Yvette Cauchois) étudiait la chimie induite par l'action de rayonnements ionisants sur des composés organiques, et interagissait par des séminaires communs avec le groupe d'Haïssinsky de l'Institut du Radium voisin qui travaillait à cette époque sur la chimie sous rayonnement de l'eau et des solutions aqueuses. En 1960, Magat prend la direction d'un nouveau Laboratoire de Physico-Chimie des Rayonnements à Orsay, où le premier accélérateur d'électrons

est installé en 1968 par Pierre Cordier et Jacques Delaire pour réaliser des expériences de radiolyse pulsée. En 1971, Jacqueline Belloni, de l'équipe d'Haïssinsky, rejoint le laboratoire de Magat après la retraite de ce dernier. En 1973, c'est elle qui reprend le cours qu'il avait créé sur *l'Interaction rayonnement-matière condensée* au DEA « Chimie physique » de l'Université Paris-Sud et elle le développe jusqu'en 1990, quand elle prend la direction du laboratoire et élabore le projet d'acquisition d'un tout nouvel accélérateur d'électrons, avec des impulsions de quelques picosecondes. Marie-Odile Delcourt, Jean-Louis Marignier, puis Mehran Mostafavi, membres de l'équipe de Belloni, lui succèdent pour cet enseignement à l'Université Paris-Sud, tandis qu'elle le dispense dans le DESS\* « Structures et analyse des matériaux plastiques à usage pharmaceutique » à la Faculté de pharmacie de Châtenay-Malabry entre 1992 et 1999. Mostafavi continue d'enseigner la *chimie sous rayonnement* en Master de chimie et dans deux autres formations internationales de l'Université Paris-Sud : les Masters « Nuclear energy » et « Surface electrochemistry radiation and photochemistry » (SERP-Chem+).

## Université de Nantes

À l'Université de Nantes, suite au démarrage du cyclotron ARRONAX et au renforcement de l'activité de la radiochimie dans le laboratoire Subatech, l'enseignement de la *radiochimie et chimie sous rayonnement (option 3R : radionucléides, radioprotection et radiochimie)* a été dispensé depuis 2005 par Massoud Fattahi-Vanani, mais faute d'étudiants, cette formation s'est arrêtée provisoirement depuis trois ans. En revanche, il existe un enseignement de la chimie sous rayonnement au niveau de la L3 « Radioprotection et environnement » et une option au niveau du Master « Physique nucléaire pour la médecine nucléaire et le cycle du combustible ».

## L'enseignement aujourd'hui

Comme nous le constatons au cours de cette brève histoire, l'enseignement *ex cathedra* de la chimie sous rayonnement en France est concentré actuellement dans les formations de 3<sup>e</sup> cycle, parfois internationales, à l'Université de Paris-Saclay (ex Paris-Sud). Les aspects liés à la dosimétrie et à la radioprotection ainsi qu'à la radiobiologie, la radiothérapie et la cancérologie sont enseignés dans des universités plus nombreuses, ou bien dans le cadre des formations de l'INSTN (CEA). Mais dans ce cas, les vitesses de réactions chimiques et biochimiques et les mécanismes radicalaires qui, grâce à la radiolyse pulsée, sont les contributions les plus marquantes de la recherche en chimie sous rayonnement à la chimie et à la biologie, sont pratiquement absents de ces enseignements. Néanmoins, grâce aux moyens d'accès modernes, les ouvrages (voir encadré), les chapitres de revues ou les tables de constantes publiés par des spécialistes continuent à en diffuser largement les bases.

*L'auteur remercie ses collègues Zohreh Abedinzadeh, Jacqueline Belloni, Chantal Houée-Levin et Jean-Marc Jung à travers les discussions desquels il a pu reconstituer une grande partie de l'histoire de cet enseignement.*

## Livres liés (totalement ou en partie) à l'enseignement de la chimie sous rayonnement par les enseignants français

- M. Curie, *La Radioactivité*, Vol. 1-2, 1935, Hermann, Paris. Ce manuscrit manuel, imprimé juste après la mort de Marie Curie, est basé en partie sur les conférences données jusqu'en 1906 à l'Université de Paris par Pierre Curie auquel Marie a succédé.
- M. Haïssinsky (ed.), *Actions chimiques et biologiques des radiations*, vol. I à XV, Masson, Paris, 1955-1971.
- M. Haïssinsky, *La Chimie nucléaire et ses applications*, Masson, Paris, 1957, traduit en anglais.
- M. Lefort, *Les radiations nucléaires, Que sais-je ?*, N° 844, Presses Universitaires de France, Paris, 1959, traduit en plusieurs langues.
- M. Lefort, M. Duquesne, R. Grégoire, *Travaux Pratiques de Physique Nucléaire et de Radiochimie*, Masson & Cie, Paris, 1960.
- M. Lefort, *La Chimie nucléaire*, Dunod, Paris, 1966.
- M. Tubiana (chercheur en biologie et cancérologue, membre de l'Académie nationale de médecine), *Introduction to Radiobiology*, CRC Press, 1990 (l'un des ouvrages parmi les plus utilisés par les étudiants aux États-Unis et en Europe).
- C. Ferradini, J. Pucheault, *Biologie de l'action des rayonnements ionisants*, Masson, Paris, 1983.
- C. Ferradini, J.-P. Gerin, *Cahiers de Radiobiologie : Aspects Physiques, Chimiques et Biologiques*. Il s'agit d'une revue périodique commencée en juin 1995 dans le domaine de la radiobiologie et des sciences des radiations. Quatorze numéros ont été publiés jusqu'en juin 2003 ; le dernier fit suite au décès du Prof. Ferradini. Intitulé « Hommages à Christiane Ferradini », il fut co-édité avec Zohreh Abedinzadeh (Université René Descartes, Paris).
- J.-P. Adloff, R. Guillaumont, *Fundamentals of Radiochemistry*, CRC Press, 1993.
- B. Tilquin, *Actions biologique et chimique des radiations ionisantes*, B. Tilquin (dir.), Nauwelaerts, Belgique, 2001.
- *Radiation Chemistry: From basics to applications in material and life sciences*, M. Spothheim-Maurizot, M. Mostafavi, T. Douki, J. Belloni (eds), L'Actualité Chimique Livres/EDP Sciences, 2008.
- M. Mostafavi, *Cinétique et dynamique chimique*, EDP Sciences, 2015. Un chapitre est consacré à la chimie sous rayonnement.
- J. Bonin, R. Atlani, *Rayonnements ionisants - Des principes physiques à la médecine nucléaire*, Ed. Robert Atlani, Paris, 2017.

\* DEA : diplôme d'études approfondies ; DESS : diplôme d'études supérieures spécialisées (équivalents aujourd'hui à une 2<sup>e</sup> année de master).

[1] Dossier : Réactions induites par les rayonnements, étudiées en France du XIX<sup>e</sup> siècle à nos jours, *Histoire de la recherche contemporaine*, 2017, VI(1).

[2] *Les rayons de la vie. Une histoire des applications médicales des rayons X et de la radioactivité en France (1895-1930)*, M. Bordri, S. Boudia (dir.), Institut Curie, Paris, 1998.

[3] J. Belloni, Historic landmarks in radiation chemistry since early observations by Marie Skłodowska-Curie and Pierre Curie, *Nukleonika*, 2011, 56, p. 203-211.

### Mehran MOSTAFAVI,

Professeur à l'Université Paris-Saclay, responsable de l'équipe « Actes chimiques élémentaires en phase condensée » à l'Institut de Chimie Physique, CNRS-Université Paris-Saclay, Orsay, et directeur adjoint scientifique au CNRS en charge de la Chimie moléculaire et réactivité, Chimie physique et analytique et Chimie théorique.

\*mehran.mostafavi@universite-paris-saclay.fr