

L'enseignement de la radiochimie

Quoi de neuf depuis Jules Ferry... Euh non... Marie Curie !

Résumé Cet article présente l'enseignement supérieur en France dans le domaine de la radiochimie. Les spécificités de ce domaine particulier de la chimie sont rappelées et expliquent la focalisation de cet enseignement sur seulement quelques grands organismes (universités, écoles de chimie...). Le panorama en France, en Europe et à l'international en général indique le rôle important de ces formations pour les étudiants de troisième cycle et aussi en tant que maillon essentiel de compréhension des enjeux sociétaux, notamment dans le domaine de l'énergie.

Mots-clés Radiochimie, enseignement supérieur, cycle du combustible nucléaire.

Abstract Teaching radiochemistry: what's new since Jules Ferry... No... Marie Curie!

This article describes the main MSc and BSc formations dedicated to radiochemistry, distributed between only few universities and high schools in chemistry due to the specific character of the teachings. It also underlines the very important contribution of these formations involved in the training of MSc and PhD students, to better understand several important societal issues, especially in the field of energy.

Keywords Radiochemistry, higher education, nuclear fuel cycle.

La radiochimie concerne la chimie de la matière radioactive; c'est une discipline encore jeune, comparée à la chimie. On peut la dater des premiers travaux de Marie Curie sur la séparation des éléments radioactifs naturels (figure 1). C'est un domaine scientifique comme les autres, avec « les puristes », ceux issus du « sérail », et de nouveaux arrivants... Il est donc vivant et de plus en plus en interaction prégnante avec les autres disciplines: de la physique à la biologie,

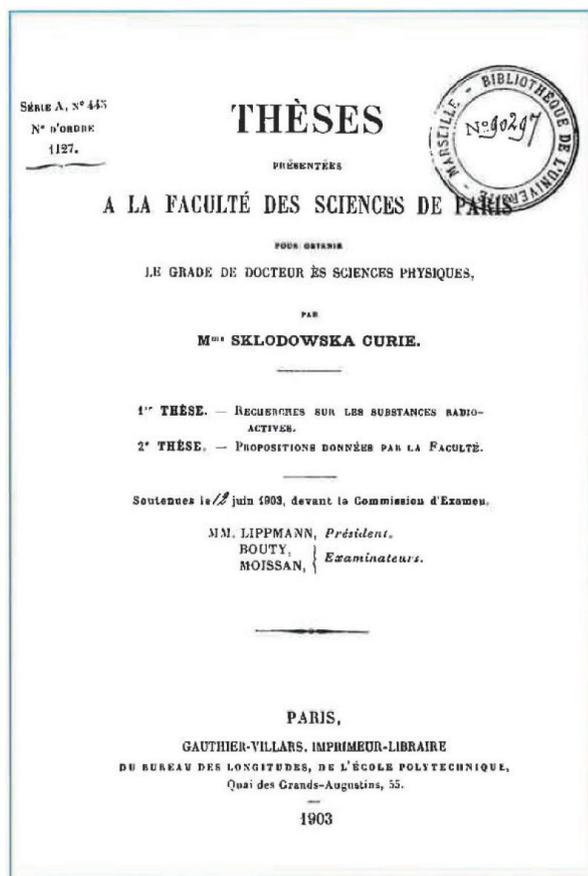


Figure 1 - « Recherches sur les substances radioactives », thèse de M^{me} Skłodowska Curie à la Faculté des sciences de Paris.



Figure 2 - Réplique d'une chambre à brouillard fabriquée pour les TP de physico-chimie de niveau L3 à l'Université Côte d'Azur (Institut de chimie de Nice). Les étudiants placent une source d'uranium ou de thorium naturel au centre de la chambre refroidie à l'azote liquide. La trajectoire des particules α et β est visible autour de la source lorsque le brouillard (ici d'éthanol) est métastable. Les étudiants peuvent ensuite calculer l'énergie des particules α et estimer à l'aide de la formule de Bethe l'énergie déposée dans le brouillard (et donc la taille des trajectoires).

en passant par la géologie, la géochimie, les sciences analytiques et la chimie sous rayonnement. Ces nombreuses interfaces constituent indéniablement une richesse, mais aussi une première difficulté pour son enseignement. En effet, la radiochimie nécessite des prérequis comme toutes les autres disciplines, mais ils sont le plus souvent peu (ou pas) enseignés dans le premier cycle universitaire (L1 à L3). L'enseignement de la radiochimie ne débute généralement qu'à partir du master ou dans le cadre de licences professionnelles. Il est donc proposé à un nombre limité d'étudiants. En outre, l'expérimentation en radiochimie porte majoritairement sur des éléments/isotopes radioactifs qui doivent être manipulés avec précaution, dans le cadre de consignes de sécurité strictes et souvent difficiles à mettre à disposition des étudiants (figure 2). De ce fait, l'organisation de travaux pratiques appliquant les différentes techniques

radiochimiques constitue un second verrou important pour l'enseignement de cette discipline.

Un enseignement qui répond aux enjeux sociétaux

Ces formations constituent un maillon essentiel dans la transmission des connaissances au sein d'une discipline qui devra, dans le futur, continuer à répondre aux questionnements liés à des enjeux sociétaux de premier ordre, tels que le rôle de l'énergie nucléaire dans le mix énergétique futur, le devenir à long terme des déchets radioactifs ou des radionucléides dans l'environnement. Enfin, dans un monde où les interfaces entre disciplines sont de plus en plus nombreuses et nécessaires, la radiochimie apportera les notions les plus fondamentales sur la chimie à l'échelle de quelques milliers d'atomes et le couplage entre physique et chimie dans les milieux les plus complexes.

L'Enseignement en France



L'enseignement de la radiochimie est actuellement porté en France par deux pôles universitaires : l'Université de Montpellier associée à l'ENSCM, et les grands acteurs académiques de la région parisienne (Université Paris-Saclay, Chimie ParisTech...), tous les deux en partenariat avec l'Institut National des Sciences et Techniques Nucléaire (INSTN [1]). Ces deux formations permettent de former annuellement une cinquantaine d'étudiant-es et d'élèves, lesquels se dirigent naturellement vers des carrières d'ingénieur-es et de chercheur-ses au sein des différents acteurs académiques et industriels français et étrangers œuvrant dans des domaines fortement liés à la radiochimie. L'enseignement de la radiochimie a pour objectif de mettre à la disposition des étudiants des connaissances à la fois fondamentales et appliquées nécessaires au développement d'activités humaines bénéfiques, maîtrisées et raisonnées, et évidemment l'activité industrielle est un pôle d'attraction structurant de l'enseignement. Les « besoins » du monde industriel lié à la radioactivité ont pour effet d'élargir les thématiques enseignées au-delà de celles plus directement liées de la radiochimie fondamentale. Elles concernent plusieurs applications civiles ou militaires. Par exemple, de nombreuses formations d'ingénieurs proposent des options au sein desquelles est développée la radiochimie dans l'énergie nucléaire, les matériaux, la médecine, l'environnement, et plus récemment dans l'assainissement et le démantèlement des installations nucléaires.

Masters et licences professionnelles

• L'Université de Montpellier propose un master de chimie dont l'un des parcours est entièrement dédié aux thématiques relevant de la radiochimie et de la chimie séparative : **Chimie Séparative, Matériaux et Procédé (CSMP)** [2]. Il est structuré sur les deux années de M1 (pour moitié mutualisé avec

d'autres parcours en chimie, en physique pour le médical et l'énergie) et de M2. L'année de M2 est quant à elle très largement mutualisée (environ 300 heures) avec l'option CNE (Chimie pour le Nucléaire et l'Environnement) de l'École Nationale Supérieure de Chimie de Montpellier (ENSCM).

Les matières abordées dans ce master sont centrées sur la radiochimie avec des enseignements sur la radioactivité, la chimie à l'échelle des traces et des indicateurs, la chimie des solutions, la chimie de coordination des éléments 5f, la chimie séparative, etc. Elles constituent une partie du cœur de ce master. Les disciplines liées aux applications nucléaires, en particulier celles relevant du cycle du combustible, constituent le second volet. On retrouve par exemple la chimie analytique (notamment pour le dosage des traces et les analyses statistiques), la chimie et la physico-chimie des matériaux d'intérêt pour le nucléaire (combustibles, matériaux pour le confinement ou la décontamination, gestion des déchets en conditions de stockage ou d'entreposage...) ou encore l'assainissement-démantèlement. Les enseignements sont complétés par des travaux encadrés de recherche (TER) – correspondant à une initiation à la recherche bibliographique –, et surtout par deux stages en M1 et M2, pour une durée totale de 28 à 40 semaines, qui sont l'occasion pour les étudiants de développer un travail personnel dans des laboratoires de R & D académiques et industriels.

Le champ des possibles est large, avec des stages en France (Université, CNRS, CEA, EdF, ORANO...), en Europe (Allemagne, Suède, Angleterre...) et aux États-Unis. La labellisation par l'Institut international de l'énergie nucléaire (I2EN [3]) en novembre 2019 apporte à ce master une dimension internationale. Depuis 2018, les supports de cours sont majoritairement en anglais, ainsi que le TER. Enfin, il faut préciser que ce master est co-accrédité depuis sa création en 2006 par l'INSTN et depuis 2009 par l'ENSCM.

• Le **Master « Nuclear Energy » (MNE)** [4], proposé par les grands acteurs académiques de la **région parisienne** (Université Paris-Saclay, Écoles de ParisTech, CentraleSupélec) dispose d'un parcours traitant des activités autour de la radiochimie. Le M1 est commun à l'ensemble de la formation de chimie et de physique et le module « Fuel cycle » en M2 est dédié à la radiochimie. Ces deux masters sont co-habilités par l'INSTN.

À travers l'option « Fuel cycle » en deuxième année, ce master présente une structure différente. L'année de M1 est focalisée sur l'énergie nucléaire (de la physique nucléaire au génie électrique). L'option « Fuel cycle » de M2 intègre le confinement des radionucléides préalable à l'entreposage et au stockage, le développement de nouveaux matériaux et la compréhension des mécanismes chimiques et géochimiques qui gouvernent l'évolution des entreposages et stockages géologiques. Dans cette formation, les possibilités de stage sont également nombreuses pour les étudiants. L'enseignement est intégralement réalisé en anglais.

• Au niveau bac + 3, il existe deux **licences professionnelles** : CPAC2N (Chimie et Procédés Appliqués au Cycle du Combustible Nucléaire) à l'Université de Montpellier, et MCN (Métrologie Chimique et Nucléaire) à l'Université de Nantes. À Montpellier, la licence CPAC2N offre aux étudiants une formation complète, incluant tous les aspects de la chimie associée au cycle du combustible nucléaire, de l'amont à l'aval, de l'extraction et du recyclage au confinement à long terme des radionucléides/radioéléments de longue période. À Nantes, la licence MCN est une formation transversale

multi-compétences, ouverte exclusivement à l'alternance, en contrats d'apprentissage ou de professionnalisation, qui allie les domaines de la métrologie, la chimie analytique, la radiochimie et la radioprotection.

Autres formations

L'offre globale est complétée par d'autres formations dispensées par des universités et des écoles de chimie. Elles ne sont pas spécialisées en radiochimie mais proposent des parcours ciblés sur le nucléaire, avec un enseignement significatif de la radiochimie. On peut citer les parcours « Material science for Nuclear Energy » (MaNuEn) à l'INP-Phelma de Grenoble, « CERAMiques industrielles » (CERAM) à l'ENSIL-ENSCI de Limoges, « SYNthèse, Vieillessement et Caractérisation des matériaux du nucléaire » (SYVIC) à l'UCBL/INSA de Lyon, « Génie des procédés » à l'Université Aix-Marseille, « Decommissioning and Waste Management » (DWM) à l'École des Ponts ParisTech.

L'INSTN propose des formations diplômantes, comme le génie atomique et le génie des installations nucléaires (en association avec l'École des Mines de Saint-Étienne), pour lesquelles l'enseignement de la radiochimie est important. D'autres parcours, en phase de restructuration, existent comme « Matériaux et procédés Avancés Pour l'Énergie et le nucléaire (MAPE) des Arts et Métiers ParisTech à Aix-en-Provence, « Chimie et Matériaux du Nucléaire » (CMN) à l'Université de Lille 1 ou le parcours « Radiochimie, Rayonnements, Radioprotection (3R) de l'Université de Nantes.

Des formations continues ciblées sont proposées par l'INSTN, généralement sous forme de session de formation (chimie de l'uranium et du plutonium, traitement du combustible nucléaire irradié, chimie des traces...) et au CNAM (cycle du combustible nucléaire).

Il existe aussi de nombreuses actions d'enseignement transverse et très utiles pour les étudiants en troisième cycle comme le MOOC « Chimie séparative » de l'ICSM, ou l'« International School in Nuclear Engineering » proposé par l'INSTN avec six modules, dont un lié à la radiochimie, « Nuclear fuel cycle ».

Enfin, l'École doctorale « Sciences chimiques Balard » (ED 459) dispose d'une spécialité « Chimie séparative, matériaux et

procédés » qui englobe tous les aspects traités dans le périmètre de la radiochimie.

Et à l'international ?

Le lecteur intéressé pourra consulter les sites de l'Institut international de l'énergie nucléaire (I2EN) [3] et des réseaux « European Nuclear Education Network » (ENEN) [5] ou « Modular European Education and Training – Concept In Nuclear and radio Chemistry » (MEET-CINCH) [6].

Enfin, l'Institut franco-chinois de l'énergie nucléaire (IFCEN) dispense une solide formation en radiochimie [7]. Cet institut est la concrétisation d'une coopération impliquant plusieurs écoles françaises (ENSCM à Montpellier, Subatech à Nantes, Chimie ParisTech (ENSCP), INPG à Grenoble) et l'INSTN.

Les auteurs remercient chaleureusement le Professeur Robert Guillaumont pour sa relecture approfondie de l'article et ses conseils avisés.

[1] www-instn.cea.fr

[2] <http://master-chimie.umontpellier.fr>

[3] <http://i2en.fr>

[4] www.master-nuclear-energy.fr

[5] <http://enen.eu>

[6] www.cinch-project.eu

[7] <http://ifcen.sysu.edu.cn/en>

Philippe MOISY¹, Christophe DEN AUWER², Jean AUPIAIS³ et Nicolas DACHEUX⁴, professeurs.

¹INSTN, CEA, DES, ISEC, DMRC, Université de Montpellier, Marcoule.

philippe.moisy@cea.fr

²Université Côte d'Azur, CNRS, Institut de Chimie de Nice.

christophe.denauger@univ-cotedazur.fr

³INSTN, CEA, DAM, DIF, Arpajon.

jean.aupiais@cea.fr

⁴Université de Montpellier, ICSM, CNRS, CEA, ENSCM, Site de Marcoule.

nicolas.dacheux@umontpellier.fr

CHIMACTIV

Ressources pédagogiques numériques interactives dans l'analyse chimique de milieux complexes

PRÉSENTATION PROJET CHIMACTIV

TOUT SAVOIR SUR LA SÉCURITÉ DANS UN LABORATOIRE DE CHIMIE

LE B.A.B.A. DES MANIPULATIONS DE BIEN EN LABORATOIRE

APPLICATIONS À L'ANALYSE DE MÉDICAMENTS

APPLICATIONS À L'ANALYSE D'ALIMENTS

SE FAMILIARISER AVEC LES MÉTHODOLOGIES EXPÉRIMENTALES

Pour les enseignants et les apprenants

- **Un contenu riche et varié** (apports théoriques, photos, vidéos, animations, quizz, mini-jeux...)
- **Une interactivité conservée sur tous supports de consultation**

chimactiv.agroparistech.fr

Contact : chimactiv@agroparistech.fr

Lauréat 2019 Catégorie éducation

Sécurité

Méthodologie

B.A.B.A.

Aliments

Médicaments

Créé et conçu par :

université PARIS-SACLAY