



HAL
open science

Roth Étienne (1922-2009). Chaire de Chimie appliquée à la science et à l'industrie nucléaires (1962-1991)

Bernard Lefrançois

► To cite this version:

Bernard Lefrançois. Roth Étienne (1922-2009). Chaire de Chimie appliquée à la science et à l'industrie nucléaires (1962-1991). Cahiers d'histoire du Cnam, 2015, Professeurs au Cnam à l'époque des Trente Glorieuses, 4 (2), pp. 87-99. hal-03015681v2

HAL Id: hal-03015681

<https://hal.science/hal-03015681v2>

Submitted on 7 Oct 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0
International License

ROTH Étienne (1922-2009)

Chaire de Chimie appliquée à la science et à l'industrie nucléaires (1962-1991)

Bernard Lefrançois

Professeur honoraire, chaire de Chimie industrielle, Cnam (1980-1988).

Étienne Roth naquit à Strasbourg le 5 juin 1922. Après des études secondaires à Paris, réfugié à Lyon, il fut reçu au concours d'entrée à l'École polytechnique en 1942, mais ne put, en tant que juif, y entrer. Il eut alors la chance de rencontrer à Lyon le professeur Prettre qui l'abrita et le préserva des lois raciales du gouvernement. Il travailla en 1943 et 1944 dans son laboratoire et obtint quatre certificats d'études supérieures à la Faculté des Sciences de Lyon. Il s'engagea, en 1943, dans les Forces Françaises de l'Intérieur (demi-brigade de la Drôme), et put enfin, à la rentrée de 1944, rejoindre l'École Polytechnique où il fut reçu ingénieur en 1946.

Le professeur Prettre le conseilla et l'adressa, avant sa sortie de l'École, à Jules Guéron¹, l'un des fondateurs du

Commissariat à l'Énergie atomique, créé par ordonnance en 1945. Immédiatement embauché, Roth fut le premier polytechnicien recruté dans un service scientifique du CEA.

Les recherches de Roth et de ses collaborateurs étaient très variées et se chevauchaient dans le temps. Nous avons donc adopté un exposé thématique – l'ordre chronologique aurait en effet conduit à un texte confus et émaillé de nombreux retours.

¹ Jules Guéron est l'initiateur, avec Kowarski, d'un cours intitulé « Cours de physique et de chimie appliquée

à la science et à l'industrie nucléaires ». Ce cours prendra sa place dans le cursus du Cnam en 1951.

La spectrométrie de masse

Après quelques mois passés dans le laboratoire du Collège de France de Jean Perrin où il s'initia à la spectrométrie de masse, il fut envoyé au Canada chez le professeur Harry Thode, élève du prix Nobel Harold Urey (découverte du deutérium), pour se perfectionner en spectrométrie de masse. Il y construisit deux spectromètres destinés à la mesure des faibles et fortes concentrations en deutérium. L'un d'eux a été déposé au Musée des arts et métiers.

De retour en France, il fit construire, sur ses plans, par la Compagnie générale de télégraphie sans fil, un spectromètre de masse d'usage général. Les premières mesures effectuées avec cet appareil concernèrent le soufre volcanique.

On peut affirmer que toute la carrière de Roth, consacrée aux isotopes, fut orientée par son stage dans le laboratoire du professeur Thode.

Développements industriels

L'eau lourde² était utilisée, en 1950, dans les réacteurs nucléaires à uranium naturel, dits réacteurs de première génération. Sa production présentait donc un intérêt stratégique. Roth prend la direction

² La molécule d'eau lourde contient deux atomes de deutérium et un atome d'oxygène.

de la section des isotopes stables en 1954 et s'intéresse à la production industrielle d'eau lourde. Il étudie, avec ses collaborateurs, différents procédés : la distillation d'hydrogène, l'échange isotopique eau-hydrogène sulfuré, l'échange isotopique ammoniac-hydrogène. Président de l'Association de fabrication d'eau lourde par le procédé ammoniac-hydrogène, qui réunit le CEA, les Charbonnages de France (CDF Chimie) et deux constructeurs, il participe personnellement à l'élaboration des schémas de procédé, les recherches sous haute pression et les mises au point technologiques étant de la responsabilité de CDF Chimie. Après la construction et le fonctionnement satisfaisants d'une première usine produisant vingt tonnes par an d'eau lourde (Mazingarbe, France), plusieurs usines d'eau lourde furent construites sur le même procédé : à Baroda et Tuticorin (Inde, 67 t/an), à Atucha (Argentine, 200 t/an), malgré une forte concurrence des autres procédés, soutenus par les États-Unis et le Canada.

Un grand prix de l'Académie des sciences fut décerné en 1969 à Roth, ainsi qu'à Grégoire Dirian et Bernard Lefrançois, récompensant une réussite industrielle, aboutissement de douze années de recherche.

Fusion et fission

À partir de 1958, Roth dirigea les équipes du suivi des combustibles nucléaires, du contrôle de l'eau lourde

et des eaux de refroidissement, de la détection des ruptures des gaines de combustibles nucléaires. Il s'agissait notamment des mesures portant sur le maintien du titre de l'eau lourde et sur le taux de transformation des combustibles.

Plus tardivement, dans les années 1980, il s'est intéressé aux futurs réacteurs de fusion. Au cours de la fusion, la couverture des réacteurs, réalisée en céramiques d'aluminate de lithium, se chargerait en tritium par bombardement neutronique. Le tritium étant un combustible de choix pour la fusion, il serait utile de l'extraire de la céramique. De nombreuses études portant sur l'emploi des céramiques, leur enrichissement en tritium, les mécanismes et techniques d'extraction du tritium furent l'objet de publications par Roth et de ses chercheurs, et provoquèrent la collaboration avec des laboratoires étrangers (nord-américains, japonais, allemands et italiens).

Phénomènes naturels

Les mesures isotopiques offrent de larges possibilités pour l'étude des phénomènes naturels, aussi ne faut-il pas s'étonner que les premières mesures isotopiques aient été réalisées dans ce domaine. Entre 1950 et 1972 (ou 1982, si on y inclut les recherches médicales ou les recherches d'intérêt biologique), Roth et ses collaborateurs y ont fait des découvertes passionnantes.

Selon une hypothèse émise en 1939, l'énergie mise en œuvre dans les éruptions volcaniques serait d'origine nucléaire (Roth et Letolle, 2006). Des analyses de soufre³ provenant de plusieurs volcans d'Europe et d'Asie ne montrent aucune anomalie propre à des effets nucléaires, mais des compositions isotopiques identiques, ruinant ainsi cette hypothèse audacieuse.

À cette occasion, l'examen du spectre de la molécule d'anhydride sulfureux mit en évidence une nouvelle molécule : l'hémioxyde de soufre, S₂O.

Bénéficiant de l'amélioration de sensibilité des spectromètres de masse, une première série de mesures de teneurs en deutérium des eaux naturelles fut entreprise dès 1957. Le problème était alors de trouver les emplacements les plus favorables à la construction d'une usine d'eau lourde. Ces mesures mirent en évidence des variations de teneur isotopique liées à l'évaporation et conduisirent à une méthode originale de détection de déversoirs cachés de certains lacs. Cette méthode a été reprise pour apprécier les ressources en eau de régions arides ou pour consolider les bilans en eau des lacs naturels ou artificiels de l'EDF.

La composition isotopique de l'eau variant selon les conditions de précipitation, Roth a pu expliquer, en analysant les

³ Il s'agit des premières analyses réalisées avec un spectromètre de masse évoquées précédemment.

différentes couches de glace constituant un grêlon, l'histoire de sa formation. Ses résultats confirment l'hypothèse de la naissance d'un noyau de glace à la base des nuages de grêle. Tenant compte de cette hypothèse, il a ensuite élaboré avec ses collaborateurs un modèle thermodynamique de ces nuages, en accord avec les mesures faites ultérieurement *in situ*.

À la demande des expéditions polaires françaises et étrangères, les mesures isotopiques des carottes glaciaires originaires du Groenland puis du continent Antarctique furent confiées au service des isotopes stables. Roth et les chercheurs de ce service ont pu reconnaître dans la glace les traces des variations climatiques des 30 derniers millénaires. Aujourd'hui la paléoclimatologie, dont il fut l'un des pionniers, couvre 800 millénaires. Les premières analyses, sur le plan mondial, des gaz occlus dans la glace ont été effectuées dans le même service. Poursuivies par de nombreux organismes, ces recherches ont pour objet de déceler s'il existait, dans le passé, une corrélation confirmée entre l'augmentation de la teneur en dioxyde de carbone de l'atmosphère et le réchauffement climatique.

Le suivi de la composition isotopique de l'uranium naturel Il avait toujours montré une remarquable constance, lorsqu'en 1972 un échantillon originaire de la mine gabonaise d'Oklo a présenté une forte anomalie : la teneur en uranium 235 était très inférieure à la teneur attendue. L'un des ingénieurs du service émit l'hypothèse qu'un réacteur naturel

aurait fonctionné sur le site gabonais. Des mesures isotopiques de néodyme ont confirmé cette hypothèse, Des études plus fines ont montré que la fission a démarré il y a 2 milliards d'années et a duré environ 400 000 ans. Les produits de la fission sont restés sur le site.

La NASA confia au CEA des échantillons de roches lunaires ramenées par les astronautes du programme APOLLO. À cette occasion Roth fut nommé investigateur principal de la NASA. On espérait qu'en mesurant la composition isotopique de l'hydrogène de ces roches on résoudreait le problème de la présence d'eau sur notre satellite. En réalité aucun indice de présence d'eau n'a été décelé, mais on a fait une découverte passionnante : la forte concentration en deutérium des échantillons lunaires, due à la spallation⁴ des éléments légers soumis au vent solaire. Ces mesures isotopiques ont été étendues à des météorites. Un thésard du laboratoire a pu en déduire les températures de condensation de la matière interstellaire et les temps de séjour de cette matière dans le système solaire.

Médecine et chimie biologique

En médecine, l'emploi à forte dilution, de traceurs radioactifs, comme le tritium ou le carbone 14, bien que stric-

⁴ Réaction nucléaire provoquée par des particules accélérées avec une grande énergie.

tement limité, peut être responsable de contaminations radioactives.

L'utilisation d'indicateurs isotopiques stables, en remplacement de traceurs radioactifs serait une amélioration et permettrait, sans inconvénient, de généraliser les méthodes de traçage.

Sur proposition de Roth, qui suivit les expérimentations, l'eau lourde fut testée en milieu hospitalier pour établir, soit des bilans en eau extravasculaire (hôpital Bichat), soit des mesures de débit cardiaque (hôpital Tenon). L'utilisation des isotopes stables a été explorée pour étudier le catabolisme de médicaments par le foie et pour mieux exploiter des tests respiratoires. D'autre part, la mesure simultanée du deutérium et de l'oxygène 18 est une méthode originale qui a permis la détermination de l'énergie musculaire dépensée pendant un effort. Des isotopes ont été séparés en vue d'études médicales, nous citerons le mercure 196, le calcium 48, le carbone 13. Il s'agit encore aujourd'hui d'expériences isolées, mais les applications isotopiques devraient se développer dans le domaine médical.

Roth a également encouragé les applications de la spectrométrie moléculaire dans les études d'intérêt biologique. L'un de ses collaborateurs a entrepris des études sur la photosynthèse chlorophyllienne, récompensées par un prix de l'Académie des sciences.

Autres recherches et études

Le professeur Jacob Bigeleisen, accueille Roth en 1957-1958 dans le Laboratoire national de Brookhaven (États-Unis). Des mesures précises de tension de vapeur des isotopes du néon permirent à ce dernier de soutenir une thèse de doctorat d'État (1960).

D'autres recherches ont été menées sous la direction de Roth : le dessalement de l'eau de mer, la production d'hydrogène par des cycles thermo-chimiques, l'origine du cuivre ayant servi à la fabrication de statuettes antiques, la séparation des isotopes 6 et 7 du lithium, la séparation du soufre 34, la détermination du volume de la grotte de Lascaux, la dépollution des gaz d'échappement...

Instrumentation analytique

L'instrumentation analytique s'est développée parallèlement aux domaines de recherche abordés. Nous avons vu que le premier spectromètre de masse à usage général a été utilisé pour déterminer les teneurs isotopiques du soufre volcanique. La spectrométrie de masse s'est constamment développée : spectromètres pour deutérium, spectromètres pour éléments lourds, spectromètres à temps de vol, introduction des lasers et de la photo-ionisation.

La spectrométrie de masse présente des effets de mémoire aux fortes concentra-

tions, elle dut être remplacée, dans ce cas et pour les analyses systématiques d'eau lourde, par la spectrométrie infrarouge.

Lorsqu'il fut constaté des teneurs variables en deutérium dans les phénomènes naturels, Étienne Roth mit au point les mesures du tritium et de l'oxygène 18. La mesure simultanée du deutérium et de l'oxygène 18 permit de départager les phénomènes d'équilibre des phénomènes cinétiques.

À l'époque de la découverte des teneurs isotopiques anormales du minerai d'uranium d'Oklo, Roth put, grâce à son expérience sur les combustibles nucléaires et au moyen de nouvelles mesures isotopiques portant sur le néodyme, découvrir l'origine de ces anomalies.

Pour des études environnementales, un appareil de mesure à distance des polluants atmosphériques – un spectromètre Lidar-Raman – a été fabriqué puis exploité, pendant plusieurs années, avec l'Office National Météorologique.

À l'occasion des applications des techniques isotopiques en médecine, des appareils spécifiques au milieu hospitalier ont été construits sous la responsabilité d'Étienne Roth qui en a suivi l'exploitation.

Roth a fait partie de nombreuses sociétés scientifiques. Il fut président du Groupe pour l'Avancement des Méthodes Spectroscopiques (GAMS) de 1971 à 1974, président des « Poids atomiques et des abondances isotopiques » de l'Union

internationale de chimie pure et appliquée (IUPAC) de 1975 à 1979, président de la sixième conférence EUROANALYSIS (Fédération des sociétés chimiques européennes) en 1987.

Il est l'auteur de deux cents articles scientifiques, de trois brevets exploités industriellement et l'éditeur du traité *Analyse chimique et Caractérisation* de la collection permanente « Techniques de l'Ingénieur » ainsi que d'un *Précis de spectrométrie de masse analytique* (1974). Il est également coauteur, avec Bernard Poty, d'un ouvrage intitulé *Méthodes de datation par les phénomènes nucléaires naturels* (1985).

La diversité apparente des sujets abordés ne doit pas cacher la profonde unité des recherches entreprises par Roth. La spectrométrie de masse, dont il fut le pionnier en France, lui a ouvert la voie des isotopes. Voie qu'il a su exploiter avec intelligence et constance, qu'il s'agisse de découverte, séparation, production industrielle, des isotopes ou d'applications isotopiques en paléoclimatologie, hydrologie, astrochimie, biochimie, médecine...

Nous avons pu apprécier ses capacités scientifiques, mais Roth était aussi un chercheur « éclairé » dont les préoccupations dépassaient le cadre purement scientifique. Il était membre de l'association « Pugwash », qui réunit des responsables de haut niveau soucieux des répercussions sociétales des récentes découvertes, et du « Mouvement Universel pour la

Responsabilité Scientifique » (MURS). Il avait participé au Club Jean Moulin pour la rédaction du livre *La force de frappe et le citoyen* (1963).

Enseignement

Les activités d'enseignement de Roth furent intermittentes à l'Institut national des sciences et techniques nucléaires (INSTN) entre 1954 et 1957, puis permanentes au Conservatoire national des arts et métiers (Cnam) entre 1959 et 1991.

L'enseignement des sciences nucléaires débuta en 1951 au Conservatoire national des arts et métiers. Deux chaires furent créées, l'une pour la physique, l'autre pour la chimie, appliquées à la science et à l'industrie nucléaires. Les titulaires étaient respectivement Lew Kowarsky, directeur scientifique au CEA et Jules Guéron, directeur des matières premières et du service de chimie-physique au CEA. En 1959 le professeur Guéron fut nommé directeur d'EURATOM et proposa Roth, alors chef du service des isotopes stables, comme suppléant. En 1961, le Conservatoire national des arts et métiers envisagea de le nommer titulaire du cours de « Chimie appliquée à la science et à l'industrie nucléaires ».

La commission chargée d'examiner les titres et les travaux des candidats se réunit le 3 février 1961 sous la présidence

de Jean Debiesse, président du Conseil de perfectionnement.

Le rapporteur de la Commission, le professeur André Étienne, titulaire de la chaire de Chimie industrielle, souligna les qualités humaines du candidat : « *M. Roth a réussi à créer un véritable esprit d'équipe et à résoudre au mieux les problèmes de collaboration humaine qui se posent avec acuité dans toute organisation importante* », et aussi son souci d'adapter son enseignement aux élèves du Conservatoire : « *M. Roth a fait de gros efforts pour rendre ici son cours accessible à un auditoire, de formation scientifique très hétérogène, venu chercher quelques connaissances essentielles sur la chimie nucléaire.* »

L'audition du candidat devant le Conseil de perfectionnement eut lieu le 6 février 1961. L'exposé, qui fut jugé brillant, comportait deux parties : les caractères de la chimie nucléaire et les problèmes particuliers de l'industrie nucléaire. Le Conseil de perfectionnement ayant émis un avis favorable par 42 voix sur 46 votants, Roth fut nommé chargé de cours titulaire par décret du 9 juin 1961 (Journal officiel du 1^{er} juillet 1961), à compter du premier mai 1961. C'était une reconnaissance qui ne changeait rien à la place du professeur Roth au Conservatoire. Le cours fut transformé en chaire par décret du 6 juillet 1963 (Journal officiel du 10 juillet 1963), et Roth devint professeur, titulaire de la chaire de « Chimie appliquée à la science et à l'industrie nucléaires », à effet rétroactif du premier novembre 1962.

La réorganisation de l'enseignement de la chaire entraîna le doublement (de 20 à 40 heures annuelles) des cours et travaux dirigés et la création de travaux pratiques. Les locaux du Cnam n'étant pas adaptés à la manipulation de produits radioactifs, les travaux pratiques eurent lieu au centre de Saclay.

Le nombre des élèves variait, d'année en année, de 40 à 25, dont 6 à 12 étaient reçus au Diplôme d'études supérieures techniques (DEST). Le premier diplôme d'ingénieur de la spécialité fut délivré en 1964, la préparation étant assurée par des enseignants de Saclay.

En 1965 l'enseignement des sciences nucléaires est dispensé dans trois chaires : Physique nucléaire et ses applications à l'énergie atomique (professeur Martelly), Chimie appliquée à la science et à l'industrie nucléaires (professeur Roth), Radioactivité appliquée à la science et à l'industrie (professeur Grinberg). Un cours de Radioprotection de niveau ingénieur est créé la même année (professeurs Avargues et Fitoussi). Cet ensemble de cours est original et n'avait pas d'équivalent en France.

En 1968, les enseignements furent regroupés en départements, les Sciences nucléaires constituaient le treizième département, Étienne Roth devient le président de ce nouveau département, charge qu'il conservera pendant quatre ans.

En 1980-1982, l'enseignement des chaires du département fut modifié, consé-

quence du remplacement de deux professeurs. L'enseignement du professeur Roth fut scindé en deux parties (demi-valeurs) intitulées : « Chimie sous radiation, chimie isotopique, radiochimie » et « Cycle des combustibles ». Entre-temps, de 1979 à 1982, Roth est redevenu le président du département des « Sciences et technologies nucléaires ». Les centres associés de Lyon, Montpellier, Caen, Cherbourg, dispensaient tout ou partie des cours parisiens. Le ralentissement des activités nucléaires, dans les années 1980, a conduit à un tassement des effectifs, mais le nombre des ingénieurs formés fut relativement constant entre 1964 et 1990, de l'ordre de 3 par an. Les mémoires d'ingénieurs sont toujours d'un bon niveau et ont souvent des applications industrielles. Ils ont été parfois couronnés de prix nationaux. Un bon exemple est l'étude des procédures de la mise à l'arrêt d'un réacteur nucléaire, appliquée par l'EDF. Roth a également dirigé des thèses d'État, dans les domaines de l'archéologie et de la chimie biologique.

Roth est l'auteur de deux ouvrages qui résument son enseignement au Cnam et à l'INSTN, intitulés *Chimie nucléaire appliquée* (1968), et *Cours de génie isotopique* donné de 1954 à 1957 à l'INSTN (1960). Vivement intéressé par l'évolution du Conservatoire, il était un membre actif du comité de lecture des *Cahiers d'Histoire du Cnam* (ancienne série).

Après avoir quitté ses activités au CEA (1987) puis au Cnam (1991), Roth avait conservé ses relations avec le milieu

scientifique et ses liens d'amitié avec ses collaborateurs. Il avait gardé sa vivacité d'esprit, sa curiosité intellectuelle et son vif intérêt pour les isotopes.

C'est ainsi qu'il prit l'initiative d'organiser une conférence internationale sur « Les isotopes stables et les effets isotopiques » en 1999, qui obtint un grand succès. Un an plus tard, naissait la « Société Française des Isotopes Stable » (SFIS), dont il fut le président d'honneur.

Quelques jours avant sa mort, il corrigeait son dernier article, sous le titre : « Faut-il abandonner les poids atomiques standards ? » (2009), dans lequel, constatant les différences d'abondances isotopiques des éléments, il proposait l'abandon des poids atomiques standard et l'adoption d'une nouvelle présentation des tables de Mendeleïev.

Étienne Roth nous a quittés le 19 mars 2009. Nous avons perdu une personnalité scientifique de haut niveau. Tous ceux qui ont eu la chance de travailler avec Roth se souviendront de sa grande puissance de travail, de sa persévérance, de la rigueur de son raisonnement et de ses indéniables qualités humaines.

Le CEA a créé un prix scientifique qui porte son nom et qui est décerné annuellement par l'Académie des sciences. Ce prix est destiné à récompenser un chercheur ou une équipe de chercheurs pour des travaux relatifs à la géochimie et à la géologie isotopique.

Étienne Roth était Chevalier de la Légion d'honneur (1967) et Commandeur de l'ordre des Palmes académiques (1975)

Bibliographie sélective d'Étienne Roth

(1960). *Cours de génie atomique* (tomes IV et v). *Cours de génie isotopique*. Paris : CEA.

(1963). *La force de frappe et le citoyen*. Paris : Seuil.

(1968). *Chimie nucléaire appliquée*. Paris : Masson, Collections des cours du Cnam.

(1974). *Précis de spectrométrie de masse analytique*. Paris, Presses universitaires de France.

(1985). *Méthodes de datation par les phénomènes nucléaires naturels*. Paris : Masson, Collections scientifiques du CEA.

(2006). Avec Letolle R., « J. Noetzelin (1898-1972) et la géologie nucléaire ». *Travaux du COFRHIGEO*, 3^e série, tome xx, n° 9, pp. 185-201.

(2009). « Faut-il abandonner les poids atomiques standards ? », *L'actualité chimique*, avril, n° 329, pp. 30-35.