

CAHIERS FRANÇOIS VIÈTE

Série III – N° 5

2018

Histoire et épistémologie des sciences de la Terre

sous la direction de
Pierre Savaton

Centre François Viète
Épistémologie, histoire des sciences et des techniques
Université de Nantes - Université de Bretagne Occidentale

Cahiers François Viète

La revue du *Centre François Viète*
Épistémologie, Histoire des Sciences et des Techniques
EA 1161, Université de Nantes - Université de Bretagne Occidentale
ISSN 1297-9112

cahiers-francois-viete@univ-nantes.fr
www.cfv.univ-nantes.fr

Depuis 1999, les *Cahiers François Viète* publient des articles originaux, en français ou en anglais, d'épistémologie et d'histoire des sciences et des techniques. Les *Cahiers François Viète* se sont dotés d'un comité de lecture international depuis 2016.

Rédaction

Rédactrice en chef – Jenny Boucard

Secrétaire de rédaction – Sylvie Guionnet

Comité de rédaction – Delphine Acolat, Hugues Chabot, Colette Le Lay, Cristiana Oghina-Pavie, François Pepin, Olivier Perru, David Plouviez, Pierre Savaton, Valérie Schafer, Josep Simon, Alexis Vrignon

Comité scientifique

Yaovi Akakpo, David Baker, Grégory Chambon, Ronei Clecio Mocellin, Jean-Claude Dupont, Luiz Henrique Dutra, Hervé Ferrière, James D. Fleming, Alexandre Guilbaud, Catherine Goldstein, Pierre Lamard, Frédéric Le Blay, Baptiste Mèlès, Philippe Nabonnand, Karen Parshall, Viviane Quirke, Pedro Raposo, Anne Rasmussen, Rogério Monteiro de Siqueira, Sabine Rommevaux-Tani, Aurélien Ruellet, Martina Schiavon, Pierre Teissier, Brigitte Van Tiggelen



ISBN 978- 2-86939-248-6

SOMMAIRE

*Introduction – L'histoire et l'épistémologie des sciences de la Terre :
un champ de recherche à cultiver – Pierre Savaton*

- GUILLAUME COMPARATO..... 11
*De la pierre à la presse : pratiques du voyage, de l'analyse et de
l'écriture chez Barthélemy Faujas de Saint-Fond (1741-1819)*

- FRANÇOISE DREYER 33
*L'émergence de la notion de limite dans la géologie du XIX^e
siècle : d'une vision catastrophiste à un cadre transformiste*

- MARIE ITOÏZ 55
*Observer le monde minéral : analyse de la construction de
pratiques autour de l'identification des roches et des minéraux
au milieu du XIX^e siècle*

- DELPHINE ACOLAT 73
*Le Vésuve et la photographie au XIX^e siècle, quel apport à
l'histoire des sciences de la Terre ?*

- MATHIAS ROGER131
*Des sciences de la Terre au service de l'atome ? Le rôle de Jean-
Pierre Rothé, entrepreneur scientifique (1945-1976)*

Des sciences de la Terre au service de l'atome ? Le rôle de Jean-Pierre Rothé, entrepreneur scientifique (1945-1976)

Mathias Roger*

Résumé

La période qui s'étend de la fin de la Seconde Guerre mondiale au milieu des années 1970 est celle qui a vu émerger et se développer en France les usages de l'atome à des fins tant civiles que militaires. Pour obtenir de la matière première, lors des essais atomiques dans le Sahara algérien et pour la construction des usines de production de plutonium et d'électricité, les organismes en charge du nucléaire ont été amenés à collaborer avec les universitaires des sciences de la Terre. Pour étudier la nature de cette collaboration, l'article utilise le modèle d'entrepreneur scientifique défini par Dominique Pestre et l'applique à un cas précis, celui de Jean-Pierre Rothé, géophysicien et directeur de l'Institut de physique du globe de Strasbourg entre 1942 et 1976.

Mots-clés : entrepreneur scientifique, sciences de la Terre, nucléaire civil, nucléaire militaire, Institut de physique du globe, Jean-Pierre Rothé, séisme, génie parasismique, prospection uranifère.

Abstract

From the end of the Second World War to the mid-1970s the civilian and military uses of the atom emerge and grow in France. To obtain raw material, in the case of atomic tests and for the construction of plutonium and electricity production plants, the bodies in charge of the nuclear industry collaborated with Earth sciences academics. To study the nature of this collaboration, this article uses the model of scientific entrepreneur defined by Dominique Pestre and applied it to a specific case study. Precisely, it concerns Jean-Pierre Rothé, geophysicist and director of Strasbourg Institute of Earth Physics between 1942 and 1976.

Keywords: scientific entrepreneur, Earth sciences, nuclear power plant, atomic bomb, Institute of Earth Physics, Jean-Pierre Rothé, earthquake, earthquake engineering, uranium prospecting.

* Centre de Recherche Médecine, Science, Santé et Société (CERMS3), Université Paris Descartes et Laboratoire de Sciences Humaines et Sociales de l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN/LSHS).

« Une conséquence remarquable de la Seconde Guerre mondiale [...] est la volonté de chaque pays, après 1945, de développer en son sein toutes les technologies modernes, principalement dans le domaine militaire. La France humiliée se met par exemple en quête de puissance et de prestige dans le monde de l'après-guerre en cherchant à assurer son indépendance technologique » (Edgerton, 2015, p. 75-76). Après la guerre, de nombreuses infrastructures sont détruites, le retard scientifique, technique et industriel sur les grandes nations est important et l'humiliation de la défaite et de la collaboration a créé en France un terrain propice à un examen sévère des pratiques antérieures. Pour mener à bien l'objectif d'indépendance technologique, trois changements majeurs adviennent en France.

L'urgence dans l'après-guerre va à la reconstruction. Pour la mener, il est nécessaire de remailler le tissu industriel et économique français (Bossuat, 1986). Cela passe par des nationalisations massives dans de nombreux secteurs de l'économie française. Dans le domaine de l'énergie par exemple, Électricité de France (EDF), créé par la loi du 8 avril 1946, est le résultat de la nationalisation et du regroupement de plus de 1450 sociétés françaises de production, de transport et de distribution d'électricité et de gaz dans le but de rationaliser les efforts, redresser le pays et moderniser les structures (Picard et al., 1985). Le deuxième changement est la création de nouveaux organismes d'État, relativement indépendants, qui ont la charge de conduire le développement de grands projets technoscientifiques. Le premier de ces organismes est le Commissariat à l'énergie atomique (CEA), créé par une ordonnance d'octobre 1945 proposée par le général de Gaulle et approuvée par l'Assemblée nationale. La mission qui lui est confiée est de « poursuivre les recherches scientifiques et techniques en vue de l'utilisation de l'énergie atomique dans les divers domaines de la science, de l'industrie et de la défense nationale » (Scheinman, 1965, p. 8). Au vu de l'étendue du champ de compétences, le CEA est à la fois une institution de recherche, un industriel exploitant et un organisme militaire, qui ne rend des comptes que devant le chef du gouvernement. Il est de ce fait un acteur d'un type encore tout à fait inconnu. Le troisième changement concerne la recomposition du milieu scientifique, devant notamment intégrer les nouveaux acteurs comme le CEA. Cette recomposition s'articule autour du repositionnement du Centre national de la recherche scientifique (CNRS) à mi-chemin entre sciences appliquées et recherche fondamentale (Picard & Pradoura, 1988). Le CNRS devient aussi l'intégrateur des besoins de l'industrie et des organismes d'État en matière de recherche. À ce titre il pénètre directement dans les universités, notamment à Strasbourg où « on ne peut [...] étudier le rôle et la structure de l'université séparément de ceux

du CNRS » et où le « CNRS représente près de la moitié des effectifs de la recherche » (Olivier-Utard, 2003, p. 29). Concomitamment, l'après-guerre est aussi le moment de la transformation de certains laboratoires en véritables « usines de recherches » (Jacq, 2005), nous y reviendrons.

Le développement du nucléaire civil et militaire en France pendant les trente glorieuses a déjà fait l'objet d'études, mais soit directement par les acteurs (Goldschmidt, 1962, 1967, 1980 ; Lamiral, 1988a, 1988b ; Leclercq, 1988) soit de manière assez macroscopique autour de la lutte de deux régimes technopolitiques au moment de la guerre des filières¹ (Hecht, 2009) ou en abordant les aspects de politique nationale (Scheinman, 1965) et internationale des usages de l'atome (Pringle & Spigleman, 1982). Des historiens ont également étudié ce sujet mais souvent à partir du prisme institutionnel d'EDF (Picard et al., 1985), ou bien du CEA autour de la prospection uranifère (Paucard, 1992, 1994, 1996) et de l'émergence et du processus d'autonomisation de la sûreté nucléaire au sein du CEA (Foasso, 2003). En revanche aucune étude ne centre son analyse sur la circulation des savoirs et les pratiques entre les différentes sphères de la société. Cet article se propose précisément d'apporter une contribution allant dans ce sens en abordant le rôle des collaborations scientifiques entre le CEA et EDF d'un côté et le milieu universitaire de l'autre.

Après guerre, un double mouvement entraîne l'intégration des scientifiques au développement industriel et technologique du pays. Dans un sens, l'émergence d'une politique de la science sous la Quatrième République (Jacq, 2002), qui refonde l'expertise politique en apportant la caution de la rationalité scientifique à l'exercice politique, ainsi que la mise en place d'une recherche d'État à vocation industrielle et militaire, offre de nombreuses opportunités aux scientifiques. Dans l'autre sens, les scientifiques deviennent plus enclins à entrer en collaboration avec des acteurs d'autres sphères. Les grandes avancées scientifiques américaines de la première moitié du siècle doivent leur succès à la constitution de grands laboratoires de recherche privés (à General Electric, Bell, Kodak et DuPont notamment) ou intégrés à des grands projets de l'État (*Los Alamos* par exemple). Ce qui caractérise ce nouveau type de recherche est la concentration importante de scientifiques et d'ingénieurs, la possession d'une instrumentation très lourde et l'orientation vers la science appliquée. Ce modèle, aussi dénommé *Big Science* (Galison & Hevly, 1992), devient la référence en termes de pratique scientifique, mais nécessite d'énormes ressources que l'État français n'est

¹ La guerre des filières est l'appellation que l'on donne à la lutte politique autour du choix d'abandonner la technologie française de réacteur, fonctionnant avec de l'uranium naturel et modéré au graphite-gaz, au profit de la technologie américaine à eau pressurisée supposée plus compétitive économiquement.

pas apte à fournir². Dans ce contexte, les scientifiques passent progressivement du modèle du savant, désintéressé et refusant toute influence extérieure sur la conduite de son travail à celui d'entrepreneur scientifique ayant intégré le nécessaire apport de la science à l'économie (Jacq, 2005).

L'entrepreneur scientifique est une notion définie par Dominique Pestre et reprise par François Jacq pour qualifier le positionnement de certains grands scientifiques français dans la société française et plus encore par rapport à ce que le premier appelle le complexe militaire-industriel-universitaire dans les deux décennies qui font suite à la Seconde Guerre mondiale (Dahan & Pestre, 2004 ; Jacq, 2002, 2005 ; Pestre, 1989, 2004 ; Pestre & Jacq, 1996). Les scientifiques concernés sont à la tête d'un ou plusieurs instituts de recherche et, par la quête de financements et la conquête de nouveaux champs de compétences, œuvrent pour la création de véritables « usines de recherches » (Jacq, 2005). Ces usines sont le résultat de la volonté de concentrer toutes les ressources et les compétences disponibles autour d'un domaine dans un seul lieu, seul moyen d'obtenir les moyens suffisants pour concurrencer les laboratoires américains. L'expansion de leur institut ne va pas sans une certaine volonté de contrôler leur domaine scientifique. Par la concentration des moyens et des ressources, l'entrepreneur scientifique devient l'interlocuteur incontournable pour un ensemble toujours plus grand de problématiques. Ainsi, « quiconque veut intervenir dans son champ doit négocier avec lui, faute d'entrer en conflit ouvert ou de devoir constituer, ex nihilo, un autre centre de compétence » (Jacq, 2005, p. 12). Se créent alors des « empires scientifiques » (Pestre, 1989), qui regroupent autour d'une personne « un réseau de recrutement, un réseau de relations industrielles, des laboratoires d'application et un appui privilégié de quelques administrations » (Jacq, 2005, p. 11).

L'entrepreneur scientifique ainsi défini n'est pas lié organiquement avec les industriels ou les organismes d'État, mais entretient avec eux des rapports conjoncturels, discontinus, « épisodiques et au coup par coup » (Pestre, 2004, p. 334). Les relations « apparaissent en pointillé, comme des allers-retours, se répétant souvent mais sans qu'il existe un programme d'ensemble » (Pestre, 1989, p. 115). Toutefois, l'entrepreneur scientifique a une volonté forte, issue de la guerre, de mettre en pratique ses savoirs, ce que Pestre décrit comme le caractère « ingénieur » de ces scientifiques (p. 114). Ces entrepreneurs sont également libres de choisir à la fois leurs sujets d'étude et l'approche théorique générale des instituts qu'ils dirigent.

² Cela est surtout vrai pour la période qui précède le retour du général de Gaulle en 1958. La période allant de cette date jusqu'au milieu des années 1960 sera en effet considérée comme l'âge d'or de la recherche en France avec une démultiplication des budgets alloués notamment au CNRS et au CEA.

Ils œuvrent personnellement pour obtenir des financements et des contrats d'études avec des industriels et militaires, façonnant autour de leur personne des pans entiers de leur discipline (Pestre, 1989, 1994, 1996 ; Pestre & Jacq, 1996). Dans ce monde d'après-guerre, une caractéristique régissant l'*establishment universitaire* pour Pestre, mais que l'on pourrait certainement étendre à d'autres sphères, est le caractère décisif des relations d'homme à homme, notamment du fait du faible nombre et de la permanence des têtes (Pestre, 1989, p. 107-108). Finalement, le milieu universitaire des deux décennies qui suivent la guerre, période qui a vu le développement de grands projets technoscientifiques, se caractérise par l'émergence d'empires scientifiques avec à leur tête une seule personne, l'entrepreneur scientifique. Celui-ci a le monopole de domaines entiers de la recherche et de la science universitaires et devient alors un interlocuteur incontournable sur des questions toujours plus nombreuses. De plus il œuvre personnellement à l'expansion de son empire.

Les études que nous venons de décrire sont fondées sur la base de cas précis concernant des sciences historiques, bien implantées institutionnellement et qui n'ont pas à œuvrer pour défendre leur légitimité et leur autonomie. Pestre base en effet son analyse sur le cas de deux physiciens, Yves Rocard et Louis Néel respectivement directeur du laboratoire de physique de l'École normale supérieure et directeur de l'Institut polytechnique de Grenoble, ainsi que du Centre d'étude nucléaire de Grenoble. François Jacq a mené son étude sur le cas des chimistes et biochimistes que furent Charles Sadron, Maurice Letort, Georges Champetier et André Lwoff ainsi que du créateur du laboratoire de physique de Polytechnique, Louis Leprince-Ringuet. Étudier la physique ou la chimie donne l'avantage d'avoir des points de repères historiques et ainsi de pouvoir mieux analyser les effets des changements de contexte sur les sciences dans toutes leurs dimensions. Mais les phénomènes observés à partir de ces cas sont-ils représentatifs de l'ensemble des sciences ? Dans son article de 2005, Jacq esquisse une réponse en avançant que « Malgré le caractère très spécifique des enjeux de la physique ou de la chimie, on ne saurait méconnaître que la volonté d'une organisation de la science s'est étendue à tous ses compartiments » (Jacq, 2005, p. 16). Toutefois, il ne répond ni sur l'effet de cette organisation sur d'autres sciences, ni sur la pertinence du modèle d'entrepreneur scientifique ou sur l'existence d'usines de recherche dans celles-ci. Un des objectifs de cet article est précisément d'apporter des éléments de réponse à ce questionnement en étudiant le cas des sciences de la Terre par l'un de ses plus illustres représentants. Le second objectif est d'aborder l'importance relative de la collaboration entre universitaires et EDF-CEA dans le développement du nucléaire civil et militaire en France.

Le développement des sciences de la Terre a suivi une trajectoire différente de celle des sciences physiques et biologiques entre la fin du XIX^e siècle et les deux premiers tiers du XX^e siècle. De manière caricaturale le parcours de ces dernières pourrait se schématiser en deux périodes : la première, allant du milieu du XIX^e siècle jusqu'au début de la Seconde Guerre mondiale, peut être caractérisée comme un âge d'or de la recherche théorique, avec l'émergence de la théorie de la relativité générale d'Einstein, la découverte de la radioactivité, la détermination de la structure de l'atome et de son interprétation par la physique quantique ; la deuxième période qui prend place à l'occasion de la Seconde Guerre mondiale et qui se poursuit pendant toute la durée de la guerre froide est celle de la Big Science pendant laquelle ces sciences se rapprochent de leurs applications (Forman, 1987). À contre-pied de ce découpage, les sciences de la Terre ont suivi une trajectoire inverse. La première période, suivant la même plage temporelle, est caractérisée par une pratique scientifique relativement proche des besoins militaires et industriels. À titre d'exemple, la météorologie a été mise au service de l'Armée française pendant la Première Guerre mondiale (Di Manno, 2015) et s'est développée grâce aux besoins et au financement de l'aéronautique (Carpentier, 2011) durant toute la première moitié du XX^e siècle. De leur côté, la géologie et la géophysique se sont également développées en lien avec des intérêts extérieurs et principalement la prospection minière et pétrolière (Anduaga, 2015 ; Bates et al., 1982). La seconde période, bien qu'elle ne soit pas celle de l'indépendance des pratiques scientifiques vis-à-vis d'enjeu extérieur, la Big Science et les intérêts militaires les ayant largement mises à contribution pendant la guerre froide (Doel, 2003), a toutefois été celle qui a vu l'accélération de la recherche fondamentale dans de nombreuses disciplines des sciences de la Terre. Et c'est même grâce à l'intérêt et aux financements militaires et industriels que ces dernières se sont développées et ont pu se constituer en tant que discipline académique institutionnalisée et autonomisée (Barth, 2003 ; Dennis, 2003). La différence ainsi constatée entre les deux trajectoires, fait de l'objet des sciences de la Terre un bon candidat pour confirmer ou infirmer la validité du modèle d'entrepreneur scientifique à d'autres compartiments de la science, si n'est à l'ensemble de ces compartiments. Par ailleurs, les sciences de la Terre conviennent également pour remplir le second objectif de l'article qui vise à aborder les relations entre les universitaires et les organismes du nucléaire dans les décennies 1950 et 1960.

Les sciences de la Terre sont également étroitement liées avec le développement de l'énergie nucléaire. En premier lieu, ce sont les compétences en matière de prospection minière des géologues et géophysiciens qui furent mises à contribution pour la recherche de gisements d'uranium.

Ensuite, les sciences de la Terre et l'énergie nucléaire se sont trouvées entremêlées sur le terrain des essais atomiques. D'une part, la sismologie permet (et a permis) de détecter et de localiser les tirs atomiques dans le monde ; l'analyse sismologique permet également d'estimer la puissance des tirs. D'autre part, l'énergie dégagée par les explosions nucléaires peut engendrer des secousses comparables à celles qui seraient produites par les plus grands séismes³. Le troisième et dernier aspect concerne la sûreté des installations nucléaires. Les scientifiques des sciences de la Terre ont été mobilisés par les régulateurs américains pour mener à bien les procédures d'autorisation concernant l'implantation de centrales nucléaires en zone sismique (Okrent, 1981). L'évaluation du risque sismique a également focalisé les débats et controverses autour de l'implantation de centrales nucléaires en Californie⁴ (Meehan, 1984 ; Okrent, 1981). Enfin, la construction des installations nucléaires a été un moteur pour le développement des techniques d'évaluation et de prévention des risques liés aux séismes (Bostrom et al., 2008).

Notre étude se base sur le cas de Jean-Pierre Rothé, géophysicien de formation et grand spécialiste du phénomène sismique, qui fut directeur de l'Institut de physique du globe de Strasbourg (IPGS), du Bureau central international de sismologie (BCIS) et secrétaire général de l'Association internationale de sismologie (AIS) pendant près de quarante ans. L'article est construit sur la base de l'étude du cas Rothé autour de la concordance avec le modèle d'entrepreneur scientifique de ce personnage et en portant une attention particulière aux liens qu'il a entretenus avec les organismes en charge du développement et des usages de l'atome. L'entrée en matière se fera par une biographie succincte de Rothé et notamment du legs de son père. Il s'agira également d'analyser son positionnement et son rôle au sein

³ Par exemple lors de l'explosion de Cannikin le 6 novembre 1971 sur le site d'Amchitka en Alaska, d'une bombe d'environ cinq mégatonnes, le sol se leva de plus de six mètres, des accélérations de sols de 35g furent enregistrées et les affaissements ainsi que les failles sur le site ont créé un nouveau lac de plus d'un 1,5 km de diamètre. Il s'agit du plus puissant essai atomique effectué par les États-Unis et sa puissance fut comparée à un séisme de magnitude 7 sur l'échelle de Richter (Engdahl, 1972).

⁴ L'histoire commence en 1957 avec le projet d'installation d'une centrale nucléaire à Humboldt Bay en Californie, zone très sismique. À ce moment-là il s'agissait d'identifier la dangerosité du site par rapport aux caractéristiques géologiques (présence de failles, proximité de la faille de San Andreas, possibilité de liquéfaction du sol et glissement de terrain) dans le cadre de la procédure d'autorisation (Okrent, 1981). Elle se poursuivra tout au long des années 1960 et 1970 avec les cas de San Onofre, Bodega Bay et Diablo Canyon (Meehan, 1984).

de cette communauté ainsi que sa contribution dans les avancées scientifiques de son époque. Le second point portera sur les premiers liens qu'il eut avec le CEA entre 1952 et 1962, sur la base de prestations de consultant autour de la prospection uranifère puis, de manière moins formelle, dans le cas des essais atomiques souterrains. Ces deux premiers points nous amèneront à conforter l'idée que le modèle d'entrepreneur scientifique est pertinent pour qualifier le cas Rothé. Dans un troisième point sera étudiée l'accession de Rothé au rang d'expert international du risque sismique. Il fut en effet à l'origine des premières cartes d'aléa sismique en Afrique du Nord et en France métropolitaine, puis progressivement expert à l'UNESCO. Enfin, le dernier point portera sur l'intensification des accointances de Rothé avec l'industrie nucléaire autour des problématiques liées au risque sismique. Cette dernière partie nous permettra de discuter le bien-fondé du modèle d'entrepreneur scientifique pour caractériser un scientifique qui tend à se spécialiser et à être de plus en plus intégré à des enjeux autres que scientifiques.

La famille Rothé, deux générations à la tête de l'Institut de physique du globe de Strasbourg

Les Rothé, père et fils, ont compté parmi les scientifiques les plus influents sur les sciences de la Terre à l'échelle française mais aussi mondiale durant les deux premiers tiers du XX^e siècle.

- *Edmond Rothé, pionnier de l'étude des sciences de la Terre au début du XX^e*

Edmond Ernest Antoine Rothé (1873-1942), était maître de conférences en physique à l'université de Nancy et appartenait à une famille de souche alsacienne qui avait opté pour la France en 1870 (Schlich & Hoang Trong, s.d.). Au moment de la Première Guerre mondiale, il joua un rôle important⁵ au sein du Bureau central de la météorologie, qui étudiait tout l'éventail des sciences de la Terre à des fins militaires (Carpentier, 2011 ; Di Manno, 2015). À la fin de la guerre, il prit un poste de maître de conférences à l'université de Strasbourg et fut également en charge du service météorologique d'Alsace-Lorraine et de la station sismologique, deux héritages de la période allemande de Strasbourg (Craig, 1984). La capitale alsa-

⁵ Edmond Rothé était chargé de simuler des conditions atmosphériques de vol et de rationaliser les techniques aéronautiques à partir de savoirs scientifiques sur l'atmosphère.

cienne possédait alors le plus grand observatoire sismologique au monde⁶, prenant depuis 1903 à son compte la centralisation et la publication, via une émission radio quotidienne émise depuis le sommet de la tour Eiffel, des relevés sismologiques internationaux. La station sismologique fut transformée par le décret de 1921 en Institut de physique du globe (IPG) dont Edmond Rothé fut le premier directeur. Ce dernier est devenu, la même année, directeur du BCIS ainsi que l'AIS qui est intégrée à l'Union géodésique et géophysique internationale et cela jusqu'à son décès en 1942⁷. Il était officier de la Légion d'honneur et a été doyen de la faculté des sciences de Strasbourg de 1929 à 1935⁸.

La contribution scientifique d'Edmond Rothé porte essentiellement sur les sciences de la Terre. À une époque où le domaine n'est pas strictement compartimenté, ses travaux combinent des savoirs de géologie, de géophysique et de sismologie. Son œuvre comporte des ouvrages méthodologiques sur la prospection du sous-sol (1930) ou l'observation sismologique (1926). Vers la fin de sa vie, il a également publié des livres encyclopédiques faisant l'état des savoirs et des problématiques sur la géophysique (1943) et sur les tremblements de terre (1942). Il était aussi engagé dans la promotion de la prévention des catastrophes naturelles et militait pour encourager tous les travaux relatifs aux constructions antiséismiques (1936). Il était notamment membre à partir de 1926 de la délégation française de l'Union internationale de secours, la Commission française d'étude des calamités et était chargé de l'étude des séismes en France. C'est à ce titre qu'il a entrepris d'établir une histoire des séismes en France sur la base d'une compilation des catalogues d'Alexis Perrey et Von Hoff (Lambert et al., 1996 ; Quenet, 2005 ; Rothé & Godron, 1929 ; Vogt, 2003), des archives issues des sociétés savantes (Rothé, 1929) et de la compilation de publications éparses dans de nombreux périodiques et articles concernant les

⁶ Voir l'historique de la station de sismologie sur le site web de l'École et observatoire des sciences de la Terre de l'université de Strasbourg (<https://east.unistra.fr/leost/historique/>, consulté le 17 octobre 2017), ou bien le site du Musée de sismologie de la même université (<http://musee-sismologie.unistra.fr/>, consulté le 17 octobre 2017).

⁷ « Mesurer les séismes : la station de sismologie de Strasbourg », *Inventaire du patrimoine de l'Université de Strasbourg. Jardin des Sciences*, Lyon, Éditions Lieux Dits, 2011.

⁸ Informations recueillies sur une page Internet qui lui est dédiée : <http://edmondrothe.free.fr/articles.php?lng=fr&pg=12&mnuid=8&tconfig=0>, consulté le 17 octobre 2017.

grands séismes de 1887 et 1909⁹. Enfin, à partir de 1919, il effectua un travail qui consistait à envoyer, après chaque séisme ressenti en France et enregistré par le réseau du BCIS, des questionnaires autour de la zone épicertrale pour répertorier les dégâts constatés et ainsi dessiner les isoséistes. Ce travail fut mené par Edmond Rothé jusqu'à sa mort, puis poursuivi par son fils tout au long de sa carrière, ce qui permet d'avoir un catalogue avec les épicertrés et les intensités de tous les séismes importants survenus en France depuis l'année 1919.

- *Jean-Pierre Rothé, le digne successeur*

Jean-Pierre Rothé (1906-1991) hérita de l'engouement de son père pour les sciences de la Terre. À l'âge de 24 ans, il participe à une expédition au Groenland à l'occasion de l'année polaire internationale de 1932-1933 durant laquelle il est chargé d'étudier le géomagnétisme, les courants telluriques et la géologie du Scoresby Sund¹⁰. Une autre contribution de la France à l'effort international est d'installer une station météorologique et séismologique dans le Sahara. Le site choisi fut Tamanrasset, dans la région algérienne du Hoggar, près du futur site d'essais nucléaires français. Il rédige à partir de cette expérience sa thèse sur les anomalies du champ magnétique terrestre (Rothé, 1937). Suite au décès de son père en 1942, il devient directeur de l'IPG et du BCIS de Strasbourg ainsi que premier secrétaire et ensuite président de l'AIS, poste qu'il occupe jusqu'à sa retraite en 1976.

Sur le plan scientifique, il contribua entre autres à la découverte et à la reconnaissance de la tectonique des plaques grâce aux données sismologiques qu'il avait réunies et qu'il étudia. Il put ainsi relever une coïncidence entre les épicertrés de tremblements de terre sous-marins et l'axe central

⁹ Lettre envoyée par Rothé à Pierre-Yves Proust (lui-même missionné par Rocard), le 28 mai 1975, Fonds d'archives Risque Edmond et Jean-Pierre Rothé, EOST, Strasbourg, boîte n° 3.

¹⁰ Cinquante ans après la précédente, l'année polaire internationale de 1932-1933 fut l'initiative de l'Organisation météorologique internationale et validée par l'Union géodésique et géophysique internationale. L'idée générale était de faire des observations géophysiques et météorologiques très étendues, en des points aussi nombreux que possible et repartis sur l'ensemble du globe (Perrier, 1932). La France fut l'un des vingt-cinq pays participants, avec un budget de quatre millions de francs pour la création d'une mission au Scoresby Sund (côte orientale du Groenland) pour la mise en place de deux stations météorologiques et géophysiques. Cette mission était encadrée par la Marine nationale et comptait trois scientifiques dont Rothé en tant que chargé des thématiques « courant tellurique » et « géologie de la région ».

des dorsales médio-océaniques et en déduire dès 1953 que les dorsales sud-atlantique et sud-ouest-indien font partie d'un même système (Bates et al., 1982). Rothé est également l'auteur de huit éditions successives du « Que sais-je », livre de vulgarisation, portant sur les séismes et les volcans entre 1946 et 1984. Il est à ce titre un auteur de référence pendant près de quarante ans sur les questions sismique et volcanique pour mettre à jour les connaissances scientifiques de ces phénomènes. Mais sa principale contribution est d'avoir pendant plus de trente ans, jusqu'en 1976, constitué une imposante documentation sismologique largement utilisée par la communauté scientifique internationale. Dans le célèbre ouvrage de Gutenberg et Richter (1949) sur la sismicité de la Terre, Rothé père et fils sont mentionnés dans les remerciements pour avoir bien voulu partager librement les données du BCIS. En juin 1965, l'UNESCO demande à Rothé de rédiger la suite de cet ouvrage sur la sismicité du Globe (Rothé, 1969).

En plus de sa contribution à la connaissance des phénomènes telluriques, Rothé fut en contact régulier avec les autres sphères de la société. Il est en effet l'auteur des premières cartes de risque sismique de France, du Maroc et d'Algérie, et contribue ainsi pleinement à l'élaboration des premières réglementations parasismiques françaises. Il fut également un expert international auprès de l'UNESCO sur les questions de risques sismiques (Schlich & Hoang Trong, s.d.) Enfin, au fil du développement technologique et industriel de l'exploitation de l'énergie atomique, Rothé fut amené à travailler tour à tour avec le CEA puis avec EDF.

Le CEA et Jean-Pierre Rothé, une collaboration autour de la bombe atomique française

Dès sa création en 1945, le CEA a la charge, entre autres, d'assurer l'approvisionnement du futur programme nucléaire français en matière première. Au début, le Service des recherches et exploitations minières du CEA, dirigé par André Savornin, doit composer avec des budgets très serrés et un équipement de fortune (Blanc, 2008). Malgré tout, le CEA lance des « commandos »¹¹ de prospection en France, en Côte d'Ivoire, à Madagascar et en Afrique équatoriale française. Toutefois le bilan des premières années n'est pas considérable, quelques centaines de kilogrammes d'uranium ont été extraits et les réserves semblent s'élever à quelques centaines de tonnes. En 1951 s'ouvre la période du « temps des conquêtes » (Paucard, 1994) qui se termine en 1958 et qui se caractérise par un pro-

¹¹ Expression employée par Jacques Blanc, Secrétaire général de Cogema (devenu Areva puis Orano) 1976-1987 dans son article (Blanc, 2008).

gramme de prospection tous azimuts des terrains métropolitains (Alpes, Bretagne, Charolais, Beaujolais, Cévennes, Corse, Creuse, Forez, Hérault, Margeride, Normandie, Poitou, Pyrénées, Vendée et Vosges) et étrangers (les équipes du CEA iront aussi en Guyane, en Afghanistan, en Turquie, en Côte d'Ivoire, en Mauritanie, au Mali, et en Iran). Cette période est surtout celle qui a vu le remplacement, à la tête du CEA, du scientifique Frédéric Joliot-Curie par le polytechnicien Pierre Guillaumat, ce qui a scellé définitivement le virage du commissariat vers le développement d'un arsenal atomique. Après de nombreuses tractations, le député Felix Gaillard, proche de Guillaumat et fervent défenseur de la bombe atomique, fait voter une loi revalorisant le budget du CEA pour l'année 1952 à hauteur de 32,2 millions de francs (Hecht, 2009, p. 44). Ce budget avait pour objectif de lancer la construction de la première usine de production de plutonium française à Marcoule, appelée G1 (Lamiral, 1988b), ce qui nécessita, pour l'alimenter, d'intensifier la recherche de matière première, notamment sur le sol français¹².

- *Prospection uranifère*

La famille Rothé a une longue histoire avec la prospection des sous-sols et en particulier des matières radioactives. Le père, Edmond, s'était dès 1910 essayé à leur détection par la méthode proposée par Marie Curie sur l'étude des gaz qui émanent des sources thermales (Rothé & Gutton, 1910). Vingt ans plus tard, il écrit un livre de 397 pages recensant les différentes méthodes et les différents instruments de prospection du sous-sol (Rothé, 1930). Dans les années qui suivent, il entreprend plusieurs études sur la radioactivité des roches et sur la prospection par ionisation par les rayons gamma (Rothé & Hée, 1935, 1939). Après sa mort en 1942, son fils Jean-Pierre reprend son travail et publie avec son père, à titre posthume, une œuvre en deux tomes de plus de 1 000 pages consacrée entièrement à la prospection géophysique (Rothé & Rothé, 1950, 1952). Dans cette œuvre, il détaille d'un point de vue théorique et empirique les différentes méthodes de prospection : sismiques et ionométriques pour le tome 1 ; gravimétriques, électriques, magnétiques et géothermiques pour le tome 2. Rothé entreprend également, au tournant des années 1950, de comparer la méthode de prospection de matières radioactives par ionisation avec les nou-

¹² Ce seront finalement 80 000 tonnes d'uranium qui seront extraits du sol français. Source : Fiche technique de l'IRSN de février 2017, http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Environnement/expertises-locales/sites-miniers-uranium/Documents/irsn_mines-uranium_extraction-uranium_2017.pdf, consulté le 17 octobre 2017.

veaux dispositifs portatifs basés sur l'emploi de tubes-compteurs Geiger-Muller (gammaphone et gammamètre). Ensuite, il mène avec son collaborateur Peterschmitt, entre 1951 et 1952, une reconnaissance générale de la radioactivité des Vosges, faisant apparaître des zones à la radioactivité relativement élevée (Rothé & Peterschmitt, 1950, 1952)

C'est donc assez mécaniquement que le CEA se tourne vers Rothé et vers l'IPGS pour lancer une campagne de prospection dans l'est de la France. En 1953, Rothé est employé pour effectuer une carte détaillée de la radioactivité des massifs cristallins des Vosges. Pour mener son travail, le directeur de l'IPGS mobilise une partie de ses étudiants, tant pour l'installation des instruments, que pour le relevé des données ou pour leur traitement analytique¹³. De cette étude découle la publication du rapport CEA n° 707 en 1957. Dans ce rapport il est principalement question d'améliorer les méthodes de repérage et de caractérisation radioactifs, notamment en améliorant le protocole expérimental et en comparant plusieurs techniques de prospection (Rothé, 1957). Après avoir identifié les zones les plus radioactives, où la concentration en uranium est potentiellement plus forte, le CEA fait de nouveau appel à Rothé pour affiner encore la cartographie radioactive de ces zones. Celui-ci effectue alors trois nouvelles études sur la radiogéologie des Vosges publiées en 1960 et 1961, sur les régions du Munster et de Gérardmer (Rothé, 1960a, 1960b, 1961). Le travail demandé à Rothé entre dans un cadre plus large de prospection tous azimuts des terrains métropolitains et étrangers. En 1957, près de 2 000 personnes travaillent au Service de recherche et d'exploitation minière du CEA et les réserves sous contrôle français atteignent près de 37 000 tonnes d'uranium (Blanc, 2008, p. 36). Les rapports de Rothé avec le CEA durant cette décennie peuvent donc être qualifiés d'épisodiques et de contextuels. Par ailleurs, les relations sont formalisées sur la base de la prestation de consultant et pour répondre aux demandes du CEA, Rothé mobilise les ressources de son institut (aussi bien ses étudiants que ses collègues).

Une fois que la matière première a été identifiée, extraite du sol, puis transformée en plutonium dans l'usine de Marcoule, la bombe atomique française était prête à être testée.

¹³ Les huit mémoires d'ingénieurs soutenus en 1953 et 1954 ont porté sur la prospection uranifère (contre aucun des trois années suivantes) dont cinq ont contribué directement à la réalisation du contrat avec le CEA (Rothé, 1957, page de remerciements).

- *Essais atomiques*

Les explosions des bombes à hydrogène (Bombe H) par les États-Unis en 1952, l'Union Soviétique en 1953 et la Grande-Bretagne en 1957, ont entraîné une augmentation substantielle des quantités de retombées radioactives sur la planète. En réponse à l'indignation publique qui s'ensuivit, ces pays (et bien d'autres) commencèrent une longue série de discussions sur l'édiction d'un traité pour bannir les essais nucléaires atmosphériques. Après de nombreux débats sur les conditions de l'accord, un traité est signé le 5 août 1963 entre les États-Unis, l'Union Soviétique et le Royaume-Uni interdisant les essais nucléaires atmosphériques, dans la stratosphère et sous l'eau. La signature de ce traité est toutefois conditionnée à la capacité des états à disposer d'un moyen de détection des essais atomiques fiable (Jacobson & Stein, 1966). Pour remplir cette condition, le Département de défense américain lança le projet de recherche et développement « Vela ». Ce projet comportait trois volumes avec une détection à très haute altitude par les satellites spatiaux (Hotel), par des détecteurs de surface de radioélément (Sierra), ainsi que via les détonations nucléaires souterraines et sous-marines par des sismographes (Uniform). Le montant total de ce projet est de 319,2 millions de dollars entre 1960 et 1971 (Bates et al., 1982, p. 175) dont au moins 110 millions sont consacrés au volet sismologique (Barth, 2003). À peu près le tiers de cette somme (33,1 millions) est destiné à des recherches théoriques en géophysique et sismologie tandis que le reste doit servir à l'installation d'un réseau très performant de 120 sismographes standardisés dans 60 pays. La France se dote, quant à elle, dès 1955 d'un système de détection des essais atomiques disposé à Bruyères-le-Châtel en Ile-de-France. C'est à l'initiative de l'entrepreneur scientifique Yves Rocard, alors directeur du laboratoire de science physique de l'École normale supérieure, que le CEA crée le Laboratoire de détection géophysique (LDG) sur un terrain lui appartenant et utilisant des appareils qu'il avait lui-même confectionnés (Rocard, 1988). Ainsi, à partir du milieu des années 1950, les réseaux de sismographes deviennent un enjeu politique important et chaque occasion compte pour en améliorer la performance.

Le 1^{er} mai 1962 a lieu le deuxième essai atomique (bombe A) souterrain français (nom de code Béryl)¹⁴, qui pour la première fois fait participer

¹⁴ Il s'agissait de la quatrième explosion atomique française. Les deux premiers essais nucléaires étaient des explosions de surface et eurent lieu à Reggane en Algérie, sous le nom de code gerboise bleue (13 février 1960) et gerboise verte (25 avril 1961). Le troisième essai se tint dans les galeries souterraines d'un massif granitique du Hoggar. Il y aura finalement treize tirs en galerie effectués sur le même site entre novembre 1961 et février 1966.

des sismologues et géophysiciens. Sous l'impulsion de Rocard, une collaboration scientifique est mise en place avec le milieu académique avec pour double objectif de tester et d'améliorer le réseau français de détection des essais atomiques ainsi que de faire profiter un cercle très restreint de scientifiques des données de l'essai pour leurs études sur la propagation des ondes dans le sol et la localisation des épencentres. Cette collaboration est coordonnée par Jean Coulomb, géophysicien et directeur du CNRS de 1957 à 1962 et implique Rocard, bien sûr, mais aussi des représentants des deux IPG, Rothé à Strasbourg et Yvonne Labrouste, directrice du laboratoire de sismologie expérimentale à Paris, ainsi que Francis Perrin, Haut-Commissaire du CEA de 1951 à 1970. La collaboration se concrétise autour de la transmission des coordonnées spatiales du lieu de l'essai (y compris la profondeur), la date et l'heure (à la seconde près) et le contexte géologique (nature de la roche et des couches sédimentaires)¹⁵. Cette transmission est approuvée par Lavaud, délégué ministériel pour l'armement, assortie de l'exigence d'un secret absolu sur les données transmises et sur le fait même qu'un essai avait eu lieu¹⁶. Rocard, quant à lui, fait bénéficier Rothé et Labrouste des données enregistrées au LDG et des données qu'il réussit à récupérer notamment auprès du Service hydrographique de la marine et auprès de certaines stations à l'étranger où il a un accès privilégié¹⁷. En plus de ces données, deux sismologues (un de l'IPG de Paris et l'autre de l'IPG de Strasbourg), alors en service militaire, sont mis à disposition des deux IPG pour effectuer des enregistrements à proximité du site de l'essai¹⁸. Tous ces éléments s'ajoutent aux données reçues au BCIS, dirigé par Rothé, qui reçoit pour chaque nouvel événement sismique des données en provenance du monde entier. Rothé est ensuite chargé de compiler et de comparer toutes ces données et de les transmettre aux autres membres du groupe. Le système ainsi mis en place a perduré pour les autres essais souterrains français effectués dans la galerie du Hoggar, en Algérie.

À partir des données recueillies, Rothé calcule les distances angulaires et les durées de propagation des ondes dans le sol, ce qui a permis notamment de découvrir que les structures sous la Méditerranée forment une discontinuité du socle arrêtant complètement la propagation de cer-

¹⁵ Lettre envoyée par Perrin à Rothé le 14 mai 1962, Fonds d'archives Risque Edmond et Jean-Pierre Rothé, EOST, Strasbourg, boîte n° 1.

¹⁶ Lettre envoyée par Lavaud à Rothé le 23 mai 1962, Fonds d'archives Risque Edmond et Jean-Pierre Rothé, EOST, Strasbourg, boîte n° 1.

¹⁷ Note manuscrite envoyée par Rocard à Rothé, le 26 mai 1962, Fonds d'archives Risque Edmond et Jean-Pierre Rothé, EOST, Strasbourg, boîte n° 1.

¹⁸ Lettre de Coulomb envoyée à Rocard, Labrouste et Rothé, le 9 juin 1962, Fonds d'archives Risque Edmond et Jean-Pierre Rothé, EOST, Strasbourg, boîte n° 1.

taines ondes¹⁹. Une autre utilisation qui est faite de ces données, sans doute la plus importante pour la communauté scientifique, est la détermination des hodochrones²⁰. Connaissant la position exacte et le moment précis du relâchement d'énergie, il devient possible de calculer les distances de ce point aux différentes stations et de comparer les temps de propagation expérimentaux aux temps théoriques déduits des tables de Jeffreys-Bullen, permettant *a posteriori* de les améliorer. Rothé note par exemple le fort retard des temps théoriques quand la distance s'éloigne de plus de 5 000 km du point concerné. De son côté, le LDG du CEA cherche dans cette collaboration à tester la qualité de son réseau de détection des essais atomiques et à le comparer avec ceux des autres pays. Les études comparatives des différents réseaux et de leurs marges d'erreur par rapport à l'heure et à l'endroit de l'essai ont été confiées à Rothé et ont permis de déduire que le réseau du professeur Rocard était parmi les plus performants²¹, malgré son caractère bricolé²².

C'est grâce à la collaboration entre Rothé, Rocard, Labrouste, Coulomb, Perrin autour des essais atomiques souterrains français que le réseau de détection des essais nucléaires du CEA a pu être testé et amélioré, notamment via les données recueillies par le professeur Rothé en tant que directeur du BCIS. En contrepartie, les scientifiques ont pu connaître avec précision les caractéristiques concernant la libération d'énergie à l'origine des ondes sismiques et en tirer un avantage concurrentiel par rapport au reste de la communauté scientifique. En témoigne une lettre du professeur Rothé envoyée à Coulomb qui exprime son empressement de publier les résultats de ses analyses : « Aurons-nous l'autorisation de publier rapidement quelque chose (par exemple une note aux Comptes rendus de l'Académie), au sujet de ces enregistrements du 1^{er} mai ? Je crains que les

¹⁹ Compte rendu de séance de l'Académie des sciences du 17 décembre 1962 présenté par Coulomb et signé par le CEA et les deux IPG.

²⁰ Les hodochrones sont des courbes représentant les temps d'arrivée des ondes sismiques en fonction de la distance à la surface de la terre. Lorsqu'on connaît l'épicentre d'un séisme et le moment où celui-ci se produit, il est possible de reporter sur un diagramme le temps d'arrivée d'une onde donnée en fonction de la distance épacentrale et d'en déduire les propriétés de propagation.

²¹ Note de Rothé sur les enregistrements du 1^{er} mai 1962 envoyé le 1^{er} juin 1962, Fonds d'archives Risque Edmond et Jean-Pierre Rothé, EOST, Strasbourg, boîte n° 1.

²² Les appareils utilisés au LDG sont des sismographes conçus et fabriqués par Rocard lui-même pour des coûts moindres comparés aux énormes moyens mis à disposition par le Département de défense américain pour le réseau Vela Uniform (des centaines de millions de dollars contre quelques milliers de francs), ce qui lui valait d'ailleurs les moqueries des autres services du CEA (Billaud, 2016).

Américains ne publient prochainement, bien que sachant que nous travaillons sur cette question »²³. La publication a finalement lieu le 17 décembre dans un compte rendu de séance de l'Académie des sciences, présenté par Coulomb et co-signé par le CEA et les deux IPG. Les courriers recensés dans le fonds Rothé font également état de nombreux échanges entre Rothé, Rocard et Coulomb sur l'amélioration du réseau de surveillance des ondes sismiques en France, pour la détection des essais atomiques.

Pour améliorer les capacités de détection des essais atomiques étrangers, se met en place en France une collaboration université-CEA autour d'un nombre limité de personnalités. Sous couvert de secret d'État, le rapport entretenu entre Rothé et le CEA a été, à cette occasion, moins formel que pour la prospection uranifère. La collaboration s'est basée sur une relation interpersonnelle, autour de personnes physiques. Ce ne sont pas les universités de Strasbourg et de Paris, via les deux IPG, qui ont été associées aux essais atomiques, mais Labrouste et Rothé. Ils ont tous deux été choisis et contactés par Rocard alors même que celui-ci n'occupe aucune fonction politique aux ministères ou d'administration au CEA.

Jean-Pierre Rothé, expert national puis international du risque sismique

- *Rothé, expert français du risque sismique*

Dans la nuit du 8 au 9 septembre 1954, un séisme survient à Orléansville en Algérie, causant la mort de 1 243 personnes, détruisant plus de 20 000 habitations et entraînant l'exode de 300 000 personnes²⁴. Cet événement est vécu comme un drame aux yeux de l'opinion française et le gouvernement décide qu'il faut reconstruire Orléansville de manière à ce qu'il résiste à un nouvel événement sismique. Dans ce but, des études sont entreprises en vue d'élaborer des règles de construction parasismique. C'est ainsi que sont approuvées, par le ministre de l'Intérieur (à l'époque François Mitterrand), et transmises au gouverneur général de l'Algérie en date du 27 avril 1955, les « recommandations AS55 » visant à accompagner la reconstruction. Ces recommandations sont de deux ordres. Une partie relève du guide de bonnes pratiques sur la conception générale des bâtiments (rapport hauteur, largeur, longueur et dispositions des bâtiments), sur les fonda-

²³ Lettre envoyée par Rothé à Coulomb le 13 octobre 1962, Fonds d'archives Risque Edmond et Jean-Pierre Rothé, EOSt, Strasbourg, boîte n° 1, p. 2.

²⁴ Données recueillies sur le site du Centre de recherche en astronomie, astrophysique et géophysique : http://www.craag.dz/r_sismologique.php, consulté le 17 octobre 2017.

tions, sur le choix des matériaux ou encore sur certains cas particuliers (effet poinçon notamment). L'autre partie des recommandations est constituée de règles de calcul pour la prise en compte des contraintes induites par les sollicitations sismiques sur les bâtiments. Ces contraintes sont variables en fonction de la sismicité de la zone d'implantation du bâtiment, de la densité du sol et de la profondeur des fondations. Trois zones de sismicité d'intensité différente (nulle, faible et forte) ont été définies pour l'Algérie sur la base des travaux de Rothé (1955). Après le séisme, ce dernier entreprit d'une part d'étudier les caractéristiques du séisme et d'autre part de cartographier la sismicité de l'Algérie en croisant les données des séismes passés et les données relatives aux conditions géologiques. Entre l'héritage de son père et sa position à la tête du BCIS, Rothé avait à disposition un catalogue de séismes couvrant le monde entier, sur des périodes plus ou moins longues. Grâce à la station installée à Tamanrasset lors de l'année polaire internationale de 1932, toutes les secousses ressenties depuis cette date étaient transmises au bureau strasbourgeois. Rothé était à ce compte prédisposé à effectuer ce travail. Les « Recommandations AS55 » utilisent une version schématique et simplifiée de la carte de sismicité de l'Algérie produite par Rothé. C'est la première fois qu'une carte de risque sismique est utilisée dans un territoire français pour la construction des bâtiments, bien que circonscrit à l'Algérie.

Il faut attendre 1962 pour voir l'édiction de règles de construction parasismique concernant la France métropolitaine. Le 29 février 1960, un séisme frappe la ville marocaine d'Agadir. Ce fut le séisme le plus destructeur de l'histoire moderne du Maroc, faisant entre 12 000 et 15 000 morts, alors même que sa magnitude était modérée (moins de 6 sur l'échelle de Richter). Le gouvernement marocain fit appel à Rothé pour qu'il rédige un rapport revenant sur les caractéristiques du séisme et sur les raisons pouvant expliquer l'ampleur des dégâts malgré la magnitude modérée. Ce rapport comporte également une partie pratique demandant à Rothé d'effectuer une étude générale sur la sismicité du Maroc et le questionnant sur la potentialité de reconstruire Agadir dans une zone plus propice ainsi que sur la sismicité autour du barrage de Mechra Killa (Rothé, 1962). La faible magnitude du séisme d'Agadir par rapport à l'étendue des dégâts poussa les autorités françaises, alors directement impliquées dans le secours aux victimes, à étendre les règles parasismiques en vigueur en Algérie au territoire métropolitain dans une version révisée.

Le professeur Rothé est chargé, au sein d'une commission de révision des « Recommandations AS55 », d'établir la carte de sismicité de la

France métropolitaine²⁵. Il prépare à cette occasion plusieurs cartographies (Rothé, 1963, 1965). La première répertorie tous les épicentres des séismes ressentis en France entre 1860 et 1960 (tous les séismes depuis 1919 et certains grands séismes connus notamment celui de Lambesc en 1909 pour la période antérieure). La deuxième carte reprend le catalogue d'Alexis Perrey retravaillé par son père et qui propose une carte des intensités maximales ressenties en France pendant près de 1 000 ans (1021-1960). La dernière carte est issue des deux premières et définit l'intensité maximale probable par région, intégrant donc la question de la périodicité des séismes et celle des régions géologiques. Une première version de la nouvelle règle de précautions parasismiques pour le territoire métropolitain est effective en avril 1963. Elle utilise la carte des intensités maximales probables pour définir des zones de sismicité différentes. À chaque zone correspond un coefficient sismique particulier qu'il faut intégrer dans les calculs de construction. Cette carte de risque est utilisée dans les différentes mises à jour de la règle parasismique (PS) en 1962 (PS62), 1964 (PS64) et 1968 (PS68). D'expert national de l'évaluation de l'aléa sismique, Rothé est devenu progressivement sur la même thématique un expert international.

- *Rothé, expert international du risque sismique*

Rothé a toujours été présent sur la scène scientifique internationale en tant que directeur du BCIS et de l'PAIS. Il participe d'ailleurs entre 1957 et 1958 à l'Année géophysique internationale, qui fait suite à l'Année polaire internationale de 1932-1933, et qui était annoncée comme le plus grand événement scientifique de l'histoire (Buedeler, 1957 ; Coulomb, 1956). À cette occasion, Rothé est chargé d'étudier la sismicité de l'antarctique, zone *a priori* aséismique (Rothé, 1959).

Une des missions de l'UNESCO est depuis les années 1950 de faire bénéficier l'humanité des avancées scientifiques et à ce titre s'est consacrée à la lutte contre les fléaux naturels (aridité, séismes, inondations, etc.) (Behrman & Unesco, 1979 ; Bioum Ihana, 1998). En 1963, l'UNESCO intensifie son effort pour la prévention du risque sismique avec la création de l'Institut international de sismologie et de génie parasismique et organise en avril 1964 une réunion intergouvernementale sur la sismologie et le génie parasismique, réunissant 110 délégués de 38 nations, qui donne lieu à la création d'un service d'alerte sismologique et d'un réseau international de stations télésismiques (Maurel, 2006, p. 956-957). Pour préparer cette réunion, un groupe de travail sur les cartes séismiques et séismotectoniques,

²⁵ Rothé, « Note sur la sismicité de la France métropolitaine », annexe B.2 des règles parasismiques PS62, avril 1963.

auquel participe pleinement Rothé²⁶, est constitué. Ce groupe de travail a perduré après la réunion de 1964 et est devenu le « groupe de travail sismicité » qui intervient auprès de l'UNESCO et de la Commission européenne tout au long des années 1960 et 1970. Ce groupe de travail est présidé par Rothé et compte parmi ses membres des sismologues célèbres comme Karnik ou Sponheuer²⁷. Au sein de ce groupe, Rothé est chargé particulièrement de construire le catalogue de séismes. C'est à l'issue de ce travail qu'il publie l'ouvrage de référence, *La sismicité du Globe, 1953-1965*, dans lequel sont étudiés et cartographiés tous les séismes d'une magnitude supérieure à 6 sur l'échelle de Richter, ou d'intensité inférieure mais ayant causé des dégâts notables. Cet ouvrage permet de mettre en avant le fait que les séismes les plus forts ne sont pas nécessairement les plus destructifs, que le phénomène sismique peut se produire à de très grandes profondeurs (exemple du séisme espagnol survenu à une profondeur de 643 km); il précise surtout la position des rifts médio-océaniques et continentaux. Rothé est donc, dans la première moitié des années 1960, reconnu pour ses compétences en matière d'aléa sismique en France et à l'international. Grâce à son expertise du risque sismique dans le bâti courant, Rothé est associé indirectement dans un premier temps, puis directement dans un second temps, à la conception des installations nucléaires en France.

EDF et Jean-Pierre Rothé, une collaboration pour la protection parasismique des installations nucléaires françaises

- *La centrale nucléaire de Fessenheim*

La construction des premières installations nucléaires, et plus généralement de toutes celles appartenant au CEA, est déléguée à des entreprises de construction tierces, dans la perspective d'une « politique des champions » (Hecht, 2009, p. 48). Dans cette optique, la conception et la construction des composants majeurs de la centrale sont confiées à un nombre limité d'entreprises et la coordination de l'ensemble du processus à une seule d'entre elles. Avec cette organisation, la conception est basée sur les codes de construction conventionnels et donc sur les recommandations

²⁶ UNESCO, « Rapport et recommandations du groupe de travail de l'UNESCO sur les cartes sismiques et séismotectoniques », avril 1964, Fonds d'archives Edmond et Jean-Pierre Rothé, EOSt, Strasbourg, boîte n° 46 J 59.

²⁷ Lettre de préparation à la réunion du Comité consultatif de sismologie et génie parasismique de l'UNESCO envoyé par Rothé aux autres membres du groupe le 11 décembre 1967, Fonds d'archives Edmond et Jean-Pierre Rothé, EOSt, Strasbourg, boîte n° 46 J 59.

AS55²⁸ pour les premiers réacteurs (notamment ceux de Marcoule) puis sur les codes de précautions parasismiques successifs PS62, PS64 et PS68²⁹. Le directeur de l'IPG joue donc un rôle important, bien qu'indirect, dans le processus de prise en compte du séisme pour les installations du CEA.

EDF adopte une stratégie différente pour la construction de ses réacteurs nucléaires. Il opte en effet pour une « microgestion des processus de maîtrise d'œuvre » (Hecht, 2009, p. 76) et se positionne ainsi en véritable architecte industriel. Les deux premières centrales nucléaires d'EDF, sur le site de Chinon et de Chooz dans les Ardennes, sont également construites sur la base des règles PS62 car situées dans des zones identifiées comme asismiques³⁰. En revanche, ce n'est pas le cas pour le projet franco-allemand de construction d'une centrale nucléaire pour la production d'électricité sur le site de Fessenheim³¹.

Étant donné l'importance du projet³², il apparaît à EDF que les règles PS62, fondées sur une carte des intensités maximales probables par région (déterminant un séisme susceptible de survenir dans les cinquante années à venir), ne sont pas suffisamment conservatives et qu'il faut entreprendre une évaluation du risque maximal pour l'installation. C'est alors que Rothé est mobilisé. Son travail consiste concrètement à préciser les données sismiques et la délimitation entre les régions de sa carte des plus grands

²⁸ En prenant en compte les coefficients de la zone B (la plus sismique) pour les calculs de contraintes.

²⁹ CEA, Direction des piles atomique, « Protection parasismique des réacteurs : point d'octobre 1967 », 25 octobre 1967, Archives IRSN, Site de Fontenay-Aux-Roses.

³⁰ « Rapport de sûreté définitif de la centrale nucléaire de Chinon A1 », Tome 1, Volumes 1 à 3, 1965, Archives IRSN, Site de Fontenay-Aux-Roses ; « Rapport de sûreté définitif de la centrale nucléaire de Chooz A », Tome 1, Volumes 1 à 3, 1965, Archives IRSN, Site de Fontenay-Aux-Roses.

³¹ À l'origine, le site de Fessenheim devait accueillir une centrale de technologie française, utilisant de l'uranium naturel et modéré au graphite-gaz, mais construite et financée par un consortium franco-allemand. Après la défection allemande, principalement pour des raisons économiques, EDF et le CEA reprirent le projet et continuèrent à effectuer les études pour la réalisation. Finalement, après les retards dus à l'impossibilité d'engager les montants nécessaires en 1968 et 1969, le projet de technologie française fut remplacé par un projet mettant en œuvre la technologie américaine dite à eau pressurisée et utilisant de l'uranium enrichi. La centrale de Fessenheim sera finalement mise en service en 1975 et est à l'heure actuelle la plus ancienne centrale nucléaire encore en service en France.

³² Il s'agit du premier projet de centrale nucléaire à production d'électricité comportant deux réacteurs de 700 MWe. À titre de comparaison, Saint-Laurent A1 dont la construction a démarré en 1963 compte un réacteur de 460 MWe.

séismes historiques³³. Une fois l'intensité maximale du séisme définie, il est nécessaire de la traduire en données intégrables dans le calcul, sous forme de coefficient sismique. Ce coefficient sismique dépend aussi de la qualité du sol, des caractéristiques de l'architecture (hauteur, longueur, etc.) et du type de fondations. Rothé est employé par EDF en tant que consultant sur l'ensemble du spectre et à de nombreuses reprises. Pour la centrale de Fessenheim, le professeur Rothé joue ainsi un rôle d'expertise important et complet, bien que non exclusif³⁴, couvrant de nombreux aspects de la détermination du risque sismique et faisant appel à ses compétences de sismologue, de géologue et de géophysicien. Il conserve ce rôle d'expert privilégié même après la sortie de l'Allemagne du consortium et après le changement de technologie, jusqu'au projet final en 1970 qui a donné naissance à la première centrale à eau sous pression sur le sol français³⁵ (Lamiral, 1988a).

- *Le plan Messmer*

Avec la guerre du Kippour et l'envolée du prix du pétrole, l'indépendance énergétique de la France est menacée. En réponse, le Président de la République, Georges Pompidou, lance le plus grand programme de développement de centrales nucléaires jamais envisagé qui porte le nom de son premier ministre, le Plan Messmer. L'ampleur de ce programme oblige d'une part à sélectionner de nouveaux sites pour l'implantation des centrales et d'autre part à utiliser une démarche standardisée pour concevoir

³³ Groupe atomique alsacien atlantique, « Études préliminaires de la tenue aux séismes : solutions », 13 octobre 1965, Fonds d'archives Risque Edmond et Jean-Pierre Rothé, EOST, boîte n° 3.

³⁴ EDF fit appel à d'autres experts, notamment étrangers, pour compléter et confronter l'analyse du professeur Rothé. Notons par exemple la contribution de Weber, professeur de géophysique à l'école Polytechnum de Zurich, celle du professeur Hudson du Californian institute of technology ou encore l'avis des très réputés Newmark, de l'université de l'Illinois et Ambrassey de l'Imperial collège de Londres. Notons également la contribution de L'IPG de Paris, l'Association française de sismologie expérimentale ainsi que la Compagnie générale de géophysique qui ont été impliqués notamment via les programmes de recherche *Amplimax* et *Transésisme* qui ont eu pour objet d'améliorer la connaissance sur le comportement réel des installations nucléaires en cas de sollicitations sismiques. Voir EDF, Région d'Équipement de Tours, « Note de synthèse sur la protection de la centrale contre les séismes », 6 mai 1968, Fonds d'archives Risque Edmond et Jean-Pierre Rothé, EOST, boîte n° 3 ; EDF, Région d'Équipement de Tours, « Compte rendu de réunion », 17 novembre 1966, archives EDF, Paris, boîte n° 943221.

³⁵ Voir les différents rapports concernant la conception de la centrale de Fessenheim entre 1965 et 1973 disponibles dans les boîtes n° 3 et 5 du Fonds d'archives Risque Edmond et Jean-Pierre Rothé.

et construire les différentes installations. Pour déterminer les séismes à considérer sur chaque site et pour chaque installation, les précautions parasismiques PS étant définitivement écartées, une nouvelle démarche est développée. Rothé est impliqué aussi bien dans la sélection des sites que dans la détermination d'une nouvelle démarche. Il rédige ainsi plus de vingt rapports d'expertise concernant la sismicité d'une quarantaine de sites proposés pour l'installation de centrales nucléaires entre 1973 et 1976³⁶. Il joue également un rôle important dans l'élaboration de ce qui deviendra la doctrine française en matière de prise en compte du risque sismique en France. D'une part, son travail sur les séismes en France demeure la source de données de base à utiliser pour l'évaluation du risque sismique³⁷. D'autre part, il contribue pleinement au choix de ne pas adopter une approche probabiliste de l'aléa (tenant compte de la récurrence du phénomène), pourtant la plus plébiscitée à l'internationale (Bostrom et al., 2008), au profit d'une approche déterministe du risque sismique (déterminant un cas maximal à envisagé) en France³⁸. Il estime en effet qu'il est plus judicieux de profiter du catalogue relativement riche de séismes en France (1 000 ans de données contre 300 aux États-Unis) plutôt que de mettre en place une méthode qui tend à surestimer le risque en dépit des réalités géologiques du territoire³⁹.

Rothé conserve un rôle double pour la conception des installations nucléaires françaises tout au long des années 1970. Il effectue, entre autres, des expertises particulières pour les sites situés dans la vallée du Rhône (Tricastin, Marcoule, Bugey et Creys-Malville)⁴⁰. Il effectue également des études traitant du choix des sites nucléaires pour le compte de Simecsol Études⁴¹ (aujourd'hui ARCADIS), sous-traitant d'EDF, et pour Sofratome

³⁶ Lettre envoyée par Rothé à Haroun Tazieff, le 3 octobre 1982, Fonds d'archives Risque Edmond et Jean-Pierre Rothé, EOST, boîte n° 4, p. 2.

³⁷ Rapport DSN n° 83, « Études récentes concernant les principales agressions d'origine externe et recommandations de sûreté adaptées à la situation européenne », octobre 1975, Fonds d'archives IRSN, site de Fontenay-Aux-Roses.

³⁸ Cornelius Radu, « Fréquence et magnitude des séismes en France », octobre 1973, Fonds d'archives IRSN, Site de Fontenay-Aux-Roses ; Compte rendu de la première réunion du GT « Probabilité des séismes », du 13 mars 1974, Fonds d'archives IRSN, site de Fontenay-Aux-Roses, p. 2.

³⁹ Lettre envoyée par Rothé à Daniel Costes du Département de sûreté nucléaire (ancêtre de l'IRSN) du CEA, 18 octobre 1974, Fonds d'archives Risque Edmond et Jean-Pierre Rothé, EOST, boîte n° 5.

⁴⁰ Plichon (EDF), « Sismicité de la Vallée du Rhône (Donzère – Pierrelatte – Aramon) », Compte rendu de réunion du 16 juin 1973 tenue à la Défense, Fonds d'archives Risque Edmond et Jean-Pierre Rothé, EOST, boîte n° 5.

⁴¹ Correspondance du 26 mai 1975, Fonds d'archives Risque Edmond et Jean-Pierre Rothé, EOST, boîte n° 4.

(dans le cadre d'une étude de la sismicité du site de Ras Zaafarana en Égypte)⁴². À partir de 1968, les budgets alloués à la recherche baissent considérablement et le CNRS entre dans une période de crise (Marnot, 2010). Dans une lettre adressée à Rocard, Rothé se plaint ainsi : « Comme vous le savez les gauchistes du CNRS m'ont après 1968 supprimé tous mes postes et mes crédits. Cette dictature qu'ils exercent au CNRS et dans l'université est un scandale que le gouvernement connaît peut-être mal et dont il faudrait qu'il s'occupe »⁴³. À partir de 1969, Rothé ne publie plus aucun livre ni aucun article scientifique, à l'exception des rééditions de 1972, 1977 et 1984 du « Que sais-je ? » sur les séismes et les volcans mais dont les modifications concernent exclusivement la question de la protection parasismique (Rothé, 1972, 1977, 1984). Par ailleurs, il participe à la révision de la règle PS69 en tant que président du groupe de travail « sismicité » et également au projet d'écriture d'un arrêté pour la « prise en compte du risque sismique pour la sûreté des réacteurs nucléaires »⁴⁴. Ainsi coïncident dans cette période à la fois une baisse, voire un arrêt des activités scientifiques de Rothé, et une intensification de son activité de consultant autour de la protection parasismique et du développement de l'industrie nucléaire français.

Conclusion

Cet article visait en premier lieu à analyser la validité du modèle de l'entrepreneur scientifique développé par Pestre et repris par Jacq dans le cas des sciences de la Terre. L'entrepreneur scientifique est avant tout un scientifique à la tête d'un institut, qu'il transforme en « usine de recherche » avec l'ambition de créer un empire scientifique autour de sa personne. Pour ce faire, il cherche à augmenter ses ressources humaines et matérielles et à étendre son champ de compétences afin de devenir un acteur incontournable sur un nombre toujours plus important de questions. Jean-Pierre Rothé, de par son histoire, sa contribution à la communauté scientifique (à la fois théorique et empirique), sa permanence à la tête de l'Institut de phy-

⁴² Note d'honoraire envoyée par Sofratome au professeur Rothé le 15 Janvier 1980, Fonds d'archives Risque Edmond et Jean-Pierre Rothé, EOSt, boîte n° 4.

⁴³ Lettre de Rothé envoyée à Rocard, le 30 juin 1975, Fonds d'archives Risque Edmond et Jean-Pierre Rothé, EOSt, boîte n° 3, p. 3.

⁴⁴ Cet arrêté ne fut jamais promulgué au profit d'un dispositif para-réglementaire, non contraignant, mais proposant un référentiel dont le respect vaut pour conformité avec la pratique réglementaire technique française. Voir la note préliminaire commune à toutes les règles fondamentales de sûreté, dans *Sûreté des installations nucléaires en France : législation et réglementation*, Direction de la sûreté des installations nucléaires, Journal officiel de la République française, 1995 (3^e édition).

sique de globe de Strasbourg, du Bureau central international de sismologie et de l'Association internationale de sismologie ainsi que son rôle d'expert international, est incontestablement une personnalité centrale des sciences de la Terre pendant toute sa carrière. En héritant de l'aura, de la place, du savoir et des données de son père, il obtient après la guerre une position favorable et assoit son autorité sur un certain nombre de thématiques. D'abord sur les aspects théoriques et pratiques de la prospection des sous-sols en publiant une œuvre encyclopédique en deux tomes (Rothé & Rothé, 1950, 1952) lui assurant des contrats de prestations auprès du CEA. En tant que directeur du BCIS il répertorie et caractérise tous les séismes importants qui surviennent sur le globe et se retrouve alors en possession de données empiriques utiles à toute la communauté internationale de sismologie. Après les séismes destructeurs de 1954 en Algérie française et de 1960 au Maroc, il contribue à créer le lien unissant le phénomène naturel aux constructions humaines et à la manière de les protéger, et devient ainsi un expert national puis international du risque sismique. Cette présence lui permet de participer aux deux grands programmes scientifiques qui ont été déterminants pour le développement des sciences de la Terre (l'année internationale de géophysique et les essais atomiques) ce qui lui assure, en retour, une position centrale en France et à l'international.

Selon Pestre et Jacq, l'entrepreneur évolue dans un environnement qui se qualifie par le caractère décisif des relations d'homme à homme et par l'aspect épisodique des rapports qu'il entretient avec les services de l'État et l'industrie. Pour ce qui est de l'importance de la relation d'homme à homme, la relation qu'entretenait Rothé avec Rocard et l'exemple de l'essai atomique de Béryl confirment cet aspect. Rothé fut en contact à plusieurs reprises avec les organismes du nucléaire, le plus souvent en tant que consultant et sur des questions variées (la prospection uranifère, le réseau de détection des essais atomiques, le choix des sites et la détermination de l'aléa sismique dans toutes ses composantes). Ces contacts sont sporadiques, contextuels et jamais intégrés à des programmes d'ensemble ou de long terme, ce qui confirme le deuxième aspect. Par contre, la situation semble évoluer à partir de la fin des années 1960. La réduction des financements délivrés par le CNRS ainsi que l'accélération du programme nucléaire français poussent Rothé à délaisser la science fondamentale pour se consacrer à la science appliquée et à l'expertise du risque sismique.

La contribution de Rothé, dans les années 1950 et au début des années 1960, au développement du nucléaire militaire français ne paraît pas très significative. Ces prestations de prospection uranifère dans les Vosges ne sont qu'une étude parmi beaucoup d'autres et d'ailleurs aucun gisement ne sera jamais exploité dans cette région. Sa participation aux essais ato-

miques français fait surtout écho à la situation américaine où des sismologues sont intégrés dans le développement d'un réseau de détection des essais nucléaires. En revanche, à partir du projet de construction de la centrale de Fessenheim non loin de Strasbourg, Rothé apporte un avis d'expert sur tous les aspects concernant la résistance de la centrale à d'éventuelles secousses sismiques. Par la suite, il joue un rôle déterminant dans la réalisation du programme électronucléaire en participant au choix des sites, en caractérisant le phénomène sismique associé et donc, concomitamment, conditionne une partie de la résistance des installations à son expertise. Enfin, il marque de son empreinte la démarche générale d'évaluation du risque sismique en militant pour l'adoption d'une approche déterministe, fondée sur la détermination du séisme maximum historique susceptible de survenir dans la région, et en se positionnant comme seul détenteur de la donnée de base. Pour toutes ces raisons, Rothé a joué un rôle manifeste dans le développement du nucléaire civil en France et plus précisément dans la construction et la localisation des installations électronucléaires, dont certaines sont encore en service aujourd'hui.

Quelles spécificités apparaissent à travers ce cas d'étude ? Un des aspects manquants dans l'histoire de Jean-Pierre Rothé et des sciences de la Terre est qu'à la différence d'un Louis Néel ou d'un Charles Sadron, l'aspect gestionnaire d'institut de l'entrepreneur scientifique manque au tableau. En effet, Rothé n'a pas agi de manière à favoriser la croissance de son institut ; il ne cherche en effet ni à augmenter ses effectifs ni même à obtenir de nouveaux instruments plus puissants. Cette particularité s'explique sans doute par le statut de la science à son époque. À la différence des sciences physiques qui évoluent dans un espace concurrentiel où des agents s'affrontent pour la domination, les sciences de la Terre, encore embryonnaires à cette époque, ont tendance à mettre en commun leurs forces à l'échelle internationale. D'autre part, si la tenue d'entrepreneur scientifique semble bien aller à Rothé dans les années 1950, elle paraît ne plus convenir pour décrire la période après la seconde moitié des années 1960. De manière grossière, la fin des trente glorieuses, accompagnée de son lot de restrictions budgétaires et de changements institutionnels et structurels, fait passer la France dans un nouveau mode de fonctionnement dans lequel l'entrepreneur scientifique n'a plus vraiment sa place. La reconstruction est achevée, la France a rattrapé son retard technologique, le milieu scientifique s'est spécialisé et organisé. Dans ce nouveau contexte, il semble que le modèle des « grands patrons » comme Rocard, Néel ou Rothé, qui tiennent à bout de bras une partie du développement technologique et scientifique du pays en se situant au-dessus des clivages institutionnels, disciplinaires et politiques ne soit plus valable.

Références

- ANDUAGA Aitor (2015), *Geophysics, Realism, and Industry: How Commercial Interests Shaped Geophysical Conceptions, 1900-1960*, Oxford, Oxford University Press.
- BARTH Kai-Henrik (2003), « The Politics of Seismology: Nuclear Testing, Arms Control, and the Transformation of a Discipline », *Social Studies of Science*, vol. 33, n° 5, p. 743-781.
- BATES Charles C., GASKELL Thomas F. & RICE Robert B. (1982), *Geophysics in the Affairs of Man: A Personalized History of Exploration Geophysics and Its Allied Sciences of Seismology and Oceanography*, New York, Elsevier Science.
- BEHRMAN Daniel & UNESCO (1979), *Science, technique et développement : la démarche de l'Unesco*, Paris, Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture.
- BILLAUD Pierre (2016), *La grande aventure du nucléaire militaire français : des acteurs témoins*, Paris, L'Harmattan.
- BIOUM IHANA Angèle (1998), *L'Unesco et la protection internationale de l'environnement : contribution à l'étude de la formation et de l'évolution du droit international de l'environnement*, Thèse de doctorat en droit public, Université de Paris 1, En ligne <http://www.theses.fr/1998PA010322>
- BLANC Jacques (2008, août), « Les mines d'uranium et leurs mineurs français : une belle aventure », *Annales des Mines - Réalités industrielles*, n° 2008/3, p. 35-43, doi : 10.3917/rindu.083.0035
- BOSSUAT Gérard (1986), « L'aide américaine à la France après la Seconde Guerre mondiale », *Vingtième Siècle. Revue d'histoire*, n° 9, p. 17-36.
- BOSTRÖM Ann Kristin, FRENCH Steven P. & GOTTLIEB Sara J. (2008), *Risk Assessment, Modeling and Decision Support: Strategic Directions*, Berlin/Heidelberg, Springer.
- BUEDELER Werner (1957), *L'année Géophysique Internationale*, Paris, Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture.
- CARPENTIER Jean (2011), *Cent vingt ans d'innovations en aéronautique*, Paris, Hermann.
- COULOMB J. (1956), « L'Année géophysique internationale (1957-1958) », *L'Astronomie*, vol. 70, p. 1-21.
- CRAIG John E. (1984), *Scholarship and Nation Building: The Universities of Strasbourg and Alsatian Society, 1870-1939*, Chicago, University of Chicago Press.
- DAHAN Amy & PESTRE Dominique (2004), *Les sciences pour la guerre : 1940-1960*, Paris, Éditions de l'École des Hautes Études en Sciences Sociales.

- DENNIS Michael A. (2003), « Earthly Matters: On the Cold War and the Earth Sciences », *Social Studies of Science*, vol. 33, n° 5, p. 809-819.
- DI MANNO Sylvain (2015), « “Hier sur tous les fronts... Demain sur tous les mondes”. Mobilisation météorologique et reconfigurations disciplinaires, militaires et aéronautiques durant la Première Guerre mondiale », *Cahiers d'histoire. Revue d'histoire critique*, n° 127, p. 117-133.
- DOEL Ronald E. (2003), « Constituting the Postwar Earth Sciences: The Military's Influence on the Environmental Sciences in the USA after 1945 », *Social Studies of Science*, vol. 33, n° 5, p. 635-666.
- EDGERTON David (2015), « L'État entrepreneur de science », dans Dominique PESTRE & Christophe BONNEUIL (éds.), *Histoire des sciences et des savoirs, Tome 3. Le siècle des technosciences*, Paris, Seuil, p. 67-83.
- ENGDAHL E. Robert (1972), « Seismic effects of the MILROW and CANNIKIN nuclear explosions », *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 62, n° 6, p. 1411-1423.
- FOASSO Cyrille (2003), *Histoire de la sûreté de l'énergie nucléaire civile en France (1945-2000) : technique d'ingénieur, processus d'expertise, question de société*, Thèse de doctorat en histoire, Université de Lyon 2.
- FORMAN Paul (1987), « Behind Quantum Electronics: National Security as Basis for Physical Research in the United States, 1940-1960 », *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, vol. 18, n° 1, p. 149-229, doi : 10.2307/27757599
- GALISON Peter & HEVLY Bruce W. (1992), *Big Science: The Growth of Large-scale Research*, Stanford, Stanford University Press.
- GOLDSCHMIDT Bertrand (1962), *L'aventure atomique : ses aspects politiques et techniques*, Paris, Fayard.
- GOLDSCHMIDT Bertrand (1967), *Les rivalités atomiques : 1939-1966*, Paris, Fayard.
- GOLDSCHMIDT Bertrand (1980), *Le complexe atomique. Histoire politique de l'énergie nucléaire*, Paris, Fayard.
- GUTENBERG Beno & RICHTER Charles Francis (1949), *Seismicity of Earth and associated phenomena*, Princeton, Princeton University Press.
- HECHT Gabrielle (2009), *The Radiance of France: Nuclear Power and National Identity after World War II*, Cambridge (MA), MIT Press.
- JACOBSON Harold Karan & STEIN Eric (1966), *Diplomats, Scientists, and Politicians: The United States and the Nuclear Test Ban Negotiations* (Law School History and Publications ed.), Ann Arbor, University of Michigan Press.
- JACQ François (2002), « Aux sources de la politique de la science : mythe ou réalités ? (1945-1970) », *La revue pour l'histoire du CNRS*, n° 6, En ligne <https://journals.openedition.org/histoire-cnrs/3611>

- JACQ François (2005), « Le laboratoire au cœur de la reconstruction des sciences en France 1945-1965 », *Les Cahiers du Centre de Recherches Historiques*, n° 36, En ligne <http://journals.openedition.org/ccrh/3043>
- LAMBERT Jérôme, LEVRET-ALBARET Agnès, CUSHING Marc & DUROUCHOUX Christophe (1996), *Mille ans de séismes en France : catalogue d'épicentres paramètres et références*, Nantes, Ouest éditions.
- LAMIRAL Georges (1988a), *Chronique de trente années d'équipement nucléaire à Électricité de France*, Volume 1, Paris, Association pour l'histoire de l'électricité en France.
- LAMIRAL Georges (1988b), *Chronique de trente années d'équipement nucléaire à Électricité de France*, Volume 2, Paris, Association pour l'histoire de l'électricité en France.
- LECLERCQ Jacques (1988), *L'ère nucléaire*, Vanves, Éditions du Chêne.
- MARNOT Bruno (2010), « Le budget du CNRS de 1969 à 2000 », *La revue pour l'histoire du CNRS*, n° 26, En ligne <http://journals.openedition.org/histoire-cnrs/9273>
- MAUREL Chloé (2006), *L'Unesco de 1945 à 1974*, Thèse de doctorat en histoire, Université de Paris 1, En ligne <http://www.theses.fr/2006PA010668>
- MEEHAN Richard L. (1984), *The Atom and the Fault: Experts, Earthquakes, and Nuclear Power*, Cambridge (MA), MIT Press.
- OKRENT David (1981), *Nuclear Reactor Safety: On the History of Regulatory Process*, Madison, University of Wisconsin Press.
- OLIVIER-UTARD Françoise (2003), « La dynamique d'un double héritage. Les relations université-entreprise à Strasbourg », *Actes de la Recherche en Sciences Sociales*, n° 148, p. 21-33.
- PAUCARD Antoine (1992), *La mine et les mineurs de l'uranium français, Tome 1. Les temps légendaires (1946-1950)*, Brive, Éditions Thierry Parquet.
- PAUCARD Antoine (1994), *La mine et les mineurs de l'uranium français, Tome 2. Les temps des conquêtes (1951-1958)*, Brive, Éditions Thierry Parquet.
- PAUCARD Antoine (1996), *La mine et les mineurs de l'uranium français, Tome 3. Les temps des grandes aventures (1959-1973)*, Brive, Éditions Thierry Parquet.
- PESTRE Dominique (1989), *Louis Néel, le magnétisme et Grenoble : récit de la création d'un empire physicien dans la province française : 1940-1965*, Paris, Centre National de la Recherche Scientifique.
- PESTRE Dominique (1994), « Le renouveau de la recherche à l'École Polytechnique et le laboratoire de Louis Leprince-Ringuet, 1936-1965 », dans Bruno BELHOSTE, Amy DAHAN & Antoine PICON (éds.), *La formation polytechnicienne. Deux siècles d'histoire, 1794-1994*, Paris, Dunod, p. 333-356.

- PESTRE Dominique (1996), « Studies the ionosphère and forecasts for radiocommunications. Physicists and engineers, the military and national laboratories in France (and Germany) after 1945 », *History and Technology*, vol. 13, p. 1-23.
- PESTRE Dominique (2004), « Sciences physiques et recherche industrielle et militaire en France : un changement historique de régime », dans Amy DAHAN & Dominique PESTRE (éds.), *Les sciences pour la guerre, 1940-1960*, Paris, EHESS, p. 317-341.
- PESTRE Dominique & JACQ François (1996), « Une recomposition de la recherche académique et industrielle en France dans l'après-guerre, 1945-1970 : nouvelles pratiques, formes d'organisation et conceptions politiques », *Sociologie du travail*, vol. 38, n° 3, p. 263-277.
- PICARD Jean-François, BELTRAN Alain & BUNGENER Martine (1985), *Histoires de l'EDF. : comment se sont prises les décisions de 1946 à nos jours ?*, Paris, Dunod.
- PICARD Jean-François & PRADOURA Élisabeth (1988), « La longue marche vers le CNRS (1901-1945) », *Cahiers pour l'histoire du CNRS*, n° 1, En ligne <http://www.histcnrs.fr/pdf/cahiers-cnrs/picard-pradoura-88.pdf>
- PRINGLE Peter & SPIGLEMEN James (1982), *Les barons de l'atome*, Paris, Éditions du Seuil.
- QUENET Grégory (2005), *Les tremblements de terre aux XVII^e et XVIII^e siècles : la naissance d'un risque*, Seyssel, Champ Vallon.
- ROCARD Yves (1988), *Mémoires sans concessions*, Paris, Grasset.
- ROTHÉ Edmond (1926), « Observations séismologiques en France. Guide pour l'observation des tremblements de terre », *Comptes rendus du Congrès des sociétés savantes*, Paris, Imprimerie Nationale, p. 115-125.
- (1927), « Sur la publication d'une histoire des tremblements de terre en France et la collaboration des sociétés savantes », *Comptes rendus du Congrès des sociétés savantes*, Paris, Imprimerie Nationale, p. 136-138.
- (1930), *Les Méthodes de prospection du sous-sol*, Paris, Gauthier-Villars.
- (1936), « La commission française d'étude des calamités », *Revue Scientifique. Revue rose illustrée*, vol. 74, n° 10, p. 289-294.
- (1942), *Les Tremblements de terre, leurs causes, leurs effets*, Paris, Flammarion.
- (1943), *Questions actuelles de géophysique*, Paris, Gauthier-Villars.
- ROTHÉ Edmond & GODRON Henri (1929), « Alexis Perrey, professeur à la Faculté des sciences de Dijon, sismologue français, 1807-1882 », *Mémoires de l'Académie des sciences, arts et belles-lettres de Dijon*, Dijon, Imprimerie Bernigaud et Privat.
- ROTHÉ Edmond & GUTTON Camille (1910), « Sur la radioactivité de l'eau du parc Sainte-Marie », *Bulletin des séances de la Société des sciences de Nancy*, sér. 3, t. 10, p. 221-224.

- ROTHÉ Edmond & HÉE Arlette (1935), « Sur la prospection radiométrique d'une coulée de rhyolite », *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, t. 201, p. 892-893.
- ROTHÉ Edmond & HÉE Arlette (1939), « Études géoradiologiques sur les roches d'Alsace et des Vosges », *Annales de l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg*, t. 1, 3^e partie : Géophysique (Nouvelle Série), p. 1-24.
- ROTHÉ Edmond & ROTHÉ Jean-Pierre (1950), *Prospection géophysique*, Paris, Gauthier-Villars.
- ROTHÉ Edmond & ROTHÉ Jean-Pierre (1952), *Prospection géophysique*, Paris, Gauthier-Villars.
- ROTHÉ Jean-Pierre (1937), *Contribution à l'étude des anomalies du champ magnétique terrestre*, Thèse en sciences physiques, Faculté des Sciences de Paris.
- (1955), « Le tremblement de terre d'Orléansville et la sismicité de l'Algérie », *La Nature*, n° 3237, p. 1-9.
- (1957), *La radioactivité des Vosges hercyniennes. Rapport CEA n°707*, Paris, Commissariat à l'énergie atomique.
- (1959), « La séismicité de l'Antarctique », *Annals of the International Geophysical Year, Volume XXX. Seismologie*, Oxford, Pergamon Press, p. 9-30.
- (1962), « Le séisme d'Agadir et la sismicité du Maroc », *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, n° 154, p. 7-29.
- (1963), « Le risque séismique et la recherche d'une protection contre les séismes », *La Nature*, n° 3341 et n° 3342, p. 353-362 et p. 423-424.
- (1965), *Seismicity maps of France*, Paper presented at the Proceedings of the Third World Conference on Earthquake Engineering, New Zealand.
- (1969), *La séismicité du Globe de 1953 à 1965*, Paris, UNESCO.
- (1972), *Séismes et volcans*, Paris, Presses Universitaires de France (6^e édition).
- (1977), *Séismes et volcans*, Paris, Presses Universitaires de France (7^e édition).
- (1984), *Séismes et volcans*, Paris, Presses Universitaires de France (8^e édition).
- ROTHÉ Jean-Pierre (cartographe)
- (1960a), *Carte radiogéologique [de Munster]*.
- (1960b), *Carte radiogéologique des Vosges hercyniennes feuille de Munster à 1/50.000*, Strasbourg, Imprimerie de l'Université.
- (1961), *Carte radio-géologique [de Gérardmer]*.

- ROTHÉ Jean-Pierre & PETERSCHMITT Élie (1950), « Quelques mesures radiogéologiques dans les Vosges hercyniennes : comparaison des appareils Kolhörster, gammaphone et gammamètre », *Annales de l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg*, t. 6, 3^e partie : Géophysique (Nouvelle série), p. 77-90.
- ROTHÉ Jean-Pierre & PETERSCHMITT Élie (1952), « La radioactivité des Vosges hercyniennes », *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, t. 234, p. 1610-1612.
- SCHLICH Roland & HOANG TRONG Pho (s.d.), « Rothé Jean-Pierre (1906-1991) », *Encyclopædia Universalis*, En ligne <https://www.universalis.fr/encyclopedie/jean-pierre-rothe/>, consulté le 17 octobre 2017.
- SCHEINMAN Lawrence (1965), *Atomic Energy Policy in France Under the Fourth Republic*, Princeton, Princeton University Press.
- VOGT Jean (2003), « Bref historique des enquêtes macrosismiques en France, dans leur contexte, avec quelques exemples de pays voisins », *Travaux du Comité français d'histoire de la géologie*, sér. 3, t. 17, p. 175-192.