



HAL
open science

Éliminer et confiner pour gérer. Le sous-sol dans l'expertise internationale sur la gestion des déchets nucléaires

Tania Navarro Rodriguez

► To cite this version:

Tania Navarro Rodriguez. Éliminer et confiner pour gérer. Le sous-sol dans l'expertise internationale sur la gestion des déchets nucléaires. *Revue d'Anthropologie des Connaissances*, 2020, 14 (4), 10.4000/rac.14537 . hal-03480087

HAL Id: hal-03480087

<https://cnrs.hal.science/hal-03480087>

Submitted on 21 Jan 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.



Revue d'anthropologie des connaissances

14-4 | 2020

Les sols, nouvelle frontière pour les savoirs et les politiques de l'environnement

Éliminer et confiner pour gérer

Le sous-sol dans l'expertise internationale sur la gestion des déchets nucléaires

Eliminate and confine to manage. The underground in international expertise on nuclear waste management

Eliminar y confinar para gestionar. El subsuelo en la experticia internacional sobre la gestión de los desechos nucleares

Tania Navarro Rodríguez



Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/rac/14537>

DOI : 10.4000/rac.14537

ISSN : 1760-5393

Éditeur

Société d'Anthropologie des Connaissances

Ce document vous est offert par Centre national de la recherche scientifique (CNRS)



Référence électronique

Tania Navarro Rodríguez, « Éliminer et confiner pour gérer », *Revue d'anthropologie des connaissances* [En ligne], 14-4 | 2020, mis en ligne le 01 décembre 2020, consulté le 21 janvier 2022. URL : <http://journals.openedition.org/rac/14537> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/rac.14537>

Ce document a été généré automatiquement le 21 janvier 2022.



Les contenus de la *Revue d'anthropologie des connaissances* sont mis à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

Éliminer et confiner pour gérer

Le sous-sol dans l'expertise internationale sur la gestion des déchets nucléaires

Eliminate and confine to manage. The underground in international expertise on nuclear waste management

Eliminar y confinar para gestionar. El subsuelo en la experticia internacional sobre la gestión de los desechos nucleares

Tania Navarro Rodríguez

Introduction

- 1 Cet article est consacré aux formes de mobilisation du sous-sol en tant que réponse technique et politique au problème des déchets nucléaires. Après la Seconde Guerre mondiale, le développement du nucléaire entraîne la production d'une masse croissante de déchets dangereux, dont certains continueront à être radioactifs pendant des milliers d'années. Depuis les années 1970, en raison des critiques dont elle est l'objet, la gestion de ces matières est devenue une question cruciale et prioritaire pour les pays nucléarisés (États-Unis, Royaume-Uni, Suède, France, etc.), tout comme pour les experts internationaux d'agences telles que l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) de l'OCDE et l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) de l'ONU. Historiquement, la première solution mise en œuvre pour gérer les déchets nucléaires consistait à les rejeter dans l'environnement immédiat des installations où ils étaient produits (entreposés à l'air ou rejetés dans une rivière, un lac, ou la mer) (Odum, 1971). Dans les premiers pays nucléarisés comme les États-Unis et le Royaume-Uni, c'est surtout le rejet dans la mer qui a été privilégié (Ringius, 2000 ; Hamblin, 2008). Ainsi, entre 1946 et 1970, ces deux pays ont rejeté à eux seuls 72 664 tonnes de déchets à faible niveau de radioactivité dans l'océan Pacifique et l'océan Atlantique. Ce choix de rejet en mer donna lieu à de nombreuses mobilisations publiques menées par plusieurs figures scientifiques dont certaines, comme le commandant Cousteau, ont été médiatisées. Notre enquête sur l'expertise internationale sur la gestion des déchets nucléaires

montre que les multiples réactions publiques envers cette pratique ont amené les experts nucléaires et les décideurs politiques à élargir le champ des possibles, en explorant davantage de solutions impliquant d'autres environnements (Navarro Rodríguez, à paraître). Les deux voies envisagées consistent alors soit à entreposer les déchets sur le sol soit à les enfouir en sous-sol, en fonction notamment de leur niveau de radioactivité. En ce qui concerne les déchets les plus dangereux, c'est « l'élimination », à savoir leur enfouissement¹ dans des couches géologiques profondes qui a progressivement fait l'unanimité parmi les experts internationaux. Ainsi, des pays tels que les États-Unis, la Suède et la France se sont engagés dans des projets de construction de centres d'enfouissement géologique à partir des années 1980. Aujourd'hui, une quarantaine d'années plus tard, ces projets ont donné lieu à un nombre important de travaux d'expertise ainsi qu'à plusieurs expérimentations dans des laboratoires souterrains dédiés à ces projets. Pourtant, aucun de ces projets n'a été mené à bien à ce jour, et ces déchets dangereux continuent encore à faire l'objet de vives contestations et oppositions (Barthe, Elam & Sundqvist, 2019).

- 2 Cet article cherche à étudier la construction de l'idée, au cœur des politiques des déchets nucléaires, selon laquelle le sous-sol constitue une solution pertinente pour résoudre les problèmes engendrés par les déchets nucléaires. Pour cela, l'analyse se focalise sur la manière dont certaines instances internationales et agences d'expertise (Agence pour l'énergie nucléaire, Agence internationale de l'énergie atomique, etc.) s'emparent du problème des déchets nucléaires et de leur enfouissement dans le sous-sol dès la fin des années 1950.
- 3 Les travaux en sciences sociales qui se sont intéressés à l'élaboration des politiques de gestion des déchets nucléaires ont généralement abordé le problème à partir d'une analyse de l'action publique (Barthe, 2003 et 2006 ; Blanck, 2017 ; McFarlane, 2003 ; Parotte, 2018 ; Ringius, 2000 ; Walker, 2009). Ainsi, en France, Yannick Barthe a mis l'accent sur la construction politique du problème des déchets (Barthe, 2003 et 2006), en montrant que sa politisation s'est réalisée dans un va-et-vient entre problématisation politique et technique. Leny Patinaux, quant à lui, a analysé les enjeux relatifs à la mobilisation des travaux scientifiques sur le développement des projets d'enfouissement géologique (Patinaux, 2017 et 2019), en soulevant les contraintes épistémiques se posant pour évaluer et démontrer la sûreté de ce type de projets sur le long terme. D'autres travaux ont porté sur les enjeux de la participation, de la concertation et de l'inclusion de la société civile. S'appuyant sur plusieurs expériences nationales (Belgique, Slovaquie, Suède et Royaume Uni), Anne Bergmans, Göran Sundqvist, Drago Kos et Peter Simmons (2015), ont mis en évidence les difficultés posées par la recherche d'accords entre les différents acteurs, en raison des risques que les solutions de gestion des déchets présentent, sur une très longue durée, pour les populations et pour l'environnement. Ces approches ont apporté des éléments significatifs pour comprendre la gestion du problème des déchets nucléaires. Or, si certains de ces travaux ont engagé une réflexion intéressante sur les solutions techniques envisagées pour gérer ces matières dangereuses, en insistant tout particulièrement sur la problématique des incertitudes techniques et scientifiques engendrées par l'usage du sous-sol (Barthe, 2006 ; Patinaux, 2017 et 2019 ; Petit, 1993 ; Shrader-Frechette, 1993), ils se sont moins intéressés à la manière dont le sous-sol en est venu à être préféré à d'autres environnements (notamment au sol de surface) pour résoudre le problème des déchets nucléaires durant les années 1970. Ainsi, cet article

visé à analyser comment le travail de conceptualisation du sous-sol mené au sein des milieux d'experts internationaux participe de la construction des politiques de gestion des déchets nucléaires basées sur le concept de « multi-barrière ». Ce concept se traduit par l'idée de développer des solutions définitives qui conjuguent à la fois des barrières naturelles (géologiques) et technologiques pour protéger les humains et la biosphère des dangers des déchets.

- 4 Pour étudier la manière dont l'expertise du sous-sol est mobilisée dans l'expertise internationale sur les solutions d'élimination des déchets nucléaires, il importe donc d'interroger la façon dont le sous-sol est conçu et caractérisé dans les politiques de gestion des déchets nucléaires. Pour cela, il est utile de mobiliser des travaux consacrés aux enjeux des usages des sous-sols tels qu'ils ont été travaillés dans un ensemble de travaux en STS. Les travaux qui se revendiquent du champ émergent des « *STS-Underground* » (Abby, Phadke & Smith, 2018) ont ainsi montré que le sous-sol est un espace qui est, depuis longtemps, occupé par les populations, et dont le sens se construit au sein de différentes pratiques sociales impliquant des activités de production et de récréation et divers modes de vie. Toutefois, ces travaux ne s'intéressent pas à la manière dont les acteurs internationaux contribuent à la définition et au cadrage des enjeux concernant les risques associés à l'usage du sous-sol (Boudia & Henry, 2015). Si les sols et les sous-sols sont considérés comme des espaces nationaux et se caractérisent par l'appropriation qui en est faite par une population, comme nous le verrons, l'expertise internationale contribue largement à les définir et à les caractériser à travers un travail d'internationalisation des risques qui découlent de leurs usages potentiels. La caractérisation du sous-sol comme un espace propice pour accueillir les déchets nucléaires se fait ainsi conjointement à celle des sols, des déchets et des dispositifs techniques de confinement.
- 5 Cet article traitera en premier lieu de la préférence donnée progressivement au sol sur la mer pour accueillir les déchets nucléaires dans les années 1960. Ce déplacement s'opère en particulier pour des raisons techniques et économiques, mais aussi parce que l'environnement marin apparaît de moins en moins comme un espace suffisamment confiné. La seconde partie analysera l'importance croissante prise par les barrières technologiques, qui conduit aussi à de nouvelles définitions des déchets et des sols et sous-sols, ainsi qu'à de nouvelles politiques internationales de gestion des déchets. L'article reviendra enfin sur le *Safety Case*, un dispositif de régulation, pour illustrer les dynamiques à l'œuvre visant à démontrer la faisabilité technique et la sûreté d'un centre d'enfouissement géologique, et à accompagner la mise en œuvre des politiques nationales de gestion des déchets au cœur desquelles l'usage du sous-sol est un enjeu central.
- 6 L'analyse tout au long de l'article sera focalisée sur l'étude du comité d'experts spécialisé sur les déchets nucléaires, le Comité pour la gestion des déchets radioactifs (RWMC) de l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN), l'agence internationale au sein de laquelle a été menée la grande majorité des travaux d'expertise dans ce domaine. Fondée le 17 décembre 1957, l'AEN regroupe aujourd'hui 33 pays, comprenant des pays européens et des pays d'Amérique du Nord et de la région Asie-Pacifique. Ses principales missions sont d'appuyer les pays membres dans l'établissement d'une coopération internationale en vue de produire l'expertise scientifique, technique et juridique nécessaire à l'utilisation sûre de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques, ainsi que de réaliser des évaluations qui aident les différents pays à définir leurs politiques

nucléaires. L'analyse s'appuie sur une enquête au croisement de l'histoire des sciences et de la science politique, menée sur trois ans, qui a impliqué la constitution et l'analyse d'un corpus conséquent de documents divers (plusieurs centaines de rapports, documents de travail et publications) produits par l'AEN et par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) depuis les années 1960. Créée le 29 juillet 1957, l'AIEA est quant à elle composée de 152 États membres. Son rôle diffère de celui de l'AEN dans la mesure où elle cherche à s'assurer de l'usage sûr et pacifique des technologies et des sciences liées au nucléaire en élaborant des normes générales de sûreté et des guides de sûreté, dans l'objectif de favoriser l'homogénéisation des approches dans les différents pays. Des informations complémentaires ont aussi été collectées dans le cadre d'une dizaine d'entretiens auprès des experts internationaux ayant participé, ou participant, aux travaux sur les déchets nucléaires dans ces deux organisations².

Mobiliser la mer ou le sol ?

- 7 Les accidents de déchets nucléaires qui ont lieu dans l'ancienne province soviétique de Kasli³ et sur le site nucléaire de Hanford à Washington durant les années 1950, ont montré aux experts, aux gouvernements et aux citoyens, les risques et les conséquences associés à une gestion défailante des déchets nucléaires, aussi bien en termes économiques qu'environnementaux et sociaux. Dans celle qui fut la première installation états-unienne du site nucléaire de Hanford à Washington, plus de 500 000 gallons (1900 m³) de déchets hautement radioactifs s'échappèrent dans le sol, puis dans la rivière de Columbia, avant de parvenir enfin dans l'océan Pacifique (Findlay & Hevly, 2011; Shrader-Frechette, 1993). Les conséquences de ces accidents pour l'environnement et les populations résidant aux alentours demeurent difficilement mesurables, mais surtout, ces accidents mettent en avant que les stratégies et pratiques de gestion de déchets nucléaires apparaissent très limitées, voire inexistantes pendant cette période.
- 8 La première solution adoptée par les pays nucléarisés pour gérer les déchets est de les décharger, sans traitement préalable, dans un environnement proche (rivière, mer, sol) des installations où ils étaient produits, quand ils n'étaient pas simplement laissés à l'air libre. Durant les années 1940 et 1950, ces résidus furent généralement rejetés dans le milieu aquatique. Les États-Unis, l'Union Soviétique et la Grande-Bretagne déchargeaient les effluents de leurs réacteurs nucléaires dans les rivières situées à proximité des installations, ou les rejetaient directement dans l'océan par bateaux. En 1957, l'*United States Atomic Energy Commission* (AEC) estimait que les États-Unis déchargeaient annuellement environ huit millions de gallons de déchets liquides de faible et moyenne activité (Mazuzan & Walker, 1984, p. 347). Étaient également rejetés dans l'océan les déchets solides issus des armes nucléaires, de l'industrie civile et des activités de recherche sur les radio-isotopes provenant de multiples endroits. En l'occurrence, les États-Unis et la Grande-Bretagne plaçaient leurs déchets solides dans des casiers de béton, puis dans des fûts laissés à l'air libre, avant de les rejeter ensuite dans la mer ou de les enfouir au sein des installations où ils étaient produits (Hamblin, 2008). En 1960, l'AEC annonçait que la masse des déchets solides aux États-Unis comptait environ « vingt-trois mille fûts dans les sites de la côte Atlantique, et vingt-quatre mille fûts et casiers de béton dans la côte du Pacifique⁴ » (Mazuzan & Walker, 1984, p. 346).

- 9 Pendant plusieurs années, la pratique du rejet en mer des déchets ne suscita guère d'attention publique. Toutefois les critiques et les oppositions s'intensifièrent dès la fin des années 1950. L'on peut citer la série de contestations, au cours de l'été 1959, contre l'attribution de permis par l'AEC pour continuer à rejeter les déchets à faible activité dans le golfe du Mexique et l'océan Atlantique. Mentionnons en outre le rapport publié le 21 juin 1959 par la *National Academy of Sciences of the United States*, qui contient des arguments sur les effets sanitaires de l'exposition à des bas niveaux de radioactivité. L'un des principaux arguments mobilisés pour contester l'usage de la mer pour résoudre le problème des déchets concernait les risques encourus par les équipages des bateaux rejetant les déchets. En effet, le personnel navigant rejetait bien souvent les fûts de déchets sans porter aucun équipement de protection. Une autre problématique émergeait par ailleurs à propos de l'impact de cette pratique sur la chaîne trophique. La possibilité que la radioactivité puisse circuler via la chaîne trophique remettait en question la viabilité de cette solution. Car si la radioactivité émanant des déchets devait se diluer et se disperser dans les eaux de l'océan, les fûts contenant les déchets pouvaient néanmoins fuiter de manière prématurée et laisser les radionucléides s'échapper et atteindre les eaux profondes. Par conséquent, le risque de concentration de la radioactivité et son transfert vers l'homme par les organismes vivants paraissaient réels (Odum, 1971, p. 459). La radio-écologie prend dès lors une place importante dans les discussions internationales sur l'enfouissement des déchets nucléaires du fait de son apport à la question du mouvement et du transfert de radionucléides, en soulevant les enjeux relatifs à l'irradiation, la radioactivité et les contaminations dues aux retombées radioactives atmosphériques. Ce sous-champ de l'écologie systémique⁵ se nourrit en particulier des travaux de recherche et développement sur les déchets nucléaires réalisés aux États-Unis dans le contexte du nucléaire militaire. Avec le développement de l'industrie nucléaire civile, la déclassification et la diffusion d'informations sur les réacteurs nucléaires et les travaux sur les pollutions générées par l'accident d'Hanford commencent à être rendus publics (Creager, 2015, p. 374). Les scientifiques ayant contribué au développement de la radio-écologie étaient en grande majorité des géologues ou des écologues, pour la plupart rattachés à l'*Oak Ridge National Laboratory*⁶ ou à l'*U.S. Geological Survey*. Leurs appartenances disciplinaires et institutionnelles les amenaient à mettre l'accent, dans leurs travaux, sur les potentialités de l'enfouissement des déchets nucléaires dans le sol.
- 10 Si les réactions publiques mettaient l'accent sur la problématique de la pollution de l'océan et ses effets sur la santé, elles insistaient aussi sur d'autres enjeux. En effet, les critiques et oppositions au rejet des déchets nucléaires dans la mer visaient à mettre en évidence l'absence de seuils de sûreté relatifs à la radioactivité et la nécessité d'identifier ses effets biologiques, mais aussi elles questionnaient la manière dont le problème des déchets nucléaires façonne les relations internationales pendant la guerre froide, ainsi que les rapports entre ce problème et le développement des politiques environnementales (Hamblin, 2008).
- 11 La première proposition internationale de catégorisation des pratiques d'élimination a donc été établie en fonction de leur degré de permanence : temporaire⁷, durable à plus long terme⁸ et permanente⁹. Cette proposition est concomitante à celle relative aux trois solutions de gestion de déchets, encore valable de nos jours : stockage, élimination et rejet en mer. Le stockage fait référence au confinement temporaire des déchets,

après les avoir générés et avant leur élimination définitive. L'élimination quant à elle renvoie à l'idée d'enfouir les déchets dans les sols. Enfin, le rejet en mer implique de rejeter de manière délibérée les déchets dans la mer¹⁰. Basées sur les stratégies de dilution et de dispersion établies en particulier par les spécialistes états-unis de l'AEC, ces solutions se rejoignent car elles font toutes appel à l'environnement naturel (la mer ou le sol) pour isoler la radioactivité de l'homme et du reste de la biosphère.

- 12 S'appuyant sur des disciplines comme l'écologie, la géologie ou encore la physique médicale, les travaux internationaux relatifs aux déchets nucléaires se sont orientés au début des années 1960 vers la diversification des environnements considérés comme potentiellement favorables à l'enfouissement de ces matières dangereuses. Le recours croissant au sol pour résoudre le problème des déchets nucléaires peut être entendu comme une tentative de dépolitiser ce problème en cherchant à séparer sa dimension technique et sa dimension politique. Toutefois, la gestion des déchets nucléaires étant un enjeu de société, ces deux dimensions restent étroitement attachées et leur prise en compte conjointe s'avère nécessaire pour résoudre ce problème. Lors de l'une des premières conférences internationales consacrées à l'enfouissement des déchets nucléaires, E. Struxness, K. Cowser, W. de Laguna, D. Jacobs, R. Morton et T. Tamura de l'*Health Physics Division Oak Ridge National Laboratory* notent qu'il serait plus pertinent de laisser « *la question du rejet en mer et les aspects internationaux relatifs au problème des déchets nucléaires aux autorités compétentes* » (IAEA-UNESCO-FAO, 1960, p. 251).
- 13 L'étude du sol devient alors un enjeu crucial pour résoudre le problème des déchets nucléaires. Pour certains experts, en particulier ceux de l'*United States Water Resources Division of Geological Survey*, le sol constitue le seul lieu disponible pour pratiquer l'élimination des déchets dans des conditions sûres. Cette perspective amène à considérer la gestion des déchets nucléaires comme un problème relevant essentiellement de la géologie (IAEA-UNESCO-FAO, 1960). Dans cette logique, les débats ont porté sur différents types de sols (sols de surface et sous-sol). En ce qui concerne les déchets hautement radioactifs, dont la persistance pose des problématiques particulières, le sous-sol est identifié comme un environnement de stockage particulièrement favorable. D'autant plus que la géologie, en tant que science historique et prospective, pouvait être une source de « *connaissances pour gérer les problèmes des déchets, mais aussi [que] certaines de ces connaissances pourraient être utilisées pour résoudre des problèmes en lien avec l'eau* » (IAEA-UNESCO-FAO, 1960, p. 464).
- 14 La mobilisation des sols pour résoudre ce problème devient un choix d'autant plus intéressant qu'il conforte la décision prise alors par les institutions nucléaires de mettre en œuvre une élimination *temporaire*, en attendant de développer des solutions définitives. En effet, il paraît plus simple de récupérer des déchets stockés dans le sol plutôt que dispersés dans la mer. Un tel choix présentait par ailleurs des avantages d'un point de vue économique, puisque les coûts liés à l'enfouissement dans le sol des déchets apparaissent relativement bas par rapport à ceux générés par le rejet en mer (Ringius, 2000). Or l'enfouissement dans le sol n'est pas sans risques : si les déchets pouvaient être enfouis en utilisant des réservoirs métalliques élaborés avec la technologie de l'époque, l'apparition de fuites et les risques en découlant ne pouvaient pas pour autant être écartés. Et ce, même si l'enfouissement avait lieu dans des conditions géologiques et hydrologiques idéales. Des risques importants pouvaient se présenter lors du transport des réservoirs, notamment dans le cas où les installations dans lesquelles les déchets étaient enfouis arrivaient à saturation et l'ouverture de

nouvelles routes s'avérait nécessaire – situation qui devenait de plus en plus probable. En outre, la nécessité de transporter les déchets à l'état liquide vers d'autres installations augmentait les risques de rupture des réservoirs, sans compter la question de leur maintenance dans de bonnes conditions d'enfouissement durant des centaines d'années, voire des milliers dans le cas des déchets à haute activité. L'expérience de l'accident de Hanford constitue à ce titre un point de départ pour interroger les pratiques de gestion des déchets nucléaires en considérant le temps pendant lequel les déchets resteront dangereux.

- 15 Le regard porté à l'époque par les experts internationaux sur les sols pour résoudre le problème des déchets nucléaires montre qu'avant de prendre une décision sur la solution d'enfouissement la plus pertinente selon le type de déchet, il était devenu nécessaire de réaliser une évaluation qui tient compte également d'autres facteurs dont la future localisation des installations nucléaires, les règles établissant leur mode de fonctionnement et la manière de les appliquer. Il ressort ainsi une coproduction entre le travail des experts pour établir une classification des déchets nucléaires et le travail de définition des solutions envisagées pour leur gestion. C'est donc au cours de ce travail et de celui concernant la définition des environnements favorables pour les contenir que se construisent les politiques de gestion des déchets nucléaires. Au cœur de ces politiques, les sols comme la mer sont conçus comme des barrières de protection pour les humains et la biosphère vis-à-vis des dangers et des risques des déchets – et cela malgré les multiples réactions publiques à l'encontre de l'usage de l'environnement naturel (la mer ou le sol) pour assurer la sûreté des déchets radioactifs.

Quand la technologie ne suffit plus

- 16 Au cours des années 1970, mobiliser la mer ou les sols pour gérer le problème des déchets nucléaires apparaît en effet comme un choix de plus en plus questionné publiquement. Plus généralement, les débats portent sur les risques liés à l'augmentation de la masse de ces matériaux dangereux, au degré de développement des pratiques existantes pour leur gestion et à l'absence d'une stratégie globale dédiée à celle-ci (Shrader-Frechette, 1993). Dès 1956, la *National Academy of Sciences* avait noté que les États-Unis pourraient produire d'ici l'année 2000 près de « 2,4 milliards de gallons de déchets liquides hautement radioactifs » dont une partie importante proviendrait des réacteurs nucléaires (Mazuzan & Walker, 1984, p. 348). Lors de sa présentation en 1963 dans une conférence de l'AIEA et consacrée aux programmes en cours de traitement et d'élimination des déchets à haute activité aux États Unis, W. Belter de l'AEC estimait que ce pays pourrait produire « environ 36 millions de gallons [de ces résidus] en 1980 et 300 millions de gallons pour l'année 2000 » (IAEA, 1963, p. 5). Ces estimations soulignent la corrélation existant entre l'accélération du développement de l'industrie nucléaire et la production de ces matières dangereuses.
- 17 Les discussions internationales confèrent progressivement une place croissante à l'idée de mettre en œuvre un programme de gestion des déchets qui adopte une vision globale du problème. Or, la confiance que les experts ont dans la technologie pour résoudre ce problème est remise en question par les mouvements internationaux de défense de l'environnement et par ceux qui s'opposent au développement de nouveaux réacteurs nucléaires (Jasper, 1990 ; Milder, 2017). Dans ce contexte, les experts et les

décideurs politiques reconnaissent l'importance de ne pas limiter les enjeux aux savoirs issus des disciplines scientifiques fondamentales et de prendre en compte la dimension sociale des solutions d'élimination en y intégrant les enjeux politiques, éthiques et de relations publiques.

- 18 Le premier pas vers la mise en œuvre d'un programme international de gestion des déchets nucléaires a tout d'abord consisté à identifier le type d'objet que l'on cherchait à gérer (Diaz-Maurin & Ewing, 2018). Cette nouvelle entreprise de catégorisation s'ajoute à celle à l'œuvre concernant les pratiques d'élimination des déchets et le type de solutions envisagées pour leur gestion. Ici aussi, les déchets sont d'emblée catégorisés selon leur niveau de radioactivité.
- 19 En ce qui concerne la gestion des déchets de faible radioactivité, les experts internationaux ont adopté par consensus une posture conservatrice et pragmatique, dans la mesure où les médecins physiciens, les spécialistes en écologie et les spécialistes en sciences de la terre n'étaient pas en mesure de garantir que la radioactivité émanant de ces déchets ne posait pas d'enjeux de sûreté (IAEA-UNESCO-FAO, 1960, p. 483). Deux orientations ont été alors étudiées pour leur enfouissement dans les sols (sols de surface et sous-sol). D'une part, les experts travaillent pour développer des méthodes pour traiter les déchets à l'état liquide et gazeux. Ce choix est motivé par le besoin de réduire leur volume pour faciliter leur gestion. D'autre part, ils cherchent à approfondir les connaissances sur le mouvement et le transfert des radionucléides dans l'environnement. Comme cela a été mentionné plus haut, les écologues, les géologues et les médecins physiciens ont joué un rôle central dans le développement de solutions de gestion des déchets et dans la prise en charge de ce problème par les autorités. Pendant les années 1960 et 1970, ces disciplines restent fortement représentées, en particulier parmi les experts états-unis, au sein des conférences internationales sur la gestion des déchets nucléaires organisées par l'AEN et l'AIEA, ainsi que lors des conférences dédiées à l'utilisation pacifique de l'énergie atomique.
- 20 L'enfouissement des déchets à haute activité attire l'attention des experts en raison des échelles de temps durant lesquelles ceux-ci demeurent dangereux. La stratégie envisagée pour leur prise en charge consiste à les confiner de manière temporaire dans des réservoirs en surface, avant de les stocker ensuite dans le sous-sol, en attendant le développement d'une solution définitive d'élimination. Pour autant, cette manière de procéder suscite rapidement des questionnements. Les risques et les dangers qu'elle présuppose renforcent ainsi le débat déjà vif sur la capacité des barrières technologiques à contenir la radioactivité et à protéger les humains et la biosphère de ses effets toxiques. Dans un contexte social où s'exprime une préoccupation de plus en plus forte pour la préservation de la nature, le fait que les déchets ne portent pas atteinte à la sûreté des systèmes naturels (la mer, le sol, etc.), devient un enjeu crucial. Cet élément ne peut être ignoré lorsqu'il s'agit de mettre en œuvre des solutions techniques impliquant de mobiliser la nature et nécessitant l'acceptation sociale des projets par la population pour leur réalisation.
- 21 Les efforts réalisés à l'échelle internationale se tournent alors vers le développement de processus technologiques pour traiter les déchets hautement radioactifs avant leur enfouissement définitif. Il est dès lors envisagé de concentrer les déchets liquides dans un volume minimum (Diaz-Maurin & Ewing, 2018). Ce processus est considéré comme le point de départ pour la gestion des déchets. D'autres travaux sont réalisés sur la solidification des déchets liquides. L'augmentation du volume des déchets à haute

activité amène à les transporter en dehors des sites où ils étaient produits. La transformation des déchets liquides à l'état solide est donc réalisée dans l'optique de réduire les risques liés au transport, mais aussi pour faciliter leur confinement en surface et dans le sous-sol. La première technique de solidification industrialisée est développée dès 1969 en France, pays pionnier dans ce domaine avec l'installation pilote de Marcoule (Diaz-Maurin & Ewing, 2018). Pour enfouir les déchets en sous-sol, il devient indispensable de les transformer, en diminuant leur volume et en les mettant à l'état solide, mais l'évaluation des installations favorables à leur enfouissement géologique se pose comme un préalable à la prise de décision. Plusieurs conditions sont ainsi établies par les experts de l'AEN et l'AIEA pour évaluer les installations : les caractéristiques naturelles de l'installation (les conditions climatiques, le type de sol et sa structure géologique, l'hydrologie du sol) doivent être étudiées, et la proximité de l'installation avec les populations doit être évaluée (AIEA, 1965). Les experts notent également qu'il importe de prendre en considération :

(1) la viabilité économique du traitement des combustibles ; (2) le coût du transport des déchets du site de traitement vers le centre de stockage ; (3) la possibilité à l'avenir d'extraire de l'eau, du combustible, du gaz, de la saumure ou d'autres ressources naturelles ; (4) la 'vraie imperméabilité' des couches entourant la formation au-dessus et en dessous ; et (5) qu'aucune disposition hydrologique actuelle, même celles causées par injection, ne permettra aux déchets toxiques d'atteindre l'environnement humain. Dans ce contexte, 'vraiment imperméable' renvoie à l'idée d'un niveau suffisamment bas de perméabilité pour confiner les déchets durant au moins plusieurs siècles (AIEA-UNESCO-FAO, 1960, p. 468).

- 22 Enfin, des améliorations ont été apportées aux solutions de gestion existantes. Certains réservoirs avaient été construits pour être enfouis à seulement quelques mètres sous terre et il semblait ainsi important de les améliorer, notamment après l'accident de Hanford. Les nouveaux réservoirs sont donc élaborés en prenant en considération les variations dans leur volume et leur composition, les conditions environnementales des installations au sein desquelles ils vont être enfouis, ainsi que les facteurs d'ingénierie jugés pertinents (IAEA, 1963, p. 23).
- 23 Si les programmes d'amélioration des barrières technologiques relèvent avant tout d'un souci de compléter les barrières géologiques, ils répondent également à un raisonnement économique. En effet, en comparaison avec le rejet de déchets liquides en mer, l'enfouissement de déchets solides dans les sols permet de réduire des coûts de *monitoring* et de transport (Mazuzan & Walker, 1984). Toutefois, les coûts de la surveillance, du traitement des déchets et de leur transport, ainsi que ceux relatifs au remplacement des installations ne semblent pas être pris en compte dans les estimations de long terme. Dans le rapport cité précédemment, l'AEC souligne que le coût de gestion des déchets de faible activité, qui n'ont pas besoin d'une protection particulière, est estimé à « 5,15 dollars par fût » (Mazuzan & Walker, 1984, p. 367). Pour certains experts de la *General Electric* et de la *Hanford Atomic Products Operation*, le coût global des installations de stockage des déchets aux États-Unis durant les années 1950 oscille entre « 0,47 dollars et 2,66 dollars par gallon » (IAEA, 1963, p. 23). Ces quelques données montrent que le calcul du coût de gestion des déchets nucléaires demeure un enjeu complexe. Les coûts en lien avec cette pratique semblent être calculés à partir d'estimations du capital futur et des frais d'opération, mais le niveau de détail des informations fournies par les sources mobilisées dans cet article ne permet pas d'établir une analyse plus fine. Toutefois, le coût de la gestion et de la décontamination du site de Hanford peut nous donner une idée du poids économique des installations de

gestion des déchets nucléaires pour les pays nucléarisés : « *cette année, le pays va dépenser environ 2,5 milliards de dollars dans la gestion et la dépollution du site de Hanford* »¹¹. L'on peut également penser aux débats sur le coût réel de Cigéo, projet d'enfouissement géologique en profondeur mis en œuvre en France.

- 24 Ainsi, les retours d'expérience effectués par l'AEN et l'AIEA sur la gestion des déchets nucléaires aux États Unis, au Royaume Uni, en Allemagne, en France et en Inde, montrent en particulier l'émergence de deux approches. La première concerne le traitement des déchets et implique de développer des processus chimiques et techniques pour réduire leur volume et modifier leur état. La seconde consiste à étudier une diversité de type de sols visés pour enfouir et stocker les déchets et leur géologie (sol et sous-sol). Ces deux approches sont reconnues comme interdépendantes. La complémentarité entre les barrières naturelles et technologiques pour gérer le problème des déchets nucléaires est ainsi déterminée par le type de déchet et la pertinence des barrières technologiques selon les différentes catégories de déchets, de même que par la profondeur qui serait la plus appropriée pour leur enfouissement. La perspective de long terme pour les solutions d'enfouissement dans le sous-sol est confirmée par l'adoption de politiques de gestion qui visent à développer des solutions « permanentes » conjuguant à la fois des barrières naturelles (notamment géologiques) et technologiques. Ces politiques ont notamment débouché sur les projets d'enfouissement géologique en profondeur menés actuellement en Suède, en Finlande et en France, ou encore celui arrêté définitivement en 2011 aux États Unis par le gouvernement Obama.

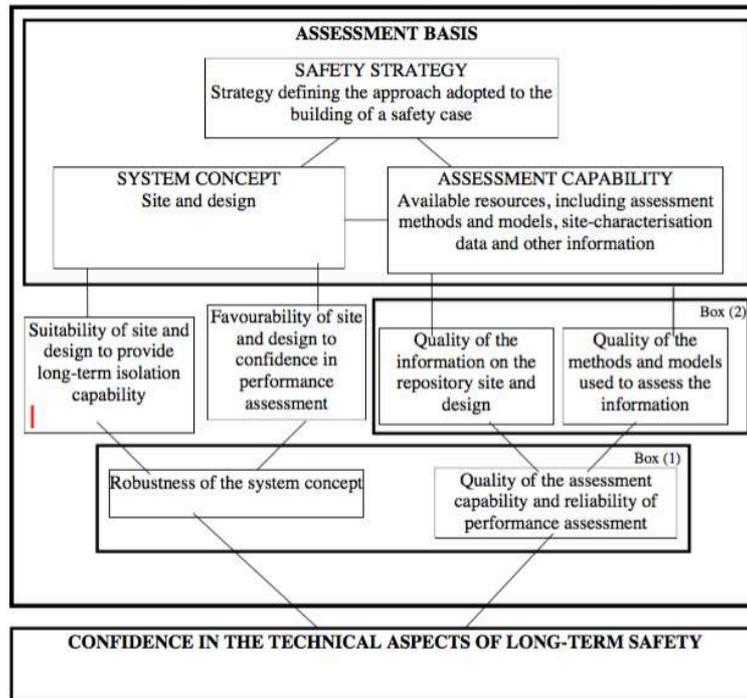
Le *safety case* : le sous-sol comme solution, sous conditions

- 25 Le regard porté sur l'ensemble des opérations mises en œuvre au niveau international pour résoudre le problème des déchets nucléaires a permis de montrer comment l'option du confinement dans le sous-sol des déchets hautement radioactifs s'impose peu à peu comme une solution définitive de stockage. Cette approche questionne aussi la manière dont la technologie vient investir progressivement cet espace. Comme cela s'est passé en ce qui concerne la surface, le sous-sol fut et continue à être l'objet d'innovations technologiques en vue de le rendre « utilisable » dans les conditions les plus sûres possibles pour protéger l'homme et la biosphère des effets toxiques de la radioactivité. Cette analyse met en évidence la manière dont le sous-sol est devenu un enjeu central pour la poursuite des solutions envisagées pour gérer les déchets nucléaires, tout comme pour la mise en œuvre des politiques nationales en ce sens.
- 26 Au tournant des années 2000, les experts internationaux portent un regard plus attentif sur les liens entre l'évaluation de la sûreté et la prise de décision concernant le développement des projets d'enfouissement géologique en cours dans différents pays. Si certains projets ont dû être annulés, d'autres ont progressé au point de rendre envisageable le dépôt d'un permis de construction. Le problème de l'acceptation de ces projets par la population et de leur faisabilité politique acquiert dès lors une plus grande importance. Cela implique de considérer les études de sûreté en tant que dispositifs visant à montrer non seulement la faisabilité technique des projets, mais aussi la capacité à les réaliser sans porter atteinte aux populations vivant à proximité du site et aux électeurs en général. Pour les projets les plus avancés, susciter la

confiance des populations devient fondamental. Dans cette perspective, des critères spécifiques sont établis pour étudier la confiance dans l'évaluation de la sûreté à long terme (voir la figure 1).

Figure 1 : critères à considérer pour évaluer la confiance dans la sûreté à long terme

Figure 5: The elements to be considered in the evaluation of confidence in long-term safety



Source : AEN, Confidence in the Long-term Safety of Deep Geological Repositories, 1999, OCDE, Paris, p. 35.

- 27 Les progrès accomplis par les experts de l'AEN et de l'AIEA dans la production de données et de connaissances sur plus de deux décennies, les efforts de clarification des méthodes et la prise en compte de la confiance dans les études donnent lieu à un processus de formalisation de la démarche visant à démontrer la sûreté du stockage géologique en couches géologiques profondes. Ce dispositif prend la dénomination de *Safety Case*. Il s'agit d'un dispositif de gestion des risques qui cherche à faire converger les méthodes et les approches de démonstration de la sûreté, tout en intégrant les enjeux sociaux et politiques en vue de la demande d'un permis de construction pour des centres de stockage des déchets dans les différents pays (Pescatore, 2008). Il s'agit en effet d'un dispositif présentant les bases d'une démarche générique, qui peut être déclinée différemment selon les contextes de régulation nationaux, pour réaliser et présenter la démonstration de sûreté de ce type de projets. Il apporte ainsi une solution dans le cadre d'une procéduralisation croissante des autorisations de construction d'un centre d'enfouissement géologique, comme le formule un expert ayant contribué à la formalisation du *Safety Case* à l'AEN :

le mot *Case* renvoie au terme légal relatif à la question de la poursuite d'une activité ou d'un acte. La poursuite serait, dans ces circonstances, la procédure concernant le projet de stockage géologique en vue de sa sécurité (Expert, entretien 2016).

- 28 Toutefois, en dépit des efforts fournis par les experts du Comité pour la gestion des déchets radioactifs (RWMC) de l'AEN pour faire converger les approches et les

connaissances autour du *Safety Case*, le choix des méthodes et modèles continue d'être un enjeu aujourd'hui encore. Un rapport de l'AEN dédié aux méthodes d'évaluation de la sûreté utilisées dans les différents projets d'enfouissement géologique souligne la confusion terminologique et la persistance d'une diversité d'approches selon les pays :

au fil du temps, des différences se présentent concernant la terminologie utilisée dans les différents pays. Des définitions adoptées dans certains pays ne sont pas utilisées de la même manière dans d'autres pays. Le terme d'évaluation de sûreté est souvent utilisé de manière indifférenciée avec celui d'évaluation de performance. Il existe ainsi différentes perceptions de la relation existante entre analyse de performance et évaluation de sûreté (AEN-OCDE, 2012, p. 21).

- 29 Ainsi, les débats sur ce dispositif conduisent les experts à s'intéresser à la question de la régulation dans les différents pays. Il s'agit de montrer non seulement qu'il est techniquement possible de construire un centre d'enfouissement géologique, mais aussi que la mobilisation du sous-sol en tant que barrière de protection ne présente pas de risque majeur pour les hommes et l'environnement. Dans cette logique, certains travaux ont souligné la difficulté à définir et utiliser en pratique le « concept multi-barrières ». Ce concept renvoie à l'idée d'isoler les déchets de la biosphère en interposant différentes barrières, pour créer un système robuste qui contribue à donner confiance dans cette solution de confinement. Ce système est composé de barrières de nature diverse : « *le système multi-barrière est composé des barrières naturelles (géologiques) assurées par la couche géologique et ses environs, et un système de barrières ouvragées (EBS)* » (AEN, 2003, p. 3).
- 30 Par ailleurs, les travaux d'expertise sur le *Safety Case* ont visé à cadrer la manière de construire et d'évaluer un dossier de sûreté¹² et la démonstration de sûreté après la fermeture du site¹³ ainsi que les aspects techniques de la démonstration de la sûreté sur les temporalités longues (Forinash, Pescatore & Umeki, 2007). Comme nous pouvons le constater à la lecture de ces thèmes, une partie importante des travaux traite d'enjeux purement techniques, notamment ceux en lien avec la démonstration de la sûreté à court et à long terme. Cependant, les fortes oppositions à la réalisation de ces projets aux États-Unis, en France, en Suède ou en Finlande, pour ne mentionner que les projets les plus avancés, soulignent l'importance de tenir compte d'autres types de considérations lors de la présentation d'un *Safety Case* :
- le but du projet et le contexte dans lequel le *Safety Case* sera évalué ;
 - les intérêts, les préoccupations et le niveau de compréhension du public des questions techniques ;
 - des considérations plus spécifiques (transparence, traçabilité, ouverture aux incertitudes et aux questions que peut affecter la confiance, la révision interne et externe de la part des auteurs et des communautés scientifique et technique).
- 31 Le *Safety Case* se pose ainsi comme une sorte de démonstrateur à la fois technique et politique. Car si son objectif est d'évaluer et de tester la faisabilité technique et la confiance dans les projets de stockage géologique en cours, il cherche aussi à légitimer l'expertise qui les accompagne. Ce dispositif représente donc une forme de dépolitisation du sous-sol, car il met à l'épreuve l'acceptation sociale du dispositif d'enfouissement géologique par la population, en cherchant à circonscrire la mise en œuvre des politiques de gestion des déchets à un enjeu de « confiance » dans le dispositif technologique et les conditions définies qui l'accompagnent. Il donne lieu à une forme politique spécifique : étant donné que le *Safety Case* est mobilisé et décliné différemment selon les pays, il contribue à construire des espaces de débat qui

articulent différents publics et territoires pour lesquels l'usage du sous-sol fait controverse. Ces espaces peuvent adopter différents formats selon les pays. Il demeure toutefois que les échanges entre experts, décideurs politiques et citoyens, ainsi que les cadrages d'enjeux sont circonscrits et orientés par les informations présentées dans les *Safety Case* des projets. En effet, les projets d'enfouissement géologique en cours dans plusieurs pays continuent à faire face à des oppositions et critiques relatives à la préservation de la nature et aux risques et dangers associés à l'usage du sous-sol.

Conclusion

- 32 La conception du sous-sol comme environnement propice pour accueillir les déchets nucléaires s'inscrit dans une histoire longue, marquée par des controverses questionnant le rôle du sol en tant que barrière de protection et pointant les faiblesses des barrières technologiques. L'analyse de la production d'une expertise internationale sur l'enfouissement des déchets a ainsi permis d'appréhender l'évolution des manières de concevoir et de caractériser simultanément les sols, les déchets, et les dispositifs techniques de confinement. Cet article a montré en particulier comment les experts des agences telles que l'Agence pour l'énergie nucléaire et l'Agence internationale de l'énergie atomique ont contribué à cadrer et à diffuser, dans les pays nucléarisés, des conceptions et des politiques du sous-sol comme un espace de confinement des déchets nucléaires. Ce faisant, il a également mis en avant la manière dont la fabrique des politiques du sous-sol s'inscrit au sein d'enjeux internationaux. En effet, la prise en compte des enjeux de l'usage du sous-sol par les différentes instances et autorités internationales se fait dans un va-et-vient entre, d'une part, un travail de qualification des déchets permettant de déterminer des procédures de traitement et de conditionnement en vue de leur stockage dans le sol, et, d'autre part, un travail politique et d'ingénierie à l'œuvre à travers le *Safety Case*, qui articule des débats internationaux et locaux autour de la régulation et de l'acceptabilité des déchets nucléaires autour des conditions prises en compte dans la conception du dispositif de stockage géologique.
- 33 Il ressort de cette analyse que la prise en charge du problème des déchets nucléaires par les instances et autorités internationales a nécessité, et nécessite encore aujourd'hui, outre un travail de régulation international et national, un travail simultané de définition du type de déchet à enfouir et de définition des sous-sols comme un espace propice pour accueillir les déchets. Ainsi, ce travail implique-t-il en particulier de considérer à la fois les temporalités relatives aux différentes catégories de déchets, les barrières technologiques les plus pertinentes selon cette catégorisation et les conditions associées, ainsi que la profondeur qui conviendrait à chaque situation.

Je tiens à remercier les évaluateurs anonymes et les coordinateurs du dossier pour leurs remarques et propositions, car elles ont contribué à améliorer considérablement la qualité de cet article. Je remercie également Camille Gasnier et Clément Paule pour leurs relectures attentives lors des différentes phases de production de ce manuscrit.

BIBLIOGRAPHIE

- Abby, K., Phadke, R. & Smith, J. (2018). Engaging the Underground: An STS Field in Formation. *Engaging Science, Technology, and Society*. 4, 22-42.
- AEN. (1999). *Confidence in the Long-term Safety of Deep Geological Repositories*. Paris: OCDE.
- AEN. (2004). *Post-closure Safety case for Geological Repositories: Nature and purpose*. Paris: OCDE.
- AEN. (2008). *Réglementation de la sûreté à long terme du stockage géologique*. Paris : OCDE.
- AIEA-UNESCO-FAO. (1960). *Disposal of Radioactive Wastes II*, IAEA: Vienna.
- AIEA. (1963). *Treatment and Storage of High-level Radioactive Wastes*. IAEA: Vienna.
- AIEA. (1965). *Radioactive Waste Disposal into the Ground. Safety Series N°15*. IAEA: Vienna.
- Barthe, Y. (2003). Le recours au politique ou la problématisation politique 'par défaut'. In J. Lagroye. *La politisation* (pp. 475-492). Paris : Belin.
- Barthe, Y. (2006). *Le pouvoir d'indécision : la mise en politique des déchets nucléaires*. Paris : Economica.
- Barthe, Y, Elam, M. & Sundqvist, G. (2019). Technological Fix of Divisible Object of Collective Concern? Histories of Conflict over the Geological Disposal of Nuclear Waste in Sweden and France. *Science as Culture*. <https://doi.org/10.1080/09505431.2019.1645108>.
- Bergmans, A., Sundqvist, G., Kos, D. & Simmons, P. (2015). The participatory turn in radioactive waste management: deliberation and the social-technical divide. *Journal of Risk Research*. 18(3), 347-363.
- Blanck, J. (2017). *Gouverner par le temps. La gestion des déchets radioactifs en France, entre changements organisationnels et construction de solutions techniques irréversibles (1950-2014)*. Paris : Institut d'études politiques de Paris.
- Boudia, S. & Henry, E. (2015). *La mondialisation des risques. Une histoire politique et transnationale des risques sanitaires et environnementaux*. Rennes : Presses Universitaires de Rennes.
- Creager, A. (2015). *Life Atomic. A History of Radioisotopes in Science and Medicine*. Chicago: University of Chicago Press.
- Diaz-Maurin, F. & Ewing, R. (2018). Mission Impossible? Socio-Technical Integration of Nuclear Waste Geological Disposal Systems. *Sustainability*. 10(4390), 2-39.
- Midler, S. (2017). *Greening Democracy: The Anti-Nuclear Movement and Political Environmentalism in West Germany and Beyond, 1968-1983*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Findlay, J. & Hevly, B. (2011). *Atomic frontier days: Hanford and the American West*. Seattle: Center for the Study of the Pacific Northwest in association with University of Washington Press.
- Forinash, B., Pescatore, C. & Umeki, H. (2007). Safety Cases for the Deep Disposal of Radioactive Waste: Where Do We Stand?. *NEA News*. 25(1). https://www.oecd-nea.org/pub/newsletter/2007/NEA_News-25-1-safety-case.pdf
- Hamblin, J. (2008). *Poison in the Well: Radioactive Waste in the Oceans at the Dawn of the Nuclear Age*. Piscataway: Rutgers University Press.
- Jasper, J. (1990). *Nuclear politics: energy and the state in the United States, Sweden, and France*. Princeton N.J.: Princeton University Press.

- Mazuzan, G. & Walker, S. (1984). *Controlling the Atom: The Beginnings of Nuclear Regulation, 1946-1962*. Berkeley: University of California Press.
- McFarlane, A. (2003). Underlying Yucca Mountain. The Interplay of Geology and Policy in Nuclear Waste Disposal. *Social Studies of Science*. 33(5), 783-807.
- Medvedev, Z. (1979). *Nuclear Disaster in the Urals*. London: Angus & Robertson.
- Milder, S. (2017). *Greening Democracy: The Anti-Nuclear Movement and Political Environmentalism in West Germany and Beyond, 1968-1983*. New York: Cambridge University Press.
- Odum, E. (1971). *Fundamentals of Ecology*. California: Saunders.
- Parotte, C. (2018). *L'Art de gouverner les déchets hautement radioactifs*. Liège : Presses Universitaires de Liège.
- Patinaux, L. (2017). *Enfouir des déchets nucléaires dans un monde conflictuel. Une histoire de la démonstration de sûreté de projets de stockage géologique, en France (1982-2013)*. Paris : École des hautes études en sciences sociales.
- Patinaux, L. (2019). Enjeux épistémiques et politiques des recherches sur l'évacuation géologique des déchets nucléaires. Étude d'une controverse sur l'implantation d'un laboratoire souterrain dans la Vienne (1994-1998). *Cahiers François Viêt*. III(6), 133-157.
- Pescatore, C. (2008). The Safety Case. Concept, History and Purpose. Symposium on *Safety Cases for Deep Geological Disposal of Radioactive Waste: Where Do We Stand?* (pp. 67-76). Paris: OCDE.
- Petit, J-C. (1993). *Le stockage des déchets radioactifs : perspective historique et analyse sociotechnique*. Thèse en socio-économie de l'innovation. Paris : École Nationale Supérieure des Mines de Paris.
- Ringius, L. (2000). *Radioactive Waste Disposal at Sea. Public Ideas, Transnational Policy Entrepreneurs, and Environmental Regimes*. Cambridge Mass: MIT Press.
- Shrader-Frechette, K. (1993). *Burying uncertainty: risk and the case against geological disposal of nuclear waste*, Berkeley: University of California Press
- Walker, S. (2009). *The Road to Yucca Mountain: The Development of Radioactive Waste Policy in the United States*. Berkeley: University of California Press.

NOTES

1. Élimination et enfouissement sont des termes utilisés par les experts internationaux pour qualifier l'action de décharger les déchets nucléaires dans différents environnements. Nous utiliserons le mot élimination pour rendre compte du propos des experts tout au long de cet article, et celui d'enfouissement géologique quand il s'agira de l'enfouissement des déchets dans le sous-sol profond (-500 m).
2. L'enquête a été réalisée dans le cadre du projet de recherche « Mise en perspective des fondements opérationnels de la démonstration de sûreté de Cigéo », sous la responsabilité scientifique de Soraya Boudia. Ce projet a été financé par l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra).
3. Le 29 septembre 1957, une énorme explosion se produisit dans le site où étaient stockés les déchets issus de l'industrie soviétique d'armement nucléaire. Après l'explosion, on dénombra plusieurs centaines de décès et deux à trois mille kilomètres carrés contaminés dans le Sud de l'Oural (Medvedev, 1979).
4. Tout au long de l'article, les citations en langue anglaise ont été traduites par l'auteure.

5. Portée par les frères Odum, l'écologie systémique est une tentative pour constituer et légitimer l'écologie comme discipline scientifique porteuse également de solutions pour les politiques. Cette discipline bénéficie des travaux de recherche sur le mouvement et le transfert de radionucléides dans l'environnement menés entre autres au sein de l'AEC (Golley, 1993)
 6. Ce laboratoire est opéré par l'Union Carbide Corporation de l'US-AEC.
 7. Ce terme fait référence au confinement temporaire des déchets, c'est-à-dire après les avoir générés et avant leur élimination définitive.
 8. « Nuclear-energy operations were expected to end or to be curtailed after the war, so the long-term implications of waste disposal received relatively little study. Some of these practices have created potentially hazardous situations and have been, or probably will have to be, changed » (AIEA/UNESCO/FAO, 1960, p. 464).
 9. « These are practices that might be continued 'for ever' » (AIEA/UNESCO/FAO, 1960, p. 464).
 10. Par rapport au contexte français, une nuance se pose concernant ce vocabulaire. En France, ces solutions concernent respectivement l'entreposage, le stockage et le rejet en mer. La diversité du vocabulaire mobilisé par le passé, et parfois aussi par le temps qui court, traduit le flou des concepts et les hésitations des experts sur les solutions disponibles.
 11. <https://www.tri-cityherald.com/news/local/hanford/article225386510.html#storylink=cpy>, consulté le 10 juin 2019.
 12. Deux projets ont été lancés pour étudier et comparer les moyens utilisés dans plusieurs pays afin d'obtenir un niveau de confiance dans leurs projets de stockage. Il s'agit du projet *Timescales* de l'IGSC et du groupe de travail *Long-Term Safety Criteria* (LTSC), créé par le Forum des régulateurs du RWMC en 1999 (AEN, 2008).
 13. À la suite des travaux menés par l'IPAG, du rapport sur la « Confidence in the long-term safety of deep geological repositories » produit par le RWMC et des premières années des travaux de l'IGSC, le premier rapport « Post-Closure Safety Case for Geological Repositories. Nature and Purpose » a été publié avec l'objectif de « defines and discusses the purpose, and general contents, of safety cases for geological repositories for long-lived radioactive waste » (AEN, 2004, p. 3).
-

RÉSUMÉS

Cet article analyse la place du sous-sol dans les modes de gouvernement des déchets nucléaires. Pour cela, il propose d'étudier la manière dont un ensemble d'instances internationales d'expertise (comités, instances, agences) s'emparent du problème des déchets nucléaires et de leur enfouissement dans le sous-sol comme solution pour leur gestion. En mobilisant un corpus de documents (rapports, documents de travail et publications) et des entretiens, cet article montre comment divers acteurs internationaux participent au cadrage d'enjeux et à la diffusion, dans les territoires nucléaires, d'usages et de politiques spécifiques du sous-sol.

This paper addresses the role played by the production of international expert knowledge on underground in nuclear waste governance. It analyses how international expert committees and organizations addressed nuclear waste issues since the 1950s and how they shifted from considering oceans to agreeing on underground as the best option to bury nuclear waste. Based on different empirical material (international expert reports, working papers and scientific publications) backed up with interviews, the paper shows how the underground has been framed

and mobilized as a solution to solving nuclear waste problem through the expression of the 'multi-barrier' concept, i.e. combining natural and technological barriers as a protection against nuclear radiation.

Este artículo tiene como objetivo principal analizar el lugar que se le ha dado al subsuelo en el manejo del problema de la gestión de los residuos radioactivos. Para ello, se analizará la manera en la que diferentes instancias internacionales (comités, instancias, agencias) se han amparado del problema de los residuos radiactivos, y como estos actores participan a la construcción de la idea según la cual enterrar estos residuos en el subsuelo es la solución mas viable para su manejo. Apoyándose en un corpus de documentación, que incluye reportes, documentos de trabajo y publicaciones, y en entrevistas, este artículo demuestra que los actores internacionales participan a la definición y difusión de los retos relativos al uso del subsuelo y a la construcción de políticas específicas en los países nucleares.

INDEX

Palabras claves : subsuelo, residuos nucleares, experticia, políticas de medioambiente, nuclear

Mots-clés : sous-sol, déchet nucléaire, expertise, politique environnementale, nucléaire

Keywords : underground, nuclear waste, expertise, environmental policies, nuclear

AUTEUR

TANIA NAVARRO RODRÍGUEZ

Politiste et sociologue, chercheure associée au CERMES3. Ses travaux portent sur les rapports entre science, politique et société. Elle a conduit des recherches sur les mouvements électoraux et altermondialistes, les pratiques alimentaires infantiles et la gestion des déchets nucléaires dans une perspective socio-historique, en explorant en particulier la production d'expertise et ses usages dans le processus de prise de décision. Ses recherches actuelles sont consacrées au gouvernement des risques et des crises.

Adresse : CERMES3, 45 rue des Saints-Pères, FR-75270, Paris Cedex 06 (France)

Courriel : tania.navarro[at]gmail.com