Prospecter un site où enfouir des déchets nucléaires

Leny Patinaux

▶ **To cite this version:**

Leny Patinaux. Prospecter un site où enfouir des déchets nucléaires. Revue d'Anthropologie des Connaissances, 2020, Revue d'anthropologie des connaissances, 14 (4), 10.4000/rac.11216 . hal-03330100v1

HAL Id: hal-03330100

https://hal.univ-lille.fr/hal-03330100v1

Submitted on 31 Aug 2021 (v1), last revised 11 Oct 2023 (v2)

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

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

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

Revue d'anthropologie des connaissances

14-4 | 2020
Les sols, nouvelle frontière pour les savoirs et les politiques de l'environnement

Prospecter un site où enfouir des déchets nucléaires

Un engagement géologique depuis la surface

Prospecting for a site to bury nuclear waste. A geological engagement from the soil surface

La prospección de un sitio para enterrar los residuos nucleares. Un compromiso geológico desde la superficie

Leny Patinaux

Édition électronique
URL : http://journals.openedition.org/rac/11216
ISSN : 1760-5393

Éditeur
Société d'Anthropologie des Connaissances

Ce document vous est offert par Université de Lille

Référence électronique
Leny Patinaux, « Prospecter un site où enfouir des déchets nucléaires », *Revue d'anthropologie des connaissances* [En ligne], 14-4 | 2020, mis en ligne le 01 décembre 2020, consulté le 14 décembre 2020. URL : http://journals.openedition.org/rac/11216

Ce document a été généré automatiquement le 14 décembre 2020.

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.

Prospecter un site où enfouir des déchets nucléaires

Un engagement géologique depuis la surface

Prospecting for a site to bury nuclear waste. A geological engagement from the soil surface

La prospección de un sitio para enterrar los residuos nucleares. Un compromiso geológico desde la superficie

Leny Patinaux

1 Le développement d'une science des sous-sols est concomitant à leur exploitation économique et l'histoire de la géologie comme discipline est fortement intriquée avec celle de la prospection minière (Rudwick, 1976 ; Laudan, 1987). Pour les entreprises extractives, le gouvernement des sous-sols et celui des habitant.es vivant dans les zones qui les surplombent sont intimement liés (Churchill & LaDuke, 1986 ; Braun, 2000 ; Hecht, 2012 ; Cantoni, 2017). Avant d'exploiter un sous-sol, il est nécessaire de connaître ce qu'il recèle comme ressources et de s'assurer qu'il soit possible d'y accéder depuis la surface. La prospection minière consiste ainsi à acquérir des connaissances sur les formations géologiques et à mettre en place des dispositifs de sécurisation de l'accès aux ressources. Étonnamment, la littérature consacrée à l'enfouissement des déchets nucléaires fait, quant à elle, peu ce lien entre l'étude du sous-sol et le gouvernement des populations sus-jacentes. Cette littérature peut schématiquement être segmentée en deux. D'un côté, des philosophes s'interrogent sur la manière d'établir la preuve de la sûreté de stockages prévus pour isoler des radionucléides de l'humanité durant des temps extrêmement longs (Shrader-Frechette, 1993 ; Macfarlane & Ewing, 2006). Dans leurs travaux, la gestion politique des déchets nucléaires est peu discutée : seule la réglementation encadrant l'implantation des centres de stockage est prise en compte, souvent pour en critiquer les critères qui y définissent ce que doit être un stockage sûr. De l'autre côté, des politistes questionnent les processus de décision sur l'implantation des centres de stockage (Mazur & Conant, 1978 ; Berkhout, 1991 ; Sundqvist, 2002 ; Durant & Johnson, 2009 ; voir Lits, 2013 et Patinaux, 2017, pp. 28-33

pour un panorama de cette littérature). Dans ces travaux, les incertitudes sur la sûreté de ces ouvrages sont considérées comme une difficulté dans la prise de décision. Cependant, le travail de celles et ceux qui cherchent à démontrer cette sûreté n'est pas étudié en tant que tel. Ces deux littératures discutent peu entre elles : les travaux sur l'histoire politique de l'implantation des centres de stockage prennent très rarement en compte l'histoire de la production de savoirs sur les ouvrages et les roches hôtes qui les accueillent.

2 Entre l'exploitation minière et l'évacuation géologique des déchets nucléaires, le rapport aux sous-sols diffère sur un point fondamental. La temporalité de l'extraction minière est particulièrement brève au regard des temporalités de l'évolution des formations géologiques et l'avenir du sous-sol une fois ses ressources exploitées importe peu pour les industriels (Troch, 2018). Ce n'est pas le cas pour l'enfouissement des déchets nucléaires. D'une part, les temporalités de la radioactivité et de la géologie sont parfois comparables[1]. D'autre part, c'est l'évolution future de la roche où pourraient être enfouis des déchets nucléaires qui importe dans ce cas. Si l'étude de l'histoire géologique d'un potentiel site de stockage renseigne les géologues sur son aptitude à confiner des radionucléides, c'est avant tout son devenir qui est au cœur des questions épistémiques et politiques que pose le recours à l'enfouissement. Certains déchets nucléaires ont des temps de demi-vie tels qu'ils resteront radioactifs pendant des centaines de milliers d'années[2]. Pour s'assurer qu'ils demeurent isolés des activités humaines durant de telles temporalités, les sous-sols font figure de calmes sépultures où déposer des restes à l'abri des turbulences du monde social, comme on enterre des mort.es (Kearnes & Rickards, 2017). Déjà largement pratiqué pour d'autres types de déchets notamment chimiques, l'enfouissement apparaît comme un mode de gestion possible pour les déchets nucléaires dès la fin de la Seconde guerre mondiale (Petit, 1993 ; Hamblin, 2008). En effet, entreposés en surface, les déchets représentent un danger important et il est difficilement envisageable de les surveiller le temps que leur activité radiologique décroisse. De ce fait, le recours à l'enfouissement est d'abord justifié par la capacité attribuée aux profondeurs géologiques de pouvoir confiner des matériaux dangereux pendant des temps si longs qu'ils sont socialement ingérables (Petit, 1993). Depuis l'abandon du recours à l'immersion (Hamblin, 2008), l'enfouissement des déchets nucléaires est l'unique solution de gestion promue par les institutions en charge de ces déchets, en France comme au niveau supra-national. Toutefois, garantir que l'évacuation géologique des déchets nucléaires puisse être une solution de gestion sûre n'est pas si simple. Sur des temporalités de l'ordre de la centaine de milliers d'années, les sous-sols ne peuvent pas être considérés comme stables et immuables. Le temps de la décroissance radiologique des radionucléides destinés à être enfouis est aussi celui des mouvements tectoniques et des circulations hydrogéologiques qui existent dans l'ensemble des formations géologiques (Bosworth, 2017). De ce fait, le temps de la décroissance de l'activité des radionucléides contenus dans les déchets nucléaires impose d'appréhender la géologie de manière dynamique alors même que l'enfouissement de ces déchets est une solution plébiscitée en raison de l'apparente stabilité des profondeurs géologiques. Cette difficulté est connue dès les années 1950 par les physiciens et les géologues travaillant aux États-Unis à la gestion des déchets nucléaires (Petit, 1993, pp. 90-126).

3 Le présent article porte sur les travaux de reconnaissance géologique effectués pour caractériser un site de stockage en France. D'une part, il montre comment le travail des

géologues participe à la politique de gestion des déchets nucléaires. En particulier, il traite d'une étape considérée comme essentielle dans le processus d'implantation d'un stockage : la construction de laboratoires souterrains destinés à étudier la roche *in situ* et à familiariser les habitants d'une région avec la présence de l'industrie nucléaire. D'autre part, ce texte analyse ce que produit la rencontre des géologues avec la roche. En effet, le creusement d'un laboratoire affecte les géologues et la roche. Il permet d'effectuer des expérimentations directement dans la roche et ainsi de l'étudier à une échelle nouvelle. Toutefois, ces nouvelles recherches soulèvent également de nouvelles questions sur la sûreté d'un potentiel stockage. Ce texte montre ainsi l'intérêt de se pencher sur le travail des géologues pour comprendre la politique d'implantation d'un site de stockage et les débats qui existent autour du recours à une telle pratique. En effet, porter attention à ce travail qui relie sans cesse les formations géologiques profondes à la surface permet de montrer l'intrication, souvent ignorée par la littérature, du questionnement épistémologique sur la capacité des formations géologiques à confiner la radioactivité et de la question politique du choix d'un site de stockage.

4 Ce texte est issu d'une thèse soutenue en décembre 2017 et financée par l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) (Patinaux, 2017). Il repose sur un large corpus de documents consultés dans les archives de l'Andra qui constituent un matériau empirique inédit. Ce corpus comprend notamment des rapports techniques, des correspondances et des compte-rendus de réunions. Les *verbatims* des échanges réguliers entre l'Andra et la Commission nationale d'évaluation (cf. ci-dessous) ont permis de suivre finement les évolutions des débats autour de l'implantation de laboratoires souterrains. Les sources écrites ont par ailleurs été complétées par des entretiens semi-directifs avec quelques salarié.es de l'agence. La première partie porte sur les travaux de reconnaissance géologique effectués depuis la surface préalablement à l'implantation d'un laboratoire souterrain à Bure (Meuse). Elle expose le cadre politique dans lequel s'effectuent ces recherches et les considérations stratégiques prises en compte dans les choix des sites étudiés. Cette partie montre également l'importance de l'hydrogéologie dans le transfert potentiel des radionucléides vers la surface, et la remise en cause qu'elle induit de l'apparente stabilité des profondeurs géologiques. La seconde partie porte sur le creusement du laboratoire souterrain de Bure, à la limite entre la Meuse et la Haute-Marne. Elle montre comment la rencontre des géologues avec la roche perturbe leurs représentations de celle-ci alors que les recherches qui étaient prévues dans cette installation souterraine étaient avant tout destinées à affiner les connaissances existantes. Cette seconde partie montre la capacité évocatrice du contact avec la roche et la manière dont le creusement perturbe les propriétés de celle-ci, complexifiant les représentations de l'évolution du stockage. Ces deux parties correspondent à deux moments successifs dans le processus d'implantation locale de l'Andra. Mises en regard l'une de l'autre, elles montrent la difficulté à caractériser l'évolution dynamique des sous-sols et la manière dont gouvernement du sous-sol et de la surface sont imbriqués.

Étudier la géologie du sous-sol depuis la surface

5 Avant qu'un laboratoire souterrain ne soit construit à Bure au début des années 2000, l'Andra a prospecté plusieurs sites où implanter de telles installations durant les

années 1990. À ce moment, elle envisageait par ailleurs l'implantation de plusieurs laboratoires souterrains. Cette première partie traite des recherches effectuées alors afin d'évaluer, depuis la surface, l'opportunité d'implanter un laboratoire souterrain dans différents départements. Elle expose tout d'abord le contexte dans lequel s'effectuent ces recherches avant de montrer l'importance politique de la prospection des sous-sols. Enfin, cette partie explicite comment les circulations hydrogéologiques relient à la surface les profondeurs où pourraient être enfouis les déchets. Pour cela, elle s'attarde sur les travaux effectués par l'Andra dans la Vienne qui permettent de saisir la complexité du choix d'une formation géologique où enfouir des déchets.

Une loi pour déjouer le conflit

6 En France, les premières recherches d'un site où implanter un stockage débutent réellement durant les années 1980. Avec l'appui du Bureau de recherche géologique et minière (BRGM), le Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA) sélectionne des zones où la géologie du sous-sol semble particulièrement propice à l'implantation d'un stockage. Conformément aux recommandations du rapport Goguel (1987) qui établit des critères de choix d'un site de stockage, ces zones ont une très faible perméabilité, les mouvements hydrogéologiques y sont particulièrement lents et elles sont particulièrement stables[3]. Quatre départements sont ainsi sélectionnés en 1987 pour y étudier la possibilité d'y enfouir des déchets nucléaires : l'Ain, l'Aisne, les Deux-Sèvres et le Maine-et-Loire. Dans ces deux derniers départements, ces recherches suscitent d'importantes mobilisations contre l'enfouissement. En 1990, celles-ci débouchent sur un moratoire sur l'évacuation géologique des déchets nucléaires (Barthe, 2006 ; ACNM, 2007). Depuis, rechercher un site où implanter un stockage géologique ne consiste plus seulement à chercher une formation géologique ayant les meilleures qualités pour le confinement des radionucléides. Il s'agit également de rechercher un endroit où les habitant.es acceptent la présence d'un stockage. Ainsi, la recherche d'un site de stockage prend en compte des critères géologiques mais aussi d'autres éléments liés à l'appréhension de « l'acceptation sociale » d'un stockage. Avant 1990, l'évaluation de la sûreté d'un projet de stockage ne s'effectuait qu'en interne au CEA, par l'Institut de protection et de sûreté nucléaire (IPSN). Suite au moratoire, une loi est votée le 30 décembre 1991 pour encadrer la gestion des déchets nucléaires. Durant le débat parlementaire sur le projet de loi, cet entre-soi du monde du nucléaire et le manque de transparence de ces évaluations sont identifiés comme des causes des mobilisations de la fin des années 1980 contre l'enfouissement (Barthe, 2006).

7 La loi de 1991 stipule qu'aucune solution de gestion définitive des déchets nucléaires ne sera autorisée, durant une période de quinze ans, dévolue aux recherches. Elle instaure également une Commission nationale d'évaluation (CNE) afin d'évaluer les recherches sur la gestion des déchets nucléaires et d'informer annuellement le Parlement de leur avancée par des rapports publics. La CNE est également chargée de l'évaluation finale des recherches au terme de la période de quinze ans qui leur est dédiée. Cette commission, nommée à parité par le Gouvernement et le Parlement, est composée de chercheurs, pour la plupart extérieurs au CEA. Par son rôle de commission indépendante et experte chargée d'informer le Parlement, et du fait de la publicité de ses rapports, la CNE occupe une place centrale dans le gouvernement de l' « aval du cycle » nucléaire après 1991 (Patinaux, 2017, pp. 83-85). Elle influe fortement sur le cadrage des débats sur la faisabilité d'implanter un dépôt géologique en dressant des

recommandations sur les recherches effectuées par l'Andra. Durant la période de recherche entre 1991 à 2006, l'Andra, épaulée par le rapporteur de la loi, le député du Nord Christian Bataille, est chargée d'implanter plusieurs laboratoires souterrains afin d'étudier *in situ* quelques formations géologiques à même d'accueillir un stockage[4]. La loi impose alors un calendrier en trois étapes : tout d'abord, la recherche de zones où implanter des laboratoires souterrains par des reconnaissances géologiques préliminaires depuis la surface, puis l'implantation de laboratoires souterrains et la réalisation d'expérimentations *in situ,* et enfin, la construction d'un stockage géologique à partir de 2006, si la sûreté d'un tel ouvrage est assurée. Ce calendrier politique particulièrement serré impose un rythme aux travaux de l'Andra.

Un spectacle géologique pour occuper le terrain

8 Après la loi de 1991, quatre nouveaux départements sont sélectionnés pour y étudier la possibilité d'y creuser un laboratoire souterrain, première étape vers la construction éventuelle d'un stockage : le Gard, la Haute-Marne, la Meuse et la Vienne. En 1993, dans le Gard, la Vienne et la Haute-Marne, la médiation de choix des sites a sélectionné, en concertation avec les élu.es locaux, quelques cantons dans lesquels l'Andra peut effectuer des reconnaissances géologiques (Barthe, 2006, pp. 157-163). Dans la Meuse, ce n'est pas le cas : durant l'été 1994, la négociation entre les élu.es des différents cantons n'a toujours pas abouti. Ce même été, les travaux de reconnaissance géologique débutent dans le Gard, la Vienne et la Haute-Marne[5]. La Meuse et la Haute-Marne sont des départements limitrophes. En Haute-Marne, la direction de l'Andra dispose de deux options. Soit elle focalise les prospections sur le sud du département, sous lequel se trouve l'argile du Trias. Soit l'agence oriente ses recherches vers le nord du département et l'étude de l'argile du Callovo-Oxfordien qui s'étend également sous la Meuse. Lors d'un entretien en janvier 2015, un géologue de l'Andra suggère que l'implantation du premier forage profond, effectué en août 1994 en Haute-Marne, à quelques centaines de mètres de la Meuse, était un moyen de presser les élu.es meusien.nes à choisir des cantons dans lesquels l'Andra peut effectuer des reconnaissances géologiques[6]. Pour les élu.es, les recherches de l'Andra riment alors avec l'accompagnement économique substantiel qu'elles entraînent. L'implantation d'un forage en Haute-Marne dont la foreuse est visible depuis la Meuse a pu ainsi être un moyen de rappeler aux élu.es meusien.nes que, chez leur voisin.es hauts-marnais.es, l'Andra a débuté ses travaux : ils et elles ont alors tout intérêt à hâter leur choix des cantons où l'Andra peut effectuer des reconnaissances géologiques si elles et ils ne veulent pas que s'éloignent trop vite les chances de recevoir les dizaines de millions de francs d'accompagnement promis à qui accueillera un laboratoire souterrain. Le 1er décembre 1994, l'Andra effectue un premier forage en Meuse, à quelques kilomètres seulement du forage effectué en Haute-Marne au mois d'août. Jamais les géologues de l'Andra n'étudièrent l'argile du Trias situé au sud de la Haute-Marne. Ainsi, le choix des formations géologiques étudiées par l'Andra est pétri de considérations politiques. Par sa dimension spectaculaire, le travail de reconnaissance géologique a un puissant rôle politique.

9 Durant l'été 1994, le directeur de l'Andra, le directeur de la mission de médiation chargé du choix des sites d'étude Jacques Monestier, et la direction générale de l'énergie et des matières premières (DGEMP) s'échangent une série de notes[7]. Le cœur de celles-ci porte sur la question du calendrier des recherches et, plus

particulièrement, du moment opportun auquel décider des zones où seront implantés les laboratoires souterrains : est-il réaliste de prévoir une telle décision avant l'élection présidentielle du printemps 1995 et les bouleversements politiques qu'elle pourrait entraîner ? Pour Jacques Monestier, une telle éventualité semble un peu précipitée. Les reconnaissances géologiques depuis la surface constituent un premier pas dans l'implantation locale de l'Andra. Après les affrontements que les travaux des géologues de l'Andra ont suscités à la fin des années 1980, ces prospections géologiques font figure de test, tant de la géologie du sous-sol des départements choisis que, surtout, des réactions que ces travaux suscitent localement. La prudence est alors de mise. Pour J. Monestier :

> La manière dont sera gérée la période dans laquelle nous nous trouvons influencera la suite. Il s'agit d'une période de reconnaissances, d'essais, d'approches, de mise en place de structures provisoires, de réflexion sur ce qui devra intervenir, pour une longue période cette fois [...] Cette période que l'on peut qualifier de probatoire [...] sera, sans doute, lourde de conséquences par les habitudes qu'elle permettra de prendre, les précédents qu'elle créera ou évitera, la nature des informations et des éclairages qu'elle saura dispenser, les structures qu'elle verra mettre en place, préfiguration de structures plus durables, en même temps que par l'acquisition d'un savoir-faire précieux pour l'avenir[8].

10 Alors que la durée de cette période de reconnaissance géologique est encore incertaine, le médiateur conclut : « En un mot, dans tous les sens du terme, il s'agira d'occuper utilement le terrain et cela aussi longtemps que nécessaire[9]. » Ces mots sont particulièrement explicites sur le rôle politique des reconnaissances géologiques effectuées par l'Andra. « Occuper le terrain » pour y étudier la géologie consiste également à familiariser une région avec la présence de l'Andra. Ce n'est pas seulement la roche que les géologues rencontrent mais aussi les habitant.es des zones où ils prospectent. À côté des résultats qu'ils livrent sur les caractéristiques de la géologie, c'est la qualité de la rencontre avec la population locale que cette première phase de travaux doit permettre d'évaluer.

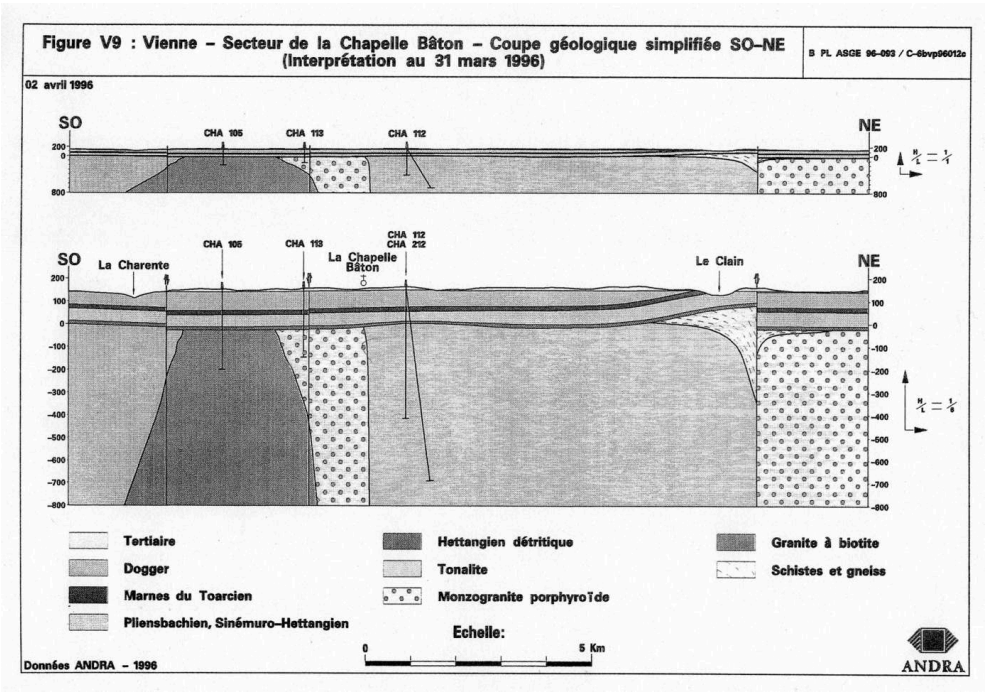
Apprécier l'importance des circulations hydrogéologiques

11 Les premiers travaux de reconnaissance géologique depuis la surface sont aussi l'occasion pour l'Andra de se confronter au nouveau dispositif d'évaluation des recherches mis en place par la loi de 1991. Parmi les quatre départements choisis pour évaluer la pertinence d'y implanter des laboratoires souterrains, trois d'entre eux ont des sous-sols argileux. La Vienne est choisie pour son sous-sol granitique. Afin de disposer d'options radicalement différentes en 2006, il semble alors pertinent d'implanter des laboratoires souterrains dans des formations géologiques aux histoires et aux propriétés géophysiques opposées : l'argile, une roche sédimentaire, et le granite, une formation magmatique. Durant les années 1980, la plupart des recherches effectuées en France sur l'enfouissement portaient sur des granites. Le stockage dans le granite est aussi l'option privilégiée dans les deux pays au monde dont les projets sont les plus avancés, la Suède et la Finlande. De ce fait, au début du travail de prospection géologique en 1994, implanter un laboratoire souterrain dans le granite de la Vienne n'a rien d'incongru. Cette éventualité est toutefois vivement critiquée par la CNE.

12 Contrairement au sous-sol de la Meuse et de la Haute-Marne, celui de la Vienne est particulièrement mal connu et les géologues de l'Andra n'ont que très peu d'informations sur ses propriétés lorsqu'ils commencent à l'étudier. Le granite du seuil

du Poitou est situé sous une couverture sédimentaire qui empêche toute observation directe de la roche depuis la surface (fig. 1). Afin de caractériser le socle granitique, les géologues de l'Andra ont réalisé deux types de travaux. D'une part, des mesures géophysiques depuis la surface leur permettent d'avoir une représentation des propriétés macroscopiques du granite à de larges échelles spatiales. D'autre part, le prélèvement de carottes de roche leur apporte une connaissance fine de la roche en certains points. La géologie s'est construite comme discipline par l'étude, à l'échelle large des formations géologiques, des propriétés minéralogiques des roches qui ne sont observables directement qu'à des échelles spatiales réduites (Rudwick, 1976). Pour caractériser une formation souterraine, les géologues corrèlent des observations ponctuelles de la roche, qui leur apportent des informations précises sur sa minéralogie et sa fracturation, avec des mesures géophysiques qui leur permettent d'obtenir une représentation de la roche sur un large secteur. Avant les premières campagnes de forages, l'existence d'une formation granitique sous la couverture sédimentaire a été identifiée par l'étude d'une carte gravimétrique de la France, montrant au seuil du Poitou une anomalie dans la mesure du champ gravitationnel de la Terre. Pour les géologues de l'Andra et du BRGM, cette anomalie indique la présence d'un leucogranite en profondeur : la faible teneur en minéraux ferromagnésien de cette roche expliquerait cette anomalie. Toutefois, l'observation des carottes de roche prélevées indique dès 1994 que s'il existe bien un granite sous la couverture sédimentaire, celui-ci n'a la composition minéralogique d'un leucogranite qu'en de rares endroits.

Figure 1. Coupe géologique simplifiée du secteur de La Chapelle-Bâton



Crédits : Andra, Laboratoires souterrains d'études géologiques. Résultats des travaux de reconnaissance géologique. Janvier 1994 - mars 1996, 9 avril 1996.

13 La caractérisation hydrogéologique d'un site de stockage est particulièrement importante pour la sûreté d'un tel ouvrage. En effet, durant les centaines de milliers d'années de la décroissance radioactive des radionucléides, les colis et les ouvrages de stockage s'éroderont par l'action de l'eau présente dans toutes les formations

géologiques. De plus, les circulations hydrogéologiques sont susceptibles d'entraîner les radionucléides enfouis vers la surface. Ces circulations établissent ainsi des liens entre les profondeurs où les déchets pourraient être enfouis et les zones au-dessus desquelles un stockage pourrait être creusé. Cependant, dans la Vienne, deux aquifères sont exploités pour l'alimentation en eau potable dans la couverture sédimentaire qui surplombe le socle granitique (fig. 1). Une communication entre les circulations hydrogéologiques dans les fractures du granite et les aquifères de la couverture sédimentaire pourrait entraîner une contamination radiologique relativement rapide de la biosphère. Pour les membres de la CNE, cette caractéristique du sous-sol de la Vienne doit exclure tout projet de stockage sur ce site.

14 La sélection d'une formation géologique à même d'accueillir un dépôt géologique de déchets nucléaires est alors encadrée par une Règle fondamentale de sûreté, la RFS III. 2.f publiée en 1991. Cette règle précise un certain nombre de critères qui doivent orienter le choix d'un site de stockage. Ces critères ne sont pas quantifiés : la RFS est destinée à orienter les recherches effectuées par l'Andra mais elle ne définit pas de seuils. Partout, la sûreté d'un stockage est envisagée globalement, en fonction des propriétés de la roche et des « barrières ouvragées » (colis, ouvrages en béton) : la conception de ces dernières doit être adaptée à la roche choisie. Ainsi en Suède et en Finlande par exemple, les colis assurent quasiment à eux seuls la rétention des radionucléides : aucun critère de rétention des radionucléides n'entre compte dans le choix d'un site de stockage – ce qui n'est pas le cas en France. La RFS y stipule ainsi que la roche hôte doit être caractérisée par une très faible perméabilité. Toutefois, définir la perméabilité d'un granite n'a rien d'évident (Bosworth, 2017). En effet, alors que les argiles absorbent les contraintes tectoniques en se déformant, les roches cristallines comme le granite se fissurent. Les fractures qui s'y forment ne se rétractent pas et elles sont susceptibles de devenir des voies de circulation privilégiées pour l'eau présente dans la roche. L'étude des circulations hydrogéologiques est un enjeu capital pour l'Andra. Pour reprendre les mots d'un président de l'Agence : « Le problème majeur [de l'Andra] est celui de la circulation des eaux souterraines : l'eau c'est l'ennemi[10]. » En fonction de l'échelle d'observation choisie, la perméabilité d'un granite varie. En effet, les fractures sont potentiellement conductrices d'eau mais, entre celles-ci, la roche est extrêmement peu perméable. De plus, en fonction de leur longueur et de leur épaisseur, les fractures – qui ne sont alors observables que sur le profil des carottes de roche prélevées – n'ont pas la même activité hydraulique. L'ensemble des géologues s'accordent ainsi pour considérer que la définition de ce qu'est la perméabilité d'une roche fracturée est difficile. La CNE, dans son rapport de juin 1996 énonce ainsi : « les granites sont normalement affectés d'une fracturation importante dont la distribution aléatoire ne permet par l'extrapolation de la perméabilité moyenne, par exemple mesurée dans un forage, sur la distance requise pour la construction d'un stockage[11]. » Le géologue responsable des reconnaissances à l'Andra reconnaît en 1996 également devant les évaluateurs de l'agence qu'au regard des expériences étrangères, « il est effectivement probable que la perméabilité [du granite de la Vienne] sera difficile à préciser[12] ». Le directeur de l'Andra poursuit alors : « il est clair qu'un certain nombre de questions difficiles, ayant trait essentiellement à l'hydrogéologie et à sa modélisation, restent posées ; les difficultés liées au milieu granitique sont d'ailleurs bien connues depuis le début de la recherche de sites[13]. » Pour la CNE, la fracturation du granite limite la possibilité d'envisager d'y implanter un stockage et elle recommande d'abandonner la poursuite des recherches dans la Vienne. Les géologues de l'Andra

estiment quant à eux qu'il est envisageable de construire un stockage entre les fractures les plus conductrices de la roche[14]. Au terme de la période de reconnaissance géologique depuis la surface, de nombreuses incertitudes subsistent sur les mouvements hydrogéologiques dans le sous-sol de la Vienne. Les géologues de l'Andra ont observé les venues d'eau dans les forages qu'ils ont réalisés mais il leur est difficile d'établir de quelles fractures elles viennent à partir de l'observation des carottes de roche prélevées. Les techniques de mesure géophysique ne permettent de localiser que les fractures les plus larges. La RFS qui stipule que la perméabilité de la roche choisie doit être « très faible » n'est alors d'aucun secours pour trancher le différend entre l'Andra et la CNE sur la pertinence de continuer à étudier les possibilités de stockage dans la Vienne.

15 En 1996, l'Andra dépose trois demandes d'autorisation pour trois laboratoires souterrains : un premier à la limite de la Meuse et de la Haute-Marne, un deuxième dans le Gard et un troisième dans la Vienne. Dans le Gard, la présence de l'Andra se heurte à l'opposition vigoureuse des vignerons de Chusclan qui redoutent l'impact négatif de l'image des déchets nucléaires sur leur commerce. L'étude de l'évolution géologique de ce site présente également une difficulté importante[15]. Ce site est situé à proximité du lit du Rhône. Il y a cinq millions d'années, lors de l'épisode géologique de la crise messinienne, le mouvement des plaques tectoniques a entraîné la fermeture du détroit de Gibraltar. La mer Méditerranée s'est alors asséchée et le lit du Rhône s'est enfoncé par érosion de plusieurs centaines de mètres. L'Andra estime qu'un tel phénomène est susceptible de se reproduire d'ici 500 000 ans à un million d'années. Il est difficile d'évaluer avec précision les conséquences potentielles d'un tel phénomène géologique sur un dépôt de déchets nucléaires situé à proximité. Dès lors, au moment de choisir où implanter les laboratoires souterrains, seul le site de Meuse/Haute-Marne semble être accepté localement et présenter des qualités géologiques satisfaisantes aux yeux de la CNE. Pour respecter la loi de 1991 qui impose la construction de plusieurs laboratoires souterrains, et pour éviter que la Meuse et la Haute-Marne apparaissent trop tôt comme les départements choisis pour accueillir un stockage, la direction et les salariés de l'Andra se mobilisent afin de défendre l'implantation d'un laboratoire dans la Vienne. Malgré les difficultés relevées par la CNE à propos de l'hydrogéologie de ce site, l'Andra défend bec et ongles la nécessité d'y autoriser un laboratoire souterrain. Cependant, les critiques de la CNE poussent le gouvernement à refuser la demande d'autorisation de construction d'un laboratoire souterrain dans la Vienne (Patinaux, 2017, pp. 159-190).

16 Parce qu'elles sont d'abord effectuées depuis la surface, les prospections géologiques ne sont pas uniquement en prise avec des formations géologiques situées à plusieurs centaines de mètres sous terre. Elles s'insèrent également dans la vie locale des zones qui surplombent ces sous-sols. Cette dimension politique du travail des géologues de l'Andra influe sur le choix des sites qu'ils étudient et la justification de leurs choix. Par ailleurs, l'ensemble des formations géologiques sont traversées par des circulations hydrogéologiques qui relient les profondeurs du sous-sol à la surface. Dans les formations granitiques, les circulations le long des fractures sont potentiellement plus importantes et plus rapides que dans les formations argileuses. La loi de 1991 confère une grande importance politique à l'implantation de laboratoires souterrains. Toutefois, à l'échelle du prochain million d'années, de nombreux phénomènes sont susceptibles d'influer sur la roche et des phénomènes ténus peuvent également avoir des conséquences importantes. La caractérisation d'un site de stockage est de ce fait

toujours imprégnée d'incertitudes et sujette au débat. L'abandon des recherches dans la Vienne suite aux remarques de la CNE témoigne alors de l'important poids des évaluateurs de l'Andra dans la définition normative des qualités d'une formation géologique où enfouir des déchets nucléaires.

Pénétrer au contact de la roche

17 Durant les années 1990, l'Andra a étudié la géologie de différents sites depuis la surface. Lors du creusement d'un laboratoire souterrain à Bure, le contact direct avec la roche change le rapport des géologues à la roche qu'ils étudient. Cette seconde partie expose la manière dont l'Andra anticipe le creusement du laboratoire de Bure et ce qu'elle attend des recherches qui y seront menées. Cette partie montre également comment l'observation directe de la roche et des conséquences du creusement sur celle-ci transforment les savoirs géologiques et l'étude de la sûreté d'un potentiel stockage. Loin de stabiliser les représentations de l'évolution de la roche, la construction du laboratoire souterrain entraîne une complexification de ces dernières.

Craindre et croire dans la roche

18 En décembre 1998, un seul laboratoire est finalement autorisé à Bure, à la limite entre la Meuse et la Haute-Marne. Suivant le calendrier institué par la loi de 1991, l'Andra doit rendre un rapport au Parlement en 2006 sur la possibilité d'implanter un stockage géologique. Ce rapport doit être étayé par des données acquises dans le laboratoire souterrain. Contrairement au granite de la Vienne, les membres de la CNE ont toujours considéré que l'argilite du Callovo-Oxfordien de l'est du Bassin de Paris qui s'étend sous les départements de Meuse et de Haute-Marne a des propriétés optimales pour y implanter un dépôt géologique : la CNE relève ainsi que le site est homogène, stable et très peu perméable ; la géochimie de cette argilite devrait également favoriser la rétention des radionucléides[16]. Dans son rapport n° 2 de juin 1996, la commission écrivait :

> En résumé, le site de l'Est de la France a montré, pour tous les critères géologiques cités un ensemble de conditions a priori favorable ; ceci justifie pleinement pour la Commission que l'on y installe un laboratoire souterrain, en vue de compléter les informations déjà recueillies et de confirmer les conditions favorable du site[17].

19 Le laboratoire doit ainsi permettre d'affiner les connaissances de la roche et de vérifier que le Callovo-Oxfordien a bien des propriétés qui permettent d'envisager y enfouir des déchets. Lorsqu'il présente à la CNE le programme expérimental dans le laboratoire souterrain en janvier 2001, le responsable scientifique de ce programme reprend une terminologie similaire. Les objectifs généraux de ce laboratoire sont alors de « vérifier les capacités de confinement de cette formation », « vérifier les bases des modèles, utilisés pour simuler les perturbations que créerait un stockage » et « extrapoler les connaissances acquises dans le laboratoire de recherche souterrain à l'échelle d'un stockage[18] ». La géologie du site de Bure a toujours été considérée tant par l'Andra que par la CNE comme plus simple que celle de la Vienne. Toutefois, la confrontation matérielle avec la roche est tout de même source d'inquiétudes. Avant même d'avoir commencé à creuser les puits d'accès aux galeries du laboratoire souterrain situées à 500 mètres sous terre, les géologues de l'Andra et de la CNE redoutent que la roche ne révèle quelques surprises. À propos du programme expérimental de l'Andra à Bure, son

responsable note en mars 2000 que celui-ci devra « être assez souple pour pouvoir s'adapter aux connaissances acquises au fur et à mesure au déroulement du programme, notamment aux découvertes toujours possibles lorsque l'on rentre pour la première fois dans une formation géologique[19] ». La plupart des géologues recrutés par l'Andra au début des années 1990 travaillaient à la prospection d'uranium (Blanck, 2017). Leur culture minière leur a appris à se méfier des connaissances de la roche acquises depuis la surface. Parce qu'elle engage directement leur corps, la connaissance de la roche acquise dans la galerie, à son contact direct, est bien plus précieuse. L'ancien chef du service de reconnaissance géologique de l'Andra avait ainsi mis en garde le responsable scientifique des études à Bure : « Tu sais, en mine, tu sais comment ça se comporte que quand t'es dedans. [...] une galerie de mine, on sait qu'elle tient quand on est en-dessous, quand on est à l'intérieur. Avant, tu sais pas trop[20]. »

20 Lorsque l'Andra engage le creusement du laboratoire souterrain, elle appréhende donc cette nouvelle phase de recherche avec enthousiasme et inquiétude. D'une part, elle est portée par l'espoir que cette installation permettra de confirmer les qualités de confinement favorables de la roche, acquises depuis la surface. Dans cette zone unanimement considérée comme propice à l'enfouissement, elle engage une nouvelle phase de recherche qui doit lui permettre d'affiner la conception d'un stockage et ainsi de « résoudre » le problème de l'accumulation de déchets nucléaires. D'autre part, les géologues de l'agence sont pleinement conscients des surprises que seul peut révéler le contact avec la roche et ils se méfient des connaissances acquises lors des prospections géologiques depuis la surface. Pour des géologues empreints d'une culture minière, la connaissance de la roche s'acquiert à son contact, lorsqu'on y pénètre au risque de sa vie. Alors qu'il s'agit pour l'Andra de « vérifier » la pertinence d'implanter un stockage de déchets nucléaires devant confiner des radionucléides durant des centaines de milliers d'années, les géologues de l'agence gardent un œil circonspect sur les connaissances acquises depuis la surface, censées leur garantir la tenue de la roche dans laquelle ils s'apprêtent à creuser et à pénétrer.

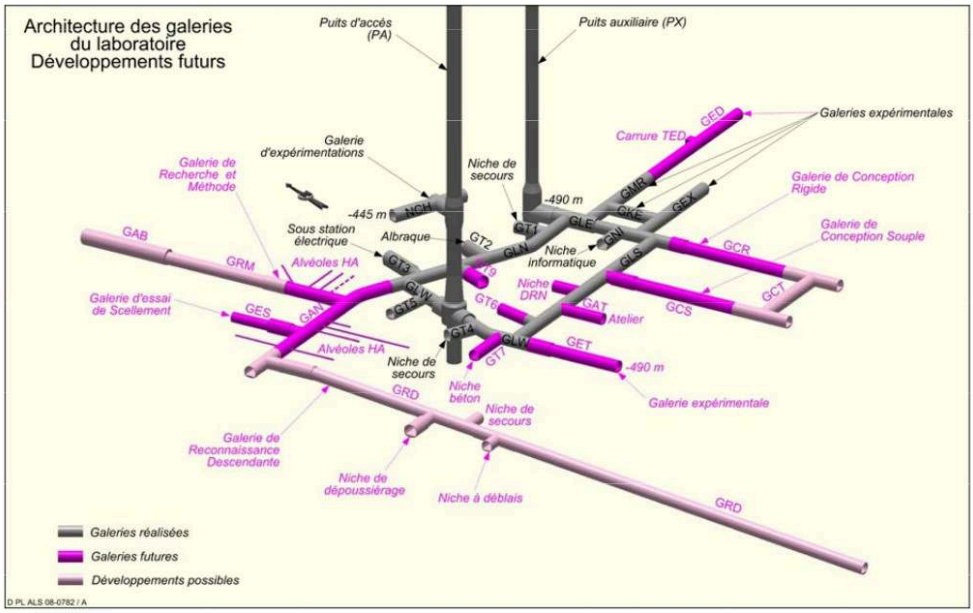
Être affecté par la roche

21 L'anticipation par l'Andra que le creusement du laboratoire souterrain pourrait perturber son programme de recherche n'a pas suffi à éviter les mauvaises surprises. D'abord, les travaux miniers ont provoqué deux accidents majeurs. Le 3 décembre 2001 à 1h10 du matin, un ouvrier chute de 14 mètres sur le chantier de creusement d'un des deux puits d'accès aux galeries souterraines. Bilan : de multiples fractures, la rate abîmée et un arrêt du chantier pendant un mois[21]. Le 15 mai 2002, un tube de 400 kg tombe d'une quarantaine de mètres et écrase un ouvrier qui travaillait dans le puits principal, à 226 mètres de profondeur. Suite à cet accident mortel, le chantier est stoppé pendant cinq mois par le tribunal de Bar-le-Duc qui pointe les « graves manquements en matière de sécurité » de la société Bouygues responsable des travaux[22].

22 Ces accidents rappellent le danger du travail dans les cavités minières. Ils réduisent le temps disponible pour effectuer des expériences dans le laboratoire souterrain avant l'échéance de 2006 et ils perturbent ainsi le programme scientifique de l'Andra. La rencontre directe des géologues de l'Andra avec la roche impose également des inflexions dans les plans de l'agence. Jusqu'alors la roche n'était connue qu'à l'aide

d'outils de mesures géophysiques ou de carottes prélevées depuis la surface. Les premières observations de la roche effectuées lors du creusement des puits ont révélé des profils de roche inattendus. Celles-ci ont amené les géologues de l'Andra à réviser l'importance et l'orientation des contraintes naturelles qui s'exercent sur la roche à l'endroit du laboratoire. Induites par la pression des mouvements tectoniques globaux, ces contraintes ont une importante incidence sur les profils de fracturation de la roche et la déformation mécanique des ouvrages souterrains. Pour prendre en compte cette caractéristique géomécanique mésestimée jusqu'alors, les galeries du laboratoire sont réorientées en fonction de celles-ci. Au lieu qu'une galerie rectiligne ne relie les deux puits, aux pieds de ces derniers, les ouvrages sont coudés pour être alignés avec les contraintes naturelles (fig. 2)[23]. Ainsi, l'architecture du laboratoire est adaptée au cours du creusement des puits d'accès en réaction à l'observation d'un phénomène qui n'avait pas été pris en compte par l'Andra avant le début des travaux. Avant même que le laboratoire souterrain ne soit entièrement creusé, l'observation directe de la roche amène les géologues à revoir leurs représentations de l'argilite du Callovo-Oxfordien.

Figure 2. Représentation 3D de l'architecture du laboratoire souterrain de Bure à la fin de l'année 2008 et des développements futurs de celui-ci



Crédits : Andra, « Audition CNE – Andra du 15 janvier 2009 : Projet HAVL », 2009)

23 L'importance de la vision dans le travail scientifique est devenue un lieu commun des études sociales des sciences (Pinch, 1985 ; Haraway, 1988)[24]. Ici encore, dans l'étude des possibilités du Callovo-Oxfordien à accueillir un stockage géologique, voir et toucher la roche transforment les représentations de celle-ci au point de justifier une modification de toute l'architecture du laboratoire. Une fois construit, celui-ci sera principalement dédié à l'installation d'expérimentations dans la roche depuis les galeries souterraines et à mener des essais technologiques des techniques de stockage. Les expérimentations en laboratoire se concentrent sur l'étude de phénomènes ténus particulièrement lents et les capteurs implantés dans la roche sont alors reliés à la surface permettant alors aux géologues et aux géochimistes de l'Andra de suivre l'acquisition de données à 500 mètres sous terre depuis leur bureau.

24 La capacité évocatrice de la matérialité de la roche est également exploitée dans l'entreprise politique consistant à convaincre le plus grand nombre du bien-fondé du recours à l'évacuation géologique des déchets nucléaires. Ainsi, au début des années 2000, le géologue de la CNE Ghislain de Marsily interroge ses collègues :

> Ne devons-nous pas [...] proposer l'installation de prototypes, par exemple dans d'anciennes carrières en région parisienne, pour une plus grande facilité d'accès et de visite par le public, pour que celui-ci puisse voir et toucher ? Sans démonstration pratique, les études et les recherches ne produiront guère de résultats convaincants[25].

25 La CNE reprend cette recommandation dans son septième rapport annuel de juin 2001. Elle souligne :

> En 2006, les pouvoirs publics et le public tout entier devront prendre la mesure de ce que représente un stockage de déchets en profondeur [...] et éventuellement acquérir la conviction que les propositions de construction d'un stockage présentent des garanties de sûreté suffisantes [...] Si les analyses de sûreté que conduira l'Andra sont précisément destinées à évaluer ces garanties de sûreté, du point de vue scientifique, il n'en reste pas moins que ces calculs conserveront un caractère très théorique et intellectuel, et ne saurait entraîner à eux seuls une opinion, qui se forge sur un ensemble de considérations dont certains sont hors du champ du raisonnement purement rationnel.
>
> Il apparaît dès lors qu'un des éléments permettant d'éclairer l'opinion est une bonne compréhension de ce que constitue en réalité un stockage, comment il est construit, comment il fonctionne et quelles dispositions assureront la sûreté du stockage. [...] Elle [la CNE] s'interroge [...] sur la possibilité de réaliser [...] une maquette, installation en vraie grandeur dans une galerie souterraine facilement accessible et visitable, et pas nécessairement à Bure, simulant un stockage en inactif, pour permettre aux autorités, aux parlementaires et au public de prendre la mesure de ce que représenterait un site de stockage réel[26].

26 L'Andra réalise une telle maquette de galerie à Bure dans un bâtiment en surface à la fin de l'année 2001. Pour les géologues comme pour l'ensemble des personnes qui se pencheraient sur la question de l'évacuation géologique des déchets nucléaires, le contact avec la roche porte un pouvoir de conviction plus grand que les calculs et les modèles. La capacité des géologues à se convaincre des qualités de la roche à son contact n'apparaît jamais dans les publications de l'Andra ni dans les propos qu'ils tiennent devant la CNE. Lors d'un entretien en décembre 2014, le responsable scientifique du chantier de creusement du laboratoire souterrain rapporte que lui et ses collègues géologues travaillant à Bure ont eu bien du mal à convaincre les directeurs scientifiques à Paris que leurs observations du profil de roche lors du creusement des puits ne correspondaient pas exactement à ce qu'ils attendaient[27]. C'est toutefois cette observation qui est à l'origine de l'évolution de l'architecture du laboratoire. L'observation et le contact de la roche sont ainsi acceptés par la direction de l'Andra et la CNE comme des techniques de persuasion du bien-fondé de l'enfouissement et délégitimés comme mode de connaissance. Il est par ailleurs remarquable que c'est le mouvement de la formation géologique dont les géologues observent les traces alors que c'est une représentation figée de la roche qui est présentée au public.

Affecter la roche

27 Le creusement de ce laboratoire et la possibilité inédite de pouvoir y réaliser des mesures et des expérimentations transforment les représentations qu'en ont les

géologues de l'Andra. En effet, le laboratoire souterrain offre la possibilité de mener des études à une échelle nouvelle qui n'est ni celle de la minéralogie fondée sur l'étude d'échantillons de roche, ni celle de la géophysique basée sur l'étude des formations géologiques et largement structurée par l'étude des évolutions passées de la géosphère. De plus, le creusement du laboratoire produit une perturbation de la roche située autour des ouvrages souterrains, l'*Excavated Damaged Zone* (EDZ). Sous l'action des engins de creusement, des micro-fractures se forment dans la roche. La ventilation met également au contact de la roche des gaz et de micro-organismes qui interagissent avec l'argile. Dans le stockage, la présence des déchets, pour certains assez calorifiques, influera également sur la roche et son hydrologie.

28 Les phénomènes qui se produiront dans cette zone de roche impactée par le stockage influeront potentiellement sur son évolution et la sûreté de l'ouvrage. Ainsi par exemple, le creusement des ouvrages provoque un assèchement de la roche dans l'EDZ. Après fermeture du stockage et diminution de la température des déchets, les ouvrages se re-satureront progressivement en eau. Les échanges géochimiques dans l'EDZ durant l'exploitation du stockage influent toutefois sur la composition chimique de l'eau au contact des déchets après cette re-saturation. Or, la composition de l'eau au contact des colis de déchets détermine leur vitesse de corrosion et donc le moment où les radionucléides arrivent en contact avec l'eau présente dans l'argile, principal vecteur de leur migration vers la surface. De plus, la micro-fracturation de la roche dans l'EDZ constitue potentiellement une voie de transfert privilégiée pour les fluides présents dans le stockage et dans la roche. L'eau présente naturellement dans l'argilite et qui saturera le stockage pourrait ainsi circuler dans l'EDZ, le long des ouvrages souterrains jusqu'aux puits faisant la liaison entre le fond et la surface. Elle court-circuiterait alors la « barrière géologique » et pourrait entraîner une contamination radiologique bien plus rapide que celle induite par la migration des radionucléides dans la roche « saine ». La possibilité de circulations dans l'EDZ n'est cependant pas toujours dommageable pour la sûreté d'un stockage. Certains phénomènes physico-chimiques comme la corrosion des colis métalliques produisent du gaz, notamment du dihydrogène. Une fois le stockage scellé, l'EDZ pourrait permettre la circulation de gaz dans les ouvrages souterrains. Il est très difficile de connaître avec précision ces circulations. Néanmoins, pour les ingénieur.es de l'Andra, l'enjeu est d'éviter l'accumulation de la production de gaz dans une poche où la pression pourrait permettre de fracturer la roche. La circulation de gaz dans l'EDZ pourrait éventuellement aussi permettre d'éviter que l'hydrogène, explosif à forte pression, puisse s'échapper du stockage le long de l'EDZ.

29 La zone endommagée autour des ouvrages représente une très faible couche de roche comparativement aux centaines de mètres qui doivent séparer le stockage de la surface. Cependant, par sa proximité avec les ouvrages et les déchets d'une part, et parce que cette EDZ est présente non seulement le long des galeries souterraines mais aussi le long des puits reliant le fond et la surface d'autre part, cette zone a une importance déterminante dans la sûreté d'un stockage. En effet, l'éventualité d'un « court-circuit » de la barrière géologique le long des ouvrages réduirait grandement l'intérêt d'enfouir les déchets à plusieurs centaines de mètres sous terre. L'existence des perturbations de la roche au voisinage du stockage est connue depuis longtemps. Toutefois, c'est réellement avec la construction d'un laboratoire souterrain à Bure qui permit l'observation et l'étude de cette zone endommagée que celle-ci est devenue un

enjeu important dans l'évaluation de la sûreté des projets de stockage. Les recherches effectuées dans le laboratoire souterrain de Bure, et notamment celles sur la caractérisation de l'EDZ, prennent une ampleur considérable à partir du milieu des années 2000 et elles transforment les représentations de la roche. En effet, il s'agit maintenant d'étudier une formation inscrite dans un contexte géologique global mais aussi désormais d'étudier l'ensemble des phénomènes susceptibles de se produire dans une faible couche de roche au contact des ouvrages. Les sous-sols n'ont jamais été considérés comme immuables sur les temporalités qui sont celles des déchets nucléaires. Cependant, c'est désormais une roche dont les propriétés mécaniques et hydrogéologiques seront impactées par la présence du stockage que l'Andra étudie.

30 Au contact de la roche, la représentation de l'inscription du stockage dans celle-ci a évolué et de nouvelles questions se sont posées sur les phénomènes influant sur la rétention des radionucléides. À mesure que de nouvelles études sont menées, de nouvelles connaissances sont produites et de nouvelles questions apparaissent. Cette dynamique propre à l'activité scientifique nuit à la stabilisation d'une représentation de l'évolution du stockage. À partir des années 2000, la caractérisation de l'EDZ prend une importance considérable. Sur les temporalités de l'ordre du million d'années, les formations géologiques subissent l'érosion et les effets des mouvements tectoniques. Toutefois, l'action humaine brève et brutale du creusement mécanique de la roche induit une transformation locale de celle-ci, susceptible de nuire au confinement des déchets nucléaires. La rencontre des géologues et de la roche n'affecte pas uniquement les géologues : elle affecte également la roche et nuit à la stabilisation escomptée des représentations de celle-ci.

Conclusion

31 Au terme de la période de quinze ans dévolue aux recherches par la loi de 1991, une nouvelle loi est votée en 2006. Celle-ci entérine que l'évacuation géologique est la solution nationale de gestion des déchets nucléaires. Si le site de Bure semble alors adapté pour accueillir un stockage, peu d'expériences ont été effectuées dans le laboratoire souterrain avant 2006 et il reste d'importantes incertitudes sur les phénomènes qui guideront l'évolution d'un stockage creusé dans l'argilite du Callovo-Oxfordien. De ce fait, la loi de 2006 ouvre une nouvelle période de recherche de dix ans avant que l'Andra ne dépose une demande d'autorisation d'un stockage – celle-ci a été reportée depuis. La construction d'un laboratoire souterrain à Bure a permis à l'Andra de s'implanter à Bure et aux géologues d'étudier la roche à une échelle nouvelle. Toutefois, le creusement d'ouvrages souterrains affecte la roche et transforme les représentations qu'en ont les géologues. La brutalité de cette rencontre rompt le rythme lent de l'évolution géologique. Désormais, c'est une roche dont le devenir est affecté par leur présence que les géologues de l'Andra étudient.

32 À partir de 1991, le travail des géologues de l'Andra est toujours une entreprise politique en même temps qu'une recherche de garanties de la sûreté d'un potentiel stockage. Les foreuses et le laboratoire souterrain donnent en spectacle l'activité scientifique et permettent la production de connaissance sur la roche. Ces travaux prospectifs lient les profondeurs du sous-sol à la surface, déjà reliées par des circulations hydrogéologiques susceptibles d'entraîner les radionucléides enfouis vers les populations vivant à l'aplomb du stockage. Choisir un site de stockage consiste à

sélectionner une formation géologique à même de confiner des radionucléides et une région qui accepte la présence d'un tel ouvrage. C'est aussi choisir une roche hôte située dans un contexte tectonique particulier et étudier ses perturbations locales sous l'action du creusement. Le travail des géologues de l'Andra demande ainsi d'appréhender le sous-sol dans son épaisseur et sur une large étendue spatiale, d'évaluer son évolution durant un temps quasi-infini mais aussi de comprendre les interactions géochimiques aux abords des ouvrages souterrains et d'analyser les impacts du creusement brusque de la roche. Articuler ces différentes échelles est nécessaire pour comprendre le travail des géologues comme la politique d'implantation d'un stockage de déchets nucléaires.

Je remercie Céline Granjou, Marion Leboucher, Germain Meulemans ainsi que les deux relecteurs anonymes pour leurs commentaires et leurs remarques précieuses sur les versions antérieures de ce texte qui ont grandement aidé à l'améliorer. Je reste bien sûr le seul responsable des imprécisions ou des erreurs qui pourraient y subsister.

BIBLIOGRAPHIE

Association contre le nucléaire et son monde (2007). *Histoire lacunaire de l'opposition à l'énergie nucléaire en France*. Paris : Éditions La Lenteur.

Barthe, Y. (2006). *Le Pouvoir d'indécision. La Mise en politique des déchets nucléaires*. Paris : Economica.

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)*. Thèse de doctorat, Sciences Po, Centre de Sociologie des Organisations, Paris.

Berkhout, F. (1991). *Radioactive Waste: Politics and Technology*. London; New York: Routledge.

Bosworth, K. (2017). Thinking Permeable Matter Through Feminist Geophilosophy: Environmental Knowledge Controversy and the Materiality of Hydrogeologic Processes. *Environment and Planning D: Society and Space*, *35*(1), 21-37.

Braun, B. (2000). Producing Vertical Territory: Geology and Governmentality in Late Victorian Canada. *Ecumene*, *7*(1), 7-46.

Cantoni, R. (2017). *Oil Exploration, Diplomacy, and Security in the Early Cold War: The Enemy Underground*. London: Routledge.

Churchill, W., & LaDuke, W. (1986). Native America: the Political Economy of Radioactive Colonialism. *Insurgent Sociologist*, *13*(3), 51-78.

Durant, D., & Johnson, G. F. (2009). *Nuclear Waste Management in Canada: Critical Issues, Critical Perspectives*. Vancouver, BC: University of British Columbia.

Hamblin, J. D. (2008). *Poison in the Well. Radioactive Waste in the Oceans at the Dawn of the Nuclear Age*. New Brunswick: Rutgers University Press.

Haraway, D. (1988). Situated Knowledges: The Science Question in Feminism and the Privilege of Partial Perspective. *Feminist studies*, *14*(3), 575-599.

Hecht, G. (2012). *Being Nuclear: Africans and the Global Uranium Trade*. Cambridge: MIT Press.

Laudan, R. (1987). *From Mineralogy to Geology: the Foundations of a Science, 1650 - 1830*. Chicago: University of Chicago Press.

Kearnes, M., & Rickards, L. (2017). Earthly Graves for Environmental Futures : Techno-burial Practices. *Futures*, *92*, 48-58.

Lits, G. (2013). Analyse du rôle des chercheurs en sciences sociales dans la gestion des déchets radioactifs. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, *13*(2). http://vertigo.revues.org/14207

Macfarlane, A., & Ewing, R. C. (2006). *Uncertainty Underground: Yucca Mountain and the Nation's High-Level Nuclear Waste*. Cambridge: MIT Press.

Mazur, A., & Conant, B. (1978). Controversy over a Local Nuclear Waste Repository. *Social Studies of Science*, *8*(2), 235-243.

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).* Thèse de doctorat, École des Hautes Études en Sciences Sociales, Centre Alexandre Koyré, Paris.

Petit, J.-C. (1993). *Le Stockage des déchets radioactifs : perspective historique et analyse sociotechnique.* Thèse de doctorat, École des Mines, Centre de sociologie de l'innovation, Paris.

Pinch, T. (1985). Towards an Analysis of Scientific Observation: The Externality and Evidential Significance of Observational Reports in Physics. *Social Studies of Science*, *15*(1), 3-36.

Rudwick, M. J. S. (1976). The Emergence of a Visual Language for Geological Science 1760-1840. *History of Science*, *14*(3), 149-195.

Shrader-Frechette, K. S. (1993). *Burying Uncertainty: Risk and the Case against Geological Disposal of Nuclear Waste*. Berkeley: University of California Press.

Sundqvist, G. (2002). *The Bedrock of Opinion: Science, Technology and Society in the Siting of High-Level Nuclear Waste*. Dordrecht: Springer Netherlands.

Troch, K. (2018). *Ne pas grever l'avenir au bénéfice du présent. Une histoire environnementale de l'extraction du charbon de la fin du 18e siècle à l'Entre-deux-guerres: un développement non soutenable. L'exemple du Couchant de Mons et du Valenciennois.* Thèse de doctorat, Université de Lille 3/ Université de Namur, Lille/Namur.

NOTES

1. Dans ce texte, afin d'en alléger la lecture, je désigne par « déchets nucléaires » uniquement les déchets issus de la production électro-nucléaire dont l'activité radiologique est importante et le temps de demi-vie est long. Ceux-ci ne représentent qu'un infime volume de l'ensemble des déchets nucléaires produits mais ils concentrent la majeure partie de la radioactivité contenue dans l'ensemble des déchets nucléaires. Ils soulèvent ainsi des enjeux de gestion spécifiques qui sont au cœur des questions dont traite ce papier.

2. La radioactivité est un phénomène qui décroît avec le temps. Pour un échantillon d'un radionucléide donné, le temps de demi-vie correspond à la période nécessaire pour que la radioactivité de celui-ci ait décru de moitié. Par exemple, la demi-vie du plutonium 239 est de 24 000 ans, celle du technétium 99 est de 211 000 ans et celle du neptunium 237 est de 2 144 000 ans. Il est généralement admis par les organismes de radioprotection qu'un échantillon n'est plus radioactif au bout de dix demi-vies.

3. Ministère de l'Industrie, des P.&T. et du Tourisme, Stockage des déchets radioactifs en formations géologiques. Critères techniques de choix de site. Rapport du groupe de travail présidé par le professeur Goguel, mai 1987.
4. Loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs, Journal Officiel de la République Française, 1 janvier 1992, article 4.
5. Andra, Recherches de sites pour l'implantation de laboratoires souterrains d'études géologiques. Résultats des travaux réalisés en 1994, 6 février 1995.
6. Entretien avec B. M. (responsable des prospections géologiques à l'Andra durant les années 1990), 22 janvier 2015.
7. Jacques Monestier, *Note prospective sur les décisions d'ouverture en matière de construction des laboratoires souterrains*, Cellule d'Observation et de Conseil sur l'Implantation de Laboratoires de Recherche Souterrains, 24 juin 1994 ; Yves Kaluzny, *Construction des laboratoires souterrains de recherche. Quel processus de décision ?*, Andra, 5 juillet 1994 ; Philippe Kahn et Xavier Ouin, *Note à l'attention d'Antoine Blanc. Implantation de laboratoires souterrains de recherche sur le stockage de déchets radioactifs à vie longue et à haute activité : le processus de décision*, Direction Générale de l'Énergie et des Matières Premières, Service des Affaires Nucléaires, 5 septembre 1994. Boite Andra n° 2001 0561.
8. Jacques Monestier, Note prospective sur les décisions d'ouverture en matière de construction des laboratoires souterrains, p.3.
9. Jacques Monestier, Note prospective sur les décisions d'ouverture en matière de construction des laboratoires souterrains, p.3.
10. M. Allègre, Présentation du rapport CNE aux acteurs de la loi le 29 juin 1995, 5 juillet 1995.
11. Commission Nationale d'Évaluation, Rapport d'évaluation n°2, juin 1996, pp.56-57.
12. Groupe Permanent Déchets, *Compte rendu des réunions des 26, 27 et 28 février 1996,* Ministère de l'Industrie, de la Poste et des Télécommunications, 7 février 1997, p.29.
13. Groupe Permanent Déchets, *Compte rendu des réunions des 26, 27 et 28 février 1996,* Ministère de l'Industrie, de la Poste et des Télécommunications, 7 février 1997, p.30.
14. Groupe Permanent Déchets, *Projet de compte rendu de la réunion du 24 mars 1997*, Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, 27 mai 1998.
15. Commission Nationale d'Évaluation, Rapport d'évaluation n° 2, juin 1996, pp. 53-54.
16. Rapport CNE n° 2, juin 1996, pp. 48-50.
17. Rapport CNE n° 2, juin 1996, p. 50. Je souligne.
18. Compte-rendu de l'audition CNE du 19 janvier 2001. p.5. Je souligne.
19. Compte-rendu de l'audition CNE du 28 mars 2000. p. 14.
20. Entretien avec J. D., Bure, 10 décembre 2014.
21. Reprise des travaux au chantier du laboratoire souterrain de Bure, AFP, 15 janvier 2002.
22. La justice décide l'arrêt du chantier du laboratoire de Bure pour cinq mois, AFP, 26 juin 2002.
23. Entretien avec J. D., Bure, 10 décembre 2014. Compte-rendu de l'audition CNE du 9 janvier 2002, p. 13.
24. Cf. le numéro de la *Revue d'Anthropologie des connaissances* paru en 2020 : « La fabrication du regard et des "façons de voir" dans l'apprentissage du métier ».
25. Compte-rendu de l'audition CNE du 28 février 2001, p. 13.
26. Rapport n° 7 de la CNE, juin 2001, p. 65.
27. Entretien avec J. D. (responsable scientifique du site de Bure durant les années 2000), Bure, 10 décembre 2014.

RÉSUMÉS

Cet article porte sur le travail des géologues de l'Agence nationale pour la gestion des déchets nucléaires (Andra). Il montre que les prospections qu'ils réalisent sont destinées à caractériser la géologie d'un site de stockage autant qu'à familiariser une région avec la présence de l'industrie nucléaire. Ce texte insiste sur les liens qui relient les profondeurs géologiques à la surface : les forages et les recherches effectuées mais aussi les circulations hydrogéologiques susceptibles d'entraîner les radionucléides enfouis vers la surface. De plus, ce texte montre comment le creusement du laboratoire souterrain de Bure (Meuse) affecte la roche et transforme les représentations de celle-ci qu'en ont les géologues de l'Andra. Ainsi, cet article analyse les rapports politiques et épistémiques des géologues de l'Andra aux formations géologiques où pourraient être enfouis des déchets nucléaires.

This article focuses on the work of geologists of the French National Agency for Radioactive Waste Management (Andra). It shows that their geological prospecting are intended to characterize the geology and, at the same time, to familiarize a region with the nuclear industry. This text emphasizes the connections between the deep geology and the soil surface: boreholes, researches and also hydraulic flow which could cause radionuclide migration from the storage to the surface. Moreover, this paper explains how the digging of an underground research laboratory (URL) in Bure (Meuse, France) affects the rock and how it transforms the Andra's geologists representations of the clay. This article analyzes thus political and epistemic relations of the Andra's geologists to the geologic formations in which radioactive waste could be buried.

Este artículo se centra en el trabajo de los geólogos de la Agencia Nacional de Gestión de Residuos Nucleares (Andra). Muestra que los estudios que realizan tienen por objeto caracterizar la geología de un emplazamiento de eliminación de residuos tanto como familiarizar a una región con la presencia de la industria nuclear. Este texto destaca los vínculos entre las profundidades geológicas y la superficie: las perforaciones e investigaciones realizadas, pero también las circulaciones hidrogeológicas susceptibles de llevar los radionucleidos enterrados a la superficie. Además, este texto muestra cómo la excavación del laboratorio subterráneo de Bure (Mosa, Francia) afecta a la roca y transforma las representaciones que los geólogos de Andra tienen de ella. Así, este artículo analiza las relaciones políticas y epistémicas de los geólogos de Andra con las formaciones geológicas donde los residuos nucleares podrían ser enterrados.

INDEX

Mots-clés : déchet nucléaire, prospection géologique, sous-sol, laboratoire souterrain, Bure (Meuse - France), Andra (Agence Nationale pour la gestion des Déchets RAdioactifs)
Palabras claves : residuo nuclear, prospección geológica, sótano, laboratorio subterráneo, Bure (Meuse - Francia), Andra (Agencia Nacional de Gestión de Residuos Nucleares)
Keywords : nuclear waste, geological prospecting, underground, underground research laboratory (URL), Bure (Meuse - France), Andra (French National Agency for Radioactive Waste Management)

AUTEUR

LENY PATINAUX

Chercheur post-doctorant à l'Ifris, financé par le Labex Sites. Il a soutenu en 2017 une thèse sur l'histoire de la gestion des déchets nucléaires en France et travaille désormais sur les rapports entre politiques énergétiques et protection de l'environnement.

Adresse : Laboratoire Techniques Territoires et Sociétés (Latts), École des Ponts ParisTech – Latts, 6 et 8 avenue Blaise Pascal, Cité Descartes, FR-77455 Marne-la-Vallée cedex (France).
Courriel : leny.patinaux[at]enpc.fr