



HAL
open science

Enfouir des déchets nucléaires dans un monde conflictuel. Une histoire de la démonstration de sûreté de projets de stockage géologique, en France (1982-2013)

Leny Patinaux

► To cite this version:

Leny Patinaux. Enfouir des déchets nucléaires dans un monde conflictuel. Une histoire de la démonstration de sûreté de projets de stockage géologique, en France (1982-2013). Histoire, Philosophie et Sociologie des sciences. EHESS, 2017. Français. NNT: . tel-01974327

HAL Id: tel-01974327

<https://hal.science/tel-01974327>

Submitted on 8 Jan 2019

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.

École doctorale Sciences, savoirs, techniques : histoire et société

Centre Alexandre Koyré

Doctorat

Discipline : Histoire option Histoire des sciences

PATINAUX LENY

**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 dirigée par : Dominique Pestre

Date de soutenance : 11 décembre 2017

Rapporteuses - Soraya Boudia, Université Paris Descartes
- Gabrielle Hecht, Stanford University

Jury - Luis Aparicio, Andra
- Soraya Boudia, Université Paris Descartes
- Claude Gilbert, CNRS
- Gabrielle Hecht, Stanford University
- Dominique Pestre, EHESS
- Sezin Topçu, CNRS

*« Mon Dieu, mon Dieu, merci d'avoir inventé Marx. Vous n'étiez pas forcé. »
Brigitte Fontaine, Comme à la radio, 1970*

« Si vous prétendez que l'histoire n'a pas de sens, je vous répondrai qu'il s'agit de lui en donner un. [...] qu'avons nous besoin de tours et de détours, de divagations et de spéculations ? Ce n'est pas le moment de jouer les dilettantes avec les idées, ou de ruser avec les faits. L'indéterminé, le doute, ne sont productifs qu'en relation avec du déterminé, du certain, sinon ils sont aussi stériles qu'une confiance aveugle. Si on ne veut rien reconnaître comme inconnu et nouveau, on a une pensée dogmatique, mais si on ne veut rien tenir pour connu et acquis, on ne peut avoir qu'une pensée inconsistante. »

*Jaime Semprun, Dialogues sur l'achèvement des temps modernes,
Éditions de l'Encyclopédie des Nuisances, 1993, pp.120-121*

REMERCIEMENTS

Je voudrais tout d'abord remercier Dominique Pestre de m'avoir proposé de travailler sur l'histoire de la gestion des déchets nucléaires lorsque j'arrivais en master au Centre Alexandre Koyré après des études de physique. Ses conseils et ses encouragements ont été un accompagnement précieux durant toutes ces années. Je dois beaucoup aux longues discussions que nous avons eu tout au long de ce travail.

Je voudrais ensuite remercier Luis Aparicio de m'avoir accueilli à l'Andra et d'avoir tout fait pour faciliter mes recherches.

Je voudrais également remercier Soraya Boudia, Claude Gilbert, Gabrielle Hecht et Sezin Topçu d'avoir accepté de participer au jury de cette thèse. Ma lecture de leurs propres travaux a été une source d'inspiration importante et je suis ravi de leur soumettre ce travail.

Je voudrais aussi remercier les jeunes chercheurs et chercheuses, avec qui j'ai partagé l'épreuve que constitue l'écriture d'une thèse, pour toutes les discussions passionnantes que nous avons eu. Je pense notamment à Sara Angeli Aguiton, Laura Barbier, Julie Blanck, Gemma Cirac, Maxime Combes, Lise Cornilleau, Raphaël Cos, Benoit Dauguet, Antonio Delfini, Sylvain Di Manno, Emmanuelle Duguet, Rémi Durant, Aurélien Féron, Claire Flecher, Ludovic Fulleringer, Maël Goumri, Camille Guenebeaud, Lucie Horn, Xilin Huang, Tatiana Kasperski, Edouard Leport, Thomas Lerosier, Frabrizio Li Vigny, Sacha Loeve, Flora Losh, Yannick Mahrane, Baptiste Monsaingeon, Tania Navarro, Adeline Néron, Marianne Noël, Julien O'Miel, Marie Perrin, Céline Pessis, Mathilde Pette, Benjamin Raimbault, Mathias Roger, David Santana, Başak Saraç-Lesavre, Cécile Talbot, Jessica Thomas, Sidonie Verhaeghe et Aline Waltzing. Je suis particulièrement redevable à celles et ceux qui ont gentiment relu et commenté des morceaux de ce travail. J'ai également une pensée amicale pour mes camarades de bibliothèque. Un grand merci aussi à Sarah Elghazi, Coraline Guilbert et Aude Vidal d'avoir participé à traquer les coquilles dans le manuscrit. Merci à Jeanne Lechevalier et Hugo Patinaux d'être venu.es à Lille par un beau week-end d'octobre. Et à Édouard Leport pour avoir accompagné ce travail jusqu'au bout.

Je voudrais remercier les documentalistes de l'Andra de s'être montré.es disponibles pour mon travail. Je voudrais aussi remercier Medhi Ayad, Anne Sirand, Véronique Martin, Jean-Paul Théologides d'avoir facilité bien des aspects concrets de cette thèse.

Enfin, *last but not least*, je voudrais remercier ma famille et notamment Florence Levasseur qui a courageusement relu l'intégralité du manuscrit. Et remercier les potes. Et mes colocataires de m'avoir apporté de la tisane et du chocolat les nuits où je rêvais de Zotéro.

SOMMAIRE

Remerciements.....	5
Sommaire.....	6
Liste des sigles.....	9
Table des figures.....	12
Introduction.....	15
L'immersion, une première solution face à l'accumulation de déchets.....	18
L'enfouissement, un projet à long terme.....	23
Les sciences sociales et l'enfouissement des déchets.....	28
Administrer la preuve de la sûreté d'un stockage ?.....	34
Chapitre 1. L'Analyse de sûreté à l'épreuve de l'implantation d'un stockage.....	43
I. Sera-t-il possible de montrer la sûreté d'un dépôt géologique de déchets nucléaires ?.....	45
II. Deux commissions pour une politique de gestion de l'aval du cycle nucléaire.....	60
III. Contourner l'opposition au stockage.....	75
Conclusion. Démontrer la sûreté est possible, à condition de trouver un site.....	89
Chapitre 2. Y a-t-il des éléments rédhitoires à l'implantation d'un stockage ? Controverses autour de la géologie d'une formation granitique.....	93
I. La difficile étude du granite de la Vienne.....	95
II. Première évaluation du travail de l'Andra et premières critiques.....	111
III. Une accumulation de critiques.....	125
Conclusion. Règle de sûreté, éléments rédhitoires et analyse globale.....	139
Chapitre 3. « Occuper utilement le terrain » puis attendre. Tractations politiques autour de l'implantation des laboratoires souterrains.....	143
Prologue.....	143
Introduction.....	144
I. Prendre une décision au bon moment.....	146
II. Défendre l' « esprit de la loi » par une décision rapide.....	159
III. Deux laboratoires mais un seul site.....	182
Conclusion.....	186
Chapitre 4. Des outils pour analyser la sûreté. Scénarios, simulation numérique et représentations de l'évolution d'un stockage.....	193
I. Analyser la sûreté avec méthode.....	195

II. Calculer l'impact radiologique d'un projet de stockage.....	211
III. Vers une transformation des usages et des pratiques de simulation numérique.....	230
Conclusion. Une analyse globale indispensable et impossible.....	239
Chapitre 5. Le Dossier 2005, un rapport massif aux conclusions modestes pour une politique mesurée.....	243
I. Préparer l'échéance de 2005 dès le début des années 2000.....	246
II. Montrer la faisabilité d'un stockage et construire l'adhésion du public.....	258
III. Le Dossier 2005 : un rapport massif et modeste.....	270
Épilogue : Un débat public et une loi.....	288
Conclusion. Obligation de produire un rapport convaincant et poursuite des recherches.....	290
Chapitre 6. Vers le creusement du stockage. Expérimentations dans le laboratoire souterrain, implantation locale et recherches en sciences sociales.....	295
I. Multiplication des essais dans le laboratoire souterrain.....	296
II. Implantation locale, gestion de la critique et financement du stockage.....	309
III. Sciences sociales et gouvernance de Cigéo.....	323
Conclusion. Engager le projet de stockage malgré l'existence inexorable d'incertitudes.....	345
Chapitre 7. « Ne pas trop se faire peur ». Sélectionner des hypothèses pour les calculs d'impact et anticiper leurs conséquences.....	349
I. Objets et déroulement des revues.....	352
II. Faire face aux incertitudes, faire avec les incertitudes	357
III. États et évolutions du stockage.....	369
IV. Caractérisation des colis et inventaire radiologique du stockage.....	381
Conclusion. Un exercice réaliste pour une démonstration robuste ?.....	399
Conclusion.....	404
I. Des outils pour appréhender l'évolution du stockage.....	407
II. Gérer des déchets pour stabiliser l'industrie électro-nucléaire.....	411
III. Une histoire conflictuelle.....	414
Bibliographie.....	420
Liste des sources.....	440
Annexe 1. Commentaire sur les sources utilisées.....	454
Annexe 2. Références Andra des boîtes dont sont extraites les sources citées dans cette thèse.....	462
Table des matières.....	464

LISTE DES SIGLES

AEN : Agence pour l'Énergie Nucléaire de l'OCDE

AERES : Agence d'Évaluation de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur

Acro : Association pour le Contrôle de la Radioactivité dans l'Ouest

AIEA : Agence Internationale de l'Énergie Atomique

Alara : *As Low As Reasonably Achievable*

Andra : Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs

APSS : Analyse Phénoménologique des Situations de Stockage

AQS : Analyse Qualitative de Sûreté

ASN : Autorité de Sûreté Nucléaire

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

CEA : Commissariat à l'Énergie Atomique (devenu en 2010 Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives)

CCE : Commission des Communautés Européennes

CEPN : Centre d'étude sur l'Évaluation de la Protection dans le domaine Nucléaire

CFDT : Confédération Française Démocratique du Travail

CFE-CGC : Confédération Française de l'Encadrement - Confédération Générale des Cadres

CHU : Centre Hospitalier Universitaire

Cemracs : Centre d'Été Mathématique de Recherche Avancée en Calcul Scientifique

CEN-SCK : Centre d'Étude de l'Énergie Nucléaire – *StudieCentrum voor Kernenergie*

CEPN : Centre d'étude sur l'Évaluation de la Protection dans le domaine Nucléaire

Cigéo : Centre Industriel de stockage Géologique

CIPR : Commission Internationale de Protection Radiologique

Clis : Comité Local d'Information et de Suivi

CNE : Commission Nationale d'Évaluation

CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique

Coesdic : Comité d'Expertise et de Suivi de la Démarche d'Information et de Consultation de l'Andra

Cosrac : Comité de Suivi des Recherches sur l'Aval du Cycle nucléaire

Cogéma : Compagnie Générale des MATières nucléaires

Cox : Callovo-Oxfordien

CRII-RAD : Commission de Recherche et d'Information Indépendantes sur la Radioactivité

DAC : Demande d'Autorisation de Construction

DAIE : Demande d'Autorisation d'Implantation et d'Exploitation

DES : Département d'Évaluation de Sûreté (IPSN)

DGEMP : Direction Générale de l'Énergie et des Matières Premières (Ministère de l'Industrie)

DIP : Direction de l'Ingénierie et du Projet Cigéo (Andra)

DMR : Direction de la Maîtrise des Risques (Andra)

DP : Direction des Projets (Andra)

DRD : Direction de la Recherche et Développement (Andra)

DS : Direction Scientifique de (Andra)

DOE : *Department Of Energy*

DSIN : Direction de la Sûreté des Installations Nucléaires

ECN : *Energieonderzoek Centrum Nederland*

EDF : Électricité De France

EDZ : *Excavated Damaged Zone*

Epic : Établissement Public d'Intérêt Commercial

EPR : *European Pressurized Reactor*

ERP : Établissement Recevant du Public

Everest : *Evaluation of Elements Responsible for the effective Engaged dose rates associated with the final Storage of radioactive waste*

FEP : *Features, Events and Processes*

GP (ou GPD) : Groupe Permanent Déchets

GRS : *Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, mbH*

GSIN : Groupement des Scientifiques pour l'Information sur l'Énergie Nucléaire

IEER : *Institute for Energy and Environmental Research*

IIE : *Independent Initiating Events*

Inria : Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique

IPSN : Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire

IRSN : Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire

MéloDie : Modèle d'Évolution à Long terme des Déchets Irradiants Enterrés

Métis : Modélisation des Écoulements et des Transferts avec Interaction en milieu Saturé

Momas : MODélisation MATHématique et Simulations numériques liées aux études d'entreposage souterrain de déchets radioactifs

OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Économiques

ONU : Organisation des Nations Unies

Opecst : Office Parlementaire d'Évaluation des Choix Scientifiques et Technologiques

Pagis : *Performance Assessment of Geological Isolation System*

PAAG : *Performance Assessment Advisory Group (AEN)*

PIGD : Plan Industriel de Gestion des Déchets

PS : Parti Socialiste

PSPS : Plate-forme de Simulation de Performance de Stockage

RC2 : Revue des Colis 2

R&D : Recherche et Développement

RFS : Règle Fondamentale de Sûreté

RFMD : Revue Finale des Modèles et des Données

RPR : Rassemblement Pour la République

RWCM : *Radioactive Waste Management Committee (AEN)*

SEN : Scénario d'Évolution Normale

SKB : *Svensk Kärnbränslehantering*

UDF : Union pour la Démocratie Française

UMP : Union pour un Mouvement Populaire

VER : Volume Élémentaire Représentatif

WIPP : *Waste Isolation Pilot Plant*

TABLE DES FIGURES

Figure 1. Filière de gestion des déchets nucléaires en fonction de leur activité et du temps de leur demi-vie.....	16
Figure 2. Volumes (en m3) de déchets inventoriés en fonction des catégories de déchets fin 2013..	17
Figure 3. Contribution relative des différentes catégories de déchets à l'activité et au volume totaux des déchets existants.....	18
Figure 4. Représentation d'un stockage géologique multi-barrières.....	46
Figure 5. Schéma des opération concourant à l'évaluation du risque lié à un stockage de déchets..	50
Figure 6. Carte de l'implantation des forages par l'Andra dans la Vienne en 1994.....	98
Figure 7. Coupe géologique simplifiée du secteur de La Chapelle-Bâton.....	100
Figure 8. Schéma d'une architecture modulaire d'un stockage géologique dans un réseau de fractures imaginaire.....	129
Figure 9. Schéma d'un concept de stockage multi-barrières.....	196
Figure 10. Représentation des effets espérés des fonctions "retarder" et "limiter".....	197
Figure 11. Représentation de la démarche de modélisation de l'Andra.....	212
Figure 12. Représentation du maillage de la géologie d'un site.....	218
Figure 13. Schéma des voies de transfert des radionucléides et des sources d'irradiation potentielles pour le site de Barfleur.....	219
Figure 14. Schéma général du transfert d'un radionucléide entre deux compartiments.....	220
Figure 15. Capture d'écran de l'interface du logiciel Oasis.....	224
Figure 16. Décomposition de la modélisation en différents compartiments par l'Andra pour le Dossier 2001.....	250
Figure 17. Schéma des phénomènes à prendre en compte pour étudier le comportement des alvéoles destinées à stocker les déchets HAVL.....	298
Figure 18. Représentation 3D de l'architecture du laboratoire souterrain de Bure à la fin de l'année 2008 et des développements futurs de celui-ci.....	302
Figure 19. Représentation 3D de la répartition des forages équipés de capteurs de l'essai SDZ autour de la galerie GED.....	303
Figure 20. Photo de l'intérieur de la galerie SDZ.....	304
Figure 21. Représentation 3D de l'essai de forage d'alvéoles HAVL.....	306
Figure 22. Représentation de l'architecture prévisionnelle du stockage Cigéo en 2009.....	310
Figure 23. Étapes de fermeture d'un stockage réversible.....	328

Figure 24. Profil de pressions hydrostatiques mesurées dans le Callovo-Oxfordien et les formations aquifères sus- et sous-jacentes, au droit du Laboratoire de Meuse/Haute-Marne.....	359
Figure 25. Évolution des marges envisagées pour l'inventaire radiologique de Cigéo en fonction de la connaissance de l'Andra sur les familles de déchets.....	394
Figure 26. Schéma des deux méthodes de construction de l'inventaire par analogie proposées durant la RFMD-3.....	396

INTRODUCTION

Comme les communicant.es au service de l'industrie nucléaire aiment à le rappeler, la radioactivité est partout. Les bananes, le granite breton et, bien plus largement, toute la matière émet des radiations. Celle-ci est due à l'existence de radionucléides, c'est-à-dire d'atomes instables contenant, dans leurs noyaux, trop de nucléons (trop de protons, trop de neutrons ou trop de protons et de neutrons), et qui libèrent de l'énergie et une particule pour devenir stables. Trois types de particules, α , β ou γ , peuvent être émises. Ces émissions correspondent à trois types de radiations, plus ou moins nocives. L'activité radioactive définit le nombre de désintégrations radioactives par seconde d'un échantillon. Elle se compte en Becquerel (Bq). L'impact d'un rayonnement sur un individu dépend de la quantité de radiations absorbées et du temps d'exposition aux radiations. Elle se mesure en Sievert (Sv). L'activité d'un échantillon décroît avec le temps, au fur et à mesure que les radionucléides qui le composent deviennent stables. Le temps de demi-vie définit le temps nécessaire pour que la radioactivité d'un échantillon décroisse de moitié. Avec l'activité, cette grandeur permet de caractériser la radioactivité.

Durant l'entre-deux-guerres, l'industrie du radium est florissante¹. Les radiations émises par ce métal sont utilisées à des fins thérapeutiques, en baumes ou en cataplasmes. Elles ont également bien d'autres usages. Dans certains magasins de chaussures, on réalise des radiographies des pieds des client.es pour déterminer leur pointure². Peintes au radium, les aiguilles des réveils brillent dans la nuit. Les jeunes femmes qui minutieusement peignent ces aiguilles lèchent régulièrement leur pinceaux pour en regrouper les poils³. Parfois, elles se fardent avec la peinture au radium pour briller le samedi soir. Nombreuses sont celles qui souffrent de cancers de la langue et de la mâchoire : ces *radium girls* constituent l'une des premières populations malades de la radioactivité. Par ailleurs, le radium et l'américium sont utilisés pour la fabrication de paratonnerres jusqu'en 1986. Les résidus de l'industrie radifère ne font l'objet d'aucune gestion spécifique : comme la plupart des déchets chimiques, ils sont alors massivement dispersés dans la nature⁴.

1 Edward R. Landa, « A Brief History of the American Radium Industry and its Ties to the Scientific Community of its Early Twentieth Century », *Environment International*, 1993, vol. 19, n° 5, pp. 503-508 ; Soraya Boudia, « The Curie Laboratory: Radioactivity and Metrology », *History and Technology*, 1997, vol. 13, n° 4, pp. 249-265 ; Xavier Roqué, « Marie Curie and the Radium Industry: A Preliminary Sketch », *History and Technology*, 1997, vol. 13, n° 4, pp. 267-291 ; Maria Rentetzi, « The U.S. Radium Industry: Industrial In-house Research and the Commercialization of Science », *Minerva*, 2008, vol. 46, n° 4, pp. 437-462.

2 Jacob D. Hamblin, *Poison in the Well. Radioactive Waste in the Oceans at the Dawn of the Nuclear Age*, New Brunswick, Rutgers University Press, 2008, p. 12.

3 Claudia Clark, *Radium Girls: Women and Industrial Health Reform. 1910-1935*, Chapel Hill, University of North Carolina Press, 1997.

4 E. R. Landa, « A Brief History of the American Radium Industry and its Ties to the Scientific Community of its

Le développement de la bombe atomique durant la Seconde Guerre mondiale transforme les usages de la radioactivité. Il induit la production de déchets nucléaires nouveaux, bien plus radioactifs que les résidus de l'industrie radifère. L'uranium 235 et le plutonium 239, utilisés à des fins militaires, dégagent, lors de la fission de leur noyaux, des quantités d'énergie importantes pouvant potentiellement être utilisées pour la production d'électricité. Au sortir de la Seconde Guerre mondiale, la perspective du développement d'une industrie nucléaire, productrice de plutonium et d'électricité, augure l'accumulation de matériaux résiduels qu'elle générera.

Les déchets nucléaires sont catégorisés en fonction de leur activité (faible, moyenne ou haute) et du temps de leur demi-vie (courte ou longue). La définition du périmètre de chaque catégorie a évolué avec le temps. À moins d'une précision spécifique, lorsque dans cette thèse j'utilise le vocable de « *déchets nucléaires* », je désigne les déchets de haute activité et les déchets de faible et moyenne activité et à demi-vie longue destinés à être enfouis. Le tableau ci-dessous (*Figure 1*) montre le mode de gestion envisagé aujourd'hui en France par l'Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs (Andra). Toutefois, en 2013 à l'Andra, des doutes subsistaient encore sur l'inventaire précis des déchets devant être stockés en géologie profonde (cf. chapitre 7). La case grise dans ce tableau n'est due qu'au fait qu'il n'existe pas de déchets de haute activité et à vie très courte.

		PÉRIODE		
		Vie très courte (Période < 100 jours)	Vie courte (Période ≤ 31 ans)	Vie longue (Période > 31 ans)
ACTIVITÉ	Très faible activité (TFA)	Gestion par décroissance radioactive sur le site de production puis évacuation dans les filières conventionnelles	Stockage de surface (Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage - Cires)	
	Faible activité (FA)		Stockage de surface (Centre de stockage de l'Aube - CSA)	Stockage à faible profondeur (à l'étude dans le cadre de la loi du 28 juin 2006)
	Moyenne activité (MA)			
	Haute activité (HA)		Stockage réversible profond (à l'étude dans le cadre de la loi du 28 juin 2006)	

Figure 1. Filière de gestion des déchets nucléaires en fonction de leur activité et du temps de leur demi-vie
(Site Internet de l'Andra, consulté le 6 octobre 2017)

Early Twentieth Century », *op. cit.* ; Anatoly I. Taskaev, Edward R. Landa, Denis V. Guryev, Natalia Golovko Butler et Thomas F. Kraemer, « Vodnyi: a Long-term, Low-level Radiation Exposure Field Site in Russia », *Journal of Health Physics*, 2003, vol. 38, n° 4, pp. 332-343.

Le tableau ci-dessous (*Figure 2*) présente les volumes de déchets nucléaires inventoriés par l'Andra à la fin de l'année 2013, répartis par catégories de déchets. Les déchets de haute activité représentent ainsi une faible proportion du volume de déchets produits. Dans ce tableau, la catégorie « *DSF* », pour Déchets Sans Filière, désigne les déchets pour lesquels l'Andra n'a encore prévu aucune solution de gestion.

Catégorie	Volume à fin 2013
HA	3 200
MA-VL	44 000
FA-VL	91 000
FMA-VC	880 000
TFA	440 000
DSF*	3 800
Total	~1 460 000

*Figure 2. Volumes (en m3) de déchets inventoriés en fonction des catégories de déchets fin 2013
(Site Internet de l'Andra, consulté le 6 octobre 2017)*

Le graphique ci-dessous (*Figure 3*) représente, à gauche, la proportion de chaque catégorie de déchets par rapport au volume total de déchets nucléaires produits en France fin 2013 et, à droite, la contribution relative en terme d'activité des déchets de chaque catégorie à l'activité radiologique globale de l'ensemble des déchets. Si le volume des déchets de haute activité représente 0,2 % du volume total des déchets nucléaires français, ceux-ci concentrent 98 % de la radioactivité contenue dans l'ensemble des déchets. Les déchets de faible et moyenne activité à vie courte représentent eux 60 % du volume des déchets produits et ils contiennent 0,02 % de la radioactivité totale.

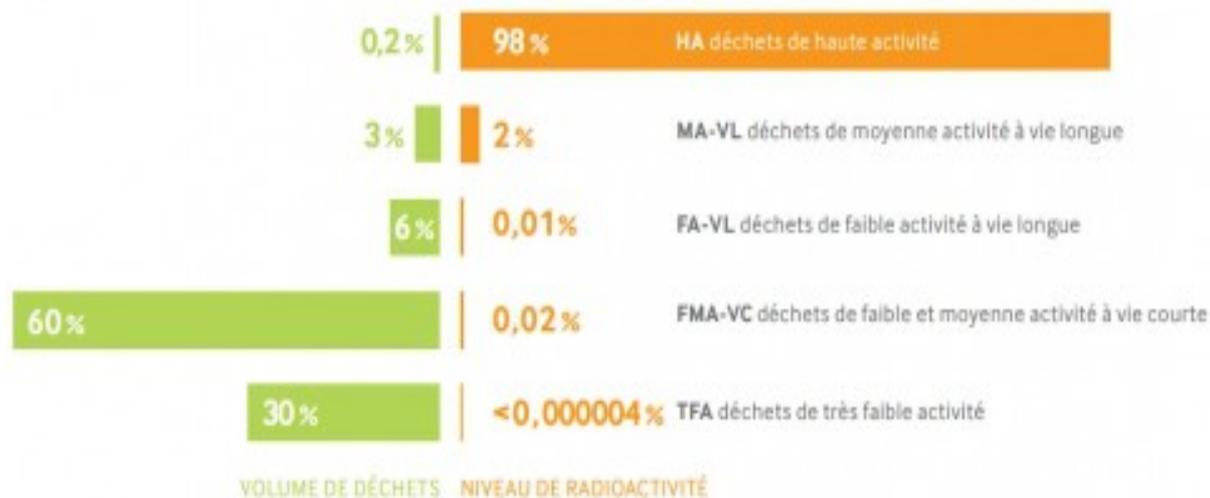


Figure 3. Contribution relative des différentes catégories de déchets à l'activité et au volume totaux des déchets existants (Site internet de l'Andra, consulté le 6 octobre 2017)

L'IMMERSION, UNE PREMIÈRE SOLUTION FACE À L'ACCUMULATION DE DÉCHETS

Durant la Seconde Guerre mondiale, dans les installations nucléaires états-uniennes, les rebuts font l'objet de gestions diverses : certains sont placés en fûts et entreposés, d'autres sont évacués directement dans la nature⁵. Pour se débarrasser des fûts de déchets qui s'accumulent, l'immersion est la première solution de gestion envisagée.

Au sortir de la guerre, les recherches sur les usages civils et militaires de l'atome se développent rapidement en Europe, notamment au Royaume-Uni et en France⁶. À la fin des années 1940, le besoin de trouver une solution pour faire face à l'accumulation des déchets radioactifs est plus urgent au Royaume-Uni qu'outre-Atlantique⁷. En effet, les installations nucléaires états-uniennes sont situées loin des zones habitées. Au Royaume-Uni, le centre nucléaire de Harwell a été implanté à proximité de la Tamise pour pouvoir y rejeter des effluents radioactifs⁸. Toutefois, dès l'été 1946, la présence de cette installation en amont de Londres suscite des plaintes de la part

5 J. D. Hamblin, *Poison in the Well*, op. cit., p. 4.

6 Gabrielle Hecht, *Le rayonnement de la France. Énergie nucléaire et identité nationale après la Seconde guerre mondiale*, trad. Guenièvre Callon, Paris, La Découverte, 2004 ; Amy Dahan-Dalmédico et Dominique Pestre, *Les sciences pour la guerre : 1940-1960*, Paris, EHESS, 2004.

7 J. D. Hamblin, *Poison in the Well*, op. cit., p. 40.

8 *Ibid.*, p. 41.

d'employé.es du ministère britannique de la Santé⁹. Contrairement aux États-Unis, il n'y a pas de zone désertique au Royaume-Uni et les installations nucléaires ont été implantées à proximité d'agglomérations importantes¹⁰. Par contre, l'île offre un accès aisé aux eaux maritimes qui deviennent rapidement des exutoires pour les déchets nucléaires britanniques.

Dès 1947, les déchets britanniques les plus radioactifs, qui ne sont pas rejetés directement dans la Tamise, sont emmenés par camion jusqu'au site de Drigg, en Cumbria, où ils sont déversés par un pipeline dans la mer d'Irlande¹¹. Le 5 avril 1949, 20 fûts contenant 3 tonnes de déchets sont chargés sur une frégate de la marine britannique, le *Tremadoc Bay*¹². Ils doivent être déposés dans une zone profonde de l'Atlantique où des mines de la Seconde Guerre mondiale ont déjà été coulées¹³. L'opération révèle néanmoins une certaine improvisation. Le bateau n'est pas équipé d'une grue et l'équipage doit larguer les fûts à la main¹⁴. Les mauvaises conditions météorologiques incitent le capitaine à débiter le largage des fûts avant que le navire ne soit arrivé dans la zone prévue. La frégate ne l'atteindra pas : l'ensemble des fûts ayant été largués avant d'y arriver, le capitaine fit demi-tour pour rentrer au port de Plymouth¹⁵. Très peu de précautions furent prises pour la manipulation de ces matériaux radioactifs¹⁶. En rentrant au port, les marins se lavèrent un peu plus que d'habitude. Ils lavèrent également le pont du bateau et leur vêtements mais ce fut tout. Entre 1949 et 1953, le Royaume-Uni immerge 2 027 tonnes de déchets nucléaires, la plupart dans la Manche, au large des îles anglo-normandes¹⁷.

Avant que leur accumulation ne devienne problématique, certain.nes physicien.nes ont considéré la production de résidus par les laboratoires nucléaires militaires comme autant de ressources et ils et elles ont cherché à leur trouver un usage¹⁸. Comme traceur tout d'abord, en médecine ou pour la prospection pétrolière¹⁹. En effet, la relative facilité de détecter la présence de radioactivité confère un intérêt à l'introduction d'éléments radioactifs dans des fluides dont on voudrait étudier les circulations. L'utilisation pour la guerre des résidus radioactifs a aussi été envisagée. En 1947, un général états-unien propose ainsi de placer ces matériaux dans des bombes pouvant être envoyées sur un territoire ennemi²⁰. Durant la guerre de Corée, au sein de l'armée états-

9 *Ibid.*

10 *Ibid.*, p. 28.

11 *Ibid.*, p. 43.

12 *Ibid.*, p. 46.

13 *Ibid.*

14 *Ibid.*

15 *Ibid.*

16 *Ibid.*

17 *Ibid.*, p. 50.

18 *Ibid.*, p. 24.

19 *Ibid.*

20 *Ibid.*, pp. 24-25.

uniennne, des généraux ambitionnent de déposer des résidus radioactifs sur la frontière limitant la péninsule coréenne afin de créer ce qu'un journaliste du *New York Times* nomme en 1954 une « *ligne Maginot atomique* »²¹.

Aucune de ces utilisations potentielles des résidus radioactifs n'a jamais été exploitée. Néanmoins, cette volonté de trouver un usage à des matériaux qui furent finalement considérés comme des déchets rappelle que la différence entre un déchet et une matière valorisable n'est pas toujours évidente. Elle dépend des lieux et des moments. Baptiste Monsaingeon précise :

« *il n'y a pas d'en-soi du déchet. Le terme désigne un état transitoire et ne se définit, dans sa dimension matérielle, qu'à partir de son origine ou de sa destination. Autrement dit, tout déchet est déchet de quelque chose [...] Il est le produit d'un geste*²². »

Une matière est considérée comme un déchet lorsqu'elle n'a pas d'usage et parce qu'elle est traitée comme tel : la qualification d'un déchet ne dépend pas de ses propriétés physiques. Ainsi par exemple, le plutonium est utilisé pour la fabrication d'armes atomiques et de combustible MOX, mais l'éventualité d'enfouir du plutonium comme un déchet est parfois envisagée : sa production est bien supérieure aux usages qui en sont faits et l'accumulation de plutonium est considérée comme une source de danger – terroriste notamment – importante. De même, l'uranium appauvri issu de l'enrichissement de l'uranium pour la production de combustible, ou du retraitement du combustible usé, n'est pas considéré comme un déchet ; mais ce métal est actuellement peu valorisé et plusieurs centaines de milliers de tonnes s'accumulent en France dans des sites d'Areva et du CEA²³. Par ailleurs, alors que le commerce international de déchets radioactifs est interdit, celui de matériaux radioactifs valorisables l'est.

L'immersion est la première solution de gestion utilisée pour faire face à l'accumulation de déchets nucléaires. Néanmoins, celle-ci suscite rapidement des réserves. L'important volume des océans doit garantir que la dilution des radio-éléments n'induit pas d'effets nocifs sur l'humanité. Cependant, même s'il est particulièrement grand, le volume des océans est tout de même fini. Dès 1955, la perspective du développement de l'industrie électro-nucléaire, et donc d'une augmentation de la production de déchets, amène à considérer l'immersion comme une solution de gestion qui ne pourra pas être que temporaire²⁴.

21 *Ibid.*, p. 26.

22 Baptiste Monsaingeon, *Homo detritus. Critique de la société du déchet*, Paris, Seuil, 2017, pp. 26-27.

23 Andra (ed.), *Inventaire nationale des matières et déchets radioactif. Rapport de synthèse 2015*, juin 2015, p. 38.

24 J. D. Hamblin, *Poison in the Well*, *op. cit.*, p. 62.

Chez les océanologues, de nombreuses voix s'élèvent rapidement contre la dispersion de radio-éléments dans les océans. En 1955, des chercheurs de l'Université d'Hawaï montrent que les poissons peuvent concentrer les radionucléides dans leurs chairs²⁵. L'important volume des océans était censé diluer la radioactivité et limiter ses effets sur l'humanité. L'éventualité d'une concentration biologique des radio-éléments et la contamination potentielle de la chaîne alimentaire qu'elle induit remet en cause la bénignité de l'immersion. L'existence de fosses sous-marines particulièrement profondes, dont les courants océaniques ne renouvelleraient pas l'eau qui s'y trouve, a attisé l'espoir que l'immersion de déchets dans ces zones ne contaminerait pas tout l'océan. Cependant, en 1956, l'étude d'une océanologue états-unienne, Valentine Worthington, remet en cause l'isolement des fosses sous-marines²⁶.

Bien que la linéarité de relation entre la dose absorbée par un individu et les effets génétiques des radiations soit remise en question depuis les années 1950, l'ensemble des règles de radioprotection reposent sur l'idée de seuil en deçà duquel les effets de la radioactivité sur un individu sont considérés comme bénins²⁷. Les effets à long terme de la contamination radiologique des océans sont difficiles à évaluer. De plus, l'existence de courants marins dispersant les radionucléides dans toutes les mers du monde demande une gestion mondiale de la dissémination de substances dans l'environnement²⁸.

La contamination radioactive des océans par l'immersion de déchets nucléaires et les retombées des essais nucléaires suscite d'importants débats durant la guerre froide. En mars 1954, les pêcheurs japonais du *Fukuyru Maru* se trouvent au large de l'atoll de Bikini lors d'un essai nucléaire états-unien²⁹. À leur retour, la plupart des marins doivent être hospitalisés et l'un d'eux meurt des suites de l'irradiation provoquée par l'essai états-unien. Le poisson pêché est vendu. Au Japon d'abord puis plus largement ensuite, l'histoire de ces marins émeut et met en cause publiquement l'impact sanitaire des activités nucléaires.

Par ailleurs, en septembre 1958, lors d'une conférence de l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA), l'URSS se prononce officiellement contre l'immersion des déchets nucléaires³⁰. Son représentant soutient alors que le choix de l'immersion est guidé par la recherche

25 *Ibid.*, p. 81.

26 *Ibid.*, pp. 92-93.

27 Soraya Boudia, « Global Regulation: Controlling and Accepting Radioactivity Risks », *History and Technology*, 2007, vol. 23, n° 4, pp. 389-406 ; Soraya Boudia, « Naissance, extinction et rebonds d'une controverse scientifique. Les dangers de la radioactivité pendant la guerre froide », *Mil neuf cent. Revue d'histoire intellectuelle*, 2007, vol. 25, n° 1, pp. 157-170.

28 J. D. Hamblin, *Poison in the Well*, *op. cit.*, p. 38.

29 S. Boudia, « Naissance, extinction et rebonds d'une controverse scientifique », *op. cit.*, p. 158 ; J. D. Hamblin, *Poison in the Well*, *op. cit.*, p. 53.

30 J. D. Hamblin, *Poison in the Well*, *op. cit.*, pp. 132-133.

de profit des entreprises des pays capitalistes au détriment de la santé de la population mondiale. Sans le reconnaître avant les années 1990, l'URSS disperse néanmoins massivement des radio-éléments depuis 1951, dans le lac Karachai, dans les cours de l'Ob et du Yenisey ainsi que dans la mer de Kara et l'océan arctique³¹.

À un niveau plus local, les projets d'immersion de déchets nucléaires suscitent également des oppositions. Au début des années 1950, l'État de Californie essaye d'interdire l'immersion des déchets nucléaires³². Par ailleurs, en mai 1960, le Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA) français immerge 2 000 tonnes de déchets dans la Méditerranée, entre Antibes et Calvi³³. Lorsque la presse relate cette opération en octobre 1960, les océanographes et les élus locaux protestent³⁴. Le maire de Nice se prononce publiquement contre la poursuite des rejets en Méditerranée et le prince Rainier de Monaco demande au gouvernement français de stopper l'immersion tant qu'il n'existe pas de consensus scientifique sur l'absence de danger de cette pratique³⁵. Le commandant Cousteau, directeur du musée océanographique de Monaco, devient dans la presse le leader de la mobilisation des océanographes contre l'immersion des déchets nucléaires³⁶. Face à la fronde, le CEA renonce à réitérer le rejet en Méditerranée de déchets nucléaires³⁷. Sans l'avouer publiquement, le CEA déverse déjà des effluents radioactifs dans la Seine et le Rhône³⁸.

Dès le début du recours à l'immersion, cette solution de gestion est critiquée scientifiquement par les océanographes. Leurs critiques sont reprises par les habitants des zones côtières. Dès les années 1960, l'*Atomic Energy Commission* états-unienne annonce qu'elle renonce à immerger des déchets nucléaires et concentre ses recherches sur l'enfouissement³⁹.

Durant la guerre froide, l'usage des océans est également un enjeu géopolitique. À la suite de longues tractations entre océanographes et physiciens dans différentes arènes internationales, notamment à l'AIEA, et suite à la conférence des Nations Unies de 1972 à Stockholm, une convention vient réguler l'immersion des déchets : la Convention de Londres sur les usages des océans⁴⁰. Elle interdit l'immersion des déchets de haute activité. Toutefois, les rejets d'effluents liquides depuis les côtes restent autorisés dans une certaine mesure⁴¹. Cette convention prend effet

31 *Ibid.*, p. 130.

32 *Ibid.*, pp. 33-34.

33 *Ibid.*, pp. 167-168.

34 Francis Chateauraynaud et Didier Torny, *Les Sombres précurseurs. Une sociologie pragmatique de l'alerte et du risque*, Paris, EHESS, 1999, pp. 210-212.

35 J. D. Hamblin, *Poison in the Well*, *op. cit.*, p. 170.

36 *Ibid.*, pp. 169-172.

37 *Ibid.*, p. 171.

38 *Ibid.*, p. 194.

39 *Ibid.*, p. 186.

40 *Ibid.*, pp. 238-251.

41 *Ibid.*, p. 248.

en 1975⁴². Le Royaume-Uni et d'autres pays européens continuent de rejeter des déchets nucléaires en mer jusqu'au début des années 1980⁴³. L'URSS puis la Russie immergent des déchets jusqu'en 1993⁴⁴. En France, l'usine de retraitement de La Hague déverse toujours des effluents liquides dans la Manche.

L'ENFOUISSEMENT, UN PROJET À LONG TERME

Dès les années 1950, le dépôt géologique des déchets nucléaires est une solution de gestion envisagée et étudiée, notamment aux États-Unis⁴⁵. En 1954, l'*Atomic Energy Authority* britannique entreprend d'utiliser une mine abandonnée dans la forêt de Dean pour y enfouir des déchets nucléaires⁴⁶. Face à l'opposition des habitants vivant à proximité, le projet est vite stoppé et la politique britannique de gestion des déchets nucléaires est intégralement orientée vers l'immersion. Aux États-Unis, en 1957, un rapport de la *National Academy of Science* plébiscite l'évacuation géologique dans une couche de sel⁴⁷. Les propriétés géochimiques du sel sont alors considérées comme particulièrement favorables à la rétention des radionucléides⁴⁸. En juin 1970, l'*Atomic Energy Commission* états-unienne annonce le début de recherches sur les possibilités de stockage à Lyons dans le Kansas⁴⁹. Les travaux sur ce site ne durent toutefois que quelque temps.

Après la Seconde Guerre mondiale, les usages militaires du nucléaire et la perspective du développement d'une industrie électro-nucléaire suscitent des controverses parmi les scientifiques et à proximité des lieux où sont manipulés des matériaux radioactifs. La montée en puissance des mouvements écologistes à la fin des années 1960 et le développement de l'industrie électro-nucléaire après le choc pétrolier de 1973 viennent exacerber les conflits autour du nucléaire, notamment sur la gestion des déchets⁵⁰.

42 *Ibid.*, p. 252.

43 *Ibid.*, p. 253.

44 *Ibid.*

45 Jean-Claude Petit, « Le stockage des déchets radioactifs : perspective historique et analyse sociotechnique », Thèse de doctorat, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, Paris, 1993, pp. 88-108.

46 J. D. Hamblin, *Poison in the Well*, *op. cit.*, p. 63.

47 J.-C. Petit, *Le stockage des déchets radioactifs*, *op. cit.*, p. 107.

48 *Ibid.*

49 *Ibid.*, p. 139.

50 Yannick Barthe, *Le Pouvoir d'indécision. La Mise en politique des déchets nucléaires*, Paris, Economica, 2006, p. 18.

Après l'échec de son programme d'immersion en Méditerranée, le Commissariat à l'Énergie Atomique implante un centre de stockage de déchets nucléaires en 1969 dans le Cotentin, à côté de l'usine de La Hague⁵¹. Celui-ci est destiné à accueillir, en surface, des déchets de faible et moyenne activité. L'usine de La Hague a été implantée en 1966⁵². Elle est dédiée à la séparation et au retraitement du combustible usé produit dans les réacteurs nucléaires. Cette opération est avant tout destinée à isoler le plutonium produit par la fission de l'uranium afin de fabriquer des armes atomiques⁵³. Elle permet également de récupérer l'uranium présent dans le combustible usé qui peut être ré-enrichi et réutilisé pour fabriquer du combustible. Cette opération permet ainsi d'optimiser l'utilisation des ressources uranifères⁵⁴.

À l'issue du processus de séparation des radionucléides contenus dans le combustible usé, les radionucléides restants, principalement des actinides et des produits de fission, sont sous forme liquide⁵⁵. Leur activité importante et cet état liquide les rendent particulièrement dangereux. Ainsi, ces déchets doivent être constamment refroidis afin d'empêcher qu'ils ne dégagent des gaz radioactifs. Le 29 septembre 1957, sur le site soviétique de Kyshtym, l'explosion d'une cuve de 80 m³ de déchets liquides hautement radioactifs disperse dans la région environnante 20 millions de curies⁵⁶. Avec les accidents de Tchernobyl et Fukushima, cette catastrophe est l'un des accidents nucléaires aux conséquences les plus graves. Bien que celle-ci n'ait été reconnue qu'en 1989 par Mikhaïl Gorbatchev, elle est connue des services secrets occidentaux depuis les années 1960 et publiquement hors URSS depuis sa révélation par un émigré russe en 1976⁵⁷. Le conditionnement sous forme solide des déchets liquides présente un enjeu de sécurité important.

Depuis 1957, au centre de recherche de Marcoule, le CEA mène des essais de vitrification des déchets liquides⁵⁸. Coulés dans du verre, les déchets nucléaires posent moins de problèmes de gestion à court terme que lorsqu'ils sont sous forme liquide. Toutefois, un tel conditionnement rend particulièrement difficile toute manipulation ultérieure des radionucléides piégés dans la matrice de verre : une fois immobilisés, toute utilisation ou nouveau retraitement des radionucléides est bien plus compliqué. L'industrialisation de la vitrification des déchets de haute activité débute à Marcoule en 1978⁵⁹.

51 *Ibid.*, p. 218.

52 *Ibid.*, p. 33.

53 *Ibid.*

54 *Ibid.*

55 *Ibid.*, p. 34.

56 J. D. Hamblin, *Poison in the Well*, *op. cit.*, p. 178.

Le curie (Ci) est une ancienne unité de mesure de l'activité radioactive. 1 Ci = 3,7.10¹⁰ Bq

57 J. D. Hamblin, *Poison in the Well*, *op. cit.*

58 Y. Barthe, *Le pouvoir d'indécision*, *op. cit.*, p. 35.

59 *Ibid.*, p. 218.

Suite au premier choc pétrolier, le premier ministre Pierre Messmer décide en 1974 d'un important programme nucléaire : la construction de 80 réacteurs avant 1985. Ce développement considérable de l'industrie électro-nucléaire est concomitant d'une montée en puissance du mouvement anti-nucléaire⁶⁰. L'absence de solution unanimement reconnue comme satisfaisante pour la gestion des déchets nucléaires est alors un argument récurrent des opposant.es au nucléaire⁶¹. En 1972, la découverte sur le site du CEA à Saclay de fûts de déchets éventrés par le gel vient conforter les opposant.es au nucléaire dans leur dénonciation de la négligence avec laquelle sont gérés ces déchets⁶². Si l'évacuation géologique des déchets nucléaires est envisagée aux États-Unis depuis la fin des années 1950, aucun projet de stockage n'a encore vu le jour durant les années 1970.

L'Andra est créée comme une filiale du CEA en 1979. En France à ce moment, la gestion des déchets de faible activité est alors bien plus urgente que celle des déchets de haute activité⁶³. Ces derniers sont fortement calorifiques et ils doivent encore refroidir pendant plusieurs décennies avant de pouvoir être manipulés et éventuellement enfouis. De plus, le volume de déchets radioactifs de faible activité est bien plus grand que celui de haute activité. Le centre de la Manche où ils sont alors entreposés arrive bientôt à saturation⁶⁴. De surcroît, en 1976, du tritium provenant de ce stockage a fui et pollué la nappe phréatique, provoquant une polémique sur la gestion des déchets sur ce site⁶⁵. La gestion du centre de la Manche et l'implantation d'un second centre de stockage des déchets de faible activité occupent l'Andra durant ses premières années d'activité. En 1980, l'Agence entreprend de stocker des déchets dans une ancienne mine d'uranium de la Cogéma située à Saint-Priest-la-Prugne (Loire)⁶⁶. Plusieurs géologues critiquent toutefois les qualités du site pour le confinement des radionucléides et un collectif d'opposant.es, le collectif des Bois-Noirs, se mobilise contre le projet. Celui-ci est abandonné en 1981 après l'élection de François Mitterrand à la présidence de la République⁶⁷. Après plusieurs années de reconnaissances géologiques et de tractations politiques, la construction d'un second centre de stockage de déchets de faible activité débute en 1989, à Soulaines-Dhuys dans l'Aube.

60 Sezin Topçu, *La France nucléaire. L'art de gouverner une technologie contestée*, Paris, Seuil, 2013, pp. 59-89.

61 Y. Barthe, *Le pouvoir d'indécision*, op. cit., p. 37.

62 *Ibid.*, p. 36 ; S. Topçu, *La France nucléaire*, op. cit., pp. 66-68 ; Céline Pessis, *Survivre et vivre. Critique de la science, naissance de l'écologie*, Montreuil, L'Échappée, 2014, pp. 56-61.

63 Julie Blanck, « Gouverner par le temps. Cadrages temporels du problème des déchets radioactifs et construction d'une irréversibilité technique », *Gouvernement et action publique*, 2016, vol. 1, n° 1, pp. 91-116, p. 101.

64 *Ibid.*

65 *Ibid.*, p. 98.

66 *Ibid.*, p. 102.

67 *Ibid.*

Après l'abandon du recours à l'immersion, l'évacuation géologique des déchets de haute activité fait figure de solution de référence au sein du monde du nucléaire⁶⁸. Néanmoins, au début des années 1980, rien n'a encore été entrepris en France pour implanter un stockage souterrain⁶⁹. En octobre 1981, après l'élection de François Mitterrand, le gouvernement socialiste nomme une commission scientifique chargée de faire des recommandations sur la gestion des déchets radioactifs⁷⁰. Cette commission est dirigée par le physicien Raymond Castaing, professeur à l'Université d'Orsay et membre de l'Académie des Sciences. Elle publie trois rapports en 1982, 1983 et 1984⁷¹. Outre un certain nombre de recommandations sur le retraitement, la gestion des pollutions du site de La Hague et la construction d'un second centre de stockage en surface, deux recommandations de la commission Castaing influent fortement sur la gestion de l'aval du cycle nucléaire⁷².

D'une part, la commission clarifie quels sont les déchets qui peuvent être entreposés en surface et quels sont ceux qu'il serait préférable de stocker en géologie profonde⁷³. La nouvelle typologie multiplie environ par dix la quantité de déchets dont l'activité est trop importante pour qu'ils puissent être entreposés en surface⁷⁴. D'autre part, la commission Castaing plébiscite une intensification des recherches sur l'évacuation géologique des déchets nucléaires et recommande à cette fin la construction de laboratoires souterrains⁷⁵. Cette commission entérine le besoin de recourir à l'enfouissement, même si elle plébiscite également la poursuite des recherches sur le retraitement poussé des déchets nucléaires⁷⁶.

La gestion des déchets nucléaires est une histoire ancienne et l'intérêt pour l'évacuation géologique des résidus radioactifs n'est pas nouveau, mais les premières recherches conséquentes dans ce domaine en France datent des années 1980. De plus, l'abandon de matériaux radioactifs dans les océans ou les sous-sols a toujours soulevé des controverses scientifiques sur l'impact sanitaire de ces pratiques. Dès les années 1950, les projets d'enfouissement ou d'immersion ont également suscité des réactions des élu.es et des populations vivant à proximité des zones de dépôt.

68 J'emprunte l'expression « *monde du nucléaire* » au titre d'un séminaire organisé par Soraya Boudia et Claude Gilbert durant l'année scolaire 2013-2014 dans le cadre du programme NEEDS du CNRS.

69 Y. Barthe, *Le pouvoir d'indécision*, op. cit., p. 45.

70 *Ibid.*, p. 48.

71 *Ibid.*, p. 53.

72 *Ibid.*, pp. 53-55.

73 *Ibid.*, p. 54.

74 *Ibid.*

75 *Ibid.*, pp. 54-55.

76 *Ibid.*, pp. 54-56.

À la même époque, la gestion des déchets nucléaires est discutée dans différentes institutions internationales, notamment l'AIEA. L'édiction de normes encadrant les activités nucléaires est une manière d'endiguer des critiques et de permettre le développement de l'industrie électro-nucléaire⁷⁷.

En 1987, l'Andra entreprend d'étudier quatre sites géologiques aux propriétés différentes afin d'évaluer les possibilités d'y implanter un stockage. L'Agence prévoit d'étudier le sel dans l'Ain, l'argile dans l'Aisne, le granite dans les Deux-Sèvres et le schiste dans le Maine-et-Loire⁷⁸. Cependant, dans le Maine-et-Loire et dans les Deux-Sèvres, les travaux de reconnaissance géologique se heurtent à l'opposition déterminée des élu.es et des habitant.es de ces départements⁷⁹. Ces opposant.es dénoncent les risques induits par l'enfouissement mais aussi le mépris de l'État qui n'a pris la peine d'informer les élu.es locaux que très peu de temps avant le début des travaux. Ils et elles s'insurgent également contre l'occupation militaire sous laquelle se déroulent les prospections géologiques. Devant l'ampleur de la mobilisation et la violence des heurts entre manifestant.es et forces de l'ordre, le Premier ministre Michel Rocard annonce, le 9 février 1990, un moratoire sur l'enfouissement des déchets nucléaires⁸⁰. Une loi est votée au terme de celui-ci, le 30 décembre 1991. Celle-ci ouvre une période de quinze ans dévolue aux recherches sur la gestion des déchets nucléaires, durant laquelle aucune solution de gestion définitive ne peut être engagée. Cette thèse est focalisée sur les recherches effectuées à l'Andra après cette loi de 1991. Le premier chapitre revient sur les recherches effectuées en France durant les années 1980 et les transformations que cette loi induit sur le gouvernement de l'aval du cycle.

77 S. Boudia, « Global Regulation », *op. cit.*

78 J.-C. Petit, *Le stockage des déchets radioactifs*, *op. cit.*, p. 303.

79 Association contre le nucléaire et son monde (ed.), *Le Temps des déchets*, mars 1991 ; Association contre le nucléaire et son monde (ed.), *Histoire lacunaire de l'opposition à l'énergie nucléaire en France*, Paris, La Lenteur, 2007 ; Collectif, *Le gouvernement par la peur au temps des catastrophes. Réflexions anti-industrielles sur les possibilités de résistance*, Villasavary, Éditions de la Roue, 2013.

80 Y. Barthe, *Le pouvoir d'indécision*, *op. cit.*, p. 93.

LES SCIENCES SOCIALES ET L'ENFOUISSEMENT DES DÉCHETS

Face aux oppositions que suscite dans différents pays l'implantation de projets de stockage, les chercheurs et chercheuses en sciences sociales sont apparus comme des experts utiles pour analyser les causes des mobilisations et proposer des dispositifs à même de rendre gouvernable l'aval du cycle nucléaire. Comme les géologues sont spécialistes des sous-sols, les sociologues, en tant que spécialistes du social, sont devenus, surtout à partir des années 1990, des experts autorisés de la gestion des déchets nucléaires⁸¹. Un tel engagement des chercheurs et chercheuses en sciences sociales n'est pas spécifique à la gestion des déchets nucléaires. Bien au contraire, durant les années 2000, l'implication du public dans les décisions est fortement plébiscitée et des sociologues contribuent fréquemment à la mise en place de dispositifs participatifs⁸². Il me semble toutefois que l'engagement de chercheurs et chercheuses en sciences sociales par les institutions en charge de la gestion des déchets nucléaires a influé sur la manière dont le devenir de ces déchets a été appréhendé dans la littérature.

L'évacuation géologique a fait l'objet d'un nombre conséquent de travaux. Dans sa thèse, Grégoire Lits a étudié la manière dont les sciences sociales ont été mobilisées dans la gestion des déchets nucléaires⁸³. Il montre que les sociologues ont notamment travaillé à reproblématiser cette question, d'une part contre la distinction entre aspects sociaux et aspects techniques de la gestion des déchets nucléaires, et d'autre part contre une psychologisation de l'appréhension des risques. G. Lits souligne également qu'une grande partie des productions est focalisée sur les processus de décision autour de l'implantation de sites de stockage, et particulièrement sur les procédures de dialogue permettant l'engagement de l'ensemble des « *parties prenantes* » dans les décisions⁸⁴. Dans

81 Grégoire Lits, « Analyse du rôle des chercheurs en sciences sociales dans la gestion des déchets radioactifs », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, 2013, vol. 13, n° 2 ; Grégoire Lits, « Curiosité ou engagement ? Panorama historique du rôle des chercheurs en sciences sociales dans la gestion des « aspects sociaux » du nucléaire », in *Être curieux en sociologie*, Presses universitaires de Louvain, Louvain-la-Neuve, 2014, pp. 99-124.

82 Loïc Blondiaux et Yves Sintomer, « L'impératif délibératif », *Politix*, 2002, vol. 15, n° 57, pp. 17-35 ; Dominique Pestre, « Des sciences, des techniques et de l'ordre démocratique et participatif », *Participations*, 2011, n° 1, pp. 210-238 ; Cécile Blatrix, « Des sciences de la participation. Paysage participatif et marché des biens savants en France », *Quaderni*, 2012, vol. 79, n° 3, pp. 59-80 ; Sezin Topçu, *La France nucléaire. op.cit.* ; Sara Angeli Aguiton, « De la quête d'efficacité en contexte participatif. La démocratie technique et ses contestations », *Hermès, La Revue*, 2015, vol. 3, n° 73, pp. 90-97.

83 Grégoire Lits, « La gestion des déchets hautement radioactifs belges à l'épreuve de la démocratie. Contribution à une sociologie des activités décisionnelles », Thèse de doctorat, Université catholique de Louvain, 2015.

84 Allan Mazur et Beverlie Conant, « Controversy over a Local Nuclear Waste Repository », *Social Studies of Science*, 1978, vol. 8, n° 2, pp. 235-243 ; Frans Berkhout, *Radioactive Waste: Politics and Technology*, London ; New York, Routledge, 1991 ; Michael E. Kraft et Bruce B. Clary, « Citizen Participation and the NIMBY Syndrome: Public Response to Radioactive Waste Disposal », *Political Research Quarterly*, 1991, vol. 44, n° 2, pp. 299-328 ; Jeffrey

ces publications, on retrouve les motifs classiques de l'étude des projets technoscientifiques en société : la difficulté à trouver un accord sur ce qui constitue un risque acceptable, le besoin de dialogue et de confiance, l'importance des procédures encadrant le processus de décision. En France, la réversibilité d'un éventuel dépôt, c'est-à-dire la possibilité de revenir sur les décisions prises et d'éventuellement ressortir du stockage les déchets qui y ont été déposés, a été particulièrement discutée⁸⁵.

Parmi la masse de travaux sur la gestion des déchets nucléaires, je ne m'attarderai que sur quelques-uns d'entre eux. Le premier est le livre de Kristin S. Shrader-Frechette publié en 1993⁸⁶. Dans celui-ci, son auteure se penche sur les méthodes d'évaluation des risques (*risk assessment*) induits par la construction d'un dépôt de déchets nucléaires. Pour cela, K. Shrader-Frechette étudie les pratiques des ingénieur.es travaillant à caractériser un stockage géologique à Yucca Mountain aux États-Unis. Elle souligne l'existence inévitable d'incertitudes sur l'évolution d'un stockage durant plusieurs milliers d'années⁸⁷. En effet, les extrapolations sur l'évolution géologique et le comportement des ouvrages ne peuvent constituer des certitudes.

S. Hill et Carol S. Weissert, « Implementation and the Irony of Delegation: The Politics of Low-Level Radioactive Waste Disposal », *The Journal of Politics*, 1995, vol. 57, n° 2, pp. 344-369 ; Göran Sundqvist, *The Bedrock of Opinion: Science, Technology and Society in the Siting of High-Level Nuclear Waste*, Dordrecht, Springer Netherlands, 2002 ; Göran Sundqvist, « Constrained Deliberation: Public Involvement in Swedish Nuclear Waste Management », *Case study report, STAGE*, 2004 ; Mark Elam et Göran Sundqvist, *Stakeholder Involvement in Swedish Nuclear Waste Management*, Stockholm, Swedish Nuclear Power Inspectorate, 2006 ; Darrin Durant, « Burying Globally, Acting Locally: Control and Co-Option in Nuclear Waste Management », *Science and Public Policy*, 2007, vol. 34, n° 7, pp. 515-528 ; Lennart Sjöberg et Britt-Marie Drott-Sjöberg, « Attitudes Toward Nuclear Waste and Siting Policy: Experts and the Public », in *Nuclear Waste Research: Siting, Technology and Treatment*, New York, Nova Science Publishers, 2008, pp. 47-74 ; Jonas Anshelm et Vasilis Galis, « The Politics of High-Level Nuclear Waste Management in Sweden: Confined Research Versus Research in the Wild », *Environmental Policy and Governance*, 2009, vol. 19, n° 4, pp. 269-280 ; Darrin Durant et Genevieve Fuji Johnson (ed.), *Nuclear Waste Management in Canada: Critical Issues, Critical Perspectives*, Vancouver, BC, University of British Columbia, 2009 ; Mark Elam, Maria Lidberg, Linda Soneryd et Göran Sundqvist, « Demonstration and Dialogue: Mediation in Swedish Nuclear Waste Management », 2009 ; Markku Lehtonen, « Deliberative Decision-Making on Radioactive Waste Management in Finland, France and the UK: Influence of Mixed Forms of Deliberation in the Macro Discursive Context », *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 2010, vol. 7, n° 3, pp. 175-196 ; Jonas Anshelm et Vasilis Galis, « (Re-) Constructing Nuclear Waste Management in Sweden: The Involvement of Concerned Groups, 1970-2010 », *Integrated Waste Management*, 2011, vol. 2, pp. 401-430 ; Anne Bergmans, Göran Sundqvist, Drago Kos et Peter Simmons, « The Participatory Turn in Radioactive Waste Management: Deliberation and the Social-Technical Divide », *Journal of Risk Research*, 2015, vol. 18, n° 3, pp. 347-363.

85 Pierrick Cézanne-Bert et Francis Chateauraynaud, *Les formes d'argumentation autour de la notion de réversibilité dans la gestion des déchets radioactifs*, GSPR EHESS, 15 décembre 2009 ; Yannick Barthe, « Les qualités politiques des technologies. Irréversibilité et réversibilité dans la gestion des déchets nucléaires », *Tracés*, 2009, vol. 1, n° 16, pp. 119-137 ; Yannick Barthe, Pierrick Cézanne-Bert, Francis Chateauraynaud et Luis Aparicio, *Rendre gouvernable les déchets radioactifs. Le stockage profond à l'épreuve de la réversibilité*, Andra, septembre 2010.

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

87 *Ibid.*, pp. 72-73.

K. Shrader-Frechette souligne que le recours à des jugements moraux afin de trancher si certaines incertitudes sont acceptables ou non n'est pas problématique en soi. Toutefois, elle note que, dans certaines situations, ce recours au jugement d'expert.es permet de justifier la sûreté du projet de stockage à Yucca Mountain malgré des controverses sur la caractérisation du site géologique et de son évolution⁸⁸. Ainsi, K. Shrader-Frechette critique la rationalité du projet de stockage, notamment d'un point de vue éthique puisque les risques induits ne seront pas assumés par la génération qui décide de l'implantation de ce dépôt mais par des générations qui vivront bien longtemps après⁸⁹. *Burying Uncertainty* pose la question de l'appréhension par les géologues et les ingénier.es en *risk assessment* des longues échelles de temps en insistant sur les problèmes moraux qu'elles induisent.

Ce livre accorde une importance particulière au contexte dans lequel les recherches sur le stockage sont effectuées et notamment sur l'influence de la réglementation encadrant ce projet sur la forme des savoirs produits. Aux États-Unis, la réglementation impose en effet que la sûreté d'un stockage soit démontrée sur une période de 10 000 ans. Au regard de la nature des déchets destinés à être enfouis, cette limite temporelle semble purement arbitraire⁹⁰. Toutefois, les analyses se limitent à montrer la sûreté d'un ouvrage sur cette période.

Uncertainty Underground, coordonné en 2006 par les géologues Allison Macfarlane et Rodney Ewing, traite également de la question des incertitudes dans les études de la sûreté du projet de Yucca Mountain⁹¹. Cet ouvrage collectif, particulièrement précis, passe en revue les différents domaines scientifiques mobilisés pour l'étude de la sûreté du projet de Yucca Mountain : géologie, sismologie, hydrologie, thermique, science des matériaux... Les différents chapitres dressent un état des connaissances dans chaque domaine et soulignent les difficultés auxquelles se heurtent les études de l'évolution du stockage. En conclusion, A. Macfarlane – qui n'a alors pas encore été appelée à diriger l'autorité de sûreté nucléaire états-unienne, la *Nuclear Regulatory Commission* – souligne l'importance des modèles dans la production de savoirs sur l'évolution des différents sous-systèmes du stockage (les colis, les ouvrages, la roche)⁹². Renvoyant dos à dos une confiance aveugle dans ces modèles et une réticence à engager la moindre action tant qu'il subsiste des incertitudes, A. Macfarlane interroge ce que peut être une décision dans une situation où il existe

88 *Ibid.*

89 *Ibid.*, pp. 101-102.

90 *Ibid.*, p. 73.

91 Allison Macfarlane, *Uncertainty Underground: Yucca Mountain and the Nation's High-Level Nuclear Waste*, Cambridge, MIT Press, 2006.

92 *Ibid.*, p. 393.

tant d'incertitudes⁹³. Ce livre est conçu comme un travail de vulgarisation scientifique à même d'éclairer les enjeux épistémiques présents dans l'étude de Yucca Mountain et de permettre une discussion large et informée sur ce projet⁹⁴.

Le dernier ouvrage particulièrement heuristique à propos du projet de stockage états-unien est l'essai de John d'Agata, *Yucca Mountain*⁹⁵. Déambulation à Las Vegas et dans le désert du Nevada tout proche où le projet est prévu, ce récit met en scène la difficulté anthropique d'appréhender l'effet des radiations, le projet de stockage et les échelles de temps particulièrement longues qu'il engage. J. d'Agata y décrit sa rencontre avec les salarié.es chargé.es de la présentation ludique du projet aux écolier.es de la région et l'angoisse ressentie lors de sa visite du site de Yucca Mountain. Cet essai est aussi une réflexion sur les représentations associées à cet enfouissement, façonnées par la culture états-unienne et les services de communication du projet. Ainsi notamment, J. d'Agata livre une analyse sur la communication avec les personnes qui vivront à proximité du stockage dans plusieurs millénaires à partir d'une réflexion autour des enseignes lumineuses de Las Vegas.

En France, plusieurs travaux ont pour objet l'histoire de la gestion des déchets nucléaires. La thèse de Jean-Claude Petit, tout d'abord, soutenue en 1993 au Centre de Sociologie de l'Innovation, propose une analyse sur une longue période de l'évolution des réflexions sur l'évacuation géologique des déchets nucléaires⁹⁶. Mobilisant les concepts de la théorie de l'acteur-réseau, J.C. Petit montre que la solution de gestion qui s'impose parmi les expert.es au niveau international à la fin des années 1970 est l'implantation d'un stockage géologique « *multi-barrières* »⁹⁷. Il souligne que les premiers travaux sur l'enfouissement reposaient sur l'espoir qu'il existe des formations géologiques permettant, à elles seules, de confiner les radionucléides et d'assurer la sûreté du dépôt. Néanmoins, les travaux des géologues, les critiques auxquels ils et elles se sont heurté.es et le besoin d'implanter des stockages géologiques dans des pays comme la Suède dont le sous-sol n'a pas de bonnes qualités de confinement, ont abouti à la stabilisation d'un concept de stockage dans lequel les ouvrages (la matrice de verre, les colis, les alvéoles de stockage bétonnées) assurent un rôle de confinement des radionucléides complémentaire à celui de la roche.

Pour J.C. Petit, cette solution « *hybride* » marque la fin d'une opposition entre celles et ceux qui préfèrent faire confiance à la « *Nature* » (la roche) ou à la « *Société* » (les colis, le béton) pour protéger l'humanité des radiations émises par les déchets nucléaires. Dans son histoire de la gestion

93 *Ibid.*, p. 394.

94 *Ibid.*, p. 5.

95 John D'Agata, *Yucca Mountain*, Bruxelles, Zones Sensibles Editions, 2012.

96 J.-C. Petit, *Le stockage des déchets radioactifs*, op. cit.

97 *Ibid.*, pp. 178-183.

des déchets nucléaires, il distingue trois périodes : une période d'aventure entre les années 1940 et 1970, une période de crise entre les années 1970 et 1990, enfin une période de résolution des conflits autour de la gestion des déchets nucléaires, que J.C. Petit entrevoit à partir de 1990.

En 2000, Yannick Barthe soutient une seconde thèse au Centre de Sociologie de l'Innovation sur la gestion des déchets nucléaires, publiée en 2006 sous le titre *Le Pouvoir d'indécision*⁹⁸. Ce travail est focalisé sur les transformations induites par la loi du 30 décembre 1991 sur la gestion de l'aval du cycle nucléaire. Au terme d'un moratoire sur l'évacuation géologique, cette loi ouvre une période de quinze ans consacrée à trois voies de recherche : le retraitement poussé et le conditionnement des déchets ; le stockage géologique ; l'entreposage des déchets en surface. Pour Y. Barthe, cette loi, en distinguant différentes voies de recherche, remet en cause l'inéluctabilité de l'évacuation géologique⁹⁹. Jusqu'alors, plusieurs éléments avaient verrouillé le choix de l'enfouissement : l'abandon de l'immersion et l'absence de solution de gestion alternative tout d'abord puis la vitrification des déchets qui limite les possibilités de leur retraitement éventuel. À la fin des années 1980, l'évacuation géologique est ainsi la seule solution plébiscitée par les expert.es mais la recherche d'un site de stockage se heurte à l'opposition des habitant.es des départements choisis pour éventuellement l'accueillir.

Face à cette situation de blocage, la « *mise en politique* » des déchets nucléaires induite par la loi de 1991 et la transformation du mode de choix des sites où implanter des laboratoires souterrains, qui désormais s'appuie sur l'engagement des élu.es locaux, doit permettre de rendre gouvernable l'aval du cycle. La thèse de Y. Barthe est articulée autour de l'analyse symétrique de l'irréversibilisation technique de l'enfouissement et de la réversibilisation du choix de cette solution en 1991. Son travail est construit contre ce qu'Albert O. Hirschman appelle la « *thèse de l'inanité* », c'est-à-dire contre les analyses négligeant les changements pour souligner l'impuissance politique à influencer, dans notre cas, sur la gestion des déchets nucléaires¹⁰⁰. La « *mise en politique* » des déchets nucléaires induite par la loi de 1991, en rendant discutabile la gestion de ces déchets, rouvrirait ainsi des choix technologiques et redonnerait une possibilité d'agir aux décideurs publics et aux élu.es locaux.

98 Yannick Barthe, « La mise en politique des déchets nucléaires. L'action publique aux prises avec les irréversibilités techniques », Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, Paris, 2000 ; Y. Barthe, *Le pouvoir d'indécision*, op. cit.

99 Y. Barthe, *Le pouvoir d'indécision*, op. cit., pp. 125-126.

100 *Ibid.*, p. 6.

À la fin des années 1980, l'opposition entre l'Andra et les populations des zones où l'Agence souhaite étudier les possibilités d'implanter un stockage semble arrivée à une situation de blocage – Albert O. Hirschman parle de « *conflit indivisible* »¹⁰¹. L'après 1991 serait marqué par une division du conflit en plusieurs problématiques devenues gérables : les décisions sont fragmentées, l'implantation des laboratoires souterrains est concertée avec les élu.es locaux, le choix de la solution de gestion est réouvert, et il pourrait être éventuellement possible de ressortir du stockage les déchets qui y ont été déposés. De ce fait, pour Y. Barthe, la loi de 1991 aurait permis de rendre « *divisible* » en différentes questions discutables un problème qui opposait jusqu'alors deux positions antagonistes figées.

Au terme des quinze ans de recherche prévus par la loi de 1991, Yannick Barthe et Claude Gilbert publient un cahier *Risques Collectifs et Situations de Crise* consacré aux recherches sur la gestion des déchets nucléaires¹⁰². Cette publication est issue d'un séminaire ayant regroupé des chercheurs et chercheuses en sciences humaines et sociales ainsi qu'en sciences « *dures* ». Elle est organisée autour d'une série de huit questions problématisant celle de la gestion des déchets nucléaires et les recherches entreprises depuis la loi de 1991 sous des angles trop rarement considérés. Ainsi, ce texte interroge notamment la gestion des déchets en rapport avec leur production et le choix des filières de réacteurs¹⁰³. Est-il possible de débattre de la gestion des déchets nucléaires sans s'interroger sur leur origine ? La séparation des radionucléides contenus dans le combustible usé pour isoler le plutonium pourrait-elle être plus poussée afin de mieux gérer les différents éléments qui sont aujourd'hui conditionnés ensemble ?

Ce cahier questionne également la fonction politique des recherches effectuées depuis 1991 et notamment la réouverture affichée du choix de l'évacuation géologique¹⁰⁴. Ne sont-elles qu'un alibi destiné à apporter du crédit à l'Andra ? Quelles évolutions de la gestion des déchets nucléaires ont-elles permises ? En se détachant du cadrage des acteurs, ce cahier propose une confrontation de leurs discours avec leurs pratiques. En particulier, il interroge l'appropriation par l'Andra de

101 Albert O. Hirschman, *Un certain penchant à l'autosubversion*, Paris, Fayard, 1995 ; Yannick Barthe, « *Mission impossible* » ? *Retour sur la mission collégiale de concertation Granite*, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2002 ; Yannick Barthe, « Mobilisations et choix techniques. Le cas des déchets nucléaires », Lyon, 2005 ; Y. Barthe, « *Les qualités politiques des technologies. Irréversibilité et réversibilité dans la gestion des déchets nucléaires* », *op. cit.*

102 Yannick Barthe et Claude Gilbert, *Recherche et déchets nucléaires. Une réflexion interdisciplinaire*, Grenoble, Maison des Sciences de l'Homme-Alpes, 2006.

103 *Ibid.*, pp. 17-24, 81-87.

104 *Ibid.*, pp. 25-32, 49-58.

l'exigence de réversibilité du stockage voulue par les opposant.es à toute solution de gestion définitive et l'apport réel de l'ouverture des recherches à d'autres acteurs scientifiques que l'Andra et le CEA¹⁰⁵.

Très dernièrement, Julie Blanck a soutenu une thèse sur l'évolution de l'organisation de l'Andra en fonction des différentes manières dont la question des déchets nucléaires a été cadrée¹⁰⁶. Dans un article de 2016, elle montre notamment comment un cadrage technique et un cadrage politique de la gestion des déchets nucléaires coexistent dans différentes arènes et fournissent des ressorts pour l'action¹⁰⁷.

ADMINISTRER LA PREUVE DE LA SÛRETÉ D'UN STOCKAGE ?

Dans la littérature existante, les manières d'administrer les preuves de la sûreté des projets de stockage a rarement fait l'objet d'études. K. Shrader-Frechette a bien analysé les difficultés à produire avec assurance une preuve de la sûreté d'un projet de stockage, mais son travail date de plus de vingt ans et il est focalisé sur le seul projet de Yucca Mountain. L'ouvrage de A. Macfarlane et R. Ewing, plus récent, ne s'intéresse lui aussi qu'au projet de stockage états-unien et prend peu en compte la dynamique temporelle dans l'évolution des questionnements auxquels les chercheurs et chercheuses qui étudient l'évolution du stockage se confrontent.

Comme l'a souligné Y. Barthe, la loi de 1991 a profondément transformé le gouvernement de l'aval du cycle nucléaire en France, en octroyant notamment un rôle politique majeur à l'activité scientifique. Si le cahier coordonné en 2006 par Y. Barthe et C. Gilbert questionne le rôle de la recherche en France après 1991, cette publication n'a toutefois pas pour ambition de proposer une histoire des pratiques savantes dédiées à l'étude de sûreté de la gestion des déchets nucléaires.

La difficulté d'accès aux archives de l'Andra est assurément une des causes de l'absence d'étude sur les recherches destinées à montrer la sûreté d'un projet de stockage. Dans le cadre de cette thèse, financée par l'Andra, j'ai eu accès à ses archives qui ont constitué un matériau inédit pour étudier le travail de ses salarié.es (cf. Annexe 1).

105 *Ibid.*, pp. 33-40, 49-58.

106 Julie Blanck, « 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, Institut d'études politiques de Paris, octobre 2017.

107 J. Blanck, « Gouverner par le temps », *op. cit.*

Cette thèse est une histoire des pratiques mobilisées à l'Andra, depuis les années 1980, pour montrer la sûreté de projets de stockage. Elle détaille la manière dont les salarié.es de l'Andra produisent des connaissances à même d'assurer une certaine maîtrise sur l'évolution d'un potentiel stockage : le travail de reconnaissance géologique, la construction de modèles de la dégradation des ouvrages ou du transfert des radionucléides, le développement d'outils de simulation numérique ou de sélection de scénarios permettant de représenter différentes évolutions possibles du stockage...

Le temps de la décroissance de l'activité de certains radionucléides destinés à être enfouis jusqu'en dessous d'un seuil considéré comme acceptable se compte en centaines de milliers d'années. Au moins depuis les années 1980, il est établi que, sur de telles temporalités, dans n'importe quelle formation géologique, des circulations hydrogéologiques entraîneront inévitablement vers la surface les radionucléides qui pourraient y être enfouis. Dès lors, montrer la sûreté d'un projet de stockage doit composer avec l'existence inexorable d'incertitudes. Face à la quasi-infinité des échelles de temps, la multiplicité des régimes de preuve est de mise : il n'est pas d'espoir que puisse être produite une connaissance exhaustive de l'ensemble des phénomènes, tant il semble peu crédible de pouvoir prédire, de manière déterministe, l'état d'un stockage à n'importe quel moment du futur. Maîtriser l'évolution d'un stockage implique donc plus modestement de s'assurer que les risques induits sont raisonnables et de rationaliser les choix. Un premier objectif de cette thèse est de comprendre comment, pour qui et à quel moment l'Andra « *démontre* », ou « *montre* », la sûreté d'un projet de stockage. Comment l'Andra gère-t-elle en pratique l'impossibilité épistémique de connaître l'évolution d'un stockage durant un million d'années ?

De plus, cette thèse s'attache à inscrire l'histoire du développement des outils d'étude de l'évolution d'un stockage dans l'histoire politique de la gestion des déchets nucléaires. Suivant ainsi la réflexion engagée dans le cahier *Risques Collectifs et Situations de Crise* coordonné par Y. Barthe et C. Gilbert, j'ai cherché à montrer la manière dont la place centrale accordée à l'activité scientifique dans la loi de 1991 a perturbé le gouvernement de l'aval du cycle nucléaire. Il s'agit ici de comprendre à la fois comment la transformation de la question du devenir des déchets nucléaires en une question de recherche impacte le gouvernement de l'aval du cycle nucléaire, et comment le rôle politique confié à l'activité scientifique influe sur l'évolution des pratiques. Le second objectif de ce travail est ainsi d'analyser la manière dont la transformation, en 1991, du projet de stockage en un projet de recherche a impacté les débats sur la gestion des déchets nucléaires et les recherches sur l'évolution d'un stockage.

Aujourd'hui en France, aucun stockage géologique n'est encore construit. De ce fait, cette thèse est consacrée à l'histoire de projets ou d'un projet¹⁰⁸. Un projet car, depuis l'abandon de l'immersion, aucune autre solution de gestion des déchets nucléaires n'a été envisagée par les acteurs en charge de cette gestion. Des projets car, depuis plus de trente ans, ce projet de stockage a évolué : il a été envisagé dans différentes formations géologiques, les concepts de stockage ont changé, les représentations du comportement de l'ouvrage se sont transformées. De plus, les déchets nucléaires existent mais ceux-ci sont entreposés sur les sites du CEA et d'Areva et les salarié.es de l'Andra n'y ont pas accès. Les stockages étudiés par les salarié.es de l'Andra ont donc une certaine virtualité.

Le premier chapitre de cette thèse présente globalement ce que signifie démontrer la sûreté d'un projet de stockage de déchets nucléaires durant les années 1980. Il met en évidence que différentes activités sont nécessaires pour cela. Il s'agit tout d'abord de caractériser la géologie d'un site afin d'étudier les qualités de la roche. Celle-ci ne constitue toutefois pas l'unique barrière de rétention des radionucléides : les colis et les ouvrages bétonnés du stockage jouent également un rôle dans la sûreté du stockage. Il importe que les caractéristiques de ces barrières ouvragées soient adaptées aux qualités de la roche et que l'ensemble des barrières, géologique et ouvragées, permettent d'assurer la sûreté du stockage. De plus, sur des temporalités de l'ordre du million d'années, différents événements accidentels ou improbables, liés aux activités humaines futures ou à l'évolution naturelle des régions de stockage, peuvent advenir. L'identification des éléments qui pourraient écarter l'évolution du stockage de son évolution normale est également un élément important des analyses de sûreté. Enfin, la conception d'un outil de calcul permettant d'évaluer la quantité de radionucléides issus du stockage et contaminant la biosphère occupe les ingénieur.es de l'Andra et de l'Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire (IPSN). Afin de coordonner ces différentes activités, un travail méthodologique est important.

Ce premier chapitre détaille également comment l'optimisation économique de la conception d'un stockage guide les choix effectués malgré le fait que l'évaluation économique globale d'un stockage est loin d'être évidente. Enfin, ce chapitre analyse les changements qu'induit la loi de 1991 sur le gouvernement de l'aval du cycle nucléaire. Alors qu'à la fin des années 1980 la recherche d'un site où étudier les possibilités d'implanter un stockage se heurte à l'opposition des habitant.es des régions choisies, cette loi permet de désamorcer le conflit entre partisan.es et opposant.es à l'enfouissement. Elle instaure ainsi une période de quinze ans dévolue aux recherches durant

108 Bruno Latour, *Aramis ou L'amour des techniques*, Paris, La Découverte, 1992 ; Frédéric Graber, « Une histoire pragmatique des formes projet », in *Histoires pragmatiques*, Paris, Éditions de l'EHESS, 2016, pp. 201-223.

laquelle aucune solution de gestion définitive ne peut être engagée. La place centrale accordée à l'activité scientifique, et le « *déconfinement* » du monde du nucléaire de la gestion des déchets, transforment le gouvernement de l'aval du cycle nucléaire.

Entre 1994 et 1996, les géologues de l'Andra travaillent dans quatre départements pour évaluer la pertinence d'y implanter des laboratoires souterrains. Ces installations sont destinées à étudier *in situ* les qualités géologiques de formations dans lesquels un stockage pourrait être implanté. Parmi les quatre départements dans lesquels l'Andra a engagé des prospections géologiques, un seul, la Vienne, a un sous-sol granitique. Le deuxième chapitre est dédié à la présentation du travail de reconnaissance géologique effectué dans ce département. Plusieurs éléments m'intéressent ici. Tout d'abord, cette formation n'a jamais été étudiée et le granite que les géologues de l'Andra découvrent n'a pas la minéralogie attendue. De plus, le granite est une roche fracturée et de l'eau est susceptible de s'écouler dans les fractures de la roche. De telles circulations hydrogéologiques pourraient éventuellement entraîner des radionucléides vers la surface. La fracturation est un phénomène chaotique et la modélisation des écoulements dans celles-ci pose un défi important aux hydrogéologues de l'Andra.

Une fois que l'Agence a déposé une demande de construction d'un laboratoire souterrain dans la Vienne, une controverse importante s'engage entre les géologues de l'Agence et ceux de la Commission Nationale d'Évaluation et du Groupe Permanent Déchets conseillant l'IPSN. Non seulement ces débats mettent en lumière les pratiques des géologues de l'Agence mais ils montrent également la difficulté à évaluer si un site est adapté ou non à accueillir un dépôt géologique. Le besoin d'étudier globalement la sûreté d'un projet de stockage et la difficulté de caractériser ce qui constitue un élément rédhibitoire à l'implantation d'un stockage empêchent de mettre un terme à cette controverse.

Après 1991, la loi imposant que des recherches soient effectuées dans plusieurs laboratoires souterrains, leur implantation est un enjeu stratégique majeur pour l'Andra. Le troisième chapitre s'attarde sur les discussions stratégiques et politiques autour de l'implantation de ces installations et précise la fonction politique des recherches après 1991. En effet, la qualité des sous-sols ne permet pas à elle seule de justifier le choix de la localisation de deux laboratoires. Des considérations politiques entrent également en jeu. Avant l'élection présidentielle de 1995, la préoccupation de la direction de l'Andra et de ses interlocuteurs à la Direction Générale de l'Énergie et des Matières Premières est avant tout de ne pas frustrer les élus locaux qui ont soutenu les projets de laboratoires souterrains.

L'élection de Jacques Chirac puis la nomination de l'écologiste Dominique Voynet comme ministre du Gouvernement de Lionel Jospin en 1997 déplace profondément les enjeux du choix. Les qualités géologiques de la Vienne sont remises en cause et les vignerons du Gard s'opposent à l'implantation de l'Andra dans leur région. Seul le site de Bure, à la limite entre la Meuse et la Haute-Marne, semble encore adapté à accueillir un laboratoire. Or la loi prévoit la construction de plusieurs de ces installations. De plus, les prospections géologiques permettent de caractériser la roche mais également « *d'occuper utilement le terrain* ». Lorsqu'elle s'implante localement, l'Andra laisse ouverte la question du devenir des déchets nucléaires au terme de la période dévolue aux recherches par la loi de 1991.

Le quatrième chapitre porte sur le développement des outils d'analyse de la sûreté des projets de stockage. Il montre la difficulté de représenter l'évolution du stockage avec des outils efficaces tout en cherchant à prendre en compte tous les éléments susceptibles d'influer sur le devenir d'un stockage. La construction de scénarios est alors déployée afin d'évaluer les conséquences d'évolutions anormales du stockage. Toutefois, étant donné que ces scénarios font l'objet d'une évaluation quantifiée de leurs conséquences radiologiques, leur nombre est nécessairement restreint. L'identification exhaustive des éléments pouvant influencer sur l'évolution du stockage est une garantie de la robustesse d'une analyse de sûreté. Étant donné la difficulté de garantir la complétude d'une telle liste, l'harmonisation internationale de son contenu permet de lui donner une certaine assise. De plus, la répétition régulière d'analyses de sûreté permet leur adaptation à l'évolution des connaissances sur l'évolution du stockage, et renforce au fur et à mesure la robustesse de l'analyse qu'une seule étude ne peut suffire à garantir.

Ce quatrième chapitre détaille également l'histoire d'un basculement dans la manière de démontrer la sûreté d'un stockage. Jusqu'au début des années 2000, le calcul de l'impact radiologique constitue l'étalon de l'évaluation de la sûreté des projets de stockage. Toutefois, la difficulté à concevoir un outil de calcul du transfert des radionucléides depuis le stockage jusqu'à la biosphère, basé sur la modélisation fidèle des phénomènes qui guident l'évolution du stockage, amène la direction de l'Andra à relativiser le rôle de ce calcul dans la démonstration de sûreté. La réalisation d'un tel calcul reste un élément important mais il n'est plus considéré comme pouvant, à lui seul, garantir la sûreté.

En 2005, l'Andra publie un imposant rapport sur la faisabilité d'implanter un stockage dans l'argile du Callovo-Oxfordien de l'Est de la France. Depuis le début des années 2000, l'ensemble des activités de l'Agence est orienté vers la production de ce bilan des quinze ans de recherches effectuées dans le cadre de la loi de 1991. Le chapitre 5 traite de la préparation de ce *Dossier 2005*

et notamment de l'anticipation de son évaluation. Il s'attarde sur la manière dont la direction de l'Andra a travaillé à construire la confiance dans les conclusions de l'Agence en commandant à différentes institutions des évaluations préalables de son travail.

De plus, l'Agence travaille dorénavant avec différentes institutions de recherche. Ces collaborations permettent de multiplier les études sur le comportement des différents phénomènes influant sur le stockage et elles renforcent le crédit scientifique de l'Agence. Toutefois, la construction du laboratoire souterrain de Bure accumule alors du retard et le programme expérimental doit être adapté. Les recherches devront se poursuivre après 2006 et l'Andra ne dépose pas de demande de construction d'un stockage dès 2007. En 2006, une nouvelle loi entérine néanmoins le recours à l'évacuation géologique et elle prévoit la poursuite des recherches pendant dix ans pour accompagner l'industrialisation du projet de stockage.

Le chapitre 6 expose les débats qui accompagnent le passage après 2006 du projet de stockage dans une phase industrielle. Tout d'abord, le travail dans le laboratoire souterrain complexifie constamment la compréhension qu'ont les salarié.es de l'Andra du comportement du stockage. L'Agence jouit seule de l'utilisation du laboratoire souterrain et elle a capitalisé une quantité importante de connaissances sur le stockage dans l'argile. De ce fait, l'évaluation de ses recherches par des institutions aux moyens bien moins importants devient de plus en plus difficile. Cependant, les connaissances qui sont produites dans le laboratoire remettent parfois en cause des savoirs antérieurs et elles nuisent à la stabilisation d'une démonstration de sûreté du projet de stockage. De plus, les essais dans le laboratoire souterrain révèlent les difficultés matérielles à concevoir des ouvrages conformes aux exigences fixées.

Au même moment, les producteurs de déchets nucléaires qui doivent financer le stockage mettent publiquement en doute la capacité des ingénieur.es de l'Andra à concevoir un tel ouvrage et en maîtriser les coûts. Par ailleurs, à partir des années 2000, la participation de l'ensemble des « *parties prenantes* » est désormais la norme du gouvernement des projets technoscientifiques. L'Agence finance des recherches en sciences sociales depuis la fin des années 2000 et un comité composé de quelques sociologues conseille sa direction sur la manière de dialoguer et de débattre de la gestion des déchets nucléaires. La réversibilité du stockage et des décisions sur celui-ci devient centrale dans la gouvernance du stockage et elle doit désormais permettre d'engager le projet malgré les incertitudes qui subsistent sur le comportement de l'ouvrage.

Le dernier chapitre de cette thèse détaille le passage en revue des connaissances, effectué à l'Andra en préparation de la demande d'autorisation d'un stockage à Bure, lorsque le dépôt de cette demande était prévu pour 2015. Ce chapitre présente la démonstration de sûreté comme un

exercice : la sélection d'hypothèses doit s'appuyer sur une représentation réaliste du stockage mais suffisamment pénalisante pour que l'analyse soit robuste, tout en garantissant que l'impact calculé du stockage soit bien inférieur à la limite réglementaire. Si la réalisation d'un calcul n'est plus centrale, il n'en demeure pas moins qu'il est toujours nécessaire de vérifier que l'impact du projet de stockage soit bien inférieur à la limite réglementaire – la dose étant toujours l'unique critère quantitatif d'évaluation de sûreté d'un stockage. La sélection des marges de sûreté sur les hypothèses sélectionnées pour les calculs d'impact est guidée par l'anticipation de leurs conséquences. Tout est ainsi fait pour que l'impact radiologique calculé ne dépasse jamais la limite réglementaire.

Ce dernier chapitre expose la manière dont les incertitudes qui inévitablement existent sont prises en compte lorsqu'il est nécessaire de stabiliser une représentation de l'évolution du stockage afin d'effectuer une analyse de sûreté. Enfin, ce chapitre détaille la manière dont les salarié.es de l'Andra construisent un inventaire de référence des radionucléides qui seront contenus dans le stockage malgré le refus des producteurs de déchets de leur fournir toutes les informations nécessaires sur les déchets qu'ils destinent au stockage. Alors que la formalisation de l'analyse de sûreté est une garantie de la robustesse de cette analyse, l'existence inéluctable d'incertitudes au moment de réaliser un calcul d'impact impose une certaine flexibilité dans la sélection des hypothèses nécessaires pour la réalisation de ce calcul.

CHAPITRE 1. L'ANALYSE DE SÛRETÉ À L'ÉPREUVE DE L'IMPLANTATION D'UN STOCKAGE

Au début des années 1980, la gestion des déchets nucléaires de catégorie B et C (correspondant globalement aux déchets de Haute Activité à Vie Longue (HAVL) et Moyenne Activité à Vie Longue (MAVL) dans la classification actuelle) n'est pas la priorité du CEA¹⁰⁹. Certains de ces déchets sont fortement calorifiques et il est nécessaire que leur température décroisse encore pendant quelques décennies avant que l'on puisse les manipuler aisément. Pour la direction du CEA, l'urgence en matière de gestion des déchets est avant tout d'implanter un deuxième centre de stockage en surface pour les déchets nucléaires de moindre activité et à vie courte¹¹⁰. En effet, le centre de stockage en surface de La Hague arrive à saturation et la direction du CEA estime nécessaire de disposer d'un second site pour assurer le stockage en surface des déchets de catégorie A. Les volumes produits de ces déchets de moindre activité sont bien plus importants que les volumes de déchets de haute activité.

Depuis l'abandon du recours à l'immersion, leur évacuation géologique est le seul moyen consensuel, envisagé au sein des institutions internationales, pour faire face à leur accumulation. Durant les années 1980, la Commission des Communautés Européennes coordonne un important programme de recherche sur l'évacuation géologique dans différents types de roches. La participation du CEA à ce programme est le premier travail important mené en France sur l'analyse de sûreté d'un projet de stockage. Par ailleurs, durant cette décennie, plusieurs commissions expertes sont nommées, en France, afin d'établir des recommandations sur le choix des sites où pourraient être implantés des dépôts géologiques. De plus, un programme de reconnaissance géologique dans quatre départements est engagé en 1987. Il suscite de vives oppositions qui amènent le Premier ministre Michel Rocard à décider en 1990 d'un moratoire sur l'évacuation géologique. Suite à celui-ci, une loi est votée en décembre 1991 qui ouvre une période de quinze ans dévolue aux recherches sur la gestion des déchets nucléaires¹¹¹.

109 J. Blanck, « Gouverner par le temps », *op.cit.*

110 *Ibid.*

111 Y. Barthe, *Le pouvoir d'indécision*, *op. cit.*

Ce chapitre introductif aux allures de patchwork est destiné à dessiner un panorama général du travail effectué durant les années 1980. Chacune de ses parties présente un pan de l'histoire des recherches sur l'évacuation géologique des déchets nucléaires. Ce chapitre permet d'une part de commencer à appréhender la difficulté de maîtriser l'évolution d'un projet de stockage. D'autre part, il explicite le contexte dans lequel travaille l'Andra durant les années 1990.

Ce chapitre précise en outre la manière dont la question de la démonstration de sûreté d'un projet de stockage est appréhendée dans cette thèse : comme un agencement de pratiques savantes et comme un dispositif de gouvernement. Il n'y a pas de démonstration, au sens d'une démonstration mathématique, de la sûreté des projets de stockage. Toutefois, les ingénieurs.es de l'Andra travaillent ardemment à formaliser la manière dont les différentes pratiques qui apportent une connaissance partielle sur le stockage s'amoncellent. La démonstration de sûreté d'un stockage est une entreprise de rationalisation, inexorablement imparfaite, de la gestion des déchets nucléaires.

La première partie de ce chapitre est consacrée aux recherches sur les outils d'évaluation des performances des projets de stockage, menées durant les années 1980. Son objectif est double. Tout d'abord, il s'agit de présenter un premier état de l'art des techniques utilisées durant les années 1980, afin de pouvoir appréhender dans les chapitres suivants leurs déplacements et leurs évolutions. Ensuite, à travers cette présentation, je voudrais exposer d'une manière globale le travail de démonstration de sûreté et l'intrication des différentes activités qui y contribuent. En effet, si les techniques évoluent, la question de leur coordination et de leur agencement reste un enjeu important bien après les années 1980. De nombreuses questions sur la démarche globale de démonstration de sûreté, qui se posent durant les années 1980, continuent d'être discutées durant les décennies suivantes.

La deuxième partie de ce chapitre porte sur le travail de deux commissions instituées durant les années 1980 afin d'éclairer la gestion de l'aval du cycle nucléaire. Ces commissions s'attachent notamment à identifier des critères pour la sélection de formations géologiques où implanter un stockage profond. Ce travail est repris dans la Règle Fondamentale de Sûreté RFS III.2.f, publiée en juin 1991 et qui constitue une référence pour l'évaluation des recherches postérieures. Cette partie accorde une large place à la présentation d'un principe d'optimisation économique de la conception des projets de stockage : le principe Alara qui stipule que l'impact radiologique d'un stockage doit être le plus faible possible, en prenant en compte les facteurs économiques et sociaux liés à l'implantation d'un tel ouvrage. Celui-ci est considéré comme une norme depuis les années 1980 mais son opérabilité est limitée.

Enfin, la dernière partie est consacrée à la loi de 1991 et au dispositif mis en place par le député Christian Bataille au début des années 1990, en réponse aux conflits de la fin des années 1980. Cette loi donne une place stratégique aux recherches et transforme en profondeur la gestion de l'aval du cycle. L'Andra est alors contrainte de composer avec d'autres institutions, notamment le Parlement et différentes collectivités locales, qui ont dorénavant leur avis à donner sur le devenir des déchets nucléaires.

I. SERA-T-IL POSSIBLE DE MONTRER LA SÛRETÉ D'UN DÉPÔT GÉOLOGIQUE DE DÉCHETS NUCLÉAIRES ?

Au cours des années 1970, la difficulté de garantir d'une part la pérennité des colis de stockage pendant de très longues périodes de temps, et d'autre part la possibilité qu'une formation géologique puisse confiner à elle seule les radionucléides contenus dans les déchets, amènent les ingénieur.es en charge de la conception d'un stockage à faire reposer sa sûreté sur la roche et les ouvrages¹¹². Le concept de stockage qui fait alors figure de référence est dit « *multi-barrières* ». (cf. *Figure 4*). Les colis de déchets, les ouvrages de stockage et la roche doivent assurer conjointement la rétention des radionucléides enfouis et la sûreté du dépôt repose alors sur les qualités de ces trois barrières placées entre les radionucléides et la biosphère. Dans cette partie, il s'agit de présenter comment la réalisation d'une démonstration de la sûreté d'un stockage est envisagée durant les années 1980 et quelles sont les problématiques auxquelles se confrontent les ingénieur.es en charge de ce travail.

112 J.-C. Petit, *Le stockage des déchets radioactifs*, op. cit., pp. 178-179.

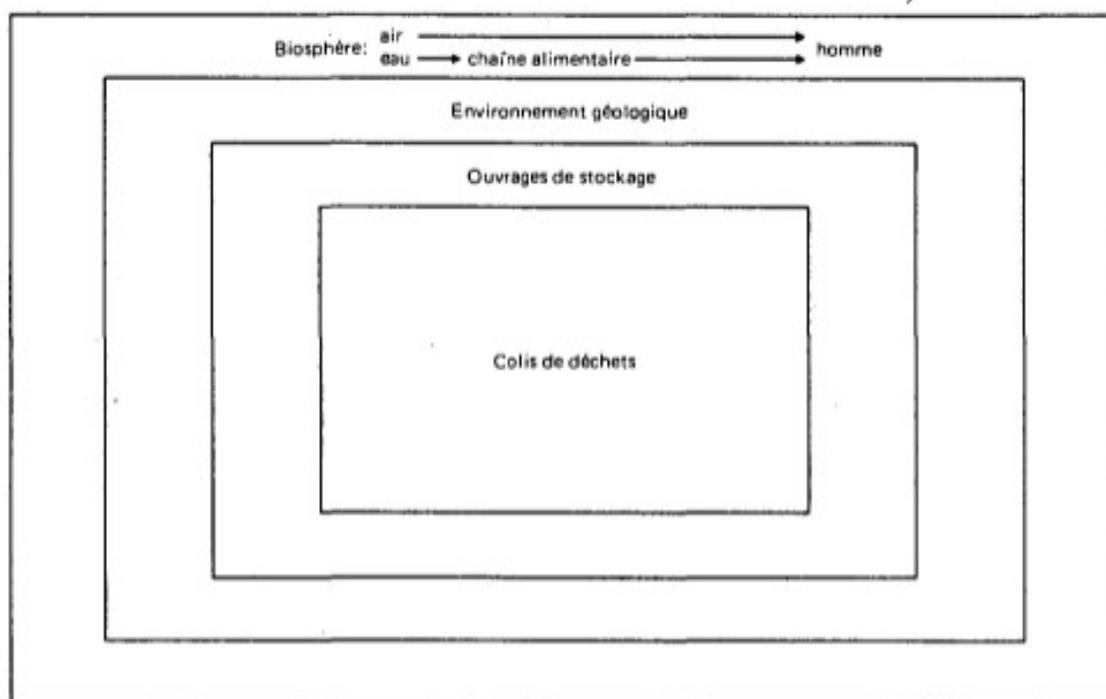


FIG.1. Système de stockage définitif souterrain (schéma général).

Figure 4. Représentation d'un stockage géologique multi-barrières (Yves SOUSSELIER et Francis VAN KOTE, « Critères d'acceptation pour le stockage définitif souterrain des déchets nucléaires », in *Radioactive Waste Management vol. 3*, Vienne, International Atomic Energy Agency, 1984, p.6)

1.1. DES MÉTHODES ORIENTÉES VERS LA PRODUCTION D'UN CALCUL

Recourir à l'évacuation géologique a pour objectif d'isoler de l'humanité les radionucléides contenus dans les déchets, le temps que leur radioactivité décroisse en dessous d'un seuil considéré comme acceptable. Pour certains radionucléides destinés à être enfouis, ce temps de décroissance peut se compter en centaines de milliers d'années. Les études de la sûreté des projets de stockage doivent donc s'assurer que ces ouvrages n'auront pas d'effet nocifs durant le prochain million d'années. La période quasi-infinie que les études de l'évolution d'un stockage doivent prendre en compte est directement induite par la période radioactive des radionucléides contenus dans les déchets.

Durant les années 1980, l'ensemble des géologues qui travaillent sur l'évacuation géologique s'accordent pour considérer que, quel que soit la formation géologique choisie pour accueillir un stockage, sur des temporalités de l'ordre du million d'années, des mouvements d'eau souterrains entraîneront inévitablement les radionucléides enfouis vers la surface. La dose à l'exutoire du stockage, là où la biosphère est au contact de l'eau circulant dans la géosphère, fait figure d'étalon de la sûreté des projets de stockage¹¹³.

1.1.1. DÉPENDANCE MUTUELLE DES DIFFÉRENTES ACTIVITÉS CONTRIBUANT À L'ANALYSE DE SÛRETÉ

Durant les années 1980, l'IPSN et l'Andra, qui font alors partie du CEA, participent au programme Pagis – pour *Performance Assessment of Geological Isolation System* –, piloté par la Commission des Communautés Européennes (CCE). Ce programme européen est structuré en trois phases dont la première débute en 1982. Son objectif est de « *recueillir, mettre en commun, comparer, inventorier, développer et harmoniser le plus possible – au niveau communautaire – l'expérience déjà acquise dans les différents pays de la Communauté Européenne, dans le domaine de l'Evaluation de Performance des Formations Géologiques, en vue du stockage définitif* » des déchets nucléaires¹¹⁴. Le programme est organisé autour de l'étude de quatre types de formations géologiques : le sel, l'argile, le granite et les sédiments marins. Le CEA est responsable des études sur le granite.

L'étude des possibilités de stockage dans chaque formation géologique est divisée en onze tâches : la sélection et la caractérisation de sites géologiques, la définition d'une architecture de stockage, le développement d'une méthodologie pour évaluer l'impact d'un stockage, la caractérisation des déchets, l'étude de leur dégradation et du comportement des conteneurs, l'étude des interactions entre le stockage, la roche et la biosphère et enfin l'appréhension des effets radiologiques sur la biosphère¹¹⁵. Cette liste indique la variété des activités nécessaires à la démonstration de la sûreté d'un stockage : caractériser chaque barrière, son évolution et l'influence des propriétés de chacune sur le comportement des autres, développer des outils permettant d'évaluer la sûreté du concept de stockage retenu. Ainsi, l'analyse du risque induit par la présence d'un stockage doit prendre en compte la construction d'un catalogue de scénarios, l'étude des

113 Le chapitre 5 précise qu'au tournant des années 2000, le rôle d'étalon de l'impact radiologique à l'exutoire s'amoindrit. Néanmoins, durant les années 1980 et 1990, l'impact radiologique à l'exutoire constitue la référence absolue de l'évaluation de la sûreté des projets de stockage.

114 *Contrat entre la Communauté Européenne de l'Énergie Atomique et Le Commissariat à l'Énergie Atomique - Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs*, 29 novembre 1982 Annexe I.

115 *Ibid.* Annexe I.

phénomènes physiques et chimiques influant sur le stockage et son environnement, la conception d'outils à même de calculer le transfert des radionucléides vers la biosphère et enfin l'appréhension des incertitudes¹¹⁶. Ces incertitudes peuvent provenir d'une part d'une caractérisation imparfaite de la physique du stockage et de son environnement ainsi que des phénomènes qui influent sur ceux-ci, d'autre part de l'inexhaustivité des scénarios retenus ou encore du manque de représentativité des modèles numériques¹¹⁷.

Les différentes tâches nécessaires pour démontrer la sûreté d'un stockage ne peuvent être effectuées indépendamment les unes des autres. Au contraire, l'évaluation de l'impact radiologique dépend de la sélection d'un site et de sa caractérisation, de la définition d'une architecture de stockage et des études phénoménologiques de l'influence de la présence du stockage sur son environnement. En effet, non seulement la conception des ouvrages dépend des qualités de la roche choisie mais l'étude de la migration des radionucléides dépend aussi des propriétés de la roche, des colis et des ouvrages. Toutefois, le choix d'une formation géologique dépend de la sûreté du stockage qui pourrait y être construit. Ainsi, l'étude de la roche doit être préalable à la conception du stockage et des outils à même d'évaluer la sûreté du dépôt, mais l'évaluation de la sûreté d'un potentiel stockage doit guider le choix de la formation géologique où étudier la possibilité de construire un stockage : l'étude de la roche détermine la conception du stockage et le développement des outils d'analyse de sûreté, mais la sélection d'un site géologique dépend d'une évaluation de la sûreté d'un concept global de stockage adapté à ce site. Afin de sortir de cette situation dans laquelle la sélection et l'étude d'un site, d'une part, et le développement d'un concept de stockage et d'outils d'évaluation de sûreté, d'autre part, dépendent l'un de l'autre, le développement d'une méthodologie (tâche 4 du programme Pagis) est particulièrement important.

Au moins depuis les années 1980, les méthodologies proposées pour évaluer la sûreté d'un stockage sont itératives. Les itérations de l'enchaînement des différentes activités qui contribuent à l'évaluation de l'impact radiologique doivent permettre de gérer leur dépendance mutuelle. Les différentes méthodologies sont orientées vers la réalisation d'un calcul d'impact. Par ailleurs, les différentes activités qui contribuent aux analyses de sûreté sont réalisées par des équipes différentes ; chacune ayant son calendrier, ses méthodes et ses pratiques. La qualité d'une liste de scénarios, de la conception d'ouvrage ou des reconnaissances géologiques s'évalue dans des espaces

116 CEA (ed.), *PAGIS. Tâche 4. Méthodologie*, novembre 1984, p. 3.

117 *Ibid.*

et parmi des communautés épistémiques différentes¹¹⁸. De plus, il ne faut pas supposer *a priori* que le travail s'organise réellement suivant les méthodes proposées. Néanmoins, la rationalisation du travail commun est un élément important de la production d'une démonstration robuste.

I.1.2. DE LA MÉTHODE

Dans le cadre de Pagis, l'IPSN et l'Andra développent deux méthodologies différentes. L'Agence opte pour une approche dite « *par blocs* » alors que l'Institut utilise une méthode dite « *globale* »¹¹⁹. Ces deux méthodes reposent sur un découpage spatial du stockage en trois zones : le champ proche (colis de déchets, ouvrages de stockage et zone de roche perturbée par la présence du stockage), le champ lointain (le milieu géologique non perturbé par la présence du stockage) et la biosphère¹²⁰. Alors que l'IPSN envisage de prendre constamment en compte les interactions entre ces trois zones, l'Andra envisage de modéliser chacune d'entre elles séparément et d'étudier les « *conditions de raccordement* » entre chaque modèle¹²¹.

Telle qu'elle est définie programmatiquement en 1984, l'analyse de chaque bloc par l'Andra est prévue en trois étapes : tout d'abord l'identification des phénomènes qui influent sur le transport des radionucléides, puis leur quantification et la détermination des phénomènes prépondérants et enfin le développement d'un modèle mathématique à même de calculer le relâchement des radionucléides du bloc au cours du temps¹²². Ainsi, l'étude des différents composants du stockage est orientée vers la quantification des mécanismes de transfert. Le calcul d'impact repose sur un code qui associe trois modèles représentant la migration des radionucléides le champ proche, le champ lointain et la biosphère.

118 Karin Knorr-Cetina, *Epistemic Cultures: How the Sciences Make Knowledge*, Cambridge, Harvard University Press, 1999.

119 CEA (ed.), *PAGIS. Tâche 4. Méthodologie*, op. cit., p. 13.

120 *Ibid.*, p. 12.

121 *Ibid.*, p. 15.

122 *Ibid.*, p. 13.

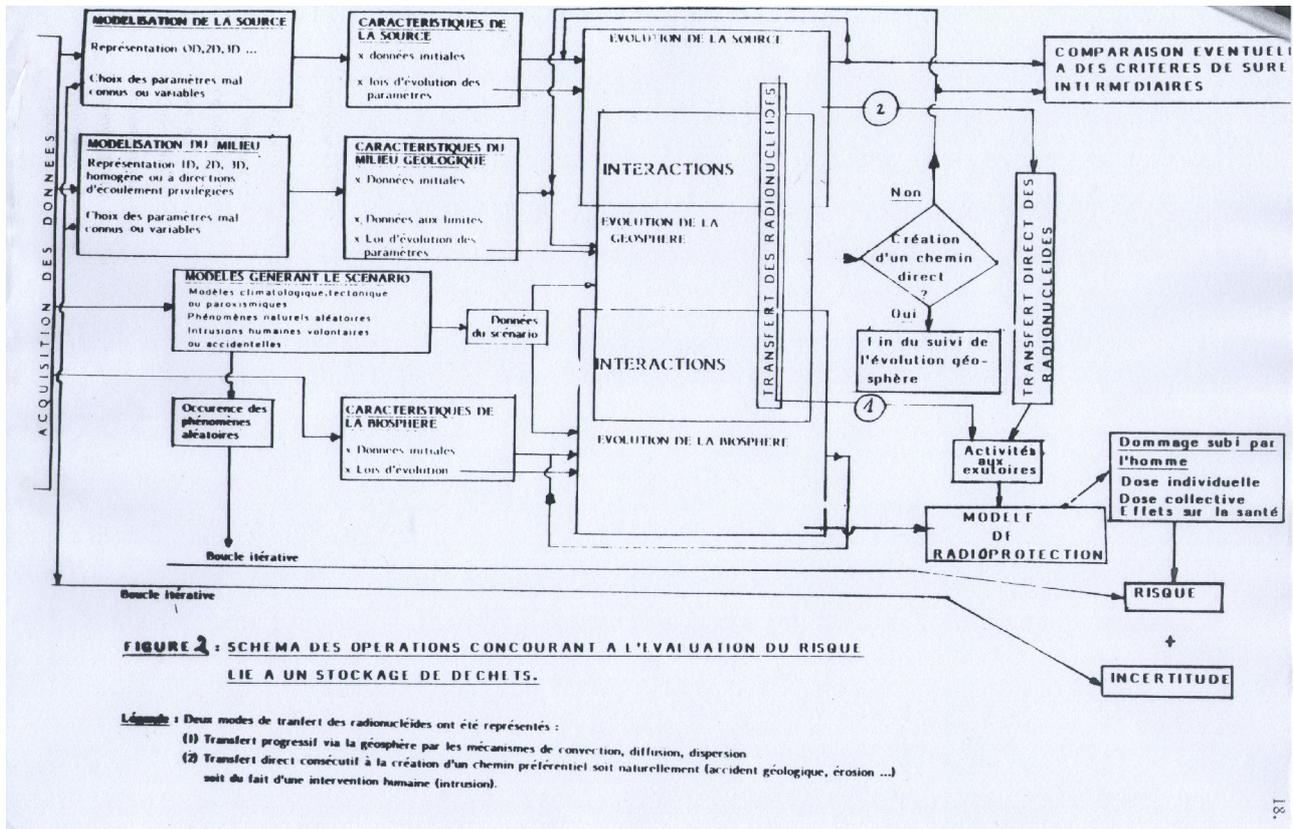


Figure 5. Schéma des opérations concourant à l'évaluation du risque lié à un stockage de déchets (CEA (ed.), PAGIS. Tâche 4. Méthodologie, novembre 1984)

La méthode globale de l'IPSN est présentée en 1984 à l'aide du schéma ci-dessus (Figure 5). Sur celui-ci, le terme source (les colis), la géosphère et la biosphère sont considérés en constante interaction. Sur ce schéma, deux modes de transfert des radionucléides sont représentés : un transfert progressif à travers la géosphère (flèche n° 1) et un transfert direct depuis la source jusqu'à la surface (flèche n° 2). Ce dernier mode de transfert permet d'étudier l'impact radiologique de situations accidentelles, comme par exemple une prospection minière qui atteindrait involontairement les déchets enfouis. Le calcul de l'activité radiologique au niveau des différents exutoires du stockage est l'aboutissement de ce travail. La dose radiologique émise par le projet de stockage doit permettre d'évaluer le risque qu'il représente vis-à-vis des critères de radioprotection. Ce risque doit être pondéré par les incertitudes qui pèsent notamment sur l'acquisition de données caractéristiques du site.

Le schéma décrivant cette méthode montre l'intégration des savoirs vers la réalisation d'un calcul d'impact. Ce processus est itératif : si le risque radiologique est trop élevé ou les incertitudes trop grandes, le processus est repris afin d'ajuster les concepts de stockage et d'affiner les données et les modèles pour arriver à un projet dont l'impact radiologique est acceptable. Formaliser l'agencement des différentes pratiques mobilisées pour produire un calcul d'impact est un travail

important de la première phase du programme Pagis. Pour produire un calcul d'impact, il n'existe pas une seule manière d'agrèger les savoirs sur la géologie, l'ouvrage et les déchets : l'Andra et l'IPSN, qui contribuent tous les deux au programme Pagis, optent pour des méthodes différentes.

I.1.3. DES SCÉNARIOS POUR APPRÉHENDER LA MULTIPLICITÉ DES ÉVOLUTIONS POSSIBLES DU STOCKAGE

L'ensemble des institutions qui étudient la sûreté des projets de stockage s'accordent pour considérer que l'appréhension de l'évolution de ces ouvrages durant des centaines de milliers d'années ne peut pas reposer uniquement sur une modélisation du transfert des radionucléides vers la surface. Sur de telles temporalités, des événements accidentels ou catastrophiques peuvent survenir. De plus, il est difficile d'exclure totalement l'éventualité que des humains creusent au droit du stockage et arrivent à son contact. Pour prendre en compte ces éléments dans les analyses de sûreté, différents scénarios sont construits. Ces scénarios constituent autant de récits des évolutions possibles du stockage et ils sont utilisés pour guider les calculs d'impact : chaque scénario donne lieu à un calcul suivant des hypothèses spécifiques.

En 1984, la construction de scénarios repose sur l'identification préalable des événements qui pourraient perturber l'évolution normale du stockage. Une fois la liste de ces événements établie, une probabilité d'occurrence leur est attribuée puis des liens sont éventuellement réalisés entre différents événements. Les scénarios sont construits à partir de ces événements comme des « séquences d'événements »¹²³. Dans le cadre de Pagis, une probabilité est attribuée aux scénarios¹²⁴.

Le nombre de scénarios est limité par le temps que demandent les calculs d'impact. Dans le cadre de Pagis, l'Andra distingue le scénario d'évolution normale (SEN), qui décrit l'évolution la plus probable du stockage, et des scénarios « *non-normaux* ». Ces derniers regroupent des scénarios « *altérés* » qui correspondent à des déviations du scénario normal (temps d'occurrence ou amplitude différent d'un phénomène pris en compte dans le scénario normal) et des scénarios « *accidentels* » qui permettent de prendre en compte des événements très peu probables mais aux conséquences potentiellement importantes¹²⁵.

En 1985, dans le cadre de Pagis, l'Andra envisage de considérer différents scénarios altérés correspondant à quelques événements pouvant perturber l'évolution du stockage : un défaut dans le scellement d'un puits d'accès au stockage, l'ouverture d'une fracture non-révélee par les

123 *Ibid.*, p. 5.

124 *Ibid.*

125 *Ibid.*, p. 7.

reconnaisances géologiques, une intrusion humaine à proximité du stockage, une activité tectonique et une glaciation qui impacterait le niveau des mers et donc l'hydrogéologie locale¹²⁶. Ainsi, le nombre de scénarios est peu élevé et les événements pouvant perturber l'évolution du stockage sont de natures diverses. Certains correspondent à une mauvaise qualification de la géologie du site choisi, un autre à un défaut dans la construction des barrières ouvragées. Un autre encore correspond à une action humaine quand d'autres prennent en compte des phénomènes naturels extrêmes. Au terme du programme Pagis, seul l'IPSN a réalisé des calculs d'impact suivant le scénario normal et un scénario d'intrusion humaine. L'Andra n'a réalisé que des modélisations de sous-systèmes du stockage¹²⁷. Intégrer les hypothèses caractérisant chaque scénario dans les outils de calcul demande un travail conséquent.

Le recours à une liste de scénarios est particulièrement intéressant car il traduit l'impossibilité d'envisager le devenir d'un projet de stockage uniquement par des modèles physiques. Il signale que la mise en équation des phénomènes de transfert des radionucléides vers la biosphère ne peut suffire à étudier l'évolution d'un stockage. La construction de scénarios impose des choix, notamment sur le moment d'occurrence des événements déviant l'évolution normale du stockage ou sur la probabilité d'événements extrêmement rares mais que le temps de décroissance des radionucléides impose de considérer. La connaissance des évolutions possibles d'un stockage est donc inévitablement partielle.

1.2. LE CALCUL D'IMPACT COMME ÉTALON DE LA SÛRETÉ

Dans le cadre de Pagis, trois sites granitiques sont étudiés par l'Andra et l'IPSN : Auriat dans le Limousin, Barfleur dans la Manche et un site britannique fictif. Le site d'Auriat est le site de référence¹²⁸. Le site de Barfleur a la particularité de se trouver en bord de mer : dans les fractures du granite, il y circule de l'eau de mer et non de l'eau douce. L'intérêt majeur de ce site serait que les radionucléides qui migreraient depuis le stockage soient dilués dans la mer. De ce fait, l'impact du stockage sur les populations vivant au-dessus de celui-ci serait amoindrie. Aucune localisation précise n'est communiquée pour le site britannique. La formation granitique en question est néanmoins considérée comme étant située sous une couverture sédimentaire sous-marine. Par ailleurs, dans le cadre de Pagis, deux concepts de stockage sont étudiés par les ingénieurs du CEA.

126 Francis Van Kote, *Action communautaire PAGIS. Évaluation des performances d'un stockage de déchets de haute activité vitrifiés dans le granite. Situation et bilan des études effectuées par l'Andra*, Andra/CEA, 1985, p. 5.

127 J. Lewi, Jean-Marc Peres, A. Cernes, M.J. Méjon-Goula et Cécile Izabel, « Réunion d'information sur les résultats du projet Pagis », IPSN/CEA, 1988.

128 *Ibid.*

Dans une première option, les déchets refroidissent durant trente ans avant d'être stockés. Dans la seconde option, ils refroidissent durant cent ans. Le temps de refroidissement détermine la densité possible du stockage et donc son emprise¹²⁹.

I.2.1. LES OUTILS DE CALCULS DE L'IPSN

Durant les années 1980, l'IPSN utilise un outil baptisé Mélodie (Modèle d'Évolution à Long terme des Déchets Irradiants Enterrés) pour évaluer numériquement l'impact radiologique des projets de stockage. Cet outil intègre trois modèles : un modèle du « *terme source* » qui permet de calculer le taux de radionucléides qui s'échappent des colis au cours du temps (le code Condiment), un modèle de géosphère permettant de calculer le temps de la migration des radionucléides dans la roche (Métis, Modélisation des Écoulements et des Transferts avec Interaction en milieu Saturé) et un modèle de biosphère indiquant la dose radiologique contaminant l'humanité à partir de la quantité de radionucléides atteignant la biosphère¹³⁰. Il faut ici souligner l'usage du mot « *modèle* » dans les acronymes Mélodie et Metis. Ces modèles sont des modèles numériques et la frontière entre les codes et ces modèles n'est alors pas très franche. Par cette dénomination, il est souvent difficile de déterminer si c'est l'outil de calcul, l'écriture algorithmique ou la représentation mathématisée de la physique qui est désigné. Durant les années 1980, « *code* » et « *modèle* » sont employés indifféremment pour désigner les outils numériques utilisés pour évaluer l'impact radiologique des projets de stockage.

Le code Condiment a été conçu par le CEA. Metis a été développé à l'École Nationale Supérieure des Mines de Paris. Après avoir hésité entre l'utilisation du code Bios du *National Radiological Protection Board* britannique et le code Abricot du CEA, les chercheurs de l'IPSN ont choisi d'utiliser ce dernier code. Le code Bios demandait des temps de calculs trop importants. Dans le développement des outils numériques, le nombre d'opérations – qui dépend notamment de la finesse des représentations – est limité par la puissance de calcul des ordinateurs. Ainsi, le choix des outils numériques et la complexité des modèles dépendent notamment des capacités de calcul des ordinateurs¹³¹. Un modèle qui demande un trop grand nombre de calculs et donc un temps de calcul trop long a peu d'intérêt. Toutefois, un modèle trop grossier ne serait pas non plus considéré comme un outil pertinent.

129 *Ibid.*

130 CEA (ed.), *PAGIS. Tâche 4. Méthodologie*, op. cit., p. 21.

131 Paul N. Edwards, *A Vast Machine: Computer Models, Climate Data, and the Politics of Global Warming*, Cambridge, 2010.

La division de l'étude du stockage en trois zones (champ proche, champ lointain et biosphère) se retrouve peu ou prou dans l'architecture de l'outil de calcul utilisé par l'IPSN : à chacune des zones correspond un modèle. Par ailleurs, le développement d'outils numériques soulève différentes questions. Parmi elles figure celle du couplage entre les codes utilisés pour calculer la migration des radionucléides à travers le champ proche, le champ lointain et la biosphère. Le choix des outils de calcul est également un enjeu important : faut-il développer des outils numériques *ad hoc* ou est-il possible d'utiliser des outils conçus initialement pour d'autres usages que le calcul de la migration de radionucléides ?

1.2.2. DE LA COMPRÉHENSION DES PHÉNOMÈNES À L'ÉCRITURE D'UN MODÈLE NUMÉRIQUE

Un exemple peut sous doute permettre de clarifier quelque peu la difficulté des questions que posent la construction des modèles numériques et la réduction de la complexité des phénomènes physiques que cette entreprise demande : la corrosion des conteneurs de déchets.

En décembre 1984, est effectué un bilan de la première phase du programme Pagis. La tâche 7 du programme est consacrée à l'étude de la corrosion des conteneurs¹³². Durant cette première phase de Pagis, l'objectif consistait avant tout à établir un état des connaissances et à planifier le travail pour la suite du programme. Dans le bilan de la première phase de Pagis, le rapporteur de l'Andra note que la corrosion dépend des alliages métalliques et que plusieurs processus peuvent être à l'origine de la corrosion¹³³. Il note que la corrosion peut être généralisée à l'ensemble de l'objet métallique ou être localisée. Elle peut avoir différentes formes (piqûres, crevasses...)¹³⁴.

Le bilan détaille ces différentes formes de corrosion et il liste les principaux paramètres qui influent sur ce phénomène (température, environnement, chimie de l'eau, composition de l'alliage)¹³⁵. Il liste ensuite ce que le CEA attend d'un modèle de corrosion : le moment à partir duquel l'étanchéité des conteneurs n'est plus assurée, la fonction statistique du nombre de conteneurs ayant perdu leur étanchéité au cours du temps, la caractéristique des produits de corrosion – ceux-ci pourraient avoir un impact sur les phénomènes géochimiques¹³⁶. L'auteur du bilan signale que d'après les connaissances dont il dispose, il est prématuré d'espérer disposer d'un modèle prenant en compte l'ensemble des phénomènes qui influent sur la corrosion et induits par

132 Andra (ed.), *Pagis tâche 7. Corrosion des conteneurs*, CEA, décembre 1984.

133 *Ibid.*, p. 1.

134 *Ibid.*, p. 2.

135 *Ibid.*, pp. 2-6.

136 *Ibid.*, p. 7.

elle. Il souligne également qu'un tel modèle alourdirait considérablement les calculs d'impact et il préconise de concevoir deux modèles : un modèle simplifié pouvant être intégré dans un outil de calcul global, et un modèle prenant en compte la complexité des phénomènes et permettant de valider les simplifications effectuées dans le modèle simplifié¹³⁷.

Si l'IPSN entreprend alors la conception simultanée de deux modèles (un modèle simplifié et un modèle complexe), l'Andra envisage de débiter par la conception d'un modèle simplifié. L'auteur du bilan de 1984 précise la manière dont sera conçu ce modèle :

« soit on fixe a priori une date "t₀" au-delà de laquelle la totalité des conteneurs ont perdu leur étanchéité (par exemple 300 ans), soit on représente la corrosion des conteneurs par un taux de dégradation obéissant à une loi statistique (par exemple une gaussienne calée sur la durée de vie moyenne d'un conteneur). De cette loi, on déduit N(t), nombre de conteneurs dégradés à l'instant t¹³⁸. »

Ainsi, dans la conception de ce modèle, les mécanismes de corrosion sont masqués derrière un taux de conteneurs ayant perdu leur étanchéité. De plus, la simplification de la physique de la corrosion des conteneurs est guidée par le besoin de connaître le relâchement des radionucléides. Les conteneurs ainsi modélisés sont représentés dans deux états possibles : étanches ou non étanches. L'auteur du bilan pour l'Andra précise que le modèle ainsi simplifié est susceptible d'évoluer par une sophistication progressive¹³⁹.

1.2.3. TYPES DE CALCULS ET FORMAT DES DONNÉES

Le calcul numérique dépend également de l'acquisition de données sur les propriétés physiques du site, des déchets et des ouvrages (cf. chapitre 4). Durant les années 1980, le manque de précision des données disponibles est souvent souligné par les ingénieurs en charge des calculs. Deux manières d'utiliser les données caractéristiques du stockage s'opposent alors. Ces deux utilisations possibles correspondent à deux manières différentes d'appréhender la sûreté des projets de stockage. Le choix d'une méthode d'analyse de sûreté conditionne la forme des données qui doivent être recueillies.

¹³⁷ Ibid. ; Franck Varenne et Marc Silberstein, *Modéliser & simuler. Épistémologies et pratiques de la modélisation et de la simulation. Tome 1*, Paris, Matériologiques, 2013 ; Franck Varenne, Marc Silberstein, Sébastien Dutreuil et Philippe Huneman, *Modéliser et simuler. Épistémologies et pratiques de la modélisation et de la simulation. Tome 2*, Paris, Matériologiques, 2014.

¹³⁸ Andra (ed.), *Pagis tâche 7. Corrosion des conteneurs*, op. cit., p. 7.

¹³⁹ Ibid.

Dans la première méthode employée en France durant les années 1980, les données sont approximées de telle manière que l'impact calculé du stockage soit toujours plus important que l'impact supposé du stockage. Si malgré le choix d'hypothèses considérées comme étant particulièrement défavorables, l'impact radiologique calculé est acceptable, alors la sûreté du projet est jugée satisfaisante. Cette approche est dite conservatrice. Elle est critiquée pour son faible réalisme par les partisan.es de la seconde approche qui essaient de faire des calculs donnant la meilleure estimation possible (« *best-estimate* ») de l'impact réel du stockage¹⁴⁰. Pour cela, ils et elles cherchent à utiliser les données les plus représentatives possible et les modèles les plus fidèles à la physique de l'évolution du stockage. La réalisation de ce type de calculs est un des objectifs de la deuxième phase de Pagis, qui débute en 1984 et se clôt en 1988 .

Le choix de l'une de ces approches ne conditionne pas seulement la production de données : les différents outils numériques ne permettent pas tous d'effectuer des calculs conservatifs et « *best-estimate* ». Ainsi, après quelques calculs « *best-estimate* » en 1985, la réalisation de ce type de calculs avec le code Melodie n'est pas jugée satisfaisante par tous et toutes. En effet, en 1986, dans une note à Francis Van Kote et Jean-Marc Peres, Alain Barthoux écrit à ses collègues directeurs de recherche au CEA :

« Je pense, comme je l'avais dit lors de la réunion CCE, que le modèle MELODIE n'est pas adapté à faire du best-estimate dans la mesure où on ne connaît rien du site et donc que les paramètres qu'on va y rentrer sont purement arbitraires. C'est vrai pour tous les modèles déterministes¹⁴¹. »

Le choix d'utiliser certains codes restreint ainsi les évolutions possibles de la démarche d'évaluation de la sûreté et limite l'essai de méthodes différentes. Les données sont recueillies sous une forme adaptée à la méthode d'évaluation de sûreté choisie et le changement de méthode peut demander une nouvelle caractérisation de la roche et du stockage. Le choix des outils numériques est particulièrement engageant et il est difficile de passer de l'utilisation d'un code à l'autre. La conception d'outils numériques est un long travail qui contraint les possibilités de changer de manière d'appréhender la sûreté des projets de stockage¹⁴². L'utilisation de Mélodie ne permet pas

140 La formule « *best-estimate* » est utilisée dans les textes en français. On parle par exemple de calcul « *best-estimate* » ou de valeur « *best-estimate* ».

141 Francis Van Kote et Jean-Marc Peres, *Lettre à J. Lewi. Action PAGIS. Option Granite. Calculs « Best Estimate »*, Andra, 11 mars 1986.

142 Hélène Guillemot, « La Modélisation du climat en France des années 1970 aux années 2000. Histoire, pratiques, enjeux politiques », Thèse de doctorat, EHESS, Paris, 2007.

facilement à l'IPSN d'adapter son travail à la nouvelle norme qui apparaît au cours du programme Pagis : la réalisation de calculs « *best-estimate* ». En effet, le choix d'une approche conservative de la sûreté s'est inscrit dans le développement des outils de calcul.

I.3. QUELS ENSEIGNEMENTS TIRER DU PROGRAMME PAGIS ?

Le 14 octobre 1988, l'ingénieure Cécile Izabel, qui vient de rejoindre l'Andra après avoir assuré le secrétariat du groupe Goguel (cf. ci-dessous), présente les leçons que retire l'Agence de l'exercice Pagis¹⁴³. Elle commence par souligner que l'exercice a permis « *de montrer qu'il est possible d'évaluer les conséquences radiologiques d'un stockage géologique de déchets vitrifiés, dans différentes formations à partir d'outils de modélisation existants* » et d'identifier les efforts à envisager dans différents domaines¹⁴⁴. La possibilité de réaliser des calculs d'impact constitue ainsi l'un des deux principaux enseignements du programme. Cette mention peut laisser supposer que la possibilité de réaliser ce calcul n'était peut-être pas évidente au début du programme Pagis en 1982. En effet, jamais un tel travail n'avait été réalisé en France auparavant.

De plus, C. Izabel précise que Pagis a permis de prendre en compte l'ampleur du travail à effectuer pour calculer l'impact radiologique d'un projet de stockage et que certaines ambitions ont pu avoir un côté irréaliste¹⁴⁵. L'exercice a conduit à décomposer le système en sous-domaines afin de prendre en compte les différentes échelles de temps et d'espace. Ainsi Pagis « *a permis de préciser la méthodologie à adopter. Celle-ci ne se résume pas à réaliser des évaluations globales souvent lourdes mais doit comporter [un] certain [nombre] de calculs complexes permettant de déterminer l'importance de certains [événements] pour la sûreté ou de certains [phénomènes]* »¹⁴⁶. Seule l'IPSN a réalisé des calculs d'impact. L'Andra a effectué des calculs du comportement de sous-systèmes du stockage sans effectuer de calcul global du relâchement radiologique d'un stockage géologique.

143 Cécile Izabel et J. Lewi, « Conclusions : leçons tirées de cet exercice », 1988.

144 *Ibid.*

145 *Ibid.*

146 *Ibid.*

Dans son bilan, C. Izabel note également :

« *Pagis a montré la nécessité de disposer d'outils pour [les] études de sensibilité [...] C'est pourquoi plutôt que de réaliser un modèle global unique, il paraît préférable de disposer d'un "[système] général" pouvant traiter une grande variété de problèmes, [c'est-à-dire] permettant soit de faire des évaluations globales, soit de réaliser des études [plus] fines sur des domaines spatiaux limités, isolant [quelques phénomènes]*¹⁴⁷. »

Dans ces remarques conclusives, C. Izabel indique ainsi que les méthodes formalisées dans la première phase de Pagis entre 1982 et 1984 ont rencontré quelques limites. L'intégration des modèles de l'évolution des différents éléments du stockage, dans des outils de calculs globaux, a pu s'avérer délicate. De ce fait, la réalisation de calculs de sous-systèmes du stockage peut constituer une étape intermédiaire entre la modélisation physique de tel ou tel phénomène et les calculs d'impact du projet de stockage. De plus, des études de sensibilité doivent permettre d'appréhender l'influence, sur l'impact calculé, des incertitudes sur la modélisation, sur la caractérisation et sur la scénarisation de l'évolution du dépôt. Ces études de sensibilité consistent à étudier la variabilité des valeurs calculées, en fonction d'une variation des données d'entrée utilisées pour ce calcul.

C. Izabel signale que Pagis a montré l'intérêt des collaborations, internationales d'une part, et nationales entre l'IPSN et l'Andra d'autre part. De plus, elle note la « *nécessité d'une symbiose entre la caractérisation des sites et la modélisation* »¹⁴⁸. Dans son bilan de l'exercice, J. Lewi du Département d'Analyse de Sûreté du CEA conclut que Pagis a montré « *la nécessité d'une caractérisation poussée des milieux géologiques pour disposer de résultats fiables* »¹⁴⁹. La caractérisation des trois sites granitiques était très préliminaire : la géologie du site d'Auriat a été extrapolée à partir des observations de deux carottes rocheuses espacées de dix mètres l'une de l'autre ; les qualités du granite de Barfleur ont été considérées comme semblables à celles du site d'Auriat ; le site britannique est décrit par les observations d'une carotte et une étude synthétique du *British Geological Survey*¹⁵⁰. Les imprécisions sur la qualification des sites sont des sources importantes d'incertitudes dans les évaluations globales. De plus, la volonté d'effectuer des calculs « *best-estimate* » durant la deuxième phase de Pagis demande également de disposer de données caractéristiques des sites plus précises que pour des calculs conservatifs, dans lesquels des valeurs pessimistes sont utilisées, et le réalisme de la représentation du système n'est pas recherché. Enfin, Pagis a enseigné que le développement des travaux de modélisation et l'adaptation de la méthode au

147 *Ibid.*

148 *Ibid.*

149 *Ibid.*

150 CEA (ed.), *Chapitre XI. Conclusions générales de l'option granite*, 1988.

cours du programme rendent problématique le fait d'effectuer ces activités après que les données caractérisant les sites géologiques aient été recueillies. La caractérisation des sites doit avoir lieu simultanément à la modélisation et aux calculs pour que les données recueillies soient adaptées à leur usage, lequel est susceptible de varier.

CONCLUSION PARTIELLE

Cette présentation parcellaire et succincte des travaux effectués par l'Andra et l'IPSN dans le cadre de Pagis a permis d'exposer quelques points essentiels du travail de démonstration de la sûreté d'un projet de stockage. Tout d'abord, ce travail demande la coordination de différentes activités : la caractérisation d'un site, la compréhension de la physique du stockage et de son évolution, la construction de scénarios, la conception d'outils de calcul... Pour agencer ces activités, l'établissement d'une méthodologie est un enjeu stratégique important.

Par ailleurs, l'intrication des différentes activités qui contribuent à l'évaluation de la sûreté produit une certaine rigidité. Durant le programme Pagis, la réalisation de calculs d'impact au plus près d'une représentation réaliste du stockage (calcul « *best-estimate* ») devient un objectif. Le choix préalable d'outils de calcul destinés à une analyse de sûreté majorante rend difficile la réalisation de ce nouvel objectif. Par ailleurs, les données doivent être calibrées pour l'utilisation d'un code et le changement d'outils numériques demande d'acquérir de nouvelles données.

Cet aperçu du travail effectué dans le cadre de Pagis montre que l'ensemble des activités mobilisées pour l'évaluation de la sûreté sont orientées vers la réalisation d'un calcul d'impact : la dose aux exutoires du stockage est l'étalon de la sûreté de ces projets. Que ce soit la modélisation des phénomènes ou la construction d'une liste de scénarios, la complexité de la représentation de l'évolution du stockage est contrainte par la capacité de calcul des ordinateurs et la nécessité que le temps de calcul ne soit pas démesurément long. Enfin, une des limites les plus importantes pointées par C. Izabel dans son bilan de Pagis est le besoin de disposer d'une caractérisation fine des sites choisis pour étudier les possibilités d'y implanter un stockage.

II. DEUX COMMISSIONS POUR UNE POLITIQUE DE GESTION DE L'AVAL DU CYCLE NUCLÉAIRE

Si le travail des ingénieur.es du CEA dans le cadre de Pagis permet d'entrevoir les difficultés auxquelles se confrontent celles et ceux qui s'attellent à démontrer la sûreté de projets de stockage, une telle focalisation sur le travail de ces ingénieur.es offre une vue particulièrement réductrice des débats sur l'évacuation géologique des déchets nucléaires. En effet, le CEA et la Commission des Communautés Européennes ne sont pas les seuls lieux où la gestion de l'aval du cycle nucléaire se discute. Deux commissions gouvernementales, les commissions Castaing et Goguel, effectuent un travail important de recommandations pour une gestion nationale des rebuts de l'industrie nucléaire. Celles-ci sont notamment reprises dans la Règle Fondamentale de Sûreté III.2.f qui encadre l'implantation de dépôts géologiques à partir de 1991¹⁵¹.

II.1. LA COMMISSION CASTAING, UNE PREMIÈRE COMMISSION PLURALISTE

Suite à l'élection de François Mitterrand à la présidence de la République, un débat parlementaire sur l'indépendance énergétique de la France se déroule à l'automne 1981. À l'issue de celui-ci, le Gouvernement de Pierre Mauroy décide la création d'une commission scientifique sur la gestion du combustible irradié¹⁵². Le président du Conseil supérieur de la sûreté nucléaire, l'académicien et prix Nobel Louis Néel, est chargé par Jean-Pierre Chevènement, ministre de l'Industrie, de constituer cette commission¹⁵³. Ce dernier nomme le professeur Raymond Castaing, physicien à l'Université d'Orsay et membre de l'Académie des Sciences, président de cette commission. Celle-ci regroupe onze chercheurs et une chercheuse parmi lesquels des représentants du CEA mais aussi quelques experts connus pour leurs positions critiques sur la politique nucléaire française comme Jean-Claude Zerbib, chef du groupe de radio-protection des accélérateurs du Centre d'études nucléaires de Saclay et militant à la CFDT, et Jean-Paul Schapira, physicien nucléaire au CNRS et membre du Groupement de Scientifiques pour l'Information sur l'Énergie Nucléaire (GSIEN). La Commission Castaing publie trois rapports en novembre 1982,

151 Règle Fondamentale de Sûreté relative aux installations nucléaires de base autre que réacteurs III.2.f, 10 juin 1991.

152 Y. Barthe, *Le pouvoir d'indécision*, op. cit., p. 48.

153 Y. Barthe, « La mise en politique des déchets nucléaires. L'action publique aux prises avec les irréversibilités techniques », op.cit., Annexes p.28.

mars 1983 et octobre 1984¹⁵⁴. Si le premier d'entre eux est principalement focalisé sur la question du retraitement du combustible irradié et l'agrandissement de l'usine de La Hague, l'évacuation géologique des déchets nucléaires occupe une large part des rapports n° 2 et n° 3.

En 1982, le premier rapport de la Commission Castaing stipule que la construction d'un stockage géologique semble alors prématuré. Il précise que la construction d'un ou plusieurs laboratoires souterrains sera nécessaire pour évaluer la sûreté d'une telle solution de gestion et notamment pour étudier l'influence sur la roche du dégagement thermique des déchets de catégorie C issus du retraitement du combustible usagé provenant des centrales nucléaires et particulièrement calorifiques¹⁵⁵.

En août 1983, le CEA établit un programme global de gestion des déchets radioactifs, stipulant que l'évacuation géologique continentale est la seule solution « *raisonnable et efficace* » pour gérer ces déchets¹⁵⁶. À ce moment, plusieurs autres solutions sont toutefois encore considérées comme dignes d'intérêt : l'enfouissement dans les sédiments marins, l'envoi des déchets dans l'espace, le dépôt des déchets dans des zones désertiques (au pôle Nord par exemple), l'évacuation géologique dans des zones de subduction afin que les déchets soient entraînés vers le noyau terrestre¹⁵⁷...

La sélection d'un site de stockage est prévue par étapes et les salariés du CEA ont identifié quatre types de formations géologiques dont les qualités sont *a priori* adaptées au stockage : l'argile, le sel, le granite et le schiste¹⁵⁸. Le Commissariat a sélectionné, pour chaque type de formation, une zone où mener des reconnaissances géologiques. À l'issue de celles-ci, un site doit être choisi pour y implanter un laboratoire souterrain afin de vérifier *in situ* qu'il convient pour l'implantation d'un dépôt géologique¹⁵⁹.

Alors que la Commission Castaing ne comptait aucun géologue en 1982, trois sont nommés pour l'écriture du troisième rapport¹⁶⁰. Parmi eux, Jean Goguel, ingénieur général des mines et professeur à l'École des Mines de Paris. En 1985, ce dernier est nommé par Édith Cresson, ministre du redéploiement industriel et du commerce extérieur, et par Martin Malvy, secrétaire d'État à

154 Y. Barthe, *Le pouvoir d'indécision*, op. cit., pp. 47-57.

155 Raymond Castaing, *Rapport du groupe de travail sur la gestion des combustibles irradiés*, Conseil supérieur de la sûreté nucléaire, novembre 1982.

156 CIDN (ed.), *Mini dossier. Le rapport Goguel. Stockage des déchets radioactifs en formations géologiques. Critères techniques du choix de site*, CEN Cadarache, septembre 1988, p. 2.

157 CIDN (ed.), *Mini dossier. Le rapport Goguel.*, op. cit.

158 *Ibid.*, pp. 3-4.

159 Jean Goguel, *Stockage des déchets radioactifs en formations géologiques. Critères techniques de choix de site. Rapport du groupe de travail présidé par le Professeur Goguel*, Ministère de l'Industrie, des P.&T. et du Tourisme, mai 1987, p. 4.

160 R. Castaing, *Rapport du groupe de travail sur la gestion des combustibles irradiés*, op. cit.

l'Industrie, à la tête d'un nouveau groupe d'experts chargé de définir des critères pour le choix d'un site de stockage. Contrairement à la Commission Castaing, le Groupe Goguel ne compte aucun expert connu pour ses prises de positions critiques. Ses membres travaillent au CEA, au Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), au ministère de l'Industrie ou encore à l'Institut Français du Pétrole.

Un des éléments particulièrement intéressants du Rapport Goguel publié en 1987 est qu'il fait sienne une des recommandations de la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) formulée en 1977 dans sa publication n° 26 : le recours au principe Alara pour guider les études des projets de stockage¹⁶¹. La CIPR est une organisation non-gouvernementale dont la principale activité est d'émettre des recommandations sur les règles à appliquer en matière de protection contre les expositions aux radiations. Elle n'a pas de pouvoir coercitif mais elle fait figure d'autorité internationale. De ce fait, elle oriente et harmonise les méthodes et le travail des organismes nationaux de contrôle des activités nucléaires. Le principe Alara, pour *As Low As is Reasonably Achievable*, repose sur la recommandation suivante :

« toute exposition [radiologique due à la présence du stockage] sera maintenue à un niveau aussi bas que raisonnablement possible, les facteurs économiques et sociaux étant pris en compte¹⁶² ».

Suivant ce principe, la conception du stockage ne repose pas sur une application stricte d'une analyse coût-bénéfice. L'utilisation du principe Alara se veut ainsi plus souple et pragmatique qu'une analyse coût-bénéfice qui chercherait à prendre en compte l'ensemble des paramètres caractérisant le stockage afin de déterminer la solution de gestion optimale pour les déchets nucléaires. En effet, les membres de la CIPR estiment que les temps longs et les incertitudes qui y sont associées rendent illusoire la réalisation d'une telle analyse coût-bénéfice globale pour la gestion des déchets nucléaires. De plus, la publication n° 26 de la CIPR précise que certains choix peuvent nécessiter de prendre en compte des considérations éthiques¹⁶³. Néanmoins, l'application de ce principe, comme toute analyse coût-bénéfice, prévoit que les choix effectués en matière de gestion des déchets nucléaires soient évalués en fonction de leur coût : la sûreté du stockage n'est

161 J. Goguel, *Stockage des déchets radioactifs en formations géologiques. Critères techniques de choix de site*, op. cit., p. 7.

162 *Ibid.*

163 Jacques Lombard, Philippe Hubert et Pierre Pagès, *Etude de l'applicabilité des principes de la CIPR à l'analyse de sûreté du stockage géologique des déchets radioactifs*, Centre d'étude sur l'évaluation de la protection dans le domaine nucléaire, juillet 1987, p. 14.

pas l'unique critère d'évaluation des projets de stockage. Le principe Alara a été pensé par la CIPR comme une « *aide à la décision* » pour l'« *optimisation* » de la gestion des déchets nucléaires et non comme une méthode précise à appliquer pour concevoir un stockage¹⁶⁴.

Dans l'article qu'elle a consacré à l'histoire de l'analyse coût-bénéfice, Soraya Boudia souligne que la mise en pratique de cet outil a toujours été problématique depuis que celui-ci est promu comme l'outil idéal de rationalisation des décisions¹⁶⁵. S. Boudia note ainsi :

« l'enjeu principal du recours à l'analyse coût bénéfice est moins d'avoir un outil effectif qui peut être mis en œuvre en pratique que de disposer d'un opérateur qui démontre une volonté de rationalisation de l'action publique, un opérateur qui installe les catégories et le raisonnement économiques au cœur des pratiques de l'État et au cœur des modes de légitimation de l'action publique¹⁶⁶. »

Ce constat s'applique, il me semble, particulièrement bien au recours au principe Alara pour optimiser la gestion des déchets nucléaires. En effet, ce principe n'est pas une méthode mais il fait figure de guide. Le principe Alara repose sur le constat de l'impossibilité d'effectuer une analyse coût-bénéfice globale pour optimiser la conception d'un stockage. Le nombre particulièrement grand de paramètres entrant dans la définition d'une solution de gestion des déchets nucléaires et l'évaluation de ses performances rendent illusoire un calcul formel de la meilleure solution de gestion. Les temporalités à prendre en compte pour évaluer l'efficacité d'un dépôt géologique rendent également difficile le chiffrage économique des choix en matière de gestion des déchets nucléaires. De plus, évaluer économiquement un impact radiologique sur un individu n'est pas sans poser quelques problèmes moraux¹⁶⁷. Néanmoins, l'invocation du principe Alara permet de justifier certains choix techniques.

164 Ibid., p. 13.

165 Soraya Boudia, « Gouverner par les instruments économiques. La Trajectoire de l'analyse coût-bénéfice dans l'action publique », in *Le Gouvernement des technosciences. Gouverner le progrès et ses dégâts depuis 1945*, La Découverte, 2014, pp. 231-259.

166 Ibid.

167 Peter Z. Grossman et Edward S. Cassedy, « Cost-Benefit Analysis of Nuclear Waste Disposal. Accounting for Safeguards », *Science, Technology & Human Values*, 1985, vol. 10, n° 4, pp. 47-51.

II.2. OPTIMISER LA GESTION DES DÉCHETS NUCLÉAIRES

II.2.1. QUELS USAGES DU PRINCIPE ALARA ?

Afin de préciser la manière dont ce principe Alara peut être appliqué, je propose de développer un exemple issu d'un rapport produit en 1987 par les ingénieurs Jacques Lombard, Philippe Hubert et Pierre Pagès. Ce rapport est édité par le Centre d'étude sur l'évaluation de la protection dans le domaine nucléaire (CEPN) dans le cadre d'un contrat avec l'IPSN¹⁶⁸.

J. Lombard et ses collègues pointent le fait que la méthode d'optimisation proposée par la CIPR avec l'énonciation du principe Alara repose sur la notion de risque et sur la prise en compte de la probabilité d'occurrence des éléments qui influent sur l'évolution du stockage¹⁶⁹. Cette approche probabiliste n'est pas celle historiquement utilisée en France, où les analyses déterministes sont privilégiées¹⁷⁰. Néanmoins, elle constitue la norme au sein des institutions internationales, à l'Agence Internationale pour l'Énergie Atomique (AIEA), à l'Agence pour l'Énergie Nucléaire de l'OCDE (AEN) et à la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR). À différents moments, comme dans le cadre d'exercices internationaux, des analyses probabilistes sont effectuées par des équipes du CEA, notamment par l'IPSN.

Suivant la CIPR, les décisions pouvant être optimisées sont de différents types. Elles portent sur¹⁷¹ :

- l'implantation d'une installation (faut-il la construire ici ou là ? y a-t-il différentes options de construction ?)
- le mode de stockage des différentes familles de déchets (à quelle densité peut-on stocker ces déchets ? peut-on les stocker tous ensemble dans une même cavité ?)
- la stratégie globale de gestion d'une famille de déchets (quel conditionnement est le mieux adapté ?)
- la stratégie de gestion de déchets issus d'une même source (faut-il séparer les radionucléides qu'ils contiennent ou au contraire les stocker sans les retraiter ?)¹⁷²

168 J. Lombard, P. Hubert et P. Pagès, *Etude de l'applicabilité des principes de la CIPR*, op. cit.

169 *Ibid.*, p. 16.

170 Cyrille Foasso, « Histoire de la sûreté de l'énergie nucléaire civile en France (1945-2000) : technique d'ingénieur, processus d'expertise, question de société », Thèse de doctorat, Université Lumière, Lyon, 2003.

171 J. Lombard, P. Hubert et P. Pagès, *Etude de l'applicabilité des principes de la CIPR*, op. cit., pp. 12-13.

172 Dans le jargon du monde du nucléaire, la séparation des radionucléides issus d'un déchet est appelé

Ces différentes questions correspondent à des niveaux de décisions divers¹⁷³ :

1. des décisions stratégiques ayant de lourdes implications et pour lesquelles le risque radiologique n'est qu'un des éléments à prendre en compte (choix du retraitement, implantation d'un site de stockage...) ;
2. le choix des équipements de radio-protection (conditionnement des déchets, matériaux utilisés...) ;
3. les décisions quotidiennes des ingénieur.es au travail.

J. Lombard et ses coauteurs soulignent que les décisions du premier niveau influent sur celles des niveaux inférieurs et que les décisions du niveau 1 sont d'une complexité beaucoup plus grande que celles du niveau 3¹⁷⁴. Selon la CIPR, l'application du principe Alara doit suivre différentes étapes. Tout d'abord, la définition du problème, l'identification des différentes options possibles et la détermination des critères de choix. Ensuite, la quantification des différentes options puis la comparaison de celles-ci. Enfin, l'analyse de la sensibilité des différents choix possibles en fonction des critères retenus¹⁷⁵.

Le rapport de Lombard, Hubert et Pagès signale qu'une des particularités de l'application du principe Alara est que la définition du problème ne doit pas présupposer l'acceptation de telle ou telle option, difficile à estimer *a priori*¹⁷⁶. Il y a toujours au minimum deux options (faire ou ne pas faire) mais il est important de veiller à ce que le nombre d'options ne soit pas infini (il est par exemple possible d'envisager un stockage à n'importe quelle profondeur). Pour cela, quelques options doivent être choisies puis l'analyse affinée dans un second temps. Le rapport du CEPN précise également que la détermination des critères d'évaluation des différentes options peut être problématique. Par exemple, il est particulièrement délicat de définir une dose collective maximale acceptable par les populations potentiellement impactées par le stockage durant des temps infinis¹⁷⁷.

« *retraitement* ». En France, les dirigeants du CEA ont fait le choix de « *retraiter* » le combustible usé issu de la production électro-nucléaire. En Suède, par exemple, SKB envisage de stocker les résidus provenant des centrales nucléaires sans les « *retraiter* ». On parle alors de « *stockage direct* ». Le choix du retraitement est controversé depuis les années 1970. Une fois retraités, les déchets sont vitrifiés et ce processus réduit considérablement la possibilité de manipuler les radionucléides. Il est de ce fait difficile d'envisager transmuter des radio-éléments qui ont déjà été vitrifiés.

Y. Barthe, *Le pouvoir d'indécision*, op. cit., pp. 33-38 ; Y. Barthe et C. Gilbert, *Recherche et déchets nucléaires. Une réflexion interdisciplinaire*, op. cit., pp. 17-24.

173 J. Lombard, P. Hubert et P. Pagès, *Etude de l'applicabilité des principes de la CIPR*, op. cit., pp. 17-18.

174 *Ibid.*, p. 18.

175 *Ibid.*, p. 17.

176 *Ibid.*, p. 18.

177 *Ibid.*, p. 19.

Quantifier les conséquences des différentes options est considéré comme l'étape la plus importante du processus d'optimisation. Cependant, celle-ci s'avère parfois difficile : la détermination de l'impact radiologique d'un stockage est un chantier long et le développement des outils de calculs quantifiant la dose émise à l'exutoire n'a rien de trivial (cf. partie précédente)¹⁷⁸. La quasi-infinité du temps devant être considéré dans l'analyse est un obstacle majeur. Cette spécificité de la gestion des déchets nucléaires pose problème à l'ensemble des études des projets de stockage.

Suivant le principe Alara, la comparaison des options doit prendre en compte plusieurs critères afin de sélectionner celle qui offre le meilleur compromis, notamment entre le coût et le risque radiologique. Une fois écartées les options pour lesquelles le risque radiologique individuel est trop important, il ne s'agit pas de sélectionner l'option la moins chère ou celle qui conduit au moindre risque collectif mais de déterminer l'option pour laquelle les différents critères sont le mieux pris en compte. Cette étape n'a donc rien d'automatique mais est au contraire le fruit d'un travail dialogique.

J. Lombard et ses coauteurs relèvent quelques conditions qu'il est nécessaire de remplir pour pouvoir mener une analyse d'optimisation en utilisant le principe Alara :

- différentes options techniques doivent exister et celles-ci doivent être relativement indépendantes de l'ensemble du processus global de gestion des déchets, afin que le choix ne perturbe pas l'ensemble du processus ;
- le choix technique à optimiser doit engager des coûts suffisamment importants pour justifier de mener une étude d'optimisation ;
- les conséquences du choix, notamment sur l'impact radiologique du stockage, doivent pouvoir être évaluées ;
- les conséquences du choix doivent pouvoir être comparées à des critères établis¹⁷⁹.

178 *Ibid.*, p. 21.

179 *Ibid.*, p. 39.

II.2.2. UN EXEMPLE SUÉDOIS : L'OPTIMISATION DE L'ÉPAISSEUR DE LA PAROI DES CONTENEURS

Afin d'appréhender plus précisément la manière dont peut être utilisé le principe Alara, le CEPN présente une étude suédoise d'optimisation de la gestion de déchets nucléaires : le rapport KBS III, remis au gouvernement suédois en 1983. Celui-ci a pour objectif de montrer la faisabilité technique du stockage du combustible usagé dans une formation géologique granitique¹⁸⁰.

Au moment de l'écriture du rapport KBS III, les critères d'acceptation d'un stockage en Suède sont la dose individuelle annuelle maximale en condition normale (0,1 mSv/an), et dans des circonstances très défavorables pour un « *groupe critique* » (1 mSv/an), ainsi que l'impact radiologique global du stockage, qui doit être de l'ordre de grandeur de la radioactivité naturelle du site choisi. Le « *groupe critique* » désigne les individus potentiellement les plus exposés aux impacts radiologiques parce qu'ils vivent au-dessus du stockage ou se nourrissent de produits contaminés par ses rejets radiologiques. Comme le souligne le CEPN, le critère d'optimisation du stockage dans le rapport KBS III est son impact radiologique. Néanmoins, son calcul exige d'établir un certain nombre d'hypothèses notamment sur le groupe critique, ses habitudes alimentaires et son mode de vie. Fixer des limites de dose différentes en fonction de l'évolution du stockage, normale ou dégradée, nécessite également d'effectuer un certain nombre d'hypothèses sur les phénomènes et les événements susceptibles d'influer sur le stockage et de les intégrer dans les différents scénarios (cf. ci-dessus).

En Suède, de nombreuses étapes de la gestion des déchets nucléaires sont déjà engagées au moment de l'écriture du rapport KBS III. Les principaux éléments qui ne sont pas encore établis sont la localisation du stockage et le conditionnement des déchets¹⁸¹. Le CEPN résume ainsi l'évolution du stockage suédois, telle qu'elle est envisagée dans KBS III :

« l'eau pénètre le site, le conteneur se corrode, les substances radioactives sont transportées dans le champ proche, elles migrent à travers la masse rocheuse puis sont enfin dispersées dans la biosphère pour finalement atteindre l'homme. En pratique, rien n'est censé se produire avant 100 000 ans, estimation pessimiste de la durée de vie du conteneur cuivre dans lequel sont encapsulés les assemblages¹⁸². »

180 *Ibid.*, p. 28.

181 *Ibid.*, p. 30.

182 *Ibid.*, p. 31.

L'évaluation du risque induit par le stockage suédois repose sur la définition de cinq scénarios. Le scénario de référence prend en compte des hypothèses pessimistes et le CEPN relève que celui-ci ne reflète donc pas l'évolution la plus probable du stockage¹⁸³. Les autres scénarios permettent de prendre en compte certains accidents ou des hypothèses sur les caractéristiques du site – dont le choix n'a pas encore été effectué.

Certains choix stratégiques, comme le non-retraitement du combustible usagé et le stockage des déchets dans une formation cristalline, ont déjà été effectués en Suède. Ils n'ont *a priori* pas à être remis en cause et, de ce fait, ils n'entrent pas en compte dans la démarche d'optimisation proposée. Le choix de la localisation du stockage n'est pas discuté dans le rapport KBS III. De plus, plusieurs options techniques sont encore ouvertes : c'est à celles-ci que le CEPN s'intéresse pour illustrer la manière dont le principe Alara peut être utilisé¹⁸⁴.

La première difficulté soulignée par le CEPN et à laquelle le travail d'optimisation doit faire face est la dépendance mutuelle des différents choix techniques : il est ainsi délicat d'isoler l'élément à optimiser de l'ensemble du procédé de gestion des déchets¹⁸⁵. Ainsi par exemple, la durée de l'entreposage des déchets en surface influe sur leur activité et sur le choix de leur conditionnement. Elle influe aussi potentiellement sur la densité du stockage donc sur son emprise et ainsi sur le choix du site. L'évaluation des conséquences des différentes options est une deuxième difficulté à laquelle se heurte le travail d'optimisation. En effet, les éléments soumis à une démarche d'optimisation constituent rarement directement des paramètres d'entrée des modèles d'évaluation de la sûreté des dépôts géologiques¹⁸⁶.

Le rapport de Lombard, Hubert et Pagès souligne que la détermination de l'épaisseur de cuivre optimale pour les conteneurs de déchets se prête assez bien à une démarche d'optimisation¹⁸⁷. En effet, celle-ci remplit les quatre critères qu'ils ont relevé (cf. ci-dessus). Ce choix influe peu sur le reste de la stratégie de gestion des déchets nucléaires et il a un impact important sur le coût du stockage. Dans le concept de stockage suédois, le conteneur est la principale barrière de rétention des radionucléides – les qualités de rétention du sous-sol granitique suédois ne sont *a priori* pas fameuses. À titre de comparaison, en France, la roche assure un rôle important dans la rétention des radionucléides ; les colis métalliques prévus ont une moins grande importance pour la sûreté du stockage que les conteneurs en cuivre suédois. En Suède, la roche a pour principale fonction d'isoler les déchets de l'humanité afin que personne ne s'en approche.

183 *Ibid.*, p. 34.

184 *Ibid.*, p. 35.

185 *Ibid.*, p. 36.

186 *Ibid.*, p. 37.

187 *Ibid.*, p. 40.

Une telle différence de concept explique, il me semble, pourquoi les débats sur la mémoire que l'humanité garde de la localisation du stockage sont davantage centraux en Suède qu'en France¹⁸⁸ : en Suède, le principal risque identifié sur la sûreté du stockage est que quelqu'un.e creuse un jour jusqu'à celui-ci alors qu'en France, l'éventualité que des circulations hydrogéologiques transportent les radionucléides depuis le stockage jusqu'à la surface est le principal risque induit par sa présence. De ce fait, la question de la mémoire du stockage est centrale en Suède alors qu'en France, les débats portent davantage sur l'étude de l'évolution phénoménologique du stockage.

Dans l'option de référence retenue dans le rapport KBS III, l'épaisseur de cuivre des conteneurs est de 10 centimètres. Ces conteneurs cylindriques mesurent 4,5 mètres de haut et 80 centimètres de diamètre. Chacun d'entre eux permet de contenir 2,3 tonnes de combustible usé. La conception d'un conteneur suédois requiert 16,2 tonnes de cuivre et l'homologue suédois de l'Andra, *Svensk Kärnbränslehantering* (SKB), prévoit la fabrication de 4 400 conteneurs. À la fin des années 1980, le coût d'une tonne de cuivre est alors estimé à 10 000 francs. La fabrication de 4 400 conteneurs doit donc coûter environ 720 millions de francs de cuivre¹⁸⁹. Une telle somme justifie bien une étude d'optimisation.

Cette étude d'optimisation repose sur le scénario central décrit dans le rapport KBS. Mis à part l'épaisseur de cuivre des conteneurs, l'ensemble des autres paramètres du stockage sont fixes¹⁹⁰. L'épaisseur de cuivre peut en principe prendre toutes les valeurs positives possibles. Néanmoins, devant la lourdeur des calculs, seules deux situations sont étudiées : une épaisseur de cuivre de 1 centimètre et une épaisseur de 10 centimètres¹⁹¹. Avec une épaisseur de 1 centimètre, SKB a calculé que la corrosion perce le cuivre au bout de 10^5 à 10^6 années. Avec une épaisseur de 10 centimètres, le cuivre n'est pas percé avant 10^8 années¹⁹². J. Lombard et ses collègues relèvent que l'augmentation de l'épaisseur de cuivre de 1 à 10 centimètres divise par deux la dose maximale absorbée par un individu : celle-ci passe de $2 \cdot 10^{-7}$ sieverts à 10^{-7} sieverts¹⁹³. L'impact radiologique global du stockage est quant à lui quasiment inchangé : une variation de l'ordre d'un millième a été calculée. Étant donné les incertitudes qui pèsent sur ces calculs, cette différence est considérée comme insignifiante. Ainsi, J. Lombard et ses coauteurs soulignent que l'augmentation de 1 à 10 centimètres de l'épaisseur de cuivre augmente considérablement le coût du stockage mais a un impact très réduit sur la sûreté. Le seul élément notable est que l'augmentation de 1 à 10 centimètres de l'épaisseur de cuivre retarde la libération des premiers radionucléides et donc la date à laquelle

188 Michael Madsen, *Into Eternity*, Chrysalis Films, 2010.

189 J. Lombard, P. Hubert et P. Pagès, *Etude de l'applicabilité des principes de la CIPR*, op. cit., pp. 41-42.

190 *Ibid.*, p. 42.

191 *Ibid.*

192 *Ibid.*

193 *Ibid.*, p. 43.

ceux-ci atteignent la biosphère. Toutefois, une épaisseur de 1 centimètre de cuivre permet que la sûreté du stockage soit suffisante vis-à-vis de l'ensemble des critères admis, en Suède et par les différents organismes supranationaux.

Pour cet exemple précis, J. Lombard, P. Hubert et P. Pagès soulignent que l'optimisation est réalisable et apporte des enseignements pertinents : au regard des critères de sûreté admis, une épaisseur de la paroi des conteneurs de 10 centimètres ne se justifie pas ; une épaisseur d'un centimètre suffit. Une autre conclusion soulignée à propos de l'étude KBS est l'importance des critères d'évaluation choisis : en fonction de ceux-ci, les conséquences des différentes options varient¹⁹⁴.

Dans cet exemple, pour les deux options étudiées, les calculs de l'impact radiologique ont donné des valeurs approximées très faibles. Les incertitudes induites par les hypothèses prises en compte dans les calculs permettent mal d'évaluer la différence en termes de sûreté entre les deux options et pour chacune d'elles, l'impact radiologique calculé est en dessous de la limite réglementaire. Suivant le principe Alara, l'étude du CEPN recommande de garder l'option la moins chère dont l'impact radiologique calculé est supérieure à l'autre option mais toujours inférieur à la limite réglementaire.

II.2.3. OPTIMISATION ET CHOIX DES MÉTHODES D'ANALYSE DE SÛRETÉ

L'optimisation de la gestion des déchets nucléaires doit souvent être réduite à l'optimisation de sous-domaines. Différents choix passés influent sur la gestion de l'aval du cycle (recourir au retraitement par exemple) et il serait extrêmement difficile et coûteux de les remettre en cause¹⁹⁵. De plus, l'évaluation des conséquences radiologiques des choix techniques demande de lourds calculs. La traduction des choix techniques en hypothèses pour ces calculs n'a rien d'évident et ceux-ci sont entachés de fortes incertitudes. Enfin, le résultat des calculs d'optimisation varie potentiellement de manière importante en fonction des critères choisis pour évaluer la sûreté des projets de stockage.

La recommandation du rapport Goguel de recourir au principe Alara met en évidence que, comme le recommande la CIPR, certains choix, et notamment certains choix techniques, doivent être effectués en comparant le coût des différentes options avec le gain produit en termes de sûreté. Il ne s'agit ainsi pas de concevoir le stockage le plus sûr possible. Une fois certaines exigences de radio-protection atteintes, les gains en termes de sûreté sont évalués en fonction de leurs coûts. Certains critères sociaux ou politiques entrent également en compte dans l'analyse.

194 *Ibid.*, p. 45.

195 Y. Barthe, *Le pouvoir d'indécision*, *op. cit.*

L'optimisation de la gestion des déchets radioactifs, et notamment de la conception d'un stockage, requiert une modélisation la plus représentative possible du relâchement et du transfert des radionucléides. Toutefois, durant les années 1980, les ingénieurs en charge des évaluations de sûreté s'opposent sur la méthode à employer. Soit les conséquences radiologiques d'un projet de stockage sont évaluées de manière conservatrice : les hypothèses retenues sont pessimistes et conduisent *a priori* vers une majoration de l'impact radiologique calculé par rapport à l'impact réel du stockage. Soit les hypothèses retenues sont sélectionnées car elles sont au plus près des caractéristiques physiques du stockage. Comme la partie précédente de ce chapitre l'a mentionné, la réalisation de ce type de calculs « *best-estimate* » est notamment un des objectifs de la deuxième phase du projet Pagis. Afin d'optimiser les choix techniques, le recours à ce deuxième type de calcul est préférable¹⁹⁶. En effet, quantifier les conséquences des différentes options est l'étape la plus importante du processus d'optimisation. Pour comparer les conséquences radiologiques des différentes options, il semble plus facile que celles-ci soient quantifiées de manière réaliste plutôt que leurs impacts potentiels soient majorés. En effet, la production d'une estimation pessimiste de l'effet de telle ou telle option est alors largement subjective. De ce fait, le choix d'une approche « *best-estimate* » paraît plus adaptée à la réalisation d'un calcul d'optimisation qu'une approche conservatrice.

Étant donné l'importance du travail que demande la conception d'outils de calcul et la difficulté d'effectuer des calculs conservatifs ou « *best-estimate* » avec les mêmes outils numériques, l'hypothèse que la généralisation du recours à l'optimisation des concepts de stockage contribua à imposer la réalisation de calculs « *best-estimate* » comme norme dans les institutions internationales ne semble pas totalement déraisonnable. Le besoin de répondre à des impératifs économiques aurait alors contribué à orienter les bonnes pratiques internationales en matière d'évaluation de la sûreté des projets de stockage. Il justifierait également le besoin d'affiner la caractérisation des différentes barrières de rétention et notamment d'étudier la géologie spécifique d'un site à partir d'un laboratoire souterrain.

196 J. Lombard, P. Hubert et P. Pagès, *Etude de l'applicabilité des principes de la CIPR*, op. cit., p. 63.

II.3. DES CRITÈRES POUR CHOISIR DES SITES DE STOCKAGE

Durant les années 1980, le CEA envisage la sélection d'un site de stockage en trois étapes : l'étude de quatre formations géologiques différentes sur quatre sites, la sélection de l'un d'entre eux dont la caractérisation est approfondie, notamment grâce à la construction d'un laboratoire souterrain, puis l'optimisation d'un concept de stockage¹⁹⁷. La première de ces étapes est particulièrement stratégique car elle aboutit à la sélection d'une formation géologique et les études sont ensuite concentrées sur cette formation. Les membres du groupe Goguel soulignent que la sélection de plusieurs zones et l'implantation de plusieurs laboratoires souterrains pourraient s'avérer pertinentes¹⁹⁸. Le rapport précise aussi que la construction d'un seul laboratoire souterrain « rend indispensable pour l'exploitant comme pour les autorités de sûreté, de ménager au cours du processus de choix la possibilité de développer, pour le cas où le premier site retenu ne s'avérerait pas satisfaisant, des travaux sur un second site »¹⁹⁹.

Les membres du groupe Goguel insistent ainsi pour que le choix d'une formation géologique puisse être éventuellement remis en cause si son étude approfondie révélait son inaptitude au confinement des radionucléides. Contrairement à l'exemple suédois présenté ci-dessus, en France, la roche constitue la principale barrière de confinement à long terme des radionucléides : à ma connaissance, jamais l'utilisation de conteneurs en cuivre n'a été envisagée en France. Toutefois, régulièrement, la nécessité de conditionner les conteneurs dans des sur-conteneurs a été évoquée. La quantité de déchets produits en France est bien supérieure à celle produite en Suède et l'utilisation de conteneurs en cuivre alourdirait considérablement le coût du stockage. Cette différence entre la Suède et la France dans la conception du stockage et les rôles assignés aux différentes barrières implique notamment que la recherche d'un site de stockage présente des enjeux différents dans ces deux pays. Alors que le sous-sol suédois est exclusivement constitué de granite, l'existence d'une plus grande variété de formations géologiques dans le sous-sol français justifie, à mon avis, la confiance des dirigeants français à trouver un site où les propriétés de la roche assureront convenablement la rétention des radionucléides.

197 J. Goguel, *Stockage des déchets radioactifs en formations géologiques. Critères techniques de choix de site.*, op. cit., p. 49.

198 *Ibid.*, p. 50.

199 *Ibid.*

Le groupe Goguel a été formé avec pour mission de « "recenser" et "hiérarchiser" les critères techniques applicables en fonction des milieux retenus pour éclairer le gouvernement sur le choix du site candidat »²⁰⁰. Son rapport dresse une série de recommandations pour les reconnaissances géologiques et sur les caractéristiques qu'il serait bon d'attendre d'une formation géologique pour y implanter un stockage. Le groupe a identifié deux « critères essentiels » pour la sélection d'un site : un faible écoulement hydrogéologique et une stabilité sismique²⁰¹. L'eau est le principal vecteur de la migration des radionucléides depuis le stockage jusqu'à la surface. Il importe donc particulièrement que les mouvements d'eau souterrains soient limités. De plus, les phénomènes sismiques pourraient dégrader les barrières du stockage et éventuellement ouvrir des fractures dans la roche susceptibles de constituer des voies de migration privilégiées pour les radionucléides.

Le groupe Goguel a également pointé cinq « critères importants » : la tenue mécanique de la roche, des conditions géochimiques restreignant l'endommagement des barrières artificielles de stockage et facilitant la rétention des radionucléides, l'implantation du stockage à une profondeur minimale de 150 à 200 mètres, l'absence de stérilisation de ressources souterraines et enfin une capacité à supporter le dégagement thermique des déchets²⁰². Les membres du groupe signalent également trois « facteurs favorables » pouvant aider à sélectionner un site : la capacité de dilution des radionucléides qui atteignent les exutoires, une distance importante entre le stockage et ses exutoires dans la biosphère et enfin une épaisseur importante de la formation géologique afin de laisser ouvert le choix de la profondeur du stockage²⁰³.

La première remarque qu'il est possible de faire à propos des critères établis par le groupe Goguel est que, mis à part la détermination d'une profondeur minimale à laquelle le stockage peut être implanté, aucun des critères sur les qualités géologiques de la roche n'est quantifié. Le rapport précise ainsi :

« Les paramètres d'un site entrant de manière complexe dans les analyses de sûreté qui seront à présenter pour chaque site, le groupe estime dépourvu de sens de fixer des valeurs numériques critiques pour chaque paramètre pris individuellement. [...] Le groupe s'est donc attaché exclusivement à définir et hiérarchiser des critères qui fournissent un cadre aux programmes d'investigation de la qualité des sites proposés²⁰⁴ ».

200 *Ibid.*, p. 4.

201 *Ibid.*, p. 58.

202 *Ibid.*, pp. 59-60.

203 *Ibid.*, p. 61.

204 *Ibid.*, p. 57.

La rétention des radionucléides ne reposant pas uniquement sur la barrière géologique et les qualités du site, l'analyse de sûreté ne peut être que globale et donc ne prendre en compte que les caractéristiques de l'ensemble du système. Le travail du groupe Goguel a ainsi consisté à déterminer des qualités géologiques *a priori* favorables sans déterminer de valeurs critiques au-delà desquelles il ne serait pas envisageable d'implanter un dépôt géologique. Ces recommandations doivent permettre de guider le travail de reconnaissance géologique mais seule une analyse globale pourra déterminer si le projet de stockage est sûr. L'exposé ci-dessus du travail fourni dans le cadre de Paxis a néanmoins montré que la production d'une telle analyse globale n'a rien de trivial. *A priori*, des roches aux qualités très diverses peuvent être choisies pour accueillir un dépôt de déchets nucléaires. Il importe néanmoins que la conception des barrières artificielles soit adaptée au site choisi.

Le rapport Goguel précise qu'une attention particulière doit être apportée à ce que les performances de rétention des radionucléides par la barrière géologique soient assurées pendant une période de dix mille ans²⁰⁵. Durant cette période, la radioactivité contenue dans les déchets décroît massivement et les membres du groupe Goguel estiment qu'il est raisonnable d'assurer la stabilité d'une formation géologique durant une telle période. Au-delà, les incertitudes augmentent considérablement. Si le groupe Goguel estime qu'il est nécessaire de faire en sorte que la démonstration de la sûreté d'un stockage soit réalisée sans limite temporelle au-delà de cette période de dix mille ans, ses membres reconnaissent toutefois que les calculs de l'impact du stockage sont alors de moins en moins précis²⁰⁶.

205 *Ibid.*, p. 11.

206 *Ibid.*

III. CONTOURNER L'OPPOSITION AU STOCKAGE

Après cet exposé des discussions sur le développement d'outils d'évaluation de la sûreté, puis des recommandations des commissions Castaing et Goguel, je voudrais clore ce premier chapitre en présentant les difficultés auxquelles se sont confrontés, à la fin des années 1980, les géologues de l'Andra lorsqu'ils ont entrepris d'effectuer des reconnaissances dans plusieurs départements. Ainsi, cette troisième partie est focalisée sur l'avènement de la loi Bataille de 1991, sur son contenu et ses conséquences. L'histoire de cette loi faisant l'objet de plusieurs travaux, notamment ceux de Yannick Barthe, cette présentation est volontairement limitée à l'exposé de ses grands traits afin d'explicitier le contexte dans lequel se déroulent les débats détaillés dans les chapitres suivants²⁰⁷. Il s'agit ici de discuter de ce qui change ou non avec cette loi et de la place accordée à la recherche dans le nouveau mode de gouvernement de l'aval du cycle nucléaire qui se met en place au début des années 1990.

III.1. UNE STRATÉGIE REJETÉE PAR LE MILIEU

Au milieu des années 1980, le CEA, avec l'appui du BRGM, a sélectionné quatre zones pour étudier la géologie et déterminer s'il est possible d'y implanter un stockage. Il s'agit de la région de Laon dans l'Aisne, sous laquelle il existe deux couches d'argile surplombées par une couche crayeuse, de la région de Bourg-en-Bresse dans l'Ain, où deux couches de sel sont considérées comme particulièrement stables, de la région de Niort dans les Deux-Sèvres, où un granite peu fracturé en surface a été observé et de la région d'Angers dans le Maine-et-Loire, où une formation schisteuse épaisse et ancienne a été identifiée²⁰⁸. Prévus pour débiter durant l'année 1986, les travaux de reconnaissance géologique sont retardés de quelques mois suite à l'accident de Tchernobyl du 26 avril 1986²⁰⁹.

207 Y. Barthe, *Le pouvoir d'indécision*, *op. cit.* ; Y. Barthe, « Les qualités politiques des technologies. Irréversibilité et réversibilité dans la gestion des déchets nucléaires », *op. cit.* ; Yannick Barthe, « Rendre discutable. Le traitement politique d'un héritage technologique », *Politix*, 2002, vol. 15, n° 57, pp. 57-78 ; Michel Prieur, « Les déchets radioactifs, une loi de circonstance pour un problème de société », *Revue Juridique de l'Environnement*, 1992, vol. 17, n° 1, pp. 19-47.

208 CIDN (ed.), *Mini dossier. Le rapport Goguel.*, *op. cit.*, pp. 3-4.

209 Jacqueline Eymard, *Synthèse entretien avec Mme Raymond André-Jehan*, Andra, 31 juillet 2007.

Dans les Deux-Sèvres et le Maine-et-Loire, les prospections géologiques débutées en 1987 suscitent une forte opposition²¹⁰. Celle-ci prend des formes multiples. Des élu.es, notamment Ségolène Royal et Jean de Gaulle, petit fils de Charles, tous deux député.es des Deux-Sèvres, s'engagent contre les projets de stockage. Sur les sites sélectionnés, les géologues doivent travailler sous protection policière. Des engins de chantier brûlent et les bâtiments des antennes locales de l'Andra subissent plusieurs attaques. Les week-ends, plusieurs rassemblements regroupent des milliers de personnes qui se retrouvent sur les terrains où les prospections géologiques de l'Andra ont lieu. Le samedi 20 janvier 1990, quinze mille personnes manifestent à Angers contre l'enfouissement des déchets nucléaires et contre la militarisation de la région due à la présence de l'Andra. Durant l'hiver 1989-1990, des affrontements violents opposent des manifestant.es aux forces de l'ordre. Devant l'ampleur de cette mobilisation, le Premier ministre Michel Rocard annonce le 9 février 1990 un moratoire sur les recherches entreprises par l'Andra²¹¹. La gestion des déchets nucléaires se trouve ainsi bloquée : le recours à l'évacuation géologique est la seule solution envisagée par le CEA et plébiscitée par les institutions internationales mais la recherche d'un site où implanter un stockage est compromise par l'opposition que ce projet suscite.

III.2. UN DÉBAT PARLEMENTAIRE SUR LE NUCLÉAIRE

Au printemps 1990, sur la suggestion du Premier ministre, l'Office Parlementaire d'Évaluation des Choix Scientifiques et Technologiques (Opecst) est saisie afin de produire un rapport sur le stockage géologique des déchets nucléaires²¹². Son écriture est confiée au député du Nord Christian Bataille, nouvellement élu en juin 1988. Pour cela, ce dernier mène une série d'auditions avec des élu.es, des porte-paroles des associations opposées aux recherches de l'Andra, des universitaires, des responsables de différents organismes du nucléaire... Dans le rapport qu'il rend en décembre 1990, C. Bataille dresse plusieurs propositions pour sortir de l'« impasse » dans laquelle la gestion des déchets nucléaires semble s'être engouffrée.

210 Association contre le nucléaire et son monde (ed.), *Le Temps des déchets*, op. cit. ; Grégory Jarry et Otto T., *Village toxique*, Poitier, FLBLB éditions, 2010 ; Collectif, *Le gouvernement par la peur au temps des catastrophes. Réflexions anti-industrielles sur les possibilités de résistance*, Villasavary, Éditions de la Roue, 2013.

211 Y. Barthe, *Le pouvoir d'indécision*, op. cit., p. 93.

212 Christian Bataille, *Rapport sur la gestion des déchets nucléaires à haute activité*, Office Parlementaire d'Évaluation des Choix Scientifiques et Technologiques, décembre 1990, p. 3.

Le manque d'information et de communication de l'Andra, l'absence de dialogue et le mépris pour les populations vivant au droit des formations géologiques convoitées sont identifiés comme les principales causes de l'hostilité que la venue de l'Agence a provoquée²¹³. Soulignons toutefois que cette explication est sans doute un peu réductrice. Dans son article de 1992, Michel Prieur rejette une telle explication et attribue l'opposition rencontrée par les géologues de l'Andra à la conscience du risque que représente l'évacuation géologique des déchets nucléaires²¹⁴. Dans son rapport, C. Bataille suggère de reprendre la construction de laboratoires souterrains tout en poursuivant d'autres voies de recherche comme le retraitement poussé des déchets. Il recommande d'apporter un certain nombre de garanties aux populations vivant à proximité des sites d'études choisis : une information importante (« *transparence* ») et une concertation locale sur l'implantation des laboratoires souterrains.

Suite à ce rapport parlementaire, un projet de loi est soumis au Parlement au printemps 1991. Celui-ci propose qu'une période de quinze ans soit consacrée aux recherches sur « *l'élimination des déchets nucléaires* »²¹⁵. Trois voies de recherche sont distinguées : l'enfouissement des déchets nucléaires, leur retraitement poussé, et le conditionnement de ces déchets. Le statut de l'enfouissement et notamment son inéluctabilité occupent largement les débats à l'Assemblée Nationale et au Sénat.

Le recours inéluctable à l'évacuation géologique, consensuel chez l'ensemble des expert.es, est l'objet d'appréciations contrastées par les différents acteurs du débat parlementaire. Ainsi, dans la présentation de son rapport devant l'Assemblée Nationale, C. Bataille précise :

« De toutes les manières, il apparaît clairement que les déchets technologiques de type alpha devront être stockés en l'état et qu'il restera une part incompressible de déchets à stocker. La poursuite des recherches dans les couches géologiques profondes est donc apparue comme une prudence incontournable. Elle n'est pas le résultat d'une lubie de "professeurs Tournesol" nationaux, mais une évidence qui s'est imposée à tous les spécialistes mondiaux de la question²¹⁶ ».

Se ralliant à l'avis unanime des expert.es, C. Bataille défend ainsi l'inéluctabilité du stockage géologique comme une « *évidence* ». Les deux autres voix de recherche doivent permettre de réduire la nocivité et la quantité des déchets. En aucun cas, ces recherches pourraient à elles seules « *éliminer* » les déchets nucléaires.

213 Y. Barthe, *Le pouvoir d'indécision*, op. cit.

214 M. Prieur, « Les déchets radioactifs, une loi de circonstance pour un problème de société », op. cit., p. 24.

215 *Débats parlementaires. Assemblée Nationale. Seconde session ordinaire de 1990-1991 (102^e séance). Compte rendu intégral. 2^e séance du mardi 25 juin 1991*, Journal Officiel de la République Française, 28 juin 1991, p. 3626.

216 *Ibid.*, p. 3627.

Plusieurs parlementaires estiment que ce projet de loi n'est qu'une manœuvre destinée à faire accepter l'enfouissement des déchets nucléaires et à contourner l'opposition rencontrée par l'Andra à la fin des années 1980. Ils et elles considèrent le recours à la loi sans grand fondement constitutionnel et attribuent leur sollicitation pour contribuer à la gestion des déchets nucléaires comme une légitimation d'un projet de la « *technostructure* ». Ainsi, le député du Rassemblement Pour la République (RPR, droite) de Moselle et ancien inspecteur national des installations nucléaires, Jean-Louis Masson expose :

« Ce texte est donc dangereux dans sa philosophie. Sans doute très largement influencé par les pressions de la technostructure, il a, en fait, pour seul but de justifier le choix technique de l'enfouissement souterrain des déchets radioactifs. Les futures prétendues études et recherches concluront qu'il faut enfouir les déchets radioactifs puisque aucune autre alternative technique n'aura été l'objet d'une quelconque recherche ou d'un quelconque effort. [...] tous les articles du projet de loi montrent que la seule filière qui sera l'objet d'études est celle de l'enfouissement souterrain. Dans la mesure où l'on n'étudiera que cette filière, je ne vois pas comment on pourra ensuite dresser un bilan et conclure qu'il y a d'autres possibilités plus judicieuses que l'enfouissement souterrain ! Ce projet de loi est donc totalement hypocrite, car, d'ores et déjà, le choix de la solution technique est arrêté. Au lieu d'avoir le courage de nous demander d'approuver clairement ce choix, on nous propose de l'entériner implicitement en acceptant qu'il soit le seul sur lequel porteront les travaux²¹⁷. »

Les parlementaires qui redoutent que seule l'évacuation géologique soit réellement étudiée justifient leur crainte en observant que la plupart des articles du projet de loi ne traitent que de l'implantation des laboratoires souterrains, et que les crédits attribués pour cette voie de recherche sont bien supérieurs aux autres²¹⁸. Durant le débat parlementaire, Dominique Strauss-Kahn, ministre de l'Industrie, leur répond que seule l'implantation des laboratoires souterrains demande un encadrement législatif particulier et que, de surcroît, la construction de ces installations est particulièrement onéreuse.

Plusieurs amendements au projet de loi sont déposés pour interdire l'enfouissement de déchets nucléaires ou imposer la réversibilité d'un éventuel stockage. D. Strauss-Kahn et C. Bataille s'opposent systématiquement à ceux-ci en arguant que le projet de loi prévoit qu'aucun stockage ne pourra être implanté durant les quinze ans dévolus aux recherches. Le ministre et le rapporteur insistent pour que la loi se cantonne à encadrer la période de recherche sur la gestion des déchets nucléaires sans présager de la décision qui sera prise en 2006. Si le stockage géologique leur semble

²¹⁷ *Ibid.*, pp. 3640-3644.

²¹⁸ Y. Barthe, *Le pouvoir d'indécision*, op. cit., p. 146.

alors inéluctable, D. Strauss-Kahn et C. Bataille insistent pour que la loi ne brise pas l'espoir que les recherches menées durant les quinze années à venir amènent à envisager d'autres modes de gestion. D. Strauss-Kahn va même jusqu'à déclarer devant le Sénat qu'il estime que le stockage géologique ne sera pas la solution de gestion retenue au terme de la période dévolue aux recherches par la loi²¹⁹.

Les élu.es des départements dans lesquels l'Andra a cherché à implanter un laboratoire souterrain à la fin des années 1980 sont celles et ceux qui se montrent les plus critiques à l'égard du projet de loi présenté par C. Bataille. De plus, sans surprise, les opposant.es à cette loi soutenue par le Gouvernement socialiste d'Édith Cresson sont majoritairement membres de partis de droite ou du centre. L'ensemble des contributeurs et contributrices au débat parlementaire se réjouissent que le Parlement soit pour la première fois appelé à légiférer sur des affaires nucléaires. Néanmoins, plusieurs voix soulignent la nécessité d'un encadrement législatif sur la gestion de l'ensemble des déchets et non uniquement des déchets nucléaires. Plusieurs parlementaires souhaitent également que le Parlement légifère sur l'ensemble du programme électro-nucléaire et non seulement sur la gestion de ses rebus.

Renvoyant la décision sur la stratégie de gestion des déchets nucléaires au terme d'une période de quinze ans, le projet de loi donne peu de prises aux parlementaires s'opposant à l'évacuation géologique. Seule leur conviction que l'effort de recherche sera focalisé sur le stockage, et que de ce fait cette solution apparaîtra comme la seule possible en 2006, justifie leur opposition au projet de loi.

III.3. UNE LOI ET QUINZE ANS DE RECHERCHE

La loi n° 91-1381 « *relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs* » est publiée le 30 décembre 1991 au *Journal Officiel*²²⁰. Elle instaure une période de quinze ans dévolue aux recherches. Celles-ci doivent porter sur la séparation et la transmutation des radionucléides présents dans les déchets nucléaires, la possibilité de construire un stockage réversible ou irréversible et enfin, le conditionnement et l'entreposage des déchets en surface²²¹. La transmutation des radionucléides doit permettre de réduire leur temps de demi-vie. Toutefois, les recherches dans ce domaine sont balbutiantes et l'éventualité d'une industrialisation de cette technique est alors bien

219 *Débats parlementaires. Sénat. Première session ordinaire de 1991-1992 (19^e séance). Compte rendu intégral. Séance du mercredi 6 novembre 1991*, Journal Officiel de la République Française, 7 novembre 1991, p. 3537 ; Y. Barthe, *Le pouvoir d'indécision*, op. cit., p. 141.

220 *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.

221 *Ibid.* art. 4.

lointaine. De plus, la transmutation ne permet pas de supprimer la radioactivité mais tout au plus de réduire le temps de demi-vie des éléments à stocker. L'étude des conditions d'entreposage des déchets nucléaires a été ajoutée au projet de loi durant le débat parlementaire : en aucun cas, il est envisagé que ce maintien des déchets en surface soit un mode de gestion pérenne. Par ailleurs, la loi de 1991 donne à l'Andra une indépendance statutaire vis-à-vis du CEA : celle-ci devient un Établissement Public d'Intérêt Commercial (Epic). L'Agence est chargée des recherches sur l'évacuation géologique des déchets nucléaires. Le Commissariat coordonne les recherches sur les deux autres axes.

Durant la période de quinze ans dévolue aux recherches, la loi interdit la construction d'un dépôt géologique. La détermination d'une politique nationale de gestion des déchets nucléaires doit faire l'objet d'une nouvelle loi prévue à l'issue des quinze ans dévolus aux recherches par la loi de 1991. Par ailleurs, cette loi de 1991 prévoit la mise en place d'une Commission Nationale d'Évaluation (CNE) chargée d'informer annuellement le Parlement de l'avancée des recherches. Suggérée par C. Bataille dans son rapport parlementaire, la création de cette Commission est inspirée d'une commission évaluant les recherches réalisées dans le laboratoire souterrain belge de Mol²²². La CNE est composée de douze membres nommés à parité par le gouvernement et le Parlement. Cette Commission sera chargée du rapport final d'évaluation des recherches effectuées dans le cadre de la loi. Le texte de la loi stipule ainsi qu'à l'issue d'une période maximale de quinze ans, « le gouvernement adressera au Parlement un rapport global d'évaluation de ces recherches accompagné d'un projet de loi autorisant, le cas échéant, la création d'un centre de stockage des déchets radioactifs à haute activité et vie longue »²²³. L'existence de cette Commission d'évaluation est destinée à apporter des garanties aux populations et aux élu.es sur les recherches menées. L'opportunité de donner à cette Commission un pouvoir contraignant sur l'orientation des recherches a été proposée par C. Bataille dans son rapport puis en commission durant le débat parlementaire, avant d'être finalement abandonnée²²⁴.

Dès le débat parlementaire, la loi Bataille est l'objet d'interprétations divergentes. Plusieurs élu.es des départements où l'Agence a voulu effectuer des recherches à la fin des années 1980 y voient une manière de contourner l'opposition des populations locales. Néanmoins, pour les parlementaires défendant cette loi, celle-ci est un moyen de permettre au Parlement d'avoir un contrôle sur la politique de gestion des déchets nucléaires et de sortir de la situation de blocage

222 C. Bataille, *Rapport sur la gestion des déchets nucléaires à haute activité*, op. cit., p. 93.

223 Loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs, op. cit., art. 4.

224 *Débats parlementaires. Assemblée Nationale. Seconde session ordinaire de 1990-1991 (107^e séance). Compte rendu intégral. 1^{ère} séance du jeudi 27 juin 1991, Journal Officiel de la République française, 28 juin 1991, p. 3750 ; C. Bataille, *Rapport sur la gestion des déchets nucléaires à haute activité*, op. cit., p. 93.*

ayant débouché sur le moratoire de 1990. Cette loi de 1991 produit une rupture sur plusieurs points. Tout d'abord, la gestion des déchets radioactifs est dorénavant encadrée légalement. De plus, la gestion de ces déchets devient une affaire de recherche. La loi stipule enfin que les recherches sur l'évacuation géologique doivent s'appuyer sur des expérimentations effectuées dans plusieurs laboratoires souterrains.

III.4. CENTRALITÉ DE LA RECHERCHE ET GOUVERNEMENT DE L'AVAL DU CYCLE

III.4.1. À LA RECHERCHE DE SITES OÙ IMPLANTER DES LABORATOIRES SOUTERRAINS

Après le vote de la loi le 30 décembre 1991, les pouvoirs publics prévoient que quatre départements soient sélectionnés puis que deux d'entre eux soient choisis pour y implanter des laboratoires souterrains. Éventuellement, un stockage géologique pourrait être construit sur l'un des deux sites après 2006. La recherche de départements où mener des prospections géologiques avant l'implantation des laboratoires souterrains est confiée au rapporteur de la loi, le député C. Bataille. Alors que durant les années 1980, les responsables du CEA avaient choisi seules les sites où mener des prospections, le député du Nord débute ses recherches en demandant, par voie de presse, aux élus locaux s'ils et elles accepteraient d'accueillir un laboratoire souterrain sur le territoire qu'ils et elles administrent²²⁵. Ainsi, avant d'étudier si la géologie des sites présente des qualités intéressantes pour envisager d'y implanter un stockage, C. Bataille recherche des zones où le risque politique est *a priori* limité.

Avant la décision de la localisation des laboratoires souterrains, des reconnaissances géologiques depuis la surface sont prévues afin de vérifier qu'aucun élément rédhibitoire à la construction éventuelle d'un stockage ne soit identifiable (cf. chapitre 2). Auquel cas, la construction d'un laboratoire souterrain n'aurait aucun intérêt. De plus, la construction de plusieurs laboratoires souterrains afin de sélectionner ensuite un site où implanter un stockage rompt la continuité existant avant 1991 entre la construction du laboratoire et celle du stockage. L'implantation d'un laboratoire souterrain n'entraîne plus irrémédiablement la construction d'un stockage : après 1991, sur au moins un site, la construction d'un laboratoire souterrain n'aboutira pas à la construction d'un stockage.

225 Y. Barthe, *Le pouvoir d'indécision*, op. cit., pp. 157-163.

L'éventualité de la construction d'un stockage ayant été repoussée au-delà de la période de quinze ans dévolue aux recherches, l'Andra se présente désormais comme un organisme de recherche chargé de mettre en œuvre des dispositions légales. L'Agence travaille sous la triple tutelle des ministres de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement²²⁶. Durant les années 1990, tant la communication de l'Agence que C. Bataille entretiennent le doute sur la stratégie de gestion qui sera choisie en 2006 malgré le fait que le député et les dirigeants de l'Agence soient convaincus de l'inéluctabilité du stockage. Par ailleurs, l'implantation des laboratoires est accompagnée d'un fonds de soixante millions de francs par an destiné au développement économique des zones acceptant d'accueillir ces installations. L'existence de ce fonds n'est sans doute pas étranger à la candidature de collectivités locales pour l'accueil des laboratoires souterrains.

La mission de médiation présidée par C. Bataille, et chargée de proposer des sites où l'Andra pourrait mener des prospections géologiques avant la construction des laboratoires souterrains, rend son rapport au Premier ministre au mois de décembre 1994. Elle a retenu quatre départements : le Gard, la Haute-Marne, la Meuse et la Vienne.

III.4.2. L'IMPÉRATIF POLITIQUE DE MENER DES RECHERCHES DE QUALITÉ

Dans le nouveau mode de gouvernement de l'aval du cycle nucléaire, la qualité des recherches est considérée par les acteurs politiques comme une condition nécessaire à l'acceptation d'un stockage. Les recherches effectuées par l'Andra et le CEA doivent être d'une qualité telle qu'elles ne puissent être contredites. La Commission Nationale d'Évaluation, par l'évaluation indépendante qu'elle effectue, doit garantir au Parlement et aux populations vivant à proximité des sites dont la géologie est étudiée que les recherches engagées sont pertinentes et leur résultats satisfaisants. Dans son deuxième rapport, la CNE souligne :

« Il s'agit de démontrer, au terme de la loi, que l'on explore sérieusement toutes les possibilités techniques raisonnables pour diminuer la « nocivité » des stockages de déchets. L'acceptabilité des stockages futurs est conditionnée par la démonstration de la volonté de gérer au mieux le dernier maillon du cycle nucléaire. L'acceptation politique et sociale de l'implantation de laboratoires souterrains sur les zones géographiques, où se font les recherches de l'Andra, ne pourrait être considérée comme définitivement acquise si le “contrat” de la loi n'était pas rempli²²⁷ ».

226 Loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs, op. cit., art.13.

227 Commission Nationale d'Évaluation (ed.), *Rapport d'évaluation n° 2*, juin 1996, p. 22.

Il s'agit donc qu'au terme de la période de quinze ans dédiée aux recherches, la sûreté d'un projet de stockage soit établie et que les recherches sur les autres voies, transmutation et conditionnement, aient été explorées suffisamment sérieusement pour qu'il ne soit plus possible d'envisager l'existence d'alternatives réalistes à l'évacuation géologique. Pour les membres de la CNE, le « *contrat de la loi* » lie la qualité des recherches et l'acceptabilité des stockages futurs : la première est une condition de la seconde.

De la même manière, dans une note de travail de juin 1992, Frédéric Plas, ingénieur à l'Andra, note que « *le bon traitement technique de la gestion des déchets radioactifs est une condition absolument nécessaire à la crédibilité de l'agence* »²²⁸. Il poursuit en pointant le fait que la crédibilité de l'Andra, vis-à-vis des autorités de contrôle et du monde académique, repose sur la qualité des recherches qu'elle effectue²²⁹. La définition d'une stratégie, l'organisation du travail et le recrutement de spécialistes doivent prendre en compte cette exigence politique de produire des travaux d'une bonne qualité²³⁰.

Ainsi, ce n'est pas uniquement le besoin de montrer la sûreté d'un projet de stockage qui pousse la direction de l'Andra à développer des recherches pour améliorer la compréhension de l'évolution des stockages. À la fin des années 1980, dans le cadre du programme Pagis notamment, les ingénieur.es du CEA ont montré leur capacité à démontrer la sûreté d'un dépôt géologique de déchets nucléaires. Effectuer des recherches de qualité est désormais une condition de l'acceptation d'un stockage.

III.4.3. AUTONOMIE ET CONTRÔLE DE L'EXPERTISE

Avant de conclure ce chapitre, il me semble important d'apporter encore quelques éléments qui permettront de mieux comprendre les chapitres suivants. La création par la loi de 1991 d'une Commission Nationale d'Évaluation et la place centrale accordée à l'activité scientifique dans le gouvernement de l'aval du cycle nucléaire méritent d'être quelque peu précisées.

Lors de la première réunion de la Commission, son président présente celle-ci comme « *l'Académie des déchets nucléaires* », autorité scientifique incontestable sur les recherches effectuées dans le cadre de la loi²³¹. Les premières auditions de la CNE ont lieu à l'Académie des Sciences. L'Académie a été consultée pour la nomination de quatre membres de la CNE. Trois

228 Frédéric Plas, *Projet d'entreprise. Thème n° 2. L'Andra au coeur d'enjeux d'environnement, de société et de technique. Apports des travaux des commissions « Castaing » et « Goguel »*, Andra, 18 juin 1992, p. 3.

229 *Ibid.*

230 *Ibid.*

231 Arsène Saas, *Compte-rendu de la réunion du 31 mai 1994 (1ère réunion)*, CNE, juin 1994, p. 5.

membres de la CNE (Robert Dautray, Raymond Castaing et Bernard Tissot) sont membres de l'Académie des Sciences ; Robert Guillaumont en est un membre correspondant ; Ghislain de Marsily en devient membre correspondant en 1997. Il me semble que la comparaison entre la CNE et l'Académie des Sciences indique assez bien le rôle de la Commission et la place accordée à l'activité scientifique après 1991 : l'objectivité d'une autorité indépendante doit désormais être garante de la rationalité de la politique de gestion des déchets nucléaires.

La composition de la CNE lors de sa mise en place apporte également un éclairage intéressant sur celle-ci, et notamment sur sa proximité avec le monde du nucléaire. En premier lieu, le secrétariat scientifique de la Commission est assuré par Arsène Saas, Conseiller Technique au Cabinet du Haut-Commissaire à l'Énergie Atomique. Les premiers courriers qu'il envoie au sujet des activités de la CNE ont la double en-tête du CEA et de la CNE. Le Haut-Commissaire à l'Énergie Atomique, Robert Dautray, est lui-même membre de la CNE ainsi qu'un autre Conseiller Technique de son Cabinet, Jacques Lafuma, et le Conseiller Scientifique du CEA pour l'aval du cycle, Jean Lefevre. Rudolf Rometsch, ancien président du CEDRA, homologue suisse de l'Andra, et Jean-Pierre Olivier qui supervise le *Radioactive Waste Management Comitee* de l'AEN (OCDE) depuis 1981 siègent également à la CNE. À leurs côtés, on trouve des universitaires : le géochimiste Jean-Claude Duplessy (CNRS), le radiochimiste Robert Guillaumont (Orsay), le physicien Jean-Paul Schapira (CNRS), le médecin Dominique Ducassou (CHU de Bordeaux), le physicien Raymond Castaing (Académie des Sciences) et le géologue Ghislain de Marsily (Université de Paris 6). La présidence de la CNE est assurée par le géologue Bernard Tissot, membre de l'Institut français du pétrole. G. de Marsily, J. Lafuma, J. Lefevre, R. Guillaumont et J.P. Schapira ont participé à la Commission présidée par R. Castaing au début des années 1980. Ainsi, la Commission est composée de plusieurs dirigeants du CEA et d'experts ayant une familiarité ancienne avec la gestion des déchets nucléaires : son indépendance est donc toute relative.

La CNE commence à travailler au mois de mai 1994. Ses membres ont été nommés par décret en janvier de cette même année. Auparavant, le ministre de la Recherche, Hubert Curien, a mis sur pied en mai 1993 un Comité de Suivi des Recherches sur l'Aval du Cycle (Cosrac) qui regroupe des représentants des acteurs industriels du nucléaire (EDF, CEA, Cogéma, Framatome et Andra), du ministère de la Recherche et de celui de l'Industrie ainsi que du CNRS. Ce Comité est dirigé par Bernard Descomps, directeur général de la recherche et de la technologie au ministère de la Recherche. Jean-Yves Barré, directeur du cycle du combustible au CEA, en assure le secrétariat. Le Cosrac a pour objectifs d'informer la CNE sur les programmes de recherche et développement

(R&D), de lui faire des suggestions, d'adresser des recommandations pour développer des programmes de R&D entre les différents acteurs du nucléaire et de dégager une politique de recherche ainsi qu'une stratégie²³².

Le 13 avril 1994, le Comité de suivi adresse un rapport à la CNE nouvellement créée qui synthétise l'état des recherches sur les trois axes inscrits dans la loi de 1991 (séparation-transmutation, stockage géologique et entreposage en surface). Ce rapport insiste sur la complémentarité de ces trois axes de recherche qui ne doivent pas être considérés comme autant d'alternatives – comme le texte de la loi pourrait le laisser supposer – mais comme différentes parties d'un programme global – aboutissant inévitablement à la construction d'un stockage géologique. La première réunion de travail de la CNE a lieu le 31 mai 1994 en présence du président et du secrétaire du Comité de suivi. Cette réunion est notamment destinée à éclairer la CNE sur l'importance d'implanter des laboratoires souterrains avant toute éventualité d'établir un stockage²³³. La loi de 1991 fixe une période de quinze ans au terme de laquelle les recherches sur l'aval du cycle doivent être évaluées. En ce début des années 1990, la construction de laboratoires souterrains doit être entreprise sans attendre afin de disposer de résultats obtenus dans ces installations avant 2006. Pour le Comité, il importe que les membres de la Commission intègrent cette contrainte induite par le calendrier fixé dans la loi.

Lors de l'installation de la CNE, le Cosrac joue ainsi un rôle déterminant dans le cadrage des questions auxquelles cette Commission va devoir se confronter. Les membres du Comité de Suivi envisagent alors de rester des interlocuteurs privilégiés de la CNE. Ils prévoient de lui adresser un rapport semestriel et d'être auditionnés par elle tous les ans. Si les rapports de la CNE sont publics, au contraire, les documents produits par le Comité de suivi ainsi que les propos de ses membres sont confidentiels²³⁴. Alors que la CNE a été instituée par la loi de 1991, la création de ce comité marque une volonté du ministère de la Recherche et des acteurs historiques du nucléaire de garder une certaine maîtrise sur le travail de cette Commission.

La loi votée en décembre 1991 fait de la gestion des déchets nucléaires une affaire de recherche dont l'évaluation est confiée au Parlement, conseillé par une Commission Nationale d'Évaluation. De nouveaux acteurs (Parlement, CNE, élus locaux) participent désormais à la gestion des déchets nucléaires et la CNE se voit confier un rôle stratégique important dans le nouveau mode de gouvernement de l'aval du cycle. Les acteurs historiques du nucléaire (CEA, Cogéma, EDF, DGEMP) se positionnent alors à l'intérieur et à côté de cette commission.

232 *Ibid.*, p. 3.

233 A. Saas, *Compte-rendu de la réunion du 31 mai 1994 (1^{ère} réunion)*, *op. cit.*

234 *Ibid.*

III.4.4. ÉVITER TOUTE REMISE EN CAUSE DE L'INÉLUCTABILITÉ DU STOCKAGE

Pour écrire ses rapports annuels, la CNE auditionne régulièrement les chercheurs et les chercheuses de l'Andra et du CEA. Les auditions qu'elle réalise sur les recherches effectuées à l'Andra sont des moments importants pour l'Agence, notamment au début des années 1990, lorsque le cadrage institutionnel et les missions de chacun.e ne sont pas complètement stabilisés. Ainsi par exemple, des répétitions des auditions sont organisées pour les futur.es orateurs et oratrices en présence du président et du directeur général de l'Agence, Maurice Allègre et Yves Kaluzny.

Durant les premières années d'activité de la Commission, les échanges entre les salarié.es de l'Andra et les membres de la CNE sont froids et distants. Pour les salarié.es de l'Andra, la CNE est une instance évaluatrice dont ils et elles se méfient. Dans les présentations effectuées devant les membres de la CNE, seuls des éléments stabilisés sont présentés. La direction de l'Andra n'envisage pas que des recherches en cours soient présentées à la CNE. Pourtant, certains membres de la CNE souhaiteraient être associés plus activement aux recherches que mène l'Andra. À plusieurs reprises, ils en font la suggestion à l'Andra. Il faut néanmoins attendre le début des années 2000, la nomination de François Jacq à la tête de l'Andra et l'approche du terme de la période dédiée aux recherches par la loi de 1991, pour que les relations entre les membres de CNE et les salarié.es de l'Andra deviennent plus cordiales (cf. chapitre 6).

L'importance de la CNE amène le président et le directeur de l'Andra à adopter une certaine vigilance à son égard, notamment sur les questions stratégiques comme l'inélucltabilité du recours à l'évacuation géologique des déchets nucléaires. Dans son introduction de la première journée de présentation des travaux de l'Agence à la CNE, le président de l'Andra, Maurice Allègre, déclare :

« La durée des déchets radioactifs à vie longue (et a fortiori des déchets chimiques) introduit une notion temporelle d'une durée auparavant inconnue : elle nous impose de prendre des engagements à l'égard d'une humanité future que nous ne connaissons jamais. Nous quittons ainsi l'échelle des temps humains pour passer à celle des temps géologiques et nous n'avons de toute façon pas le choix ; nous ne pouvons nous permettre de laisser des risques en héritage à des générations lointaines. Nous ne pouvons pas non plus esquiver le problème en postulant que des progrès scientifiques ultérieurs suffiront à les préserver²³⁵. »

235 Maurice Allègre, *Notes de Maurice Allègre pour son intervention introductive lors de la première audition de l'Andra par la CNE*, 8 septembre 1994.

L'enfouissement des déchets radioactifs ne serait donc pas un choix : la nature même de ces déchets imposerait inévitablement cette solution de gestion. Un principe éthique, considéré comme universel, guide cette décision : le respect des générations futures. De plus, devant les membres de la CNE, M. Allègre soutient que les deux autres voies de recherche ne sont pas porteuses d'espoir : il n'y a rien à attendre d'elles et l'implantation d'un stockage peut être entreprise sans plus tarder.

Comme les membres du Cosrac l'ont défendu auprès de la Commission, le président de l'Andra précise dès son introduction à la première audition de l'Andra par la CNE que les trois voies de recherche ne doivent pas être envisagées comme différentes possibilités de gestion des déchets. La loi de 1991 ne présuppose pas quel sera le mode de gestion qui pourrait être retenu à l'issue des quinze ans de recherche²³⁶. Durant le débat parlementaire, la mention dans le texte de la loi des recherches sur l'évacuation géologique a été déplacée après celle des recherches sur la transmutation, afin qu'il ne puisse pas être compris que l'évacuation géologique a la préférence des législateurs. Dès l'installation de la Commission, il importe toutefois pour les représentants du monde du nucléaire que les membres de cette nouvelle institution ne doutent pas un instant du bien fondé de la stratégie de gestion qu'ils avaient mise en place avant 1990 : il n'y a pas d'alternative à l'évacuation géologique des déchets nucléaires.

Le premier rapport de la CNE est publié en juin 1995. Dans celui-ci, les membres de la Commission soulignent l'inéluctabilité du recours à l'évacuation géologique²³⁷. Cependant, le président de l'Andra se montre particulièrement vigilant à ce qu'absolument rien n'indique dans les publications de la CNE qu'il puisse être possible de se passer d'un stockage. Dans ce premier rapport de la CNE figure la copie d'un transparent provenant du CEA et indiquant la possibilité d'un entreposage des déchets en surface pendant une durée de plusieurs siècles. Suite à sa présentation à l'Andra et au CEA, le président de l'Agence, Maurice Allègre, reprend alors « *vigoureusement* » en privé les membres de la CNE pour leur expliquer qu'ils ne doivent plus présenter de tels chiffres à l'avenir²³⁸.

Pour le président de l'Andra, l'entreposage des déchets en surface n'est pas une solution de gestion et le recours à cette pratique doit être restreint à une période d'attente de quelques décennies tout au plus avant une gestion définitive des déchets. Dans la publication par la CNE de la possibilité d'entreposer les déchets nucléaires en surface pendant plusieurs siècles, M. Allègre perçoit « *un sérieux danger d'interprétation de cette déclaration comme un soutien à la position des*

236 Loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs, op. cit., art. 4.

237 Commission Nationale d'Évaluation (ed.), *Rapport d'évaluation n° 1*, juin 1995, p. 26.

238 Maurice Allègre, *Présentation du rapport CNE aux acteurs de la loi le 29 juin 1995*, 5 juillet 1995.

antinucléaires »²³⁹. En effet, l'absence d'urgence à implanter un stockage et l'entreposage des déchets en surface sont défendus par certain.es opposant.es à l'enfouissement. Il importe dès lors au président de l'Andra que la possibilité technique d'entreposer des déchets nucléaires pendant plusieurs siècles soit tue.

La loi de 1991 a pu être présentée, notamment par Yannick Barthe, comme une rupture entraînant une transformation de la gestion des déchets nucléaires en France. La présence des acteurs historiques du nucléaire à l'intérieur et à côté de la CNE indique une volonté forte de contrôle sur les déclarations de celle-ci. De plus, le travail insistant des représentants des acteurs historiques du nucléaire français pour que les membres de la Commission acceptent le bien fondé de leur stratégie et l'inéluctabilité du recours à l'évacuation géologique montre que le changement de mode de gouvernement de l'aval du cycle nucléaire n'entache en rien la détermination des acteurs industriels à recourir à l'enfouissement.

CONCLUSION PARTIELLE

Durant les années 1980, le CEA entreprend des prospections géologiques afin d'implanter un laboratoire souterrain puis un stockage. Le recours à cette solution de gestion, unanimement plébiscitée par les institutions internationales, se heurte néanmoins à une opposition empêchant le déroulement des travaux. La loi de 1991 est une réponse à cette opposition.

La loi de 1991 a transformé profondément la place accordée à la recherche sur la qualification d'un site de stockage et la fonction accordée à la démonstration de la sûreté des projets de dépôt géologique. Auparavant confinée au CEA, la recherche sur la rétention des radionucléides par un stockage géologique s'évalue dorénavant publiquement. La qualité de ces recherches devient un objectif politique, une condition nécessaire de l'acceptation d'un tel projet. La mise en place d'une Commission Nationale d'Évaluation occupe une place centrale dans le nouveau mode de gouvernement de l'aval du cycle qui s'instaure au début des années 1990. Son activité suscite une grande attention. « *Académie des déchets nucléaires* », celle-ci est garante de la qualité des recherches effectuées par l'Andra et le CEA.

Toutefois, les changements introduits par la loi de 1991 n'entament en rien la conviction des dirigeants des institutions historiques du nucléaire français du bien fondé de leur stratégie pour l'aval du cycle, dans laquelle l'évacuation géologique est inéluctable. Alors que la loi Bataille

239 *Ibid.*

entretient le flou sur la stratégie de gestion qui sera mise en place en 2006, les dirigeants de l'Andra et les membres du Cosrac s'attachent à persuader les membres de la CNE du bien fondé de cette stratégie. Pour les dirigeants des institutions historiques du nucléaire, il s'agit de faire avec ce nouveau mode de gouvernement, mais aucunement de revoir leur plan.

Je ne veux pas dire ici que les parlementaires n'ont eu aucun impact sur la gestion des déchets nucléaires ni que la loi de 1991 ne change rien. Je voudrais simplement souligner que cette loi n'a pas perturbé la conviction des acteurs historiques du nucléaire que l'évacuation géologique est inéluctable. Dès la mise en place de la CNE, ces acteurs ont fait en sorte que celle-ci se rallie à leur conviction sur ce point et, dès son premier rapport, la CNE reconnaît l'inéluctabilité de la construction d'un stockage géologique.

CONCLUSION. DÉMONTRER LA SÛRETÉ EST POSSIBLE, À CONDITION DE TROUVER UN SITE

Démontrer la sûreté d'un dépôt géologique de déchets nucléaires demande l'utilisation de représentations simplifiées de l'évolution de l'ouvrage et de la migration des radionucléides, adaptées aux capacités de calcul des ordinateurs : la mise en équation est toujours une réduction de la complexité du réel. À la fin des années 1980, les ingénieur.es du CEA ont montré qu'ils et elles étaient capables d'effectuer une évaluation quantifiée de la sûreté d'un projet de stockage. Une telle évaluation n'a rien de trivial. Elle mobilise de nombreuses pratiques savantes et demande du temps. L'intrication des différentes pratiques rigidifie par ailleurs la méthode choisie.

Seule une évaluation globale, intégrant les rôles de rétention des barrières artificielles (les colis et l'ouvrage bétonné), peut permettre d'assurer la sûreté d'un projet de stockage : le respect des critères de sélection des sites géologiques est une condition nécessaire, mais non suffisante, pour qu'un site les respectant soit sûr. En Suède, les colis cuivrés assurent quasiment à eux seuls la sûreté du dépôt et celui-ci pourrait être implanté à peu près n'importe où. En France, la quantité de déchets existants et le besoin de minimiser les coûts du stockage amène à favoriser des concepts de stockage dans lesquels la roche joue un rôle important dans la sûreté du dépôt. Un tel concept permet de réduire l'épaisseur et donc le coût des matériaux constituant les barrières de rétention artificielles. Le choix des sites où étudier la possibilité d'implanter un stockage prend en compte des critères techniques, économiques et sociaux.

Au tournant des années 1990, le Gouvernement de Michel Rocard confie au Parlement le soin de désamorcer les oppositions aux prospections géologiques entreprises précédemment par le CEA. La loi votée en 1991 entretient le flou sur la stratégie de gestion des déchets nucléaires qui sera choisie en 2006. Néanmoins, pour les acteurs historiques du nucléaire, l'évacuation géologique est toujours inéluctable. Alors que la recherche est au cœur du nouveau mode de gouvernement de l'aval du cycle et que la CNE occupe une place centrale dans celui-ci, les dirigeant.es du CEA, de l'Andra et des cabinets ministériels s'attachent à rallier les membres de cette Commission à vues.

CHAPITRE 2. Y A-T-IL DES ÉLÉMENTS RÉDHIBITOIRES À L'IMPLANTATION D'UN STOCKAGE ? CONTROVERSES AUTOURS DE LA GÉOLOGIE D'UNE FORMATION GRANITIQUE

En 1994, l'Andra engage un programme de reconnaissances géologiques dans quatre départements (cf. chapitre 1). Ces travaux constituent un préalable à l'implantation de laboratoires souterrains qui doivent permettre d'étudier *in situ* les qualités des roches. La construction de laboratoires souterrains est une étape considérée comme nécessaire pour caractériser un site de stockage, et la loi de 1991 précise que l'étude des possibilités de stockage doit reposer sur des expérimentations effectuées dans de telles installations.

Ce chapitre est consacré aux travaux de reconnaissance effectués par les géologues de l'Andra entre l'été 1994 et le printemps 1996 ainsi qu'aux évaluations ultérieures de leur travail. Plutôt que de décrire ce travail de reconnaissance effectué dans les quatre départements sélectionnés en 1994 (le Gard, la Haute-Marne, la Meuse et la Vienne), je vais me concentrer sur le travail des géologues de l'Andra dans la Vienne. Plusieurs raisons expliquent ce choix.

Les études de la géologie des départements de la Meuse et de la Haute-Marne, mitoyens, sont rapidement regroupées et elles ne suscitent pas de controverse importante. Les évaluateurs de l'Agence ne mettent jamais en doute la pertinence d'envisager y implanter un stockage. Dans le Gard, la géologie est plus accidentée. De plus, des doutes existent sur l'évolution à long terme du cours du Rhône qui pourrait éventuellement perturber fortement la géologie locale. Néanmoins, c'est avant tout l'opposition du syndicat des vignerons des Côtes du Rhône à la présence de l'Andra, qu'ils considèrent comme néfaste à leur commerce, qui motive l'abandon des reconnaissances dans ce département.

L'étude des qualités du granite de la Vienne me semble intéressante à plus d'un titre. Tout d'abord, cette formation est très mal connue avant l'arrivée des géologues de l'Andra. La présence d'une couverture sédimentaire au dessus du socle granitique empêche toute observation directe du granite depuis la surface. De ce fait, les premiers forages effectués permettent de « *découvrir* » une formation géologique aux qualités inconnues²⁴⁰. De plus, les salarié.es de l'Andra sont particulièrement attaché.es à l'étude des possibilités de stockage dans le granite de la Vienne. D'une part, durant les années 1980, le CEA a focalisé ses études sur l'évacuation géologique dans des

240 J'emploie le vocable de « *qualité* » pour décrire les propriétés d'un objet sans aucune appréciation d'une valeur positive – ni négative d'ailleurs. Dans ce texte, « *les qualités du granite* » est équivalent à « *les propriétés du granite* » ou à « *les caractéristiques du granite* ».

formations granitiques. Il existe donc au sein de l'Andra une certaine familiarité avec l'étude de ce type de formation. D'autre part, la loi prévoit l'implantation de plusieurs laboratoires souterrains. En 1994, la direction de l'Andra comme la Direction Générale de l'Énergie et des Matières Premières (DGEMP) au ministère de l'Industrie estiment plus pertinent de construire deux laboratoires dans des formations géologiques différentes plutôt que deux laboratoires dans des formations argileuses (cf. chapitre 3). Enfin, la dernière raison qui explique la focalisation de mon étude sur la Vienne est l'existence d'une importante controverse concernant la pertinence d'y construire un laboratoire souterrain. Cette controverse déborde des arènes expertes jusque dans les cabinets ministériels où elle bloque un temps les recherches sur l'évacuation géologique des déchets nucléaires.

Parmi les quatre départements sélectionnés en 1994, trois ont un sous-sol argileux : le Gard, la Haute-Marne et la Meuse. L'équipe de choix des sites tient particulièrement à trouver un département au sous-sol granitique. Elle abandonne rapidement l'idée de faire des recherches dans le granite de Falaise suite aux oppositions qui se manifestent rapidement après les premiers contacts entre C. Bataille et les élu.es locaux²⁴¹. Le granite de Hurriel près de Montluçon est, lui aussi, vite abandonné car ses propriétés ne permettent vraiment pas d'envisager un jour y construire un stockage²⁴². Le choix du granite du sud de la Vienne est le résultat d'un compromis entre une géologie potentiellement favorable – même si l'existence de la couche granitique en question n'est alors pas absolument certaine – et un appui politique de René Monory, alors président du Sénat et président du Conseil Général de la Vienne.

Cette histoire des reconnaissances géologiques dans la Vienne et des débats sur l'opportunité de construire un laboratoire souterrain montre le rôle des institutions chargées de l'évaluation du travail de l'Andra, la Commission Nationale d'Évaluation (CNE), instituée par la loi de 1991, et l'Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire (IPSN). En effet, le déraillement du processus d'autorisation d'implantation d'un laboratoire souterrain dans la Vienne révèle, par contraste, que le travail d'évaluation effectué par ces institutions est normalement destiné à accompagner l'activité de l'Andra.

Lorsque les incertitudes s'accumulent sur les qualités du granite et la possibilité d'y implanter un stockage, tout l'enjeu des débats est de savoir si ces incertitudes sont rédhibitoires ou non à l'implantation éventuelle d'un stockage. En effet, si les reconnaissances géologiques depuis la surface montrent qu'aucun stockage ne pourra être implanté dans un département, la poursuite des

241 Jacques Faucheux, *Le Laboratoire*, Coop Breizh, 2013.

242 Entretien avec un ancien géologue de l'Andra, janvier 2015

reconnaisances géologiques et la construction d'un laboratoire souterrain ne se justifient plus. Toutefois, la détermination de ce qui constitue un élément rédhibitoire à l'implantation d'un stockage n'a rien évident.

Ce chapitre débute par décrire les travaux de reconnaissance géologique effectués dans la Vienne entre l'été 1994 et le dépôt des Demandes d'Autorisation d'Implantation et d'Exploitation (DAIE) pour les laboratoires souterrains au printemps 1996. Cette première partie détaille le travail réalisé pour caractériser la formation granitique située sous la couverture sédimentaire. Elle aborde également les difficultés de représenter la fracturation des granites. Les deuxième et troisième parties de ce chapitre sont consacrées aux évaluations du travail effectué par les géologues de l'Andra. Alors que l'Andra s'apprête à déposer les demandes de DAIE pour les laboratoires souterrains, la pertinence de construire un tel équipement dans la Vienne est remise en cause, principalement par G. de Marsily, hydrogéologue à l'Université Pierre et Marie Curie et professeur à l'École des Mines de Paris, membre de la Commission Nationale d'Évaluation et du Groupe Permanent Déchets.

I. LA DIFFICILE ÉTUDE DU GRANITE DE LA VIENNE

La loi de 1991 prévoit que plusieurs laboratoires soient construits afin d'y étudier les possibilités de stocker, en géologie profonde, des déchets nucléaires. Avant que la direction de l'Andra ne dépose des demandes de construction pour ces installations, dix-huit mois sont dédiés à des reconnaissances géologiques depuis la surface. Ces travaux de reconnaissance sont destinés à confirmer l'absence d'éléments rédhibitoires à l'implantation d'un stockage. Pour cela, les géologues de l'Andra cherchent à caractériser la structure géologique des zones retenues, la sismicité, les éventuels accidents tectoniques, la géochimie... Cette période n'est pas dédiée à montrer que les sites présentent des caractéristiques favorables à l'implantation d'un stockage : ces premières reconnaissances sont destinées à vérifier que les qualités géologiques ne sont pas mauvaises. Ces travaux ont également pour objectif de circonscrire des zones restreintes où la géologie serait particulièrement adaptée à l'implantation d'un stockage.

I.1. ARRIVÉE DE L'ANDRA DANS LA VIENNE

Au seuil du Poitou, le granite qu'est chargé d'étudier l'Andra est situé sous une couverture sédimentaire d'environ 150 mètres d'épaisseur. À vrai dire, lorsque les géologues de l'Agence commencent à étudier la zone, ils ne sont pas absolument certains de trouver un granite sous cette couverture sédimentaire²⁴³. Les cartes géologiques et géophysiques dont les géologues disposent alors n'assurent rien dans ce sens. Seule une carte gravimétrique de la France montre une anomalie dans la mesure, en surface, du champ gravitationnel, dans les cantons de Charroux et Civray. Cette anomalie laisse supposer la présence d'un leucogranite en profondeur. Les leucogranites contiennent peu de minéraux ferromagnésiens et l'anomalie gravimétrique pourrait être due à la faible quantité de ces minéraux en profondeur. Le CEA a déjà étudié ce type de formation à Auriat durant les années 1980 et ses propriétés semblent particulièrement bien adaptées pour accueillir un stockage.

Seule, la carte gravimétrique est difficilement interprétable : les géologues de l'Agence ne sont alors pas totalement sûrs que l'anomalie gravimétrique observée témoigne bien de l'existence d'un granite²⁴⁴. La Vienne se situe entre le Massif Armoricain et le Massif Central qui ont fait l'objet de nombreuses prospections géologiques. Avant l'arrivée de l'Andra, aucun forage profond n'a été effectué sous la couverture sédimentaire du seuil du Poitou.

Pour les géologues de l'Andra, l'observation directe de la roche, notamment sur les carottes, jouit d'un statut épistémique bien plus important que les essais géophysiques. Au début des années 1990, l'Andra a recruté plusieurs géologues afin de coordonner les travaux de reconnaissance dans les quatre départements sélectionnés. Pour la plupart, ces géologues sont d'anciens salariés de la Cogéma aillant travaillé à la prospection d'uranium²⁴⁵. La vertu épistémique attribuée à l'observation directe dans leur travail est en partie due à leur « *culture minière* »²⁴⁶. Tant qu'ils n'ont pas vu la roche de leurs propres yeux, le doute des géologues prospecteurs subsiste sur la qualité de la formation qu'ils étudient. De même, plus tard, dans le laboratoire souterrain, le contact de la roche et son observation directe joueront un rôle particulièrement important. Ainsi, un géologue de l'Andra raconte lors d'un entretien que, lors de l'excavation de la première galerie du laboratoire

243 Entretiens avec deux géologues travaillant à l'Andra durant les années 1990 (décembre 2014 et janvier 2015).

244 Lors de la réunion du Groupe Permanent Déchets du 24 mars 1997, un salarié de l'IPSN, M. Lemeille « *rappelle que le site [de la Vienne] a été découvert par l'Andra car le granite est sous la couverture sédimentaire* ».

Groupe Permanent Déchets (ed.), *Projet de compte rendu de la réunion du 24 mars 1997*, Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, 27 mai 1998, p. 9.

245 J. Blanck, *Gouverner par le temps*, op. cit.

246 Lorraine J. Daston et Peter L. Galison, *Objectivité*, trad. Sophie Renaut et Hélène Quiniou, Dijon, Les Presses du réel, 2012.

souterrain à Bure, la roche ne se comporte pas exactement comme il était prévu²⁴⁷. Devant l'étonnement du directeur scientifique, il rapporte que le chef géologue lui a répondu : « *Tu sais, en mine, tu sais comment ça se comporte que quand tu es dedans.* » Cette connaissance sensible, non médiatisée, de la roche est, il me semble, assez caractéristique de cette « *culture minière* » des géologues de l'Andra issus des prospections de la Cogéma. Ainsi, ces géologues qui manient facilement des modèles d'évolution géologique sur des centaines de milliers d'années placent l'expérience sensible de la roche comme un des premiers garants de leur connaissance de celle-ci. L'observation de carottes de roche apporte ainsi une information bien plus précise et précieuse pour ces géologues que les essais géophysiques. Néanmoins, l'observation ponctuelle des qualités de la roche sur les carottes doit être corrélée avec les données géophysiques pour obtenir des informations sur les structures géologiques à de larges échelles spatiales.

Grâce aux relations du directeur de l'antenne de l'Andra dans le Gard, une carte aéromagnétique de la Vienne, effectuée en 1979 dans le cadre de prospections minières, est exhumée des archives d'une société privée. L'Andra commande à la Compagnie Générale de Géophysique un nouveau traitement de cette carte. Il permet de relier la formation située sous la couverture sédimentaire avec les roches qui affleurent dans le Poitou et ainsi, de conforter l'espoir de trouver, dans les cantons de Charroux et Civray, un granite sous la couverture sédimentaire²⁴⁸.

L'Andra est maître d'œuvre des recherches sur le stockage. Elle sous-traite la totalité des travaux de terrain. C'est le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) et sa filiale Antea, dont l'activité est uniquement dédiée aux reconnaissances géologiques des sites de stockage géologique, qui réalisent la plupart des travaux. Durant l'été 94, les premiers travaux consistent à relever depuis la surface toutes les indications possibles sur la nature du sous-sol afin de compléter les données déjà existantes sur la géologie locale. Ainsi, le 15 juin 1994 débute une campagne de reconnaissance cartographique de la géologie des cantons de Charroux et Civray²⁴⁹. Elle dure jusqu'à la fin du mois d'octobre 1994 et couvre les 413 km² de ce territoire. L'Andra commande également au BRGM une nouvelle carte gravimétrique de ces deux cantons, dix fois plus fine que la carte nationale qui a permis précédemment d'indiquer la présence d'un granite en profondeur²⁵⁰. Ces reconnaissances géophysiques permettent à l'Andra de déterminer les grandes failles et les grandes

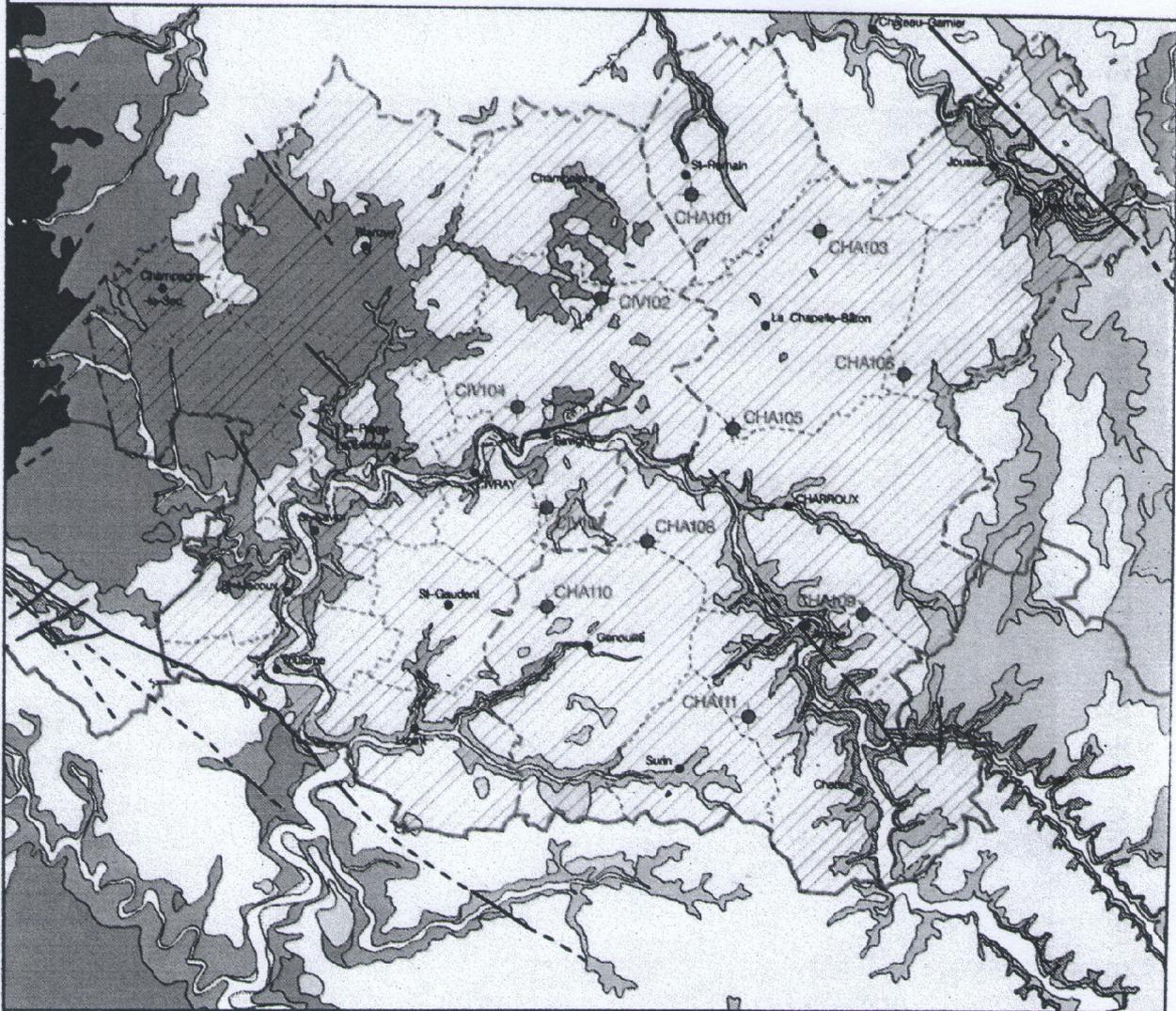
247 Entretien avec géologue travaillant à l'Andra depuis les années 1990 (décembre 2014).

248 Entretien avec un géologue ayant travaillé sur les reconnaissances géologiques dans la Vienne (janvier 2015).

249 Andra (ed.), *Recherches de sites pour l'implantation de laboratoires souterrains d'études géologiques. Résultats des travaux réalisés en 1994*, 6 février 1995.

250 *Ibid.*

VIENNE - TRAVAUX REALISES EN 1994



LEGENDE

Limites administratives

- Limite département
- - - Limite canton
- Limite commune
- Nom de commune

- Profil d'essai sismique réflexion
- ▨ Campagne de gravimétrie

• Sondage carotté

D'après les cartes géologiques n°637-638-661-662

- fz** Alluvions récentes.
- f** Alluvions anciennes.
- os** Mio-piocène détritique
- ep** Eocène-pliocène 'Sables argileux'
- em** Eocène-miocène 'Argiles marbrées'
- eg** Eocène-oligocène 'Calcaires lacustres'

Jurassique supérieur

■ Malm Oxfordien

Jurassique moyen

- 3 Callovien
- 2 Bathonien
- 1 Bajocien

Jurassique inférieur

■ 7-8 Lias supérieur (Toarcien - Aalénien)

■ 5-6 Lias moyen (Pliensbachien)

■ 2-4 Lias inférieur (Sinémurien - HetLangien)



Figure 6. Carte de l'implantation des forages par l'Andra dans la Vienne en 1994 (ANDRA (ed.), Recherches de sites pour l'implantation de laboratoires souterrains d'études géologiques. Résultats des travaux réalisés en 1994, 6 février 1995)

structures de la zone et ainsi de sélectionner une zone plus restreinte où elle peut envisager la construction d'un laboratoire souterrain. Cette zone située à l'Est du canton de Civray et sur le canton de Charroux fait l'objet d'une reconnaissance géologique par forages.

De septembre à décembre 1994, onze forages verticaux sont réalisés dans la formation granitique et la couverture sédimentaire. Leur profondeur est comprise entre 190 et 626 mètres²⁵¹. La localisation des forages est déterminée selon un maillage : la zone de reconnaissance est quadrillée suivant des mailles de 4 à 5 kilomètres de côté ; à chaque nœud entre les mailles, un forage est effectué (cf. *Figure 6* ci-dessous). La détermination de la taille des mailles et du nombre de forages dépend de la variabilité attendue de la formation géologique, estimée à partir des essais géophysiques²⁵². Il s'agit que les forages permettent d'obtenir une vue représentative de la formation granitique. Cependant, le nombre de forages doit être limité : il s'agit notamment de ne pas trop endommager la formation géologique en créant de nouvelles voies de circulation hydraulique. La taille des mailles et le nombre de forages sont ainsi le fruit d'un arbitrage entre la nécessité d'avoir une image de la variabilité des qualités du socle granitique et la volonté de ne pas trop endommager la roche.

1.2. UN PREMIER BILAN DES RECONNAISSANCES GÉOLOGIQUES

En février 1995, la direction de l'Andra rend un rapport aux ministres de tutelle de l'Agence dans lequel elle dresse un premier bilan des travaux effectués dans les quatre départements du Gard, de Haute-Marne, de Meuse et de la Vienne. Dans ce rapport, elle note que l'objectif des travaux effectués en 1994 consistait à vérifier les caractéristiques potentiellement favorables de la géologie de ces quatre départements²⁵³. Ce rapport pointe également que les reconnaissances géologiques de l'année 1994 ont permis de sélectionner des zones plus restreintes à l'intérieur des cantons retenus dans les quatre départements. Les études qui seront effectuées pour établir les dossiers de demande d'autorisation des laboratoires souterrains, dont le dépôt est prévu au milieu de l'année 1996, se focaliseront sur ces zones. Dans la Vienne, les reconnaissances géologiques sont dorénavant concentrées autour de la commune de La Chapelle-Bâton.

251 *Ibid.*

252 Groupe Permanent Déchets (ed.), *Compte rendu de la réunion du 3 octobre 1994*, Ministère de l'Industrie, 21 août 1995, p. 33.

253 Andra (ed.), *Recherches de sites pour l'implantation de laboratoires souterrains d'études géologiques.*, *op. cit.*

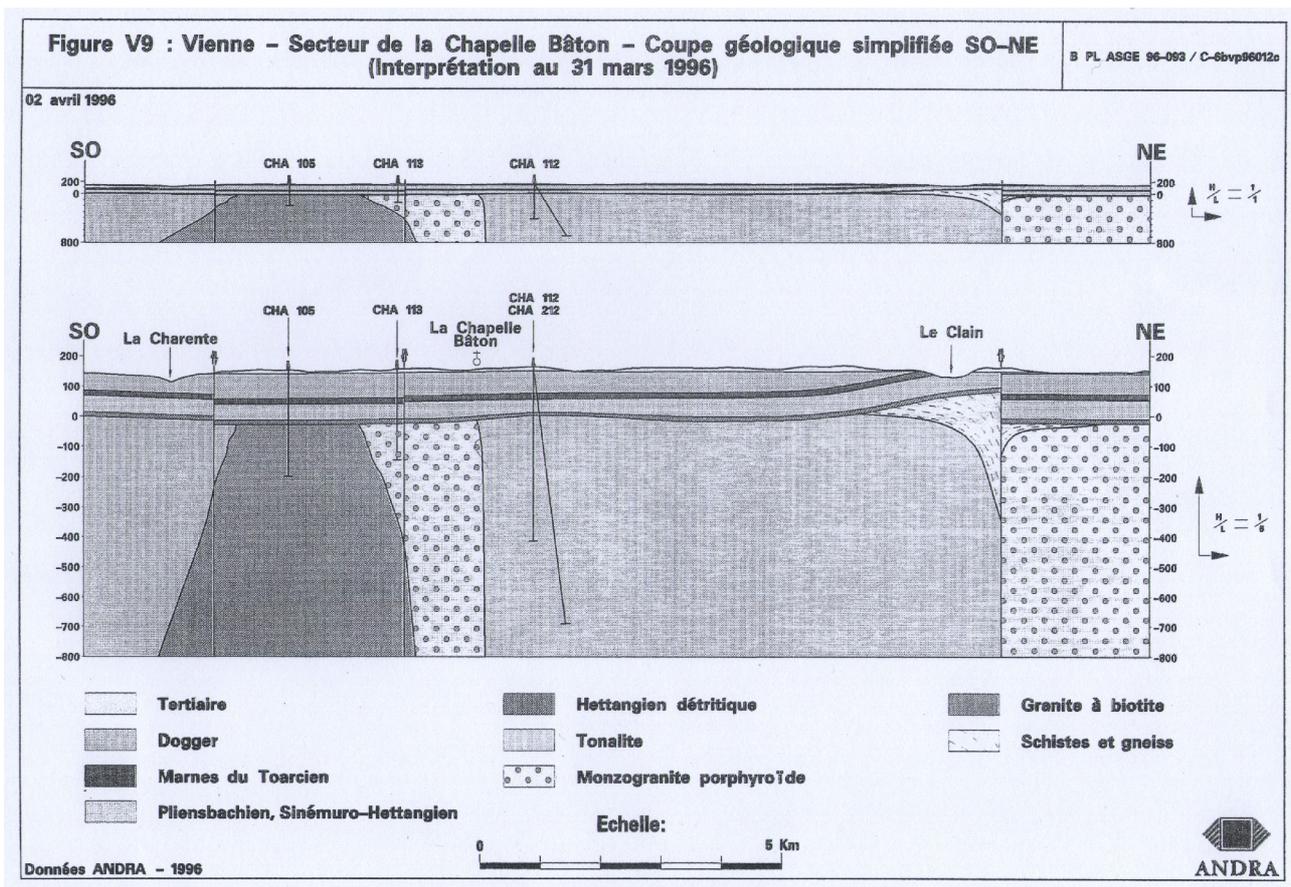


Figure 7. Coupe géologique simplifiée du secteur de La Chapelle-Bâton (ANDRA (ed.), Laboratoires souterrains d'études géologiques. Résultats des travaux de reconnaissance géologique. Janvier 1994 - mars 1996, 9 avril 1996)

I.2.1. CARACTÉRISATION DE LA COUVERTURE SÉDIMENTAIRE

Pour l'Andra, la connaissance de la formation sédimentaire située au dessus de la formation granitique a plusieurs intérêts. D'une part, les puits d'accès au laboratoire souterrain et à un hypothétique stockage traverseront cette formation. Il est important de connaître la tenue mécanique de la roche avant d'envisager y creuser des ouvrages. D'autre part, dans l'hypothèse où des radionucléides provenant d'un stockage se retrouveraient dans cette formation sédimentaire, il est nécessaire pour l'Andra de connaître l'hydrogéologie et les mécanismes de transfert dans cette roche.

Les géologues de l'Andra distinguent quatre couches dans la couverture sédimentaire : une faible épaisseur d'argile à silex d'âge tertiaire en surface, une couche calcaire de 90 mètres d'épaisseur datant du Jurassique moyen (Dogger), une couche marneuse de 20 mètres d'épaisseur datant du Jurassique inférieur (Toarcien) et une couche carbonatée composée de calcaire et de

dolomies du début du Jurassique d'environ 50 mètres d'épaisseur (Infra-Toarcien) (cf. *Figure 7* ci-dessous)²⁵⁴. Le Dogger et l'Infra-Toarcien sont deux formations aquifères : elles sont relativement poreuses et emmagasinent de l'eau. Il est possible d'y prélever de l'eau depuis un forage en surface.

En 1994, les géologues de l'Andra ont commencé à étudier l'hydrogéologie de la formation sédimentaire à partir de l'étude bibliographique du climat et de l'exploitation des cours d'eau. L'Agence a également entrepris d'inventorier les points de captage d'eau souterraine, leur débit, leur profondeur, la composition chimique de l'eau qui y est pompée... Les géologues de l'Andra ont référencé plus de 200 forages dans les nappes aquifères du Dogger et de l'Infra-Toarcien. Un seul forage pénètre de quelques mètres dans le socle granitique. Ces forages sont utilisés par des exploitations agricoles et des installations industrielles ainsi que pour la consommation d'eau potable. Autour de Charroux, la plupart de ces points d'eau ont un débit compris entre 20 m³ et 60 m³ par heure. La majorité des captages a lieu dans le Dogger, moins profond. Néanmoins, plusieurs projets de captage sont en cours dans l'aquifère de l'Infra-Toarcien, plus profond et juste au dessus du socle granitique. Moins pollué, la qualité de l'eau y est meilleure.

1.2.2. UNE SURPRISE ET DIFFÉRENTS TYPES DE GRANITE

Le granite carotté dans les onze forages n'est pas d'une grande homogénéité. Les géologues de l'Andra ont prélevé trois types de granite différents : des granodiorites, un leucogranite et un granite fin à biotite²⁵⁵. Ces granites ont des compositions minéralogiques différentes et la composition chimique des cristaux qui les composent varie également. Neuf forages ont permis de prélever des granodiorites. Ces granites sont relativement pauvres en quartz mais riches de minéraux contenant du fer et du magnésium. Les cristaux de feldspath des granodiorites sont particulièrement riches en calcium. Un seul forage a permis de reconnaître un leucogranite. Ce granite est riche en quartz et en silice. Les cristaux de feldspath qui le composent sont potassiques. La présence de ce leucogranite est « *responsable de l'anomalie gravimétrique négative qui repère le massif granitique de Charroux-Civray sous la couverture sédimentaire*²⁵⁶ ». Ainsi, seul ce leucogranite explique la présence de l'anomalie gravimétrique mesurée en surface : la nature de la formation granitique située sous la couverture sédimentaire s'est donc en grande partie révélée être

254 *Ibid.*

255 *Ibid.*

256 *Ibid.*

une surprise pour les géologues de l'Andra. Seul un forage sur les onze effectués en 1994 a montré l'existence d'un leucogranite dont la composition minéralogique explique l'existence de l'anomalie gravimétrique et a permis de sélectionner cette zone²⁵⁷.

1.2.3. FRACTURATION DU GRANITE

La caractérisation de la fracturation de la roche est l'une des principales difficultés de l'étude de la formation granitique. En effet, le granite est une roche dure et cassante. Si sa rigidité fait tout son intérêt pour le stockage géologique, sa faible plasticité et sa fracturation sous l'action de trop fortes contraintes sont au contraire problématiques. Du fait de la très faible plasticité du granite, les fractures ne se rétractent pas – comme c'est le cas dans l'argile par exemple. Ces fractures, si elles ne sont pas colmatées par d'autres minéraux, peuvent alors constituer des voies d'eau privilégiées dans la roche et elles pourraient entraîner des radionucléides vers la surface. Ainsi, l'étude des circulations hydrogéologiques dans le granite est intimement liée à celle de la fracturation de la roche. L'eau est alors identifiée comme le principal vecteur de la migration des radionucléides. Ainsi, pour reprendre les mots du président de l'Andra de l'époque, Maurice Allègre : « *Le problème majeur est celui de la circulation des eaux souterraines : l'eau c'est l'ennemi*²⁵⁸. »

Une partie du rapport que l'Andra rend au gouvernement en février 1995 est consacrée à la caractérisation des fissures et des fractures observées sur les carottes prélevées dans le massif de Charroux-Civray. L'étude de la densité de la fracturation du granite est différenciée en fonction de l'épaisseur des fractures. Le terme de fracture est utilisé de manière générique toutefois le rapport au gouvernement de février 1995 précise :

« De nombreux termes sont utilisés pour décrire les fractures en fonction de leur importance et de leur signification géologique. Les fissures de petites épaisseur (millimétrique) : les termes de "joint" et de "diacalse" sont également utilisés. Quand il y a déplacement (rejet) de la roche granitique de part et d'autre de la fracture, on parle de "faille"²⁵⁹. »

Les géologues de l'Andra ont effectué un relevé exhaustif des fractures sur les carottes de deux forages, CHA 103 et CHA 106. Les histogrammes obtenus montrent que la majorité des fractures ont une épaisseur qui ne dépasse pas le millimètre. La densité de ces fissures est de l'ordre de 15 à 20 tous les 5 mètres de carotte avec quelques tronçons sur lesquels il est relevé jusqu'à 50

257 Groupe Permanent Déchets (ed.), *Compte rendu de la réunion du 3 octobre 1994*, op. cit., p. 29.

258 M. Allègre, *Présentation du rapport CNE aux acteurs de la loi le 29 juin 1995*, op. cit.

Maurice Allègre préside l'Andra entre 1993 et 1998 après une carrière de haut fonctionnaire. Il dirige notamment l'Institut Français du Pétrole entre 1976 et 1981 puis le BRGM entre 1988 et 1992.

259 Andra (ed.), *Recherches de sites pour l'implantation de laboratoires souterrains d'études géologiques.*, op. cit.

fractures pour CHA 103. Pour CHA 106, cette densité de fracturation est généralement comprise entre 20 et 25 fractures par tronçon de 5 mètres. Sur CHA 106, « 68 % des épaisseurs de fractures sont inférieures ou égales au millimètre (ce sont des fissures) et 96 % sont inférieures ou égales au centimètre : 0,5 % dépassent 4 centimètres et correspondent probablement à des zones de failles²⁶⁰ ».

L'éventuel colmatage des fissures et des fractures par des matériaux argileux intéresse fortement les géologues de l'Andra. Ce colmatage des fractures dépend de la minéralogie et de la composition chimique des minéraux du granite. Dans les granodiorites qui représentent la majeure partie des granites rencontrés dans les forages, les fissures observées sur les carottes sont généralement colmatées par des carbonates et des minéraux argileux. Le colmatage des fractures est issu de l'altération ancienne des minéraux qui composent ces granodiorites²⁶¹.

1.3. CHOISIR UN SECTEUR OÙ IMPLANTER UN LABORATOIRE

Au premier semestre 1995, une nouvelle série de forages est programmée à l'Est de La Chapelle-Bâton. Ces forages sont davantage resserrés que ceux effectués en 1994. Ils sont destinés à mieux évaluer l'extension de la formation granodioritique observée dans les forages CHA 103 et CHA 106 ainsi qu'à approfondir la connaissance de la fracturation de la roche et des matériaux qui colmatent les fractures. Les géologues de l'Andra envisagent également de poursuivre l'étude de l'hydrogéologie locale notamment par des tests hydrogéologiques dans le socle granodioritique et dans l'aquifère de l'Infra-Toarcien.

Les géologues de l'Andra stoppent leur travaux sur le terrain au printemps 1996, lorsque la direction de l'Agence dépose trois dossiers de Demande d'Autorisation de l'Implantation et de d'Exploitation (DAIE) pour trois laboratoires dans le Gard, dans la Vienne et dans l'Est, à la limite entre les départements de la Meuse et de la Haute-Marne. Le 9 avril 1996, l'Agence publie un bilan des reconnaissances géologiques effectuées entre janvier 1994 et mars 1996²⁶². Ce rapport souligne que ces reconnaissances ont été réalisées avec des techniques de prospection usuelles et qu'elles

260 *Ibid.*

261 *Ibid.*

262 Andra (ed.), *Laboratoires souterrains d'études géologiques. Résultats des travaux de reconnaissance géologique. Janvier 1994 - mars 1996*, 9 avril 1996.

n'ont pas mis à jour d'éléments rédhibitoires à l'implantation éventuelle d'un stockage ni dans l'Est, ni dans le Gard, ni dans la Vienne. De plus, ces reconnaissances ont permis de sélectionner des zones où implanter des laboratoires souterrains²⁶³.

L'introduction de ce rapport mentionne par ailleurs que la géologie du site de l'Est est particulièrement simple et que ce site est donc particulièrement propice à l'accueil d'un laboratoire souterrain. Dans le Gard et la Vienne, dont les structures géologiques sont plus complexes, le rapport de l'Andra défend que seule la construction de laboratoires souterrains permettra un « *saut de connaissance* » à même de faire progresser la caractérisation de ces sites²⁶⁴.

I.4. MODÉLISATION HYDROGÉOLOGIQUE ET REPRÉSENTATIVITÉ DES OBSERVATIONS

I.4.1. FRACTURATION ET CIRCULATIONS HYDROGÉOLOGIQUES

Les études hydrogéologiques occupent une place particulièrement importante dans les travaux des géologues de l'Andra en 1995. Plusieurs forages sont implantés spécifiquement pour ces études et équipés de capteurs piézométriques²⁶⁵. Une série de prélèvements d'eau souterraine est également réalisée. Ces prélèvements ont lieu dans les forages, entre des obturateurs, afin de recueillir l'eau présente à une profondeur donnée²⁶⁶. Pour les géologues de l'Andra, l'objectif de ces travaux est notamment de montrer l'absence de circulation hydrogéologique entre les fractures du granite et les aquifères de la couverture sédimentaire.

Parallèlement aux observations des carottes, aux prélèvements hydrogéologiques et aux essais géophysiques, les géologues de l'Andra ont cherché à établir un modèle conceptuel des écoulements hydrogéologiques en profondeur. La modélisation hydrogéologique doit permettre d'évaluer la dynamique des circulations aqueuses dans la roche. Dans le rapport de l'Andra de 1996, la partie consacrée à ce sujet est moins assurée que les autres²⁶⁷.

Pour les géologues de l'Andra, seules les failles importantes, de longueur hectométrique ou plurihectométrique, ont un rôle hydraulique. Les petites fractures métriques sont colmatées par de l'argile et ne jouent donc, *a priori*, pas de rôle hydraulique significatif. Les grandes failles

263 *Ibid.*, p. 2.

264 *Ibid.*, pp. 2-3.

265 *Ibid.*, p. 62.

266 *Ibid.*, pp. 62-63.

267 *Ibid.*, p. 70.

kilométriques sont facilement repérables dans le relief et l'implantation du laboratoire souterrain est prévue à bonne distance d'elles. Les failles d'extension hectométrique ou plurihectométrique sont, elles, plus difficiles à prendre en compte : elles ne se voient pas en surface à cause de la couverture sédimentaire mais les forages effectués ont révélé des failles qui pourraient être de longueur hectométrique tous les 150 m à 200 m de carotte.

La géométrie de ces fractures est un élément particulièrement important pour évaluer la perméabilité globale de la formation granitique. En particulier, la connectivité potentielle de ces fractures hectométriques peut avoir un rôle déterminant dans les circulations hydrauliques en profondeur. Pour les géologues de l'Andra, les mesures de charges hydrauliques et les chroniques de mesures piézométriques indiquent qu'il n'y a pas de circulation hydrogéologique entre le granite et les aquifères de la couverture sédimentaire²⁶⁸. En 1996, cette conclusion doit toutefois être encore confirmée. Cependant, l'étude de la composition chimique de l'eau souterraine appuie le modèle de l'Andra d'un écoulement hydrogéologique lent et limité dans le granite. De plus, la composition isotopique de l'eau présente dans le granite est différente de celle des aquifères de la couverture sédimentaire.

1.4.2. ÉVALUER LA PERMÉABILITÉ D'UN GRANITE

En décembre 1995, un hydrogéologue de l'Andra, Gérard Guri, adresse une note à Nasser Hoteit, directeur du service de géomécanique au sein de la direction scientifique de l'Andra²⁶⁹. Dans celle-ci, il livre quelques réflexions sur la modélisation de la conductivité hydraulique dans les granites. Il me semble intéressant de détailler quelque peu le contenu de cette note afin d'entrevoir la forme de savoir mobilisé par les équipes de recherches de l'Andra pour appréhender cette problématique. Cette note n'a pas de cote ni le format des documents de l'Agence. Je n'ai trouvé aucune citation d'elle dans les archives de l'Andra. Néanmoins, elle est très didactique et montre assez bien d'une part les difficultés de l'étude des circulations hydrogéologiques dans une formation fracturée et d'autre part l'exigence du travail de modélisation pour fournir un savoir opérationnel, cohérent avec la physique des situations idéales.

268 *Ibid.*, p. 76.

269 Gérard Guri, *Granite. Conductivité hydraulique - Volume élémentaire représentatif. Quelques réflexions*, Andra, 5 décembre 1995.

La note de G. Guri débute par cette mise en garde :

« *La modélisation de l'écoulement en eau dans un réseau de fractures en milieu granitique ou cristallin pose problème, encore à ce jour. Faute de mieux, on utilise fréquemment la loi cubique pour évaluer la vitesse du fluide ou le débit à travers les fractures du réseau. À défaut d'être correct, on espère ne pas se situer trop loin de la réalité ; cette dernière n'étant pas trop souvent bien cernée, on peut se permettre d'avoir l'esprit à peu près tranquille*²⁷⁰ ... »

Ainsi, lorsque G. Guri entreprend de modéliser les circulations hydrogéologiques dans les fractures du granite, il s'attaque à un problème pour lequel aucune solution unanimement partagée n'existe. De plus, sa remarque rappelle que la modélisation est une représentation de la réalité. Celle-ci s'appuie sur une loi, la loi cubique, qui *a priori* n'est pas entièrement adaptée au traitement du problème en question mais qui est utilisée « *faute de mieux* ». La loi cubique en question permet de calculer la conductivité hydraulique dans une situation théorique et idéale : une fracture plane dans un bloc de roche. Dans ce cas, le débit hydraulique dans la fracture est proportionnel au cube de son épaisseur²⁷¹. La remarque de G. Guri précise également que la qualité d'un modèle s'évalue en fonction de sa représentativité par rapport à une situation réelle. Néanmoins, le géologue de l'Andra précise que la caractérisation des situations réelles est délicate : toute représentation est une simplification de la réalité.

Pour G. Guri, si la modélisation des écoulements dans une formation géologique poreuse est quelque chose de bien connue, dans un milieu fracturé, il en est tout autrement. Dans un milieu poreux, la perméabilité est étudiée grâce à la définition d'un volume élémentaire représentatif (VER). Ce VER est défini de telle manière que tout volume plus grand que celui-ci ait une perméabilité moyenne égale à la perméabilité moyenne du volume élémentaire. La définition d'un VER permet ainsi d'appréhender la perméabilité d'un volume rocheux de grande taille à partir d'une mesure de la perméabilité d'un volume bien moins grand, appréhendable par des instruments de mesure.

G. Guri propose d'adapter cette méthode aux milieux fracturés. Dans ces milieux, la définition d'un VER est généralement sans intérêt car il s'avère souvent que ce volume soit si grand qu'il ne soit pas possible de mesurer expérimentalement sa perméabilité. Cette technique perd alors toute son opérabilité, et donc tout son intérêt.

²⁷⁰ *Ibid.*, p. 1.

²⁷¹ *Ibid.*

Pour contourner ce problème, G. Guri débute sa note en proposant d'étudier la conductivité hydraulique d'un milieu fracturé dans le cas hypothétique d'un bloc de roche parallélépipédique traversé par une fracture parallèle à sa longueur. G. Guri base son développement sur une expression « classique », la loi de Darcy, qui donne une expression de la conductivité hydraulique (K) en fonction de la vitesse du débit de l'eau (U) et du gradient hydraulique (i) : $U = K.i$. Néanmoins, dans un milieu fracturé, le gradient hydraulique varie en fonction de la taille du bloc de roche considéré. Dès lors, il n'est plus possible d'utiliser un VER puisque le gradient hydraulique différera en fonction du volume de roche. L'analyse de G. Guri se base alors sur l'utilisation de l'analyse dimensionnelle. Il nous dit :

*« Le théorème de Vaschy-Buckingham utilisé en Analyse Dimensionnelle, permet alors de déterminer **la forme – physiquement acceptable – la plus simple**, liant, en toute généralité, les paramètres l [longueur de la fracture], L [longueur du bloc], et e [échelle d'étude de la formation géologique] entre eux, cette forme respecte les "dimensions physiques"²⁷². »*

L'analyse dimensionnelle permet ainsi de sélectionner une solution d'un système d'équations parmi l'infinité de solutions qui existent. Ce théorème de Vaschy-Buckingham permet d'obtenir une solution simple et physiquement acceptable. L'existence d'autres solutions n'est pas problématique : il importe avant tout à G. Guri de disposer d'une seule solution. Celle obtenue grâce à l'analyse dimensionnelle a l'avantage d'être simple et elle lui convient.

L'expression à laquelle abouti G. Guri ne dépend pas de la géométrie de la fracture dans le bloc mais uniquement de grandeurs observables à la surface de l'échantillon. Cependant, l'expression de la conductivité qu'il détermine pour un échantillon est malheureusement sans lien avec la conductivité globale de la formation géologique. Une transformation des variables et quelques hypothèses simplificatrices sur la géométrie de la fracture et du bloc de roche lui permettent toutefois d'arriver à une expression de la conductivité en fonction de l'échelle d'observation, et de grandeurs qui dépendent de paramètres mesurables sur son échantillon.

272 *Ibid.*, p. 4. Les passages en gras le sont dans le texte.

Cette expression prend une forme qui permet de retrouver l'expression théorique idéale dans certaines conditions. Cette approche permet d'étudier un bloc de roche fracturé sans connaître sa fracturation interne et en se concentrant sur les paramètres observables à sa surface :

« Faute de mieux, on observe des éléments "extérieurs" (à la surface) de l'objet auquel on s'intéresse, et, tout en ignorant, en partie, les structures internes, on souhaite formaliser, autant que faire se peut, le ou les phénomènes étudiés (sous la forme la plus proche possible d'une formulation classique déjà connue pour un cas simple idéal)²⁷³. »

Une fois trouvée l'expression de la conductivité du granite pour une fracture traversant un bloc en fonction de la taille du bloc, G. Guri entreprend d'étudier la conductivité d'une « *famille de fractures plus ou moins parallèles* » et normales à la surface à travers laquelle la conductivité est mesurée²⁷⁴.

L'entreprise de G. Guri consiste donc à proposer une méthode pour connaître la perméabilité du granite à partir de grandeurs mesurables à la surface du bloc de roche étudié. Son travail ne cherche pas à représenter la fracturation du granite, ni à comprendre mieux les mécanismes de fracturation, mais à trouver une expression d'une caractéristique du granite fracturé, sa conductivité, en fonction de grandeurs mesurables. Le cheminement du raisonnement présenté ici consiste à redéfinir constamment les variables du problème et à accumuler des hypothèses sur la géométrie du bloc étudié jusqu'à obtenir une formulation qui le satisfasse. La forme mathématique des expressions est toujours assez simple.

L'opérabilité du développement guide ce travail : G. Guri cherche ainsi constamment à exprimer la conductivité de la roche en fonction de grandeurs mesurables expérimentalement par des méthodes non destructrices. Ainsi, les représentations proposées sont modelées par la volonté de produire un savoir opérationnel qui soit en accord avec la physique des modèles idéaux. Alors que les développements théoriques donnent un système d'équations dont le nombre de solutions mathématiques est infini, l'analyse dimensionnelle permet à G. Guri de choisir une solution, dont la forme est simple et qui soit physiquement acceptable. Tout le long de sa note, G. Guri s'interroge réflexivement tant sur l'opérabilité de son développement que sur le fondement théorique sur lequel il s'appuie :

273 *Ibid.*, p. 5.

274 *Ibid.*, p. 8.

« En toute rigueur, on doit aussi se poser la question de la validité de la loi cubique, point de départ de notre raisonnement pour la généralisation effectuée concernant une fracture réelle, c'est-à-dire tortueuse. Il faudrait en principe, partir des équations de Navier-Stokes, et redérouler l'ensemble des raisonnements et approximations. Il est probable que le résultat obtenu serait identique à ce qui est présenté ici, ou du moins très proche et... équivalent²⁷⁵ ».

L'opérabilité est également aussi un objet d'interrogation, notamment pour savoir si l'analyse effectuée pour un bloc peut bien permettre de dire quelque chose sur les qualités d'une formation géologique. Ainsi, la note se conclut sur cette interrogation :

« On peut cependant se poser la question : est-il possible d'homogénéiser, même dans le cas général, lorsque la moyenne cherchée dépend non seulement du volume (taille) rocheux considéré, mais aussi de sa position, de son orientation, et éventuellement de sa forme ? La réponse est, semble-t-il, affirmative, mais la tâche bien plus délicate et complexe, et le résultat pas forcément opérationnel²⁷⁶. »

Il n'est ainsi pas certain que le développement proposé par G. Guri permette d'appréhender la perméabilité d'un massif tel que celui que les géologues de l'Andra étudient dans la Vienne. Un dernier point est particulièrement important dans cette note : la référence bibliographique qui y est citée à plusieurs reprises est un ouvrage de 1981 de Ghislain de Marsily, membre influent de la CNE et du Groupe Permanent Déchets (cf. parties II et III de ce chapitre).

²⁷⁵ *Ibid.*, p. 7.

Les équations de Navier-Stokes constituent une base pour la mécanique des fluides. Dans ce domaine, elles ont le même statut que les équations de Newton en mécanique ou les équations de Maxwell en électromagnétisme.

²⁷⁶ *Ibid.*, p. 11.

CONCLUSION PARTIELLE

L'eau est le principal vecteur de la migration des radionucléides vers la surface et l'hydrogéologie du site de la Vienne est particulièrement complexe. Le travail de reconnaissance géologique vise à acquérir une certaine connaissance de la roche et des circulations hydrogéologiques. Il s'agit ainsi de disposer de représentations du sous-sol qui permettent de sélectionner la zone la plus favorable à l'implantation éventuelle d'un stockage et d'évaluer le comportement de l'ennemi : l'eau.

Lorsque les géologues de l'Andra commencent à s'intéresser à la géologie du sous-sol de la Vienne, tout est à faire : la roche qu'ils découvrent ne correspond pas à ce à quoi ils pouvaient s'attendre avant d'observer les carottes. L'étude de la roche est destinée à évaluer de la possibilité d'y implanter un stockage. Néanmoins, à ce moment, il s'agit avant tout de vérifier qu'aucun élément rédhibitoire à l'implantation d'un stockage ne soit repérable depuis la surface. Ainsi, l'objectif de ces travaux de reconnaissance n'est pas d'évaluer si les qualités de la roche conviennent à l'implantation d'un stockage mais de s'assurer qu'il n'y a pas d'élément qui exclurait de pouvoir y implanter un tel ouvrage. Les géologues de l'Andra ne cherchent donc pas à apporter la preuve qu'un stockage puisse être construit mais à montrer qu'aucun élément empêche de pouvoir espérer construire un stockage. Avant que les reconnaissances géologiques ne commencent, il n'y a rien qui exclut *a priori* qu'il puisse être construit un stockage dans la Vienne. Le CEA a étudié le stockage dans le granite durant les années 1980 et le stockage de déchets nucléaires dans des granites est envisagé en Suède et en Finlande.

Dans le travail des géologues de l'Andra, l'observation directe jouit d'une vertu épistémique bien plus importante que les mesures géophysiques. Cependant, l'existence d'une couverture sédimentaire surplombant la formation granitique et le caractère chaotique de la fracturation du granite nuisent à l'observation de la formation granitique. L'extrapolation des observations faites sur les carottes pour la caractérisation du massif est ainsi dépendante de la construction de modèles. Toutefois, l'opérabilité de modèles suffisamment fidèles à la réalité et manipulant des grandeurs mesurables expérimentalement n'est alors pas acquise.

II. PREMIÈRE ÉVALUATION DU TRAVAIL DE L'ANDRA ET PREMIÈRES CRITIQUES

II.1. IMPORTANCE DE L'ÉVALUATION

Le 10 avril 1996, la Direction de la Sûreté des Installations Nucléaires (DSIN) émet un avis favorable au dépôt par l'Andra de trois dossiers de Demande d'Autorisation d'Implantation et d'Exploitation (DAIE) pour trois laboratoires souterrains dans l'Est, le Gard et la Vienne. Suite à cet avis, le Conseil des ministres autorise l'Andra à déposer ces dossiers de DAIE le 13 mai 1996. Après la publication du bilan des travaux effectués dans l'Est, le Gard et la Vienne, les géologues de l'Agence arrêtent le travail de terrain sur ces sites le temps de l'instruction des demandes d'autorisation des laboratoires.

Durant les dix-huit mois lors desquels les géologues de l'Andra ont travaillé à caractériser la géologie de la Meuse, de Haute-Marne, du Gard et de la Vienne, les groupes d'experts chargés de l'évaluation du travail de l'Agence, la Commission Nationale d'Évaluation (CNE) et le Groupe Permanent Déchets (GPD), se sont peu exprimés sur ces travaux. La CNE a débuté son activité à l'automne 1994 et a rendu son premier rapport en juin 1995²⁷⁷. Celui-ci dresse un panorama très général de la gestion des déchets radioactifs sans aborder précisément les travaux de reconnaissance géologique effectués alors par l'Andra.

L'évaluation des recherches effectuées dans le cadre de la loi Bataille de 1991 joue cependant un rôle central dans la transformation du gouvernement de l'aval du cycle nucléaire engagée avec cette loi et la direction de l'Andra y apporte une grande attention (cf. chapitre 1). Les premières rencontres de l'Andra avec ses évaluateurs sont particulièrement délicates. L'Andra a fortement recruté au début des années 1990 et la grande majorité des géologues de l'Agence ne travaillaient pas sur l'évacuation géologique des déchets nucléaires auparavant. Autant à la CNE qu'au Groupe Permanent Déchets siègent des scientifiques qui ont une plus vieille familiarité avec les questions liées au stockage que les géologues de l'Andra. Ainsi, par exemple, l'hydrogéologue Ghislain de Marsily qui siège à la CNE et au GPD collabore déjà à des projets de recherche européens sur l'évacuation géologique des déchets nucléaires durant les années 1980.

²⁷⁷ Commission Nationale d'Évaluation (ed.), *Rapport d'évaluation n° 1*, op. cit.

II.1.1. LA PRÉPARATION DE LA RÉUNION DU GROUPE PERMANENT

Avant le dépôt par l'Andra des dossiers de demande d'autorisation des laboratoires souterrains, le Groupe Permanent Déchets s'est penché, en février 1996, sur les résultats des travaux effectués par l'Agence. Le Groupe Permanent a émis une série de recommandations sur les éléments à apporter pour les demandes d'implantation des laboratoires, ainsi que sur les recherches qui y seront effectuées. Avant cette réunion, plusieurs membres du Département d'Évaluation de Sûreté (DES) de l'IPSN ont produit un rapport (DES n° 265) dans lequel ils et elles analysent les qualités des sites proposés pour l'implantation de laboratoires souterrains en fonction des critères établis dans la Règle Fondamentale de Sûreté III.2.f de 1991²⁷⁸. Ce rapport a été écrit à partir de la correspondance entre l'IPSN et l'Andra échangée entre 1994 et 1996 et des rapports de synthèse sur chacun des trois sites transmis par l'Andra. L'Agence a également communiqué à l'IPSN des notes sur les possibilités d'implantation d'un laboratoire souterrain, les possibilités de modélisation des sites et le caractère maîtrisable des risques associés à des stockages sur chacun des trois sites. Elle a aussi fourni un ensemble de rapports techniques (44 rapports techniques pour le site de l'Est, 40 pour le Gard et 35 pour la Vienne)²⁷⁹.

Planifiée initialement en octobre 1995, la réunion du GPD dédiée aux avis sur le choix des sites a été repoussée en février 1996, suite à une demande de l'Andra en mai 1995, afin d'intégrer les données acquises durant le premier semestre 1995²⁸⁰. La direction de l'Andra doit solliciter l'autorisation de déposer les dossiers de DAIE en mars 1996. Par ailleurs, la rédaction du rapport DES n° 265 de l'IPSN a été compliquée par le retard avec lequel l'Andra a rendu à l'Institut les rapports sur les connaissances des sites dont elle dispose²⁸¹. Prévus en septembre 1995, la remise des documents par l'Andra a eu lieu le 31 octobre pour le site de l'Est, le 8 décembre pour le site du Gard et le 13 décembre pour la Vienne²⁸². Les rapports techniques pour chacun des sites sont arrivés plus tard, suite à une demande officielle de l'IPSN²⁸³.

278 F. Cuisiat, F. Lemeille, P.L. Blanc, T. Granier et J.C. Gros, *Avis de l'Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire sur le bilan des travaux de reconnaissance à mi-1995 en vue de l'implantation de laboratoires souterrains dans les départements de la Haute-Marne et de la Meuse, du Gard et de la Vienne. Document présenté devant le groupe permanent chargé des installations destinées au stockage à long terme des déchets radioactifs les 26 et 27 février 1996*, CEA/IPSN, Département d'Évaluation de Sûreté, 1996.

279 *Ibid.*

280 *Ibid.*

281 *Ibid.*

282 *Ibid.*

283 *Ibid.*

Pour les trois sites proposés, le rapport de l'IPSN se penche sur la caractérisation des discontinuités tectoniques locales, les qualités de la formation géologique hôte et le contexte géologique local et régional dans lequel celle-ci s'insère. La stabilité géologique vis-à-vis des phénomènes externes, les concepts de stockage, la faisabilité des travaux miniers, l'adaptation du site à la réversibilité ainsi que les résultats des pré-études de sûreté sont également pris en compte²⁸⁴. Dans leur rapport, les salarié.es de l'IPSN ont formulé des conclusions pour chaque site ainsi que des recommandations pour la poursuite des travaux. Ces conclusions et ces recommandations prennent la forme d'un avis du Groupe Permanent dont la première version est établie par les salarié.es de l'IPSN. Chaque recommandation ainsi que l'avis général sont discutés lors de la réunion prévue les 26 et 27 février 1996.

Afin de préparer les interventions de l'Andra lors de cette réunion du Groupe Permanent, plusieurs réunions de travail sont prévues soit avec l'IPSN soit en interne à l'Andra. Lors de la première réunion en février 1996, interne à l'Agence, les participant.es notent que « *le labo Vienne est nécessaire pour montrer que les hypothèses faites a priori sont justifiées. Le besoin de démonstration est plus fort que dans les sites argile, notamment l'Est*²⁸⁵ ». Le laboratoire souterrain doit notamment permettre de vérifier la possibilité d'appréhender l'hydrogéologie du granite par une représentation de cette roche fracturée comme un milieu poreux : il s'agit, pour les géologues de l'Andra, de montrer que le granite de la Vienne est « *suffisamment homogène pour justifier le milieux poreux équivalent, qui semble le seul [modèle] à être convaincant à terme*²⁸⁶ ». Ainsi, à ce moment, les géologues de l'Agence ont renoncé à l'idée de modéliser les écoulements hydrogéologiques à travers les fractures du granite comme l'entreprenait G. Guri dans la note détaillée précédemment. L'étude du granite dans le laboratoire souterrain est alors considérée comme nécessaire pour confirmer la possibilité d'utiliser une telle représentation homogène du granite dans les études de la sûreté d'un hypothétique stockage. La construction d'un laboratoire souterrain dans la Vienne est justifiée par la plus grande complexité de ce site et le besoin d'un effort de recherche plus important sur ce site pour le caractériser. Pour les géologues de l'Andra, la complexité de la géologie du sous-sol de la Vienne n'exclut pas d'envisager y implanter un stockage.

284 *Ibid.*

285 Pablo Thorner, *Compte-rendu de la première réunion de préparation au GP*, Andra, 5 février 1996, p. 3.

286 *Ibid.*

II.1.2. PRUDENCE SUR LA CARACTÉRISATION DE L'HYDROGÉOLOGIE DE LA VIENNE

Lors de la réunion du Groupe Permanent, la discussion sur le site de la Vienne débute à la fin de la journée du 26 février. Les réponses du géologue de l'Andra responsable des reconnaissances dans la Vienne, Bernard Mouroux, aux questions qui lui sont posées sur la fracturation du granite et l'hydrogéologie du site se veulent prudentes. Il précise ainsi que les résultats présentés à partir des mesures effectuées conduisent les géologues de l'Andra à faire l'hypothèse que l'écoulement hydrogéologique est très lent en profondeur. Cette hypothèse doit cependant être considérée avec précaution car les mesures effectuées n'ont pas encore fait l'objet d'une interprétation approfondie²⁸⁷. Sur le verbatim de l'audition, on peut lire :

« M. Mouroux précise que les fractures observées dans le granite sont pour l'essentiel inférieures à 5 mm ; il est difficile de penser que de telles fractures puissent être associées à une fracturation hectométrique. Les fracturations plus importantes, qui donnent lieu à quelques venues d'eau, sont peu nombreuses dans les forages ; l'Andra leur attribue une extension plurihectométrique à laquelle peut être associée une certaine connectivité avec les autres fractures dans le massif²⁸⁸. »

Il est intéressant de noter ici la précaution avec laquelle B. Mouroux défend son hypothèse sur les circulations hydrogéologiques qui repose alors avant tout sur un jugement de « bon sens » (« il est difficile de penser », « l'Andra leur attribue »). Hormis pour les quelques grandes failles régionales, la connaissance de la fracturation du granite dont dispose l'Andra provient principalement de l'observation des carottes rocheuses. Cette précaution interprétative du géologue de l'Andra est notamment due aux difficultés induites par l'extrapolation d'informations ponctuelles, issues de forages séparés de plusieurs centaines de mètres, à une représentation continue de la fracturation du massif. Les géologues de l'Agence ont connaissance des venues d'eau dans les forages et ils observent les fracturations plus ou moins épaisses du granite sur les carottes. Ils attribuent alors l'existence des circulations hydrauliques à la connectivité des fractures les plus larges sans pouvoir absolument exclure que les fractures plus étroites n'aient pas une longueur hectométrique ni une activité hydraulique.

287 Groupe Permanent Déchets (ed.), *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. 18 (séance du 26 février).

288 *Ibid.*

II.1.3. OPTIMISER LE PROGRAMME DE RECHERCHE DANS LE LABORATOIRE SOUTERRAIN

Durant la réunion du Groupe Permanent, M. Lemeille (IPSN) présente une analyse des documents fournis par l'Andra²⁸⁹. La discussion s'engage autour des recommandations faites par l'IPSN à l'Andra pour la suite du programme de recherche. La première intervention du géologue du BRGM, membre du Groupe Permanent, Albert Autran, est à mon avis significative des enjeux placés dans la reconnaissance géologique préalable à l'implantation d'un laboratoire souterrain dans la Vienne :

« Au stade présenté de l'exploration du site il y a encore beaucoup trop de flou sur la discrimination des accidents tectoniques plurihectométriques que suggèrent les données magnétiques, par rapport aux contacts de nature intrusive entre les ensembles granitoïdes en jeu. Le futur laboratoire souterrain permettra bien sûr d'améliorer le "calage" local des "modèles d'organisation litho-tectonique" des roches du site proposé. Cependant pour donner dès à présent un avis favorable pour s'engager dans cette nouvelle phase d'exploration, avec les investissements considérables qu'elle entraîne, il paraît nécessaire que l'Andra présente une exploitation exhaustive avec une approche quantitative, des données physiques déjà acquises sur la région. Le but est de définir correctement les hypothèses les plus probables et la localisation des secteurs précis où les modèles d'organisation créés par cette exploitation pourraient être testés par un accès direct en vue de valider leur efficacité prédictive²⁹⁰. »

Tout d'abord, le laboratoire souterrain dans la Vienne se fera et l'éventualité de sa construction n'est pas un objet de débat. Cette réunion du Groupe Permanent est destinée à évaluer les qualités des sites par rapport aux critères de la RFS. La décision sur l'implantation des laboratoires souterrains est laissée au gouvernement. Toutefois, dans l'intervention de A. Autran, il ne fait alors pas de doute qu'un laboratoire souterrain sera construit dans la Vienne. De plus, pour A. Autran, l'évaluation du programme de recherche se fait au regard de l'investissement que représente la construction d'un laboratoire souterrain. Ainsi, le programme de recherche de l'Andra doit être optimisé pour acquérir les meilleures connaissances possibles sur la géologie du granite car l'implantation d'un tel laboratoire a un coût important. A. Autran recommande dès lors d'exploiter au maximum les données acquises depuis la surface afin de construire le laboratoire de telle manière qu'il permette de lever des incertitudes qui nécessitent une observation directe de la roche en profondeur. Les recommandations formulées par l'IPSN doivent permettre d'améliorer le processus d'implantation des laboratoires. Lors de cette réunion, les membres de l'IPSN ne formulent aucune

289 *Ibid.*, p. 21 (séance du 26 février).

290 *Ibid.*, p. 22 (séance du 26 février).

demande qui bloquerait le processus d'implantation des laboratoires tant qu'elle n'est pas satisfaite. L'énoncé de recommandations fournit des guides à l'Andra pour la poursuite de son travail – qui doit de toute façon se poursuivre. L'IPSN accompagne le travail de l'Andra en cherchant à le bonifier.

II.2. UN DÉSACCORD SUR LES QUALITÉS DU GRANITE DE LA VIENNE

II.2.1. LA PERMÉABILITÉ DU GRANITE EST-ELLE FAIBLE ?

La caractérisation hydrogéologique du site de la Vienne est discutée durant la réunion du Groupe Permanent. L'adjoint au chef du département Sûreté et Protection de l'Environnement de l'Andra, Philippe Raimbault, précise que des calculs préliminaires ont été effectués sur le temps de transfert entre l'eau interstitielle des fractures du granite et l'aquifère supérieur : celui-ci serait de l'ordre de la centaine de milliers d'années.

Yves Gros (BRGM) apporte des précisions sur la fracturation du granite :

« M. Yves Gros ajoute qu'il est possible d'affirmer que, dans la zone retenue par l'Andra, la densité de fracturation correspond au plus à 4 fractures par mètre et que la plupart de celles-ci sont de faibles épaisseurs (90 % ont une épaisseur inférieure à 5 mm). Il est exact qu'il est difficile de préciser la connectivité mais les géologues retiennent à ce sujet des règles empiriques selon lesquelles des fractures de moins de 1 cm d'épaisseur ont une continuité d'ordre métrique²⁹¹. »

Dans cette intervention, Y. Gros, géologue du BRGM, sous-traitant de l'Andra, précise le fondement de la conclusion de l'Andra sur la connectivité des fractures. À partir des observations ponctuelles, l'épaisseur des fractures est corrélée avec leurs longueurs grâce à une loi empirique. L'histoire de la formation du socle granitique renforce la confiance dans cette loi : la plupart des fractures de faible épaisseur se seraient formées au moment du refroidissement magmatique du granite²⁹². La roche se serait ainsi peu fracturée depuis son refroidissement.

²⁹¹ *Ibid.*, p. 32 (séance du 26 février).

²⁹² *Ibid.*

M. Vandenbeusch (BRGM) précise ensuite la méthode utilisée pour mesurer la venue d'eau dans les forages. Des tests par pompage ou « *pulse test* » ont été effectués après que les venues d'eau aient été localisées dans les forages à l'aide d'une sonde²⁹³. Il souligne que la production d'eau mesurée dans les forages est de l'ordre de 1 litre par minute. D'après M. Vandenbeusch, un tel débit peut être considéré comme extrêmement faible²⁹⁴. À partir de ces tests, le BRGM a calculé des perméabilités pour le granite de la Vienne de l'ordre de 10^{-8} m/s à 10^{-9} m/s. Il précise :

« En fait, par perméabilité, il faut entendre le rapport de la production globale d'eau obtenue lors des tests sur la hauteur de la formation granitique rencontrée. Cette "perméabilité" n'a pas de signification physique ; elle correspond à une, deux ou trois venues d'eau d'importances différentes dans chacun des ouvrages considérés. Une campagne d'essais actuellement en cours, vise à apprécier la connectivité des ouvrages, notamment la relation entre le forage vertical CHA 112 et le forage incliné CHA 212. À ce jour, aucune connectivité entre les fractures de ces deux ouvrages n'a pu être confirmée²⁹⁵. »

La perméabilité est un critère de la Règle Fondamentale de Sûreté pour caractériser les formations géologiques. Toutefois, comme l'explique M. Vandenbeusch, la perméabilité moyenne d'une formation fracturée a peu de signification physique. Les venues d'eau sont très ponctuelles et localisées au niveau de certaines fractures. Le BRGM a ainsi mesuré la venue d'eau dans chaque forage avant de localiser d'où provenaient ces arrivées d'eau et d'effectuer différents tests (des pompages brutaux) pour caractériser les débits affluant dans les forages. Pour étudier la connectivité potentielle des fractures, le BRGM cherche à observer les effets des tests effectués dans un forage sur les forages proches.

Suite à l'intervention de M. Vandenbeusch, G. de Marsily prend la parole. Il pointe que la valeur de la perméabilité avancée par le BRGM est une valeur moyenne sur un profil de 180 mètres de roche²⁹⁶. Si la perméabilité moyenne était calculée pour des tronçons de 5 mètres de roche, certains d'entre eux auraient des perméabilités de l'ordre de 10^{-7} m/s. De ce fait, G. de Marsily considère que le granite de la Vienne est très perméable²⁹⁷.

L'identification dans la RFS III.2.f d'une faible perméabilité comme un critère de sélection des formations géologiques où implanter un stockage ne permet aucunement de trancher l'opposition entre les géologues de l'Andra et G. de Marsily sur l'appréciation de la perméabilité du granite de la Vienne. La perméabilité d'un granite dépend de sa fracturation. Les zones fracturées

293 *Ibid.*, pp. 32-33 (séance du 26 février).

294 *Ibid.*, p. 33 (séance du 26 février).

295 *Ibid.*

296 *Ibid.*

297 *Ibid.*

sont très perméables. En dehors de ces zones, la roche est très peu perméable. Dès lors, comme G. Guri le redoutait dans sa note de 1995, l'échelle d'observation a une importance dans la détermination de la perméabilité d'un granite. De plus, les rédacteurs et rédactrices de la RFS se sont bien gardés de définir un seuil en dessous duquel une roche est très peu perméable.

II.2.2. RUPTURE DU CADRE DE LA DISCUSSION

Suite aux discussions sur les recommandations de l'IPSN, un des auteurs du rapport DES n° 265, M. Lemeille, présente au Groupe Permanent la conclusion générale de l'Institut à propos du site de la Vienne. Celle-ci se termine ainsi :

« Pour le dossier de DAIE, l'Andra devra préciser le programme permettant de confirmer l'aspect favorable du site du point de vue hydrogéologique. Elle s'appuiera notamment sur la caractérisation des fractures, la conductivité hydraulique associée et la signification géochimique et l'âge des eaux profondes. [...] L'IPSN rappelle les difficultés, particulières au granite, de caractérisation et de modélisation dans le domaine de l'hydrogéologie²⁹⁸. »

Immédiatement après la présentation de la conclusion de l'IPSN, la parole est donnée à l'hydrogéologue Ghislain de Marsily. Celui-ci est déjà intervenu lors de la réunion pour s'élever contre la formulation de la sixième recommandation de l'IPSN qui stipule que l'Andra *« précisera le programme qu'elle entend mener en vue de confirmer l'aspect favorable du site du point de vue hydrogéologique²⁹⁹. »* Il avait alors précisé *« qu'il n'est absolument pas d'accord avec l'appréciation mentionnée dans la proposition de recommandation V6, concernant l'aspect favorable du site³⁰⁰ »*.

Après l'énoncé de la conclusion du rapport de l'IPSN, G. de Marsily revient sur le point qu'il a soulevé précédemment à propos de *« l'aspect favorable du site »* :

« M. de Marsily souligne qu'à son avis, le site de la Vienne présente les inconvénients suivants :

- la perméabilité du granite est relativement élevée (jusqu'à 4.10^{-8} m/s), ceci s'ajoutant aux incertitudes fondamentales sur les valeurs de perméabilité des granites. À cet égard, M. de Marsily n'est pas favorable au choix d'un milieu granitique pour le stockage définitif de déchets nucléaires. De plus, l'absence, signalée par l'IPSN, de décroissance de la perméabilité avec la profondeur constitue un indice défavorable ;*

298 *Ibid.*, p. 29 (séance du 26 février).

299 *Ibid.*, p. 25 (séance du 26 février).

300 *Ibid.*

- *le site est particulièrement hydraulique dans la couverture sédimentaire puisqu'elle comprend deux formations aquifères dont l'une est exploitée et l'autre facilement exploitable. [...] aucune imperméabilité n'a été mise en évidence au contact entre le granite et la couverture sédimentaire. L'Andra ayant indiqué qu'il existe des différences de charges hydrauliques entre les deux formations, il est possible que des échanges s'y produisent et que les forages exploités entraînent des radioéléments provenant des déchets stockés ;*
- *la variabilité pétrographique du site est gênante. Il a en effet été constaté à Äspö [en Suède], après beaucoup d'études, que l'essentiel des venues d'eau se situe aux contacts entre différentes variétés pétrographiques du granite ;*
- *la sismologie du site est relativement importante.*

Pour M. de Marsily, ces différents éléments sont globalement rédhibitoires pour l'utilisation du site en vue d'un stockage de déchets radioactifs³⁰¹. »

Cette intervention de G. de Marsily rompt avec le consensus latent dans cette réunion sur la nécessité de poursuivre les reconnaissances du granite de la Vienne dans un laboratoire souterrain. Pour G. de Marsily, les éléments présentés et les difficultés inhérentes à l'étude des milieux fracturés constituent des éléments rédhibitoires à l'implantation d'un stockage et excluent de pouvoir en implanter un dans la Vienne. L'éventualité d'une remise en cause de la pertinence de construire un laboratoire souterrain dans la Vienne n'était pas à l'ordre du jour – le rapport préparé par les salarié.es de l'IPSN ne le suggère pas. À partir de ce moment, G. de Marsily s'emploie avec insistance à faire valoir ses arguments contre l'implantation d'un laboratoire souterrain dans la Vienne au sein de la CNE et du Groupe Permanent.

Bernard Mouroux apporte des précisions par rapport aux éléments soulevés par G. de Marsily. Il reconnaît qu'« *il est effectivement probable que la perméabilité [du granite] sera difficile à préciser* » (cf. ci-dessus)³⁰². Toutefois, il note que « *la densité de fractures hectométriques susceptibles de permettre des circulations de fluides, apparaît faible* »³⁰³. Ainsi, face à la difficulté de caractériser une perméabilité moyenne du granite, B. Mouroux rappelle le faible nombre de fractures observées dont les géologues de l'Andra estiment qu'elles sont de longueurs hectométriques. Il faut rappeler ici que les géologues de l'Agence ne disposent pas d'une

³⁰¹ *Ibid.*, p. 29 (séance du 26 février).

³⁰² *Ibid.*

³⁰³ *Ibid.*

représentation de la fracturation du granite : ils attribuent les circulations hydrauliques dans le granite à des fractures de longueurs hectométriques qui, selon eux, correspondent aux fractures les plus larges qu'ils observent sur les carottes.

À propos de l'évolution de la perméabilité en fonction de la profondeur, B. Mouroux rappelle le peu d'éléments dont l'Andra dispose dans ce domaine. Il suggère d'attendre les résultats à venir d'un forage profond avant de conclure sur ce point. B. Mouroux défend également que l'activité sismique locale s'avère « *très modérée dans ses effets globaux* »³⁰⁴. Enfin, B. Mouroux signale que contrairement à ce qui est observé en Suède, à Äspö, où un stockage est prévu dans une formation granitique, la variabilité pétrographique du granite de la Vienne n'est pas corrélée avec la fracturation du granite : les zones de contact entre les différents types de granite ont, selon lui, peu bougé depuis la formation de la roche³⁰⁵.

Pour G. de Marsily, un laboratoire souterrain n'apportera aucune précision sur un certain nombre des incertitudes soulevées comme la connectivité des fractures, la stabilité mécanique ou encore les possibilités de scellement des galeries³⁰⁶. Suite à la réponse de B. Mouroux, G. de Marsily reprend la parole pour appuyer sa désapprobation à la poursuite de l'étude des possibilités de stockage dans la Vienne :

« M. de Marsily indique que, s'il s'agissait de réaliser dans la Vienne un laboratoire qui soit uniquement méthodologique pour étudier la pétrographie du granite et les circulations des fluides (comme les suédois l'ont fait à Äspö), il n'y verrai pas d'inconvénient ; mais si il faut qu'aujourd'hui, le groupe permanent donne un avis sur les choix qui lui paraissent les meilleurs du point de vue technique, il estime pour sa part que les éléments présentés dans le dossier de l'Andra ne sont pas favorables à la sélection du site de la Vienne pour les raisons qu'il a précédemment mentionnées³⁰⁷. »

Il importe de noter ici que l'opposition de G. de Marsily est motivée par la finalité de la recherche engagée par l'Andra : son opposition à la construction d'un laboratoire souterrain n'est pas une opposition à étudier cette formation géologique mais une opposition à envisager le stockage de déchets nucléaires dans ce granite sous couverture. Pour G. de Marsily, un laboratoire souterrain ne permettra pas de lever les incertitudes qui existent alors sur les qualités du granite de la Vienne. Ainsi, l'opposition entre B. Mouroux et G. de Marsily porte sur ce qu'il est possible d'attendre de quelques années de recherches dans un laboratoire souterrain. Si B. Mouroux reconnaît que la

304 *Ibid.*, p. 30 (séance du 26 février).

305 *Ibid.*

306 *Ibid.*, p. 32 (séance du 26 février).

307 *Ibid.*, p. 30 (séance du 26 février).

caractérisation du site de la Vienne est plus difficile que celle des deux autres sites, il défend pour sa part que la poursuite des recherches pourrait permettre de lever les incertitudes qui subsistent alors. Pour G. de Marsily, il n'y a pas d'espoir que la construction d'un laboratoire permette de caractériser un site de stockage. Étant donné que la divergence entre les appréciations de B. Mouroux et G. de Marsily porte sur des résultats futurs de possibles observations, il n'est pas très étonnant qu'il soit difficile de concilier leurs points de vue.

II.2.3. DES INCERTITUDES QUI NE SONT PAS RÉDHIBITOIRES

Dans son argumentaire contre l'implantation d'un laboratoire dans la Vienne, G. de Marsily a indiqué qu'un certain nombre de propriétés du site sont, pour lui, rédhibitoires à l'implantation d'un stockage. Toutefois, l'identification de ce qui constitue un élément rédhibitoire fait l'objet d'interprétations divergentes. La Règle Fondamentale de Sûreté III.2.f de 1991 doit servir de référence à cette évaluation. Néanmoins, mis à part une profondeur minimale, cette règle ne fixe aucun seuil au delà duquel une caractéristique de la roche serait inadaptée pour accueillir un stockage : la RFS est dès lors difficilement mobilisable pour trancher les différents.

Lors de la réunion du Groupe Permanent de février 1996, le directeur de l'Andra, Yves Kaluzny, précise le besoin pour l'Andra de poursuivre les recherches sur le granite. Sans nier les difficultés inhérentes à la caractérisation d'un milieu fracturé, il défend le projet de laboratoire dans la Vienne en appuyant sur l'absence d'élément rédhibitoire mis à jour par les reconnaissances effectuées entre 1994 et 1996 :

« M. Kaluzny souligne que la logique de reconnaissance d'un site granitique n'a rien à voir avec celle d'un site sédimentaire, notamment pour ce qui concerne les questions relatives à l'homogénéité. Au-delà des éléments présentés dans le dossier de l'Andra, il faut maintenant aller voir, in situ ; pour le granite, la réalisation d'un laboratoire souterrain présente un intérêt particulier.

L'Andra considère pour sa part que le site de la Vienne ne présente pas aujourd'hui de caractère rédhibitoire par rapport aux critères "essentiels" de la RFS III.2.f. et qu'il justifie une reconnaissance plus approfondie. Mais 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 sites³⁰⁸. »

308 Ibid.

En réponse à l'affirmation de G. de Marsily sur l'impossibilité d'envisager la construction d'un stockage dans la Vienne, le directeur général de l'Andra recadre donc la réunion en rappelant qu'aucun élément rédhibitoire à la construction d'un stockage n'a été mis à jour. Pour Y. Kaluzny, il importe que le Groupe Permanent n'anticipe pas l'évaluation de la possibilité de construire un stockage. Cette question doit être laissée à 2006, au terme de la période dédiée aux recherches par la loi de 1991. Y. Kaluzny insiste pour qu'en 1996, l'évaluation du travail de l'Andra se focalise sur l'absence d'éléments rédhibitoires à la construction d'un stockage. Seule l'identification d'un tel élément justifierait à ses yeux l'arrêt des recherches.

Plus tard dans la réunion, Y. Kaluzny reprend de nouveau la parole pour la recadrer. Il rappelle que l'autorisation de construction des laboratoires ne doit avoir lieu qu'en 1998 et de nouvelles connaissances devraient être disponibles d'ici là. Pour Y. Kaluzny, il ne faut pas préjuger des résultats des recherches qui seront menées d'ici 2006³⁰⁹. Suite à l'intervention de Y. Kaluzny, M. Alexandre du Groupe Permanent précise que l'objectif de cette réunion du Groupe Permanent n'est pas de comparer les trois sites proposés par l'Andra³¹⁰. Il ajoute que la sûreté d'un stockage géologique ne repose pas uniquement sur les propriétés de confinement du milieu géologique.

II.2.4. UN AVIS GÉNÉRAL DU GROUPE PERMANENT PARTAGÉ

Avant de discuter de l'avis général du Groupe Permanent, son président demande à l'Andra que soit rappelé les caractéristiques des trois sites. Y. Kaluzny commence par préciser que la caractérisation du site de l'Est ne devrait pas susciter de problème. Pour le site du Gard, le directeur général de l'Andra précise que les études effectuées ont modifié la compréhension de la géologie complexe de cette zone mais que les caractéristiques de ce site sont *a priori* très favorables³¹¹. Il cède ensuite la parole à B. Mouroux qui revient sur les éléments acquis sur le site de la Vienne vis-à-vis des critères de la RFS III.2.f. Le géologue souligne notamment la stabilité hydrogéologique du site, la faible perméabilité du granite et l'absence de circulation hydraulique entre le granite et la couverture sédimentaire.

Après cette dernière intervention de B. Mouroux, G. de Marsily reprend la parole et signale trois caractéristiques du site de la Vienne qui lui paraissent particulièrement défavorables : d'une part l'exploitation des aquifères de la couverture sédimentaire, d'autre part l'influence des

309 *Ibid.*, p. 34 (séance du 26 février).

310 *Ibid.*, p. 31 (séance du 26 février).

311 *Ibid.*, p. 13 (séance du 27 février).

prélèvements d'eau douce dans la couverture sur les circulations hydrauliques vers les aquifères et enfin, la perméabilité du granite et l'absence d'influence de la profondeur sur le colmatage des fractures³¹².

« M. de Marsily considère donc que les éléments dont dispose le groupe permanent, sont insuffisants pour compenser la situation très particulière du site de la Vienne résultant de l'existence d'une couverture sédimentaire fortement hydraulique et très exploitée. Pour M. de Marsily, ceci constitue un aspect rédhibitoire³¹³. »

L'antagonisme entre les positions de l'Andra et celle de G. de Marsily et l'heure tardive poussent le président du Groupe Permanent à arrêter les débats pour ce 27 février³¹⁴. La rédaction de l'avis du Groupe Permanent est reportée au lendemain. Le compte-rendu des trois jours de réunion ne rapporte pas les propos tenus 28 février mais il indique qu'à l'issue d'une longue discussion, le Groupe Permanent a réussi à s'accorder sur un avis. Concernant le site de la Vienne, celui-ci stipule :

« l'appréciation des difficultés a divisé le groupe permanent. La totalité des membres du groupe permanent s'accordent à considérer que la réalisation d'un laboratoire souterrain permettrait de lever les incertitudes qui subsistent. Toutefois, certains membres estiment que ces difficultés pourraient avoir un caractère rédhibitoire et pensent que des investigations complémentaires et la conduite de calculs préliminaires sont indispensables pour le vérifier avant de décider la réalisation d'un laboratoire souterrain³¹⁵. »

L'avis général du Groupe Permanent témoigne ainsi que durant la discussion sur celui-ci, G. de Marsily a consenti à revenir sur sa position à propos de l'inutilité d'un laboratoire souterrain. Néanmoins, il a réussi, peut-être soutenu par d'autres membres du Groupe Permanent, à faire en sorte que l'avis général soit nuancé et que sa position sur le caractère rédhibitoire de certaines incertitudes y soit mentionnée. De plus, l'implantation d'un laboratoire souterrain dans la Vienne est désormais conditionnée à la réalisation d'études complémentaires et de calculs d'impact d'un hypothétique stockage sur ce site.

312 *Ibid.*, p. 14 (séance du 27 février).

313 *Ibid.*

314 *Ibid.*

315 *Ibid.*, p. 15 (séance du 28 février).

CONCLUSION PARTIELLE

Durant la réunion du Groupe Permanent de février 1996, deux appréciations des caractéristiques du site de la Vienne se sont opposées. Au cœur de la dispute, l'identification d'éléments rédhibitoires à l'implantation d'un stockage. Pour G. de Marsily, le granite sous couverture présente des éléments qui excluent d'envisager y implanter un stockage. Si l'Agence reconnaît que sa caractérisation du site de La Chapelle-Bâton est encore trop grossière, rien n'exclut selon ses salarié.es de poursuivre les recherches et notamment de construire un laboratoire souterrain dans la Vienne.

La Règle Fondamentale de Sûreté RFS III.2.f n'est d'aucun secours pour trancher cette controverse. En effet, les critères de sélection des sites de stockage qu'elle fixe sont tous qualitatifs. Par exemple, alors que la définition d'une perméabilité dans une roche fracturée est controversée, la RFS stipule que celle-ci doit être « *très faible* » sans fournir aucune valeur limite. La RFS est écrite pour guider le choix des sites de stockage mais aucunement pour restreindre la sélection des sites où pourraient être implantés des stockages géologiques. L'identification de l'impact radiologique global du stockage comme unique critère de sûreté dans la RFS permet d'envisager construire des stockages dans des formations géologiques aux propriétés très variées.

Avant que G. de Marsily affirme qu'il estime que les caractéristiques du site de la Vienne sont rédhibitoires pour accueillir un stockage, l'éventualité que le Groupe Permanent émette un avis défavorable à l'implantation d'un laboratoire n'était pas un sujet de discussion. Le Groupe Permanent est destiné à accompagner le travail de l'Andra afin de le bonifier. En remettant en cause la pertinence de construire un laboratoire dans la Vienne, G. de Marsily a ébranlé le cadre de cette réunion. Estimant que les incertitudes sur les qualités du granite ne pourraient être levées, il défendit ensuite quasiment seul que l'Andra devrait arrêter ses recherches sur le granite de la Vienne. À plusieurs reprises, le directeur général de l'Andra a cherché à recadrer la réunion du Groupe Permanent sur l'identification d'éléments rédhibitoires à l'implantation d'un stockage. Il insista pour que l'évaluation de la possibilité de construire un stockage soit laissée à plus tard, au terme de la période de quinze ans dévolue aux recherches par la loi de 1991.

L'argumentaire de l'Andra en faveur de la construction d'un laboratoire à La Chapelle-Bâton est principalement développé autour de la promesse que les recherches qui pourraient y être menées permettent de lever les incertitudes qui existent alors sur les qualités géologiques du site de la Vienne. Ainsi, les géologues de l'Agence défendent que s'il existe alors des incertitudes dans la

caractérisation de la roche, il n'y a pas plus de preuve que celles-ci révèlent de mauvaises qualités ou des qualités acceptables pour la construction d'un stockage : ce n'est pas le moment d'évaluer la faisabilité d'un stockage. Pour les salarié.es de l'Agence, si les incertitudes ne sont pas rédhibitoires, il n'y a pas de raison d'arrêter les recherches. Au contraire, les incertitudes qui existent alors justifient la construction d'un laboratoire souterrain : plus qu'ailleurs, il y aurait besoin de poursuivre les recherches dans la Vienne pour évaluer en 2006 la possibilité d'y implanter un stockage.

III. UNE ACCUMULATION DE CRITIQUES

III.1. LE RAPPORT N° 2 DE LA CNE

En juin 1996, la CNE publie son deuxième rapport. Dans celui-ci, la Commission évalue notamment le bilan des travaux de l'Andra dans les trois zones où la construction d'un laboratoire souterrain est envisagée. Lors de la présentation à la presse de ce deuxième rapport, la Commission insiste sur le fait qu'elle n'émet pas d'avis ni favorable ni défavorable sur la construction d'un laboratoire souterrain dans le Gard et dans la Vienne³¹⁶. À cette occasion, la CNE précise qu'elle n'a pas identifié d'élément rédhibitoire à l'implantation d'un stockage dans la Vienne même si, d'après les connaissances dont elle dispose, l'hydrogéologie de ce site ne lui semble pas favorable : un granite affleurant serait plus facile à caractériser³¹⁷.

Dans la conclusion de ce deuxième rapport, la Commission pointe la différence de complexité entre la géologie du site de l'Est et celle des deux autres sites. Elle écrit :

« Les deux autres sites, Vienne et Gard, dont la géologie est plus complexe, posent des problèmes dont la solution peut-être obtenue, d'abord par des mesures complémentaires à partir de la surface ou des modélisations, puis éventuellement par la réalisation d'un laboratoire souterrain. La Commission ne pourrait émettre un avis sur un choix éventuel entre ces deux derniers sites qu'après avoir pris connaissance des résultats des études complémentaires réalisables à partir de la surface³¹⁸. »

316 Gérard Ouzounian, *CNE - Présentation du rapport n°2. 1er juillet 1996, Andra, 8 juillet 1996.*

317 *Ibid.*, pp. 3-9.

318 Commission Nationale d'Évaluation (ed.), *Rapport d'évaluation n° 2, op. cit.*, p. II.

La CNE conditionne ainsi l'émission d'un avis favorable à l'implantation d'un laboratoire dans la Vienne et dans le Gard à la réalisation de nouvelles mesures depuis la surface ou de nouvelles modélisations. Elle estime alors que les connaissances dont elle dispose au printemps 1996 sont insuffisantes pour justifier la pertinence d'implanter un laboratoire dans ces deux départements. Alors que la direction de l'Andra considère que l'implantation de laboratoires souterrains doit être entreprise sans attendre afin de pouvoir y réaliser suffisamment d'études avant 2005, cette condition d'un avis de la CNE à la réalisation préalable de nouvelles études depuis la surface marque un refus des membres de la CNE de limiter leurs exigences pour satisfaire le calendrier de l'Andra.

III.2. QUELLE EST LA FAISABILITÉ D'UN STOCKAGE MODULAIRE DANS DES BLOCS DE GRANITE « SAINS » ?

Le 24 mars 1997, les membres du Groupe Permanent Déchets examinent le dossier de DAIE que la direction de l'Andra a déposé en 1996 pour la construction d'un laboratoire souterrain dans la Vienne³¹⁹. L'IPSN a consigné dans un rapport (DES n° 298) son avis sur le dossier soumis par l'Andra et sur les documents techniques qui l'accompagne. Cet avis ainsi que les recommandations qui lui sont jointes ont été rédigés à l'issue de plusieurs réunions préparatoires avec l'Andra.

La réunion du Groupe Permanent de mars 1997 a trois objectifs : s'assurer d'une part « *du niveau de connaissance et de compréhension des sites vis-à-vis des critères définis par la RFS III.2.f* », d'autre part « *de la cohérence d'ensemble du programme de recherche vis-à-vis d'une stratégie de démonstration de sûreté d'un éventuel stockage* » et enfin « *de la méthodologie du programme de recherche* »³²⁰. Ainsi, non seulement il s'agit d'évaluer le travail effectué jusqu'alors pour caractériser les sites où l'Agence souhaite construire des laboratoires souterrains mais le Groupe Permanent examine également le programme de recherche prévu par l'Agence dans ces laboratoires. Il s'agit notamment d'évaluer si les recherches prévues sont cohérentes avec l'objectif de produire en 2005 une démonstration de sûreté d'un stockage géologique.

Durant cette réunion, plusieurs membres du Groupe Permanent dont G. de Marsily défendent toujours que les qualités du granite de la Vienne ne sont pas assez bonnes pour imaginer pouvoir y implanter un stockage. Plusieurs points nouveaux dans la controverse sont soulevés durant cette réunion : un premier sur la représentativité des observations qui pourraient être menées dans un

319 Groupe Permanent Déchets (ed.), *Projet de compte rendu de la réunion du 24 mars 1997, op. cit.*

320 *Ibid.*, p. 4.

laboratoire souterrain, un deuxième sur le concept de stockage modulaire proposé par l'Andra et enfin un dernier sur le rôle des scellements dans la sûreté d'un éventuel stockage. Sans suivre exhaustivement l'évolution des discussions exposées ci-dessus, je ne vais développer que ces trois points qui apparaissent en 1997, déplacent un temps les discussions et, au final, viennent s'accumuler aux critiques déjà formulées précédemment.

III.2.1. REPRÉSENTATIVITÉ DES OBSERVATIONS DANS LE LABORATOIRE SOUTERRAIN

Le premier point abordé dans cette réunion du Groupe Permanent est la caractérisation du site de la Vienne³²¹. A. Autran du Groupe Permanent souligne que la résolution des mesures géophysiques effectuées par l'Andra ne permet pas de caractériser assez finement la fracturation du granite. Or, en l'absence de laboratoire souterrain, seules des techniques géophysiques peuvent permettre d'avoir une image étendue de la fracturation. Pour l'heure, mis à part pour les fractures principales du massif, la fracturation a principalement été étudiée à partir de l'observation des fractures sur les carottes prélevées. L'observation directe des fractures dans les forages ou sur les carottes ne donne que des informations ponctuelles et localisées sur la fracturation de la roche. L'IPSN recommande que l'Andra effectue de nouveaux essais géophysiques afin d'affiner sa compréhension de la fracturation du granite³²².

Lors de la réunion du GPD de mars 1997, G. de Marsily défend que la construction d'un laboratoire souterrain ne permettra pas de caractériser un site de stockage. Pour lui, l'emprise du laboratoire est nécessairement limitée et elle ne permettra pas d'avoir une connaissance suffisante de la formation granitique³²³. La fracturation chaotique du granite empêche, selon G. de Marsily, d'avoir une vision représentative de la formation géologique à partir d'observations locales dans un laboratoire souterrain. Seuls des essais géophysiques pourraient permettre d'avoir une représentation suffisante de la fracturation à l'échelle d'un stockage. Néanmoins, il n'est pas certain qu'il soit techniquement possible de caractériser assez finement la fracturation du granite avec les méthodes géophysiques disponibles.

Le géologue de l'Andra B. Mouroux estime quant à lui qu'il sera possible d'extrapoler « *l'ensemble ou une grande partie des caractéristiques géologiques* » mesurées dans le laboratoire souterrain à un site de stockage³²⁴. Cette question de la représentativité des observations de la fracturation du granite dans le laboratoire souterrain est similaire à celle posée par l'extrapolation

321 *Ibid.*, p. 9.

322 *Ibid.*

323 *Ibid.*, p. 10.

324 *Ibid.*

des observations sur les carottes : la fracturation du granite est un phénomène chaotique, les observations sont toujours locales et il est délicat de caractériser une formation fracturée à une échelle spatiale plus large que celle de l'observation. Pourtant, pour l'Andra, la possibilité d'extrapoler les propriétés de la roche observées dans le laboratoire à un potentiel site de stockage est particulièrement importante car elle lie la construction du laboratoire souterrain à sa finalité : il est nécessaire que la caractérisation de la roche dans un laboratoire souterrain puissent être généralisable à une échelle plus large que celle du laboratoire.

III.2.2. UN CONCEPT DE STOCKAGE MODULAIRE DANS UN RÉSEAU HYPOTHÉTIQUE DE FRACTURES

La caractérisation du granite par l'Andra révèle que les fractures de longueur hectométrique ont une densité telle qu'elles délimitent des blocs de granites « *sains* » de dimensions pluri-hectométriques. Les géologues de l'Agence estiment que les circulations hydrauliques dans le granite ne sont dues qu'à ces fractures hectométriques, connectées entre elles. *A contrario*, pour ces géologues, les fractures de moindre longueur ne sont pas connectées entre elles et elles n'ont donc pas de rôle hydraulique.

Au milieu des années 1990, les ingénieur.es de l'Andra ont un moment envisagé que des fractures puissent traverser des zones de stockage et qu'il serait possible de sceller les fractures du granite³²⁵. En 1997, l'architecture de stockage que l'Andra propose est composée de plusieurs modules situés entre les fractures hectométriques (cf. *Figure 8* ci-dessous). Sur le schéma de cette architecture modulaire, les lignes verticales représentent les galeries du stockage. Entre elles, les points représentent des colis de déchet stockés. Les segments obliques représentent des fractures réparties à titre hypothétique. Il est possible de voir sur ce schéma que les ingénieur.es de l'Andra envisagent que des galeries du stockage traversent des fractures. Les déchets sont eux stockés entre celles-ci : les fractures ne traversent pas de zones de stockage. Étant donné la difficulté de connaître précisément la fracturation hectométrique du granite, les ingénieur.es de l'Andra envisagent de déterminer la localisation précise des modules de stockage au fur et à mesure du creusement du stockage, en fonction des fractures rencontrées.

325 Pablo Thorner, « Outils de calcul Oasis », Andra, 1995.

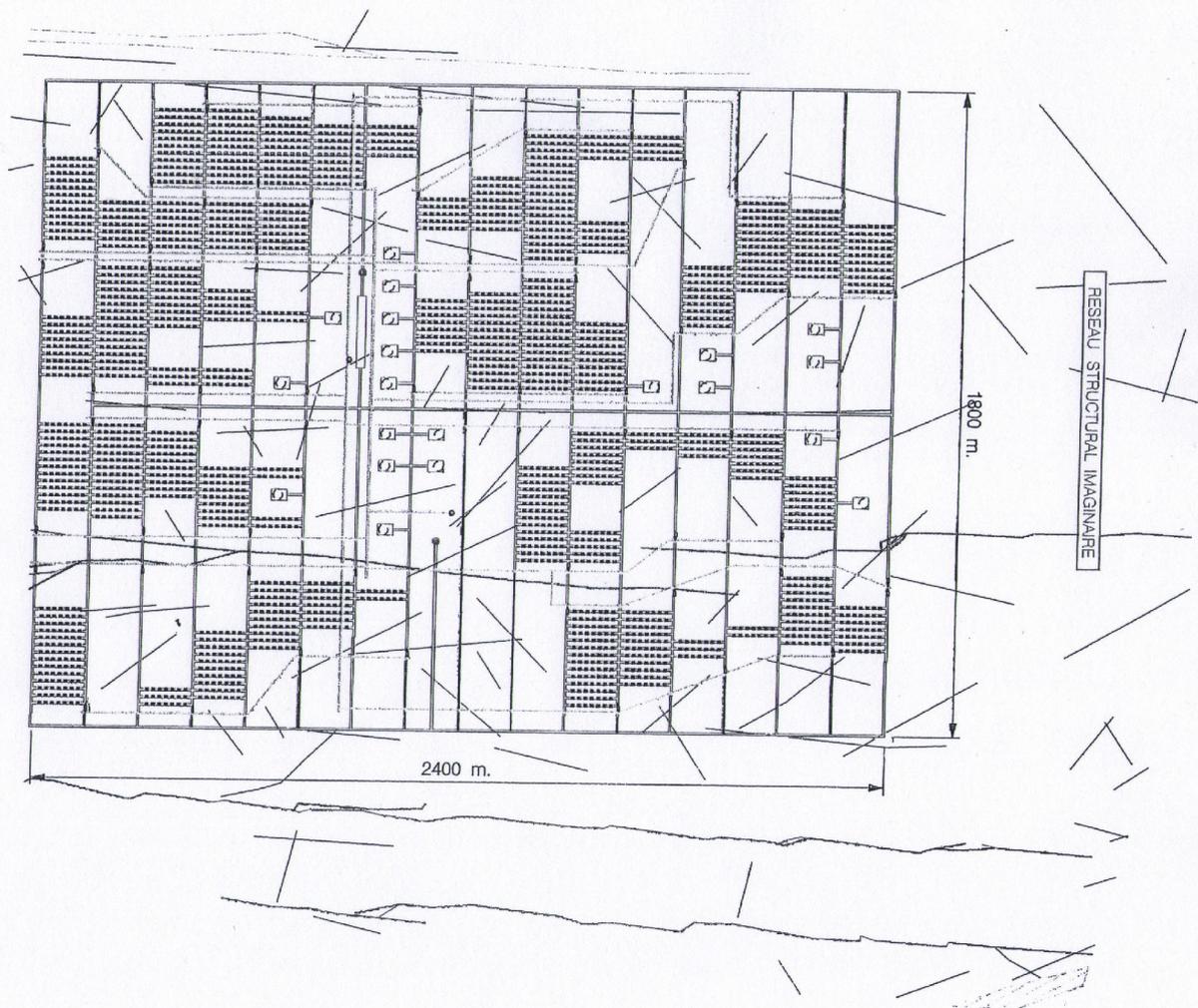


Figure 8. Schéma d'une architecture modulaire d'un stockage géologique dans un réseau de fractures imaginaire
 (Yves KALUZNY, Lettre à Bernard Tissot, Annexe 3: Justification extrapolation L.S. - stockage : argumentaire Vienne, Andra, 26 janvier 1998)

Lors de la réunion du Groupe Permanent de mars 1997, les géologues de l'Andra ne sont pas en capacité de montrer avec certitude l'existence de blocs de granite « sains » de dimensions hectométriques. Le compte-rendu de la réunion du Groupe Permanent indique ainsi :

« Pour ce qui concerne le dossier technique, les résultats obtenus permettent à l'Andra d'avoir une confiance raisonnable dans la capacité du site à accueillir un stockage de déchets radioactifs. Cette confiance repose sur la définition de blocs hectométriques à pluri-hectométriques, peu perméables, délimités par des fractures conductrices. M. Auverlot précise que l'Andra ne peut pas, actuellement, prétendre démontrer que le site pourrait effectivement accueillir un stockage de déchets radioactifs même si l'Andra a une confiance raisonnable dans le site et estime qu'il n'existe aucun caractère rédhibitoire au sens de la R.F.S. III.2.f. En particulier, il est clair que l'Andra ne peut pas actuellement établir l'existence de blocs adaptés à l'implantation d'un stockage. La démonstration, demandée pour

2006, nécessite un saut de connaissances particulièrement important qui ne pourra être franchi que par la réalisation du programme expérimental prévu dans le laboratoire souterrain³²⁶. »

Cette précision de Dominique Auverlot, directeur auprès du directeur général de l'Andra, met en œuvre une économie des promesses dans laquelle la poursuite des recherches doit permettre de montrer que le taux de fracturation du granite justifie la possibilité d'implanter des modules de stockage dans des blocs de granite « sains ». Ainsi, c'est la confiance dans l'existence de blocs de granite « sains » qui justifie d'implanter un laboratoire souterrain dans la Vienne. Ici, la référence aux critères rédhibitoires de la RFS est particulièrement importante car c'est l'identification d'un tel critère qui pourrait remettre en cause la construction d'un laboratoire. Étant donné qu'il n'a pas été montré qu'il sera impossible de démontrer la sûreté d'un stockage dans la Vienne, il n'y a pas de raison, pour D. Auverlot, de ne pas continuer à chercher si la construction d'un stockage pourrait être possible dans ce granite.

Deux questions principales sur le concept de stockage proposé par l'Andra sont soulevées lors de la réunion du Groupe Permanent Déchets du 24 mars 1997. D'une part : faut-il définir *a priori* une garde minimale de roche autour des déchets ? D'autre part : quel rôle auront les scellements des ouvrages de liaison dans la sûreté du stockage ?

Durant la réunion, B. Mouroux indique que l'Andra n'a pas fixé de taille minimale en dessous de laquelle un bloc de granite est trop petit pour y implanter un module de stockage³²⁷. L'ingénieur du Corps des Mines, P. Bérest, membre de la CNE et du Groupe Permanent, « regrette que l'Andra n'ait pas fixé un tel seuil. Il craint que les principes généraux d'un stockage, tels qu'ils figurent dans la RFS III.2.f et dans les textes qui l'ont inspirée, soient progressivement abandonnés ou adaptés jusqu'à être trahis parce que le site n'a pas les performances attendues³²⁸. » L'absence de seuil dans la RFS rend cette règle peu restrictive. Dès lors, il semble difficile à P. Bérest de pouvoir empêcher la construction d'un stockage qu'il jugerait peu sûr sur la base de critères fixés dans cette règle : la RFS lui offre peu de prises pour cela.

Le directeur auprès du directeur général de l'Andra, D. Auverlot, souligne lui que « les termes "valeur de" ou "seuil rédhibitoire" le gênent. Les conclusions du groupe Goguel n'imposent pas de déterminer *a priori* un seuil rédhibitoire compte tenu de la multiplicité des facteurs intervenant dans une démonstration de sûreté. M. Auverlot rappelle que la RFS III.2.f ne donne pas

326 Groupe Permanent Déchets (ed.), *Projet de compte rendu de la réunion du 24 mars 1997, op. cit.*, p. 6.

327 *Ibid.*, p. 13.

Pierre Bérest est alors directeur de recherches au Laboratoire de Mécanique des Solides de l'École Polytechnique.

328 *Ibid.*

*des chiffres mais s'en tient à des objectifs*³²⁹. » Dans cette intervention, D. Auverlot défend donc l'absence de critère qualitatif établi dans la RFS. L'impact radiologique global du stockage à son exutoire est le seul critère de sûreté quantitatif établi dans cette règle. D. Auverlot insiste ici pour que de nouveaux critères ne soient pas fixés et que l'évaluation des projets de stockage reste globale.

Les colis et les ouvrages de stockage jouent un rôle dans la sûreté des projets de stockage et leur conception doit être adaptée aux propriétés de la roche. En Suède par exemple, la rétention des radionucléides est principalement assurée par les colis de déchets (cf. chapitre 1). L'absence de seuil dans cette règle permet une flexibilité dans la conception du stockage et autorise d'envisager implanter un stockage sur un site imparfait. Cette remarque de D. Auverlot à propos de la multiplicité des facteurs qui interviennent dans la démonstration de la sûreté d'un stockage amène au deuxième point particulièrement discuté lors de la réunion de mars 1997 : la question des scellements.

III.2.3. SCELLER DES OUVRAGES DANS LE GRANITE

La construction d'un stockage modulaire dont des ouvrages traversent des fractures qui ont potentiellement une activité hydraulique donne un rôle important en terme de sûreté aux scellements de ces ouvrages. Or, la réalisation de scellements dans le granite est une question délicate. Elle est abordée durant la réunion du Groupe Permanent :

*« M. de Marsily rappelle que le rapport Castaing n° 2 indiquait clairement que le problème du granite était essentiellement celui des scellements et qu'avant même d'étudier la faisabilité d'un stockage dans le granite, il faudrait démontrer qu'on sait le sceller. L'Andra dit que l'un des objectifs du laboratoire est le scellement des galeries mais il semble à M. de Marsily que c'est un des points sur lesquels la spécificité du site est la moins forte. M. de Marsily s'interroge sur les connaissances concernant la possibilité de réaliser des scellements étanches de galeries dans le granite et la pérennité de ces scellements sur des durées d'une centaine de milliers d'années, voire d'un million d'années*³³⁰. »

En donnant une grande importance aux scellements des ouvrages de liaison entre les modules de stockage, les ingénieurs de l'Andra ont conçu un projet particulièrement fragile et peu robuste. En effet, ces scellements constituent des points potentiellement critiques pour la sûreté d'un stockage : ils sont nombreux et leur faisabilité n'est pas assurée. M. Habib du Groupe Permanent

³²⁹ *Ibid.*, p. 14.

³³⁰ *Ibid.*, p. 40.

précise que la réalisation de scellements horizontaux dans des galeries est plus difficile que celle de scellements verticaux dans des puits³³¹. Plusieurs membres du Groupe Permanent rappellent également que la RFS III.2.f recommande que la barrière géologique puisse garantir à elle seule la sûreté à long terme d'un stockage³³². Dès lors, il s'agit pour l'Andra de montrer que, sans scellement des galeries, le granite de la Vienne pourrait confiner à long terme les radionucléides.

Cette question des scellements montre bien, il me semble, la dépendance entre les analyses de sûreté d'une part, les études de conception du stockage d'autre part et enfin la caractérisation et la représentation du site géologique. Ainsi, les propriétés de la roche amènent les ingénier.es de l'Andra à concevoir un stockage modulaire dans lequel le nombre de scellements est important et dont le rôle est déterminant pour la sûreté de l'ouvrage. Toutefois, seule une analyse de sûreté globale du stockage pourra permettre d'évaluer la performance des scellements. Néanmoins, une telle analyse globale demande une caractérisation fine de la géologie. La caractérisation de la roche, la conception des barrières artificielles de rétention des radionucléides et l'analyse de sûreté du stockage doivent ainsi être développées simultanément : ces trois activités dépendent fortement les unes des autres.

Le concept modulaire présenté par l'Andra au Groupe Permanent ne fait pas l'unanimité. Ainsi, en fin de réunion, M. Devillier du Groupe Permanent souligne qu'il « *est clair que le modèle du bloc est singulièrement fragile et qu'il n'est pas possible de poursuivre longtemps avec un modèle aussi simple* »³³³. Toutefois, le Groupe Permanent émet un avis favorable à la construction d'un laboratoire souterrain dans la Vienne, accompagné d'un certain nombre de recommandations pour la poursuite des reconnaissances géologiques sur ce site.

331 *Ibid.*, p. 49.

332 *Ibid.*

333 *Ibid.*, p. 53.

III.3. LE RAPPORT N° 3 DE LA CNE ET LA QUALITÉ DES PRÉLÈVEMENTS HYDROGÉOLOGIQUES

En juin 1997, la CNE publie son troisième rapport dans lequel sont reprises les réserves sur la pertinence de construire un laboratoire souterrain dans la Vienne émises dans le rapport n° 2 de la Commission. Le rapport n° 3 souligne également la difficulté de montrer la sûreté d'un stockage dans lequel des ouvrages de liaison entre les modules de stockage traversent des fractures potentiellement conductrices³³⁴. Il pointe qu'il n'est pas évident que les résultats obtenus dans un laboratoire souterrain puissent être transposés à l'échelle d'un massif assez grand pour pouvoir y implanter un stockage³³⁵.

Dans ce rapport, la « *Commission considère que les difficultés pour pouvoir démontrer, de façon convaincante, la faisabilité d'un stockage sur ce site particulier, sont bien plus élevées que sur les autres sites*³³⁶. » Ainsi, la démonstration de la faisabilité d'un stockage doit être convaincante : sa qualité s'apprécie notamment par sa capacité à convaincre. La démonstration de la sûreté d'un stockage suppose un accord entre ceux et celles qui produisent cette démonstration d'une part et celles et ceux qui évaluent cette démonstration d'autre part. En effet, le peu de critères quantitatifs dans la RFS demande que l'exploitant et ses évaluateurs s'accordent sur les éléments rédhibitoires ou non à l'implantation d'un stockage.

Le rapport n° 3 de la CNE provoque des remous à l'Andra, notamment autour de l'interprétation, par les membres de la Commission, de données géochimiques acquises par un sous-traitant de l'Andra. L'analyse de la composition chimique et de la datation isotopique des éléments présents dans les échantillons d'eau souterraine prélevés dans des forages profonds doit permettre d'évaluer la provenance de l'eau et ainsi de connaître le degré de perméabilité entre la couverture sédimentaire et le socle granitique. Cependant, pour effectuer ces prélèvements, le sous-traitant de l'Andra a injecté des fluides (des « boues » dans le jargon des géologues) dans le forage qui sont venus polluer les échantillons.

La possibilité de circulations hydrauliques entre les fractures du granite et la couverture sédimentaire a déjà été soulevée précédemment, notamment dans le deuxième rapport de la CNE. Entre les rapports n° 2 et n° 3 de la Commission, Ghislain de Marsily a entrepris retravailler les données géochimiques que l'Agence a produites et qu'elle lui a fournies sur disquette. Il en tire des

334 Commission Nationale d'Évaluation (ed.), *Rapport d'évaluation n° 3*, septembre 1997, pp. 86-87.

335 *Ibid.*, p. 87.

336 *Ibid.*, p. 86.

conclusions différentes de celles des géologues de l'Andra. Au lendemain de la publication du rapport n° 3 de la CNE, la directrice scientifique de l'Andra, Nicole Sugier, commande plusieurs notes aux salarié.es de l'Agence sur les conclusions de la Commission³³⁷. L'hydrogéologue de l'Andra Jean-François Aranyossy lui rend une note particulièrement détaillée dans laquelle il reprend point par point chaque phrase du rapport de la CNE. À celle-ci, il joint un autre document sans titre qui revient également sur les difficultés induites par l'interprétation des mesures géochimique effectuées dans la Vienne³³⁸.

La pollution des prélèvements par les boues est à l'origine de la discorde entre les géologues de l'Andra et les membres de la Commission. En effet, tous les prélèvements effectués ont des contaminations par les boues qui dépassent les normes de qualité en vigueur³³⁹. Ne disposant d'aucun prélèvement de bonne qualité, les géologues de l'Andra ont tout de même entrepris d'effectuer des mesures sur les échantillons pollués. Après la publication du rapport n° 3 de la CNE, J.F. Aranyossy s'interroge rétrospectivement sur la pertinence d'exploiter les données issues de ces prélèvements³⁴⁰. Il souligne que le traitement des données afin d'évaluer l'impact de la pollution sur les échantillons s'est révélé plus problématique que prévu³⁴¹.

JF. Aranyossy précise également :

« La difficulté d'obtenir des échantillons représentatifs des eaux du granite résulte d'une part des propriétés intrinsèques au socle granitique de la Vienne et, d'autre part, des choix adoptés durant la phase de reconnaissance³⁴². »

Le granite de la Vienne a une faible perméabilité et est peu fracturé. *A priori*, ces qualités constituent une bonne chose pour assurer le confinement de radionucléides. Mais elles rendent également délicat le prélèvement d'échantillons d'eau dans la roche³⁴³. De plus, les forages étaient avant tout destinés à étudier le granite lui-même et non l'eau qui s'y trouve. D'autres méthodes de forage dans lesquelles l'introduction de « boues » n'est pas nécessaire auraient été utilisées si la composition hydrogéochimique avait été une priorité de recherche au moment d'établir le programme expérimental³⁴⁴.

337 E. Tevissen, *Remarques sur le rapport d'évaluation CNE n°3*, Andra, 22 septembre 1997 ; Hervé Bienvenu, *Commentaires du rapport CNE numéro 3 concernant la simulation numérique*, Andra, 23 septembre 1997 ; Jacques Delay, *Commentaire sur le rapport de la CNE*, Andra, 18 septembre 1997 ; Jean François Aranyossy, *Remarques sur le rapport d'évaluation CNE N°3 sur la géochimie de la Vienne*, Andra, 16 septembre 1997.

338 Jean François Aranyossy, [note4], Andra, 1 septembre 1997.

339 J. F. Aranyossy, *Remarques sur le rapport d'évaluation CNE N°3 sur la géochimie de la Vienne*, *op. cit.*

340 J. F. Aranyossy, [note4], *op. cit.*

341 *Ibid.*

342 *Ibid.*

343 *Ibid.*

344 *Ibid.*

Par ailleurs, entre l'arrivée de l'Andra dans la Vienne et le dépôt des DAIE, les géologues de l'Andra n'ont disposé que de dix huit mois pour caractériser une formation jamais étudiée jusqu'alors. Dans le retour rétrospectif de J.F. Aranyossy sur ce travail, il présente ce court temps consacré aux reconnaissances comme une des raisons pour lesquelles, d'une part les données géochimiques sont de mauvaise qualité, et d'autre part les géologues de l'Andra ont tout de même choisi de les utiliser. D'après J.F. Aranyossy, les prélèvements auraient pu être de meilleure qualité s'ils n'avaient pas été arrêtés si tôt pour des raisons de temps et d'argent : plus les prélèvements durent longtemps après l'introduction des boues, moins ils sont pollués par celles-ci³⁴⁵. Par ailleurs, de nombreux éléments entrent dans la fabrication des boues et J.F. Aranyossy mentionne que, pour des raisons commerciales, leur composition précise est inconnue des géologues de l'Andra³⁴⁶. Enfin, au moment des prélèvements, le suivi de l'introduction des boues n'a pas été effectué aussi rigoureusement qu'il aurait pu l'être³⁴⁷.

Dans leurs recherches, les géologues de l'Andra dépendent du travail des sous-traitants qui effectuent les prélèvements. L'Andra ne dispose ni du matériel ni du personnel nécessaire pour réaliser des prélèvements géochimiques. De plus, l'analyse géochimique est réalisée dans un laps de temps particulièrement court : il est impossible de refaire des prélèvements lorsque ceux-ci sont de mauvaise qualité.

La composition des eaux présentes dans le granite doit permettre de les dater et d'évaluer leurs provenances. Cette datation est notamment effectuée à l'aide de traceurs radioactifs comme le carbone 14 ou le tritium. En raison de la différence de contamination entre les prélèvements et de la méconnaissance de la composition des produits injectés dans le forage, la détermination de la composition des eaux granitiques présente de fortes incertitudes³⁴⁸. Les conclusions de l'Andra et de la CNE s'accordent sur le fait que l'eau prélevée dans le granite de la Vienne est un mélange d'eaux de différentes origines³⁴⁹. Pour la CNE, la composition de l'eau indique la présence en profondeur d'« *eau de pluie actuelle* » et donc l'existence de circulations d'eau relativement rapides entre la couche de granite et la surface³⁵⁰.

345 J. F. Aranyossy, *Remarques sur le rapport d'évaluation CNE N°3 sur la géochimie de la Vienne*, op. cit.

346 J. F. Aranyossy, [note4], op. cit.

347 Ibid.

348 Ibid.

349 Commission Nationale d'Évaluation (ed.), *Rapport d'évaluation n° 3*, op. cit., p. 84 ; J. F. Aranyossy, *Remarques sur le rapport d'évaluation CNE N°3 sur la géochimie de la Vienne*, op. cit.

350 Commission Nationale d'Évaluation (ed.), *Rapport d'évaluation n° 3*, op. cit., p. 85.

J.F. Aranyossy réfute en bloc cette hypothèse : « Cette interprétation [de la CNE sur l'existence de circulations hydrauliques entre les fractures du granite et la surface] ne peut s'appuyer sur aucun des résultats hydrogéochimiques fourni par l'Andra³⁵¹. » Pour le géologue de l'Agence, la corrélation entre la composition chimique et l'« âge » de l'eau n'est pas établie³⁵². Le fait que la CNE parle d'« eau de pluie actuelle » ou d'« eau de pluie assez récente » agace particulièrement les géologues de l'Andra. En effet, la CNE désigne de cette manière des eaux météorologiques dont la composition est « typique des douze derniers millénaires »³⁵³. À l'échelle des temps géologiques, quelques millénaires représentent bien une période récente mais la formule a un effet discursif quelque peu trompeur – et défavorable au projet de l'Andra.

Pour J.F. Aranyossy, la présence de carbone « moderne » et de tritium dans l'eau recueillie n'est due qu'à la pollution par les boues de forage et non à l'écoulement d'eau de pluie à travers un réseau de fissures dans la roche³⁵⁴. Dans sa note à N. Sugier, J.F. Aranyossy reconnaît qu'il ne peut pas apporter la « preuve irréfutable » de cette conclusion mais il met en avant qu'à partir des mesures effectuées par l'Andra, il n'est pas possible de conclure sur ce point. Au moment de l'instruction des DAIE, les géologues de l'Andra cherchent à montrer qu'il n'y a pas d'élément rédhitoire à la construction hypothétique d'un stockage dans la Vienne. L'incertitude qui persiste sur l'interprétation des données hydrogéochimiques n'est alors pas problématique pour eux : elle justifie le besoin de poursuivre les recherches sur ce site.

La divergence entre les conclusions des géologues de l'Andra et de la CNE ainsi que la description que J.F. Aranyossy fait du travail ayant abouti aux conclusions de l'Agence sur la géochimie du site de la Vienne viennent rappeler le caractère construit des données expérimentales³⁵⁵. Le retraitement de ces données est une étape indispensable qui, dans le cas qui nous intéresse ici, s'avère au cœur de la controverse³⁵⁶. Par ailleurs, l'interrogation rétrospective de J.F. Aranyossy sur l'utilisation de données issues de prélèvements de mauvaise qualité et l'importance des conditions dans lesquelles ceux-ci ont été effectués donne à voir le travail de reconnaissance de l'Andra d'un peu plus près qu'il ne l'a été ailleurs dans ce chapitre.

351 J. F. Aranyossy, *Remarques sur le rapport d'évaluation CNE N°3 sur la géochimie de la Vienne*, op. cit.

352 *Ibid.*

353 *Ibid.*

354 *Ibid.*

355 Bruno Latour et Steve Woolgar, *La Vie de laboratoire. La production de faits scientifiques*, trad. Michel Biezunski, Paris, La Découverte, 1988.

356 Gemma Cirac Claveras et Cédric Gossart, « Enjeux et perspectives des données environnementales massives », *Terminal*, 2015, no 117.

Ce commentaire de J.F. Aranyosy illustre, il me semble, la confiance qu'ont les géologues de l'Agence dans les qualités du granite qu'ils étudient. Néanmoins, leur utilisation d'arguments fondés sur l'analyse sans nuance de mesures effectuées sur des échantillons de mauvaise qualité indique aussi le retranchement dans lequel les géologues de l'Andra ont été poussés pour défendre l'opportunité de construire un laboratoire souterrain dans la Vienne. De plus, le reproche le plus important de J.F. Aranyosy à la CNE n'est pas tant dans le fait de soulever une interprétation autre des données hydrogéologiques que celle de l'Andra, mais davantage le caractère tranché avec lequel la Commission appuie celle-ci. Au moment de l'instruction des DAIE, l'existence d'incertitudes n'est pas un souci. Au contraire, celles-ci peuvent justifier le besoin de poursuivre les recherches.

CONCLUSION PARTIELLE

Alors que l'Andra a arrêté ses reconnaissances géologiques sur les secteurs où elle a déposé trois dossiers de demande d'autorisation pour des laboratoires souterrains, les critiques s'accumulent sur la pertinence de construire une telle installation dans la Vienne – et également dans le Gard bien que je ne le détaille pas ici.

Ces critiques amènent les géologues de l'Andra à défendre leurs conclusions et à détailler leurs pratiques. De plus, les salarié.es de l'Agence insistent pour que la possibilité d'implanter un stockage dans la Vienne ne soit pas abordée : au moment de l'évaluation des DAIE, seule l'implantation des laboratoires souterrains importe pour l'Andra ; l'évaluation de la possibilité de stocker des déchets doit être laissée au terme de la période de quinze ans dévolue aux recherches par la loi Bataille.

Les commentaires des évaluateurs de l'Andra révèlent que d'autres hypothèses, moins enjouées, que celles retenues par l'Agence sont envisageables. En miroir, l'évaluation du travail de l'Andra par la CNE montre ainsi la confiance avec laquelle les géologues de l'Agence construisent une description cohérente de la formation granitique. Cette confiance dans les bonnes qualités du site de la Vienne est un élément central de l'économie des promesses qui structure l'argumentaire de l'Andra en faveur de l'implantation d'un laboratoire souterrain à La Chapelle-Bâton. En effet, la conviction des géologues de l'Andra sur la possibilité de lever les incertitudes qui existent alors ainsi que celle de pouvoir caractériser un site de stockage est capitale dans l'argumentaire de l'Andra en faveur de la construction d'un laboratoire souterrain dans la Vienne.

Dans les argumentaires des salarié.es de l'Agence, l'absence d'élément rédhibitoire à l'implantation d'un stockage est particulièrement importante. Telle qu'elle est écrite, la RFS restreint la possibilité qu'une caractéristique d'un site puisse être considérée comme rédhibitoire à l'implantation d'un stockage. Cette règle est écrite de telle manière qu'elle donne peu de prise à une remise en cause d'un projet de stockage fondée sur une analyse des qualités géologiques d'un site. Le besoin d'effectuer une analyse de sûreté globale pour déterminer si un projet de stockage est acceptable ou non permet de compenser les impacts des différentes barrières sur la rétention des radionucléides. De ce fait, il est difficile de déterminer si des propriétés de la roche ou des barrières ouvragées sont rédhibitoires à l'implantation d'un éventuel stockage.

La conception d'ouvrages spécifiques aux roches étudiées est dépendante des études de caractérisation des formations géologiques. Néanmoins, la détermination des qualités de la roche et du concept de stockage requiert le développement d'outils d'analyse de la sûreté globale du projet de stockage. Or, la modélisation des circulations hydrauliques dans le granite, nécessaire à la conception d'outils d'analyse de sûreté, n'est alors pas considérée comme aboutie. Cette interdépendance de la caractérisation de la roche, de la modélisation des circulations hydrauliques, de la conception des ouvrages empêche alors d'avoir des certitudes sur la possibilité de pouvoir stocker des déchets nucléaires dans le granite de la Vienne. Toutefois, elle permet également d'écartier les critiques remettant en cause la pertinence de poursuivre l'étude de ce site. Le besoin d'avoir une meilleure caractérisation de la roche pour pouvoir mener une étude globale de la sûreté d'un projet de stockage dans la Vienne est utilisé comme une ressource argumentaire pour justifier la construction d'un laboratoire sur ce site. L'existence d'incertitudes n'est alors pas problématique pour l'Agence : la poursuite des recherches permettra de les lever.

Par ailleurs, la distribution chaotique des fractures dans le granite pose plusieurs soucis. D'une part, elle pourrait constituer un obstacle à l'extrapolation des observations faites dans un laboratoire souterrain à un volume de roche plus grand où pourrait être implanté un stockage. D'autre part, cette distribution chaotique des fractures empêche alors de proposer une architecture fixe pour un stockage. L'implantation de modules de stockage dans des blocs de granite « *sains* » entre des fractures hectométriques devrait être décidée au fur et à mesure du creusement du stockage. Ainsi, cette propriété matérielle du granite est une des causes des oppositions à la poursuite des recherches sur le stockage dans cette roche.

CONCLUSION. RÈGLE DE SÛRETÉ, ÉLÉMENTS RÉDHIBITOIRES ET ANALYSE GLOBALE

Au terme de longues tractations dans les cabinets du Gouvernement de Lionel Jospin, seule la construction d'un laboratoire souterrain à Bure est autorisée par un décret signé durant l'été 1999 et les recherches sur la possibilité de concevoir un stockage géologique dans la Vienne s'arrêtent (cf. chapitre 3). Les tractations pour trouver un granite affleurant où l'Andra pourrait continuer d'étudier l'évacuation géologique dans une formation granitique échouent rapidement après.

Comment expliquer cet échec de l'Andra à persuader les pouvoirs publics de l'autoriser à construire un laboratoire souterrain dans la Vienne ? Tout d'abord, il faut souligner que plusieurs éléments rendent l'étude du site et la conception d'un stockage dans celui-ci particulièrement délicates. L'existence d'une couverture sédimentaire a ainsi complexifié l'étude du granite de la Vienne. L'identification de circulations hydrauliques dans des fractures a amené les ingénieur.es de l'Andra à développer un concept de stockage fragile, dans lequel les nombreux scellements entre les modules de stockage constituent autant de points critiques pour la sûreté du stockage. Les propriétés matérielles du granite expliquent ainsi en partie les difficultés auxquelles se sont heurtés les géologues de l'Andra.

La nécessité politique d'implanter plusieurs laboratoires souterrains est sans doute une raison de l'entêtement des salarié.es de l'Andra à défendre la pertinence de construire un laboratoire dans la Vienne. En effet, la construction de ces laboratoires, exigée par la loi de 1991, est considérée comme nécessaire avant toute implantation d'un stockage et l'évacuation géologique est la seule solution de gestion des déchets nucléaires plébiscitée au sein du monde du nucléaire.

Par ailleurs, la Règle Fondamentale de Sûreté III.2.f qui encadre l'implantation de dépôts géologiques est écrite de telle manière qu'*a priori*, elle exclut de construire un stockage géologique sur peu de sites. Seul le calcul de l'impact radiologique global d'un projet de stockage permet *in fine* de juger de la sûreté de celui-ci. Ceci rend délicat l'évaluation des qualités particulières de la roche et explique l'envenimement de la controverse sur l'existence ou l'absence d'élément rédhibitoire à l'implantation d'un stockage dans la Vienne.

Le temps quasi-infini de la décroissance de certains radio-éléments destinés à être enfouis détermine la période durant laquelle il est nécessaire d'assurer la sûreté d'un projet de stockage. Cette exigence temporelle exclut d'avoir une maîtrise totale de l'évolution du stockage : la démonstration de sûreté d'un projet de stockage devra composer avec l'existence d'incertitudes sur

l'évolution de l'ouvrage et sur la migration des radionucléides vers la biosphère. De ce fait, une telle démonstration basée sur le calcul de l'impact radiologique global du projet de stockage suppose un accord entre l'Andra et ses évaluateurs sur les représentations du stockage, de son évolution et de la migration des radionucléides. Le besoin d'un tel accord est notamment dû à la manière dont est écrite la Règle Fondamentale de Sûreté qui, mis à part l'impact radiologique global du projet de stockage, n'établit que des critères qualitatifs pour juger des qualités des barrières de stockage. La détermination de ce qui constitue un élément rédhibitoire à l'implantation d'un stockage est dès lors discutable.

L'opposition de G. de Marsily à la construction d'un laboratoire souterrain dans la Vienne semble finalement assez peu rationnelle. L'implantation d'une telle installation ne présente aucun risque. Ni lui ni l'Andra n'ont réalisé de calcul de l'impact global d'un projet de stockage qui pourrait être implanté dans ce granite. De plus, comme les salarié.es de l'Andra l'ont rappelé à plusieurs reprises, si la caractérisation du site de la Vienne alors disponible ne permet pas d'assurer qu'il sera possible d'y implanter un stockage, aucune caractéristique du site ne constitue *a priori* un élément rédhibitoire à l'implantation d'un dépôt géologique. Dès lors, l'opposition de G. de Marsily ne peut être due qu'à sa conviction qu'il sera impossible de construire un stockage sûr sur ce site. Sa conscience que plus le projet de stockage s'ancre, plus l'abandon du projet sera difficile pourrait expliquer sa détermination à empêcher la construction de ce laboratoire souterrain dans la Vienne. En tout état de cause, le refus de G. de Marsily d'envisager que les incertitudes sur la géologie de la Vienne puissent être levées par la réalisations d'essais dans un laboratoire souterrain, et la difficulté de prendre une décision qui contredirait l'avis de la CNE, ont contribué à l'abandon des recherches sur l'évacuation géologique dans la Vienne. La place centrale de la CNE, chargée de garantir au Parlement et, de manière plus générale à la nation entière, que les recherches sur la gestion des déchets nucléaires sont satisfaisantes lui confère une capacité d'intervention importante sur les décisions concernant l'aval du cycle nucléaire.

CHAPITRE 3. « OCCUPER UTILEMENT LE TERRAIN » PUIS ATTENDRE. TRACTATIONS POLITIQUES AUTOUR L'IMPLANTATION DES LABORATOIRES SOUTERRAINS

PROLOGUE

La Meuse et la Haute-Marne sont des départements limitrophes. En 1993, dans le Gard, la Vienne et la Haute-Marne, la médiation dédiée au choix des sites sur lesquels étudier la pertinence d'implanter des laboratoires souterrains et dirigée par le député Christian Bataille, a sélectionné, en concertation avec les élu.es locaux, quelques cantons dans lesquels l'Andra peut effectuer des reconnaissances géologiques. Dans la Meuse, ce n'est pas le cas. Après la sélection de ce département par le député du Nord, la négociation au sein du département, entre les élu.es des différents cantons où les géologues de l'Andra pourraient effectuer des recherches, n'a toujours pas abouti durant l'été 1994. Ce même été, les travaux de reconnaissance géologique débutent dans le Gard, la Vienne et la Haute-Marne³⁵⁷.

La géologie du Bassin de Paris est plutôt bien connue. Quelques forages miniers ont été effectués et les géologues de l'Andra s'en sont procurés les analyses. En Haute-Marne, la direction de l'Andra dispose de deux options. Soit elle focalise les études 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 effectué en décembre 2015, un géologue de l'Andra travaillant à l'Agence durant cette période de reconnaissance géologique suggère que l'implantation du premier forage profond (HTM 102), 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.

Pour les élu.es, les recherches de l'Andra riment avec l'accompagnement économique qu'elles entraînent. L'implantation d'un forage en Haute-Marne dont la foreuse est visible depuis la Meuse aurait ainsi pu être un moyen de rappeler aux élu.es meusien.nes que, chez leur voisin.es hauts-marnais.es, l'Andra débute ses travaux, et qu'ils et elles ont tout intérêt à hâter leur choix des

357 Andra (ed.), *Recherches de sites pour l'implantation de laboratoires souterrains d'études géologiques.*, op. cit.

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 promis à qui accueillera un laboratoire souterrain.

Le 1^{er} 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 travail de reconnaissance géologique est pétri de considérations stratégiques. La dimension spectaculaire de l'activité scientifique a une fonction politique capitale sur les zones où les géologues de l'Andra travaillent.

INTRODUCTION

Après le dépôt des Demandes d'Autorisation d'Implantation et d'Exploitation (DAIE) pour trois laboratoires souterrains au printemps 1996, la controverse autour des qualités du granite de la Vienne et de la pertinence d'implanter un laboratoire souterrain à La Chapelle-Bâton a constitué une épreuve assez éprouvante pour l'Andra (cf. chapitre 2). Pourtant, en 1993, suite à la sélection de quatre départements dans lesquels l'Andra pourrait effectuer des reconnaissances géologiques, le dispositif mis en place par le député du Nord semble encore laisser des marges de manœuvre relativement importantes dans le choix de la localisation des laboratoires souterrains. La première partie de ce chapitre 3 est consacrée à une discussion ayant eu lieu durant l'été 1994, entre le directeur général de l'Andra et deux de ses interlocuteurs au sein du ministère de l'Industrie, à propos de ce choix de la localisation des laboratoires souterrains. À ce moment, il semble possible de construire des laboratoires dans chacun des quatre départements sélectionnés. La déception des élu.es qui n'accueilleront pas un laboratoire sur le territoire qu'ils et elles administrent est alors une préoccupation importante. Durant cet été 1994, il s'agit également d'intégrer au mieux le choix de la localisation des laboratoires souterrains dans le calendrier électoral.

La deuxième partie de ce chapitre porte sur une période postérieure aux reconnaissances géologiques depuis la surface (cf. chapitre 2). Depuis l'été 1994, la situation a bien changé. Alors que la loi de 1991 prévoit la construction de plusieurs laboratoires souterrains, seul le site de l'Est, entre la Meuse et la Haute-Marne, n'est pas critiqué ni pour ses qualités géologiques, ni par les acteurs économiques de la région. De plus, en juin 1997, l'écologiste Dominique Voynet, membre des Verts, est nommée ministre de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement. Celle-ci retarde autant qu'elle peut la signature de l'autorisation de construction des laboratoires souterrains.

Entre le printemps 1996 et l'hiver 1998, l'Andra se trouve ainsi dans une situation d'attente. Sans autorisation d'implanter des laboratoires souterrains, il lui est difficile de continuer la mission qui lui a été confiée par la loi de 1991. La deuxième partie de ce chapitre est consacrée à cette période d'attente durant laquelle l'Andra voit s'accumuler les critiques contre les projets de laboratoire qu'elle défend. La réversibilité d'un éventuel stockage devient alors un enjeu de débat et une nouvelle proposition de gestion des déchets nucléaires, non identifiée dans la loi de 1991, apparaît également : le stockage en sub-surface. Cette partie s'attache à étudier les mobilisations pour la construction des laboratoires et les rapports à l'activité scientifique qu'elles entretiennent. Enfin, la troisième partie de ce chapitre, en forme d'épilogue, est consacrée à l'autorisation par le gouvernement de la construction de deux laboratoires mais la sélection d'un seul site. Cette dernière partie aborde également les conséquences de cette décision et l'échec de la sélection d'un nouveau site granitique.

Gabrielle Hecht introduit la notion de nucléarité comme catégorie technopolitique désignant l'inscription d'objets ou de lieux dans le monde du nucléaire³⁵⁸. La qualification de ce qui est « *nucléaire* » et de ce qui ne l'est pas n'est pas qu'une affaire de radiations. La nucléarité n'est pas l'attribut d'un objet mais une expression des relations de pouvoir placées dans la qualification d'un objet : en fonction des contextes, des époques et des lieux, des objets (du minerai d'uranium par exemple chez G. Hecht) sont régis par leur inscription dans le monde du nucléaire ou sont au contraire écartés de ce monde et de ses règles³⁵⁹.

Je voudrais défendre que la nucléarité des laboratoires souterrains est au cœur des débats sur leur implantation. En effet, alors que la loi de 1991 donne une place centrale à la recherche dans le gouvernement de l'aval du cycle nucléaire, les laboratoires souterrains sont des installations de recherche qui doivent permettre de montrer la possibilité d'évacuer géologiquement des déchets nucléaires. Néanmoins, le rattachement de ces installations au monde du nucléaire est parfois tu. La construction de plusieurs laboratoires induit que tous les sites où ils sont implantés n'accueilleront pas un dépôt géologique de déchets nucléaires. Leur finalité est pourtant de caractériser un site de stockage. En effet, au sein du monde du nucléaire, l'évacuation géologique reste inéluctable. Si la direction de l'Andra insiste parfois sur l'importance de ses laboratoires pour l'industrie nucléaire, elle défend aussi un projet inscrit dans une loi dont il importe de ne pas présupposer de la finalité avant la fin de la période de recherche prévue par la loi de 1991.

358 Gabrielle Hecht, *Being Nuclear: Africans and the Global Uranium Trade*, Cambridge, The MIT Press, 2012.

359 *Ibid.*, pp. 14-15.

L'objectif de ce chapitre est donc d'éclaircir les enjeux stratégiques autour de l'implantation des laboratoires souterrains et ainsi d'affiner la compréhension des rapports à l'activité scientifique défendus par les partisan.es de l'implantation d'un laboratoire dans la Vienne. Le chapitre précédent a déjà abordé cette question lorsqu'il se penche sur les débats entre les géologues de l'Andra et G. de Marsily durant les réunions du Groupe Permanent Déchets. Ce chapitre 3 s'intéresse quant à lui aux mobilisations pour la poursuite des recherches sur le granite de la Vienne, en dehors de l'arène confinée du Groupe Permanent. Il s'agit ici de montrer les ressorts argumentaires permis par le dispositif mis en place par C. Bataille et de souligner l'importance stratégique de la recherche au sein de celui-ci. Les laboratoires souterrains sont des installations scientifiques atypiques qui concentrent des enjeux importants pour la gestion de l'aval du cycle nucléaire. Ainsi, ce chapitre est une seconde lecture du débat autour de l'implantation de laboratoires souterrains. Il aborde cette question à un autre niveau, celui des acteurs qui travaillent à définir le moment de la décision et son contenu.

I. PRENDRE UNE DÉCISION AU BON MOMENT

Le 20 décembre 1993, Christian Bataille remet à Gérard Longuet, ministre de l'Industrie, des Postes et des Télécommunications et du Commerce Extérieur d'une part, à Michel Barnier, ministre de l'Environnement d'autre part et enfin à Charles Pasqua, ministre de l'Intérieur et de l'Aménagement du Territoire, le rapport de sa médiation destinée à trouver des départements dont les élu.es sont potentiellement favorables à l'implantation d'un laboratoire souterrain et où le risque d'opposition à ce projet est *a priori* faible. Le député du Nord a sélectionné quatre départements : le Gard, la Haute-Marne, la Meuse et la Vienne.

Le 6 janvier 1994, les trois ministres du Gouvernement d'Édouard Balladur autorisent l'Andra à effectuer des reconnaissances géologiques dans ces quatre départements afin de « *vérifier la qualité géologique des sites* » et de « *préciser l'implantation possible des laboratoires* »³⁶⁰. Le communiqué des ministres précise qu'à l'issue d'une phase de reconnaissance, deux sites seront sélectionnés pour implanter des laboratoires³⁶¹. Ni cette déclaration des ministres, ni les décrets d'application de la loi de 1991 ne donnent d'indication sur les modalités de sélection de ces deux

360 « Communiqué de presse commun du ministre d'État, ministre de l'Intérieur et de l'Aménagement du territoire, du ministre de l'Industrie, des Postes et Télécommunications et du Commerce extérieur, et du ministre de l'Environnement. Laboratoires souterrains de recherche pour la gestion des déchets radioactifs : quatre départements retenus pour les travaux de reconnaissance », 1994.

361 *Ibid.*

sites. Le communiqué des ministres stipule uniquement que la période de reconnaissance peut durer jusqu'à deux ans. Une enquête publique et une consultation des collectivités locales doivent précéder les choix d'implantation de ces laboratoires³⁶².

Les reconnaissances géologiques débutent durant l'été 1994. Ce même été, le choix des sites où implanter les laboratoires souterrains est au cœur de trois notes : une première de la Cellule d'Observation et de Conseil sur l'Implantation de Laboratoires de Recherche Souterrains signée le 24 juin par Jacques Monestier, une deuxième d'Yves Kaluzny, directeur général de l'Andra, en date du 5 juillet et enfin une dernière de la Direction Générale de l'Énergie et des Matières Premières (DGEMP) qui arrive à l'Andra le 5 septembre. Avant d'être sollicité comme conseiller sur l'implantation des laboratoires souterrains, le préfet J. Monestier a été la cheville ouvrière de l'équipe de médiation pilotée par le député C. Bataille.

Ces trois notes révèlent le caractère stratégique de l'implantation des laboratoires souterrains et l'adaptation de la direction de l'Andra et de ses interlocuteurs à la DGEMP au nouveau contexte induit par la loi Bataille. La qualité géologique des quatre départements sélectionnés par C. Bataille n'est pas l'unique critère de décision de la localisation des laboratoires. En effet, l'inscription de ces installations dans le monde du nucléaire les rend vulnérables à l'action de militant.es anti-nucléaires. Le moratoire de 1990 est encore dans tous les esprits. De plus, la loi de 1991 et le rôle donné aux élu.es dans le processus de choix de site a transformé le gouvernement de l'aval du cycle. Le CEA, les cabinets ministériels et le corps préfectoral ne sont plus les seuls acteurs de l'implantation des laboratoires souterrains. Néanmoins, durant cet été 1994, aucune raison permet de justifier le choix d'un site plutôt qu'un autre.

Dans ces notes, leurs auteurs s'interrogent sur le moment le plus opportun pour sélectionner deux sites où implanter des laboratoires souterrains. Les reconnaissances géologiques ont alors à peine débuté mais assurément, pour J. Monestier, Y. Kaluzny et la DGEMP, elles ne poseront pas de problème. Ils estiment alors peu probable que des éléments techniques permettent de choisir les sites les plus favorables pour accueillir un hypothétique stockage. Yves Kaluzny déclare ainsi :

« L'objectif de ces travaux [de reconnaissance préalable à l'implantation des laboratoires souterrains] n'est pas de démontrer que les sites sont acceptables au regard de la RFS III.2.f pour un stockage de déchets radioactifs : c'est là l'objectif du programme complet prévu par la loi du 30 décembre 1991. Il ne s'agit pas non plus d'essayer de classer les quatre zones faisant l'objet de ces travaux préliminaires. En effet, d'une part le niveau de connaissance est très variable d'une zone à l'autre et d'autre part le déroulement des travaux est et sera encore

362 Ibid.

très variable d'une zone à l'autre : il nous paraît illusoire de penser pouvoir juger dans l'absolu des sites sur la base de critères purement techniques. Ces travaux doivent permettre de confirmer l'intérêt de poursuivre les recherches en laboratoires souterrains sur les zones issues de la médiation³⁶³. »

Dans les notes qui s'échangent durant l'été 1994, le moment de la décision et sa forme occupent les débats. Faut-il décider rapidement de l'implantation des laboratoires alors que rien ne permet *a priori* de retenir ou disqualifier un site plutôt qu'un autre ? Comment serait alors perçue une telle décision précipitée ? Faut-il au contraire attendre que le temps fasse son effet et permette aux différences entre les contextes locaux de s'exprimer ? Dans ce cas, comment réagiront les élu.es à qui on a fait miroiter plus longtemps l'implantation d'un laboratoire ? N'est-il pas un peu risqué de reculer la décision alors qu'en cet été 1994 aucune opposition aux projets de laboratoire n'est encore menaçante ?

Le choix de l'implantation des laboratoires souterrains sera assurément un moment difficile et décisif³⁶⁴. J. Monestier précise :

« le moment du choix de deux départements sur les quatre peut se révéler délicat. De multiples difficultés pourront surgir auxquelles il convient d'ores et déjà de réfléchir. La décision à prendre sera sans doute tout le contraire d'une décision d'autorité simple. Elle sera vraisemblablement et pour une part contestée. Elle interviendra au milieu de données politiques multiples et complexes, au cœur d'une réalité qui ne cessera, les 12 ou 15 derniers mois l'attestent suffisamment, d'être évolutive et aléatoire³⁶⁵. »

La période des premiers travaux de reconnaissance depuis la surface est particulièrement importante dans le dispositif mis en place par Bataille. Alors que tous les choix semblent encore ouverts et possibles, la mémoire des mésaventures passées a enseigné au préfet J. Monestier que les choses peuvent changer vite et que le moindre événement peut avoir des conséquences politiques importantes. Ainsi, le calme de la période pourrait n'être que de courte durée. J. Monestier note :

« 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, après les décrets en Conseil d'État. Cette période que l'on peut qualifier de probatoire, a

363 Yves Kaluzny, *Construction des laboratoires souterrains de recherche. Quel processus de décision ?*, Andra, 5 juillet 1994.

364 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, p. 8.

365 *Ibid.*, p. 2.

commencé avec les décisions de janvier dernier et 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. En un mot, dans tous les sens du terme, il s'agira d'occuper utilement le terrain et cela aussi longtemps que nécessaire³⁶⁶. »

Cet extrait de la note stratégique de Jacques Monestier résume assez bien la multiplicité des enjeux placés dans les recherches sur le stockage géologique et notamment sur l'implantation des laboratoires souterrains. Dans cette analyse stratégique que l'on retrouve au ministère de l'Industrie et à la tête de l'Andra, la maîtrise de la gestion de l'aval du cycle nécessite l'engagement de différents acteurs, dont l'implication nouvelle dans la gestion des déchets radioactifs est nécessaire mais pas encore routinière deux ans après le vote de la loi Bataille. L'implication des élus et le rôle de premier plan accordé à l'activité scientifique constituent deux nœuds du nouveau mode de gouvernement des déchets nucléaires. Si ces deux éléments sont des ressources pour l'action publique, ils représentent également des sources de débordements potentiels qui pourraient échapper au contrôle du ministère et de l'Andra.

1.1. DÉCIDER RAPIDEMENT OU ATTENDRE UN PEU

Les géologues de l'Andra débutent les travaux de reconnaissance dans les quatre départements sélectionnés durant l'été 1994. Ce même été, J. Monestier, Y. Kaluzny et la DGEMP distinguent deux moments opportuns auxquels pourrait être décidée l'implantation des laboratoires souterrains. Soit cette décision est prise rapidement, c'est-à-dire au début de l'année 1995. Soit cette décision est repoussée à plus tard. Différents éléments interviennent dans les arguments en faveur d'un calendrier optimal mais leur importance varie chez Jacques Monestier, Yves Kaluzny ou à la DGEMP. Si la structure des trois notes diffère, toutes pointent à des degrés divers les mêmes éléments. De plus, tous les participants à ces discussions excluent que des critères techniques puissent permettre de guider le choix des sites. Plutôt que de relever les divergences entre les positions de chacun, l'objectif de cette partie est de mettre en évidence le cœur de la pensée stratégique sur l'implantation des laboratoires souterrains telle qu'elle est discutée entre Y. Kaluzny, J. Monestier et la DGEMP.

366 *Ibid.*, p. 3.

I.1.1. LES ÉLECTIONS ET LE CLIMAT POLITIQUE

Le premier argument en faveur d'une décision rapide est l'agenda électoral de 1995. En effet, des élections municipales et présidentielles sont prévues au printemps 1995, auxquelles pourraient s'ajouter des élections législatives. S'il semble peu probable que les laboratoires souterrains deviennent des objets de débats durant la campagne présidentielle, ils pourraient l'être pour les scrutins locaux. Dans la Meuse, l'implantation d'un laboratoire a été l'objet de débats durant les élections cantonales de 1994³⁶⁷. Par ailleurs, les périodes électorales gèlent de fait toute possibilité d'une décision durant le printemps 1995³⁶⁸. Si l'implantation des laboratoires n'est pas décidée avant février 1995, cette décision sera alors repoussée, au plus tôt, à la rentrée de septembre 1995³⁶⁹.

Par ailleurs, il ne faudrait pas que le changement de personnel politique à la tête de l'État remette en cause le dispositif engagé avec la loi Bataille³⁷⁰. Durant ce début d'année 1994, les projets de laboratoires souterrains jouissent d'une bonne acceptation dans chacun des quatre départements. Jacques Monestier remarque :

« Elle [une décision rapide] interviendrait au milieu d'un concours de circonstances favorables, dans le prolongement de la situation que nous connaissons et qui est exceptionnellement calme. La volonté du Gouvernement est clairement affirmée. Elle se manifeste, au plan interministériel, de manière parfaitement concertée. Si les travaux de vérification ne déclenchent pas d'oppositions violentes du type 1987/1990, on peut penser que la fin de l'année marquera un moment propice. La solution rapide présente, en outre, l'avantage de prendre de vitesse les opposants dont la mobilisation est encore incomplète et peu efficace³⁷¹. »

Prendre une décision rapide, avant les échéances électorales, permettrait de profiter de ce climat calme dont il n'est pas exclu qu'il soit de courte durée. Les heurts violents de l'année 1989 sont encore dans toutes les têtes. Décider rapidement permettrait de « prendre de vitesse » des

367 Yves Kaluzny, *Note à l'attention de M. le Directeur du Cabinet du Ministre de l'Industrie, des Postes et Télécommunications et du Commerce extérieur. Laboratoire Souterrain. Situation dans la Meuse*, Andra, 2 septembre 1994.

368 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, p. 4.

369 J. Monestier, *Note prospective sur les décisions d'ouverture en matière de construction des laboratoires souterrains*, *op. cit.*, p. 3.

370 Y. Kaluzny, *Construction des laboratoires souterrains de recherche. Quel processus de décision ?*, *op. cit.*

371 J. Monestier, *Note prospective sur les décisions d'ouverture en matière de construction des laboratoires souterrains*, *op. cit.*, p. 6.

opposant.es qui, si elles et ils ne se sont pas encore montré.es, pourraient éventuellement se mobiliser. L'attente est propice à l'avènement d'événements inconnus qui pourraient perturber le choix des sites.

I.1.2. LA FRUSTRATION DES ÉLU.ES ET LES RESSOURCES IMPRÉVUES DE L'ATTENTE

Seuls deux départements parmi les quatre sélectionnés par C. Bataille accueilleront un laboratoire souterrain. Pendant sa mission de médiation, C. Bataille a pris contact avec des élu.es afin de trouver des départements où le contexte politique est plutôt favorable à la présence d'un laboratoire souterrain. Certain.es élu.es se sont fortement impliqué.es pour porter les projets de laboratoires dans les différentes instances locales et départementales (intercommunalités, chambres de commerce, conseils généraux...) Toutefois, tou.tes les élu.es qui se sont engagé.es localement n'accueilleront pas un laboratoire sur le territoire qu'ils et elles administrent. Pour les auteurs des rapports de l'été 1994, plus le choix des deux sites est effectué tardivement, plus la frustration des élu.es dont les candidatures ne seront pas retenues risque d'être grande³⁷². Au contraire, une décision rapide limiterait les faux espoirs et les déceptions. Cependant, la frustration des élu.es pourrait être aussi forte si la décision est perçue comme « brusquée » ou « prématurée ». J. Monestier souligne :

« nombreux sont les élus qui considèrent leur département comme remplissant d'ores et déjà toutes les conditions pour accueillir un laboratoire (la Haute-Marne faisant, ici, par timidité, quelque peu exception). Une décision qui serait prématurée, à plus forte raison brusquée, laisserait, dans les départements non choisis, l'impression d'une frustration avec les risques récurrents qui en découleraient. Le sentiment de rupture à craindre peut s'évaluer à la mesure des réactions prévisibles de personnalités politiques marquantes ou de forces économiques et sociales actives (la Haute-Marne pouvant, ici encore, constituer une exception)³⁷³. »

L'implantation des laboratoires souterrains doit pouvoir être justifiée. Pour les auteurs des trois notes, les premières reconnaissances effectuées par l'Andra ne mettront vraisemblablement pas à jour d'éléments techniques qui permettront de choisir où implanter des laboratoires souterrains. Y. Kaluzny estime :

« Sauf facteurs techniques rédhibitoires [qu'il ne peut] pas exclure totalement, le dossier de fin 95 ne permettra pas plus de faire un choix sur des bases techniques : on constatera que les sites sont "bons" sans qu'une hiérarchisation entre eux ait un sens particulier³⁷⁴. »

372 Y. Kaluzny, *Construction des laboratoires souterrains de recherche. Quel processus de décision ?*, op. cit., p. 3.

373 J. Monestier, *Note prospective sur les décisions d'ouverture en matière de construction des laboratoires souterrains*, op. cit., p. 7.

374 Yves Kaluzny, *Observations sur le projet de note sur le processus de décision*, Andra, 7 septembre 1994.

Dès lors, attendre un peu pourrait, selon J. Monestier, permettre de laisser au temps le soin de faire advenir des éléments qui justifieraient un choix³⁷⁵. Néanmoins, si la venue d'éléments nouveaux peut constituer une ressource argumentaire, des éléments imprévus peuvent également complexifier la situation et gêner le choix des sites. Ainsi, le préfet précise :

« Aussi bien, plus on attendra, plus sera forte la présomption d'accidents ou risques conjoncturels, qu'ils soient de nature politique ou technique, qui pourraient peser sur le projet (pensons à des rebondissements du type Superphénix ou à tout accident nucléaire d'une certaine gravité traumatisant pour l'opinion). En bref, aller vite présente toujours un avantage dans des situations délicates dont l'évolution sur la durée d'une année est incertaine et peut rebondir d'un moment à l'autre³⁷⁶. »

La décision d'implantation des laboratoires doit ainsi être justifiable et rien ne le permet en cet été 1994. Cependant, l'attente d'éléments qui pourraient justifier cette décision implique d'une part d'accepter le risque que des événements imprévus adviennent, et d'autre part de ne pas profiter d'un climat politique étonnement calme qui pourrait n'être que de courte durée.

I.1.3. LE TEMPS DES RECHERCHES ET CELUI DE LA DÉCISION

L'accord du gouvernement autorisant l'Andra à débiter des reconnaissances géologiques prévoit que cette période d'étude puisse durer jusqu'à deux ans. Cependant, le calendrier induit par la loi est extrêmement serré. L'instruction des demandes d'autorisation des laboratoires doit durer environ deux ans et les travaux de creusement trois ans. Si la procédure d'autorisation est engagée en 1996, les recherches en profondeur ne pourront durer que cinq ans, entre 2001 et 2006. Tout retard dans l'implantation des laboratoires réduit *de facto* la durée des recherches en profondeur pouvant être effectuées avant 2006.

Néanmoins, durant l'été 1994, envisager de décider de l'implantation des laboratoires souterrains avant février 1995 impose un calendrier particulièrement tendu. L'Andra doit rendre au gouvernement un premier bilan de ses travaux fin 1994 dans lequel elle proposera des zones d'implantation pour les laboratoires souterrains. Or, ce rapport n'apportera vraisemblablement pas d'élément de choix. Jacques Monestier considère que le choix de l'implantation des laboratoires ne

375 J. Monestier, *Note prospective sur les décisions d'ouverture en matière de construction des laboratoires souterrains*, op. cit., p. 8.

376 *Ibid.*, pp. 6-7.

pourra matériellement pas être pris avant janvier 1995. Le début de la campagne présidentielle bloque toute décision après février 1995³⁷⁷. Entre fin janvier et début février 1995, le temps d'instruction paraît trop court pour pouvoir s'orienter vers une décision rapide.

I.1.4. ATTENDRE LES AVIS DE LA CNE ET DE LA DSIN

La Commission Nationale d'Évaluation (CNE) commence à travailler en 1994. Son premier rapport est prévu pour 1995. Les auteurs des notes de l'été 1994 estiment qu'il portera notamment sur les premières reconnaissances géologiques effectuées par l'Andra depuis la surface. Prendre la décision d'implanter les laboratoires avant le premier rapport de la CNE évite tout commentaire de cette Commission nouvellement créée sur ce choix. La CNE a pour mission d'évaluer les programmes de recherche. Son avis pourrait influencer les élus et ainsi complexifier la prise de décision³⁷⁸. Toutefois, les membres de la CNE pourraient aussi être contrariés que l'implantation des laboratoires soit décidée avant qu'ils n'aient rendu leur premier rapport. La Direction de la Sûreté des Installations Nucléaires (DSIN) pourrait également vouloir être consultée sur le choix de l'implantation des laboratoires souterrains. Attendre un avis de cette institution repousserait inévitablement la décision. La CNE comme la DSIN n'ont pas formellement à être consultées pour ce choix mais elles le souhaiteront peut-être. Pour la DGEMP, il conviendra alors de leur rappeler leurs rôles³⁷⁹. Quant à lui, Y. Kaluzny écrit :

« Faire entrer ces deux entités dans le processus de décision ne peut que repousser les délais de façon inconsidérée. Le rôle de la DSIN nous paraît être de veiller à la qualité des dossiers techniques qui seront établis pour la procédure d'autorisation mais pas de se substituer à l'Andra et au Gouvernement pour choisir les sites. Il lui appartiendra ensuite dans le cadre des procédures réglementaires d'apporter un jugement sur le choix. De même, la Commission Nationale d'Évaluation doit veiller au bon équilibre des efforts sur les trois voies de recherche et ne pas entrer dans un processus opérationnel³⁸⁰. »

Néanmoins, pour la DGEMP, décider de l'implantation des laboratoires souterrains avant le premier rapport de la CNE pourrait donner l'impression que le gouvernement « passe en force »³⁸¹.

377 *Ibid.*, p. 6.

378 *Ibid.*, p. 5.

379 P. Kahn et X. Ouin, *Note à l'attention d'Antoine Blanc, op. cit.*, p. 3.

380 Y. Kaluzny, *Construction des laboratoires souterrains de recherche. Quel processus de décision ?*, *op. cit.*, p. 2.

381 P. Kahn et X. Ouin, *Note à l'attention d'Antoine Blanc, op. cit.*, p. 4.

I.1.5. LA DIFFICULTÉ D'« OCCUPER LE TERRAIN »

Jusqu'au choix de la localisation des deux laboratoires souterrains, l'Andra restera présente dans quatre départements pour effectuer des reconnaissances depuis la surface et informer sur ses recherches. Cette présence est lourde pour l'Agence : l'Andra est une institution nouvellement autonome à l'effectif modeste. De plus, les recherches effectuées dans les départements qui ne seront pas retenus ne serviront pas. Économiquement, il y a donc intérêt à ne pas trop prolonger des recherches inutiles. Le directeur de l'Agence précise :

« Mener en parallèle sur les quatre zones et avec des efforts équivalents des travaux préliminaires de prospection pendant deux ans sera très coûteux et pour un gain faible car cela ne devrait pas apporter des éléments décisifs pour le choix³⁸². »

Néanmoins, comme le recommande J. Monestier, *« il s'agira d'occuper utilement le terrain et cela aussi longtemps que nécessaire »* dans l'attente du choix du gouvernement sur l'implantation des laboratoires³⁸³. Les recherches n'ont donc pas uniquement pour fonction de caractériser la géologie. Elles permettent également d'implanter l'Agence localement. L'occupation spatiale par la réalisation de reconnaissances géologiques marque le territoire et rappelle à celles et ceux qui y vivent l'actualité du projet de laboratoire.

Plusieurs éléments poussent les réflexions stratégiques de l'été 1994 à étudier la faisabilité d'une décision rapide sur la localisation des laboratoires souterrains, c'est-à-dire à un moment où cette décision ne risque ni de réveiller une opposition aux projets de laboratoires souterrains ni de trop frustrer des élu.es qui se sont impliqué.es dans le projet. Pour la DGEMP :

« Plusieurs arguments militent en faveur d'une décision rapide : l'augmentation du temps d'exploitation des laboratoires bien-sûr, la prise de décision dans un climat aujourd'hui favorable, la difficulté pour l'Andra de maintenir une présence forte et durable sur quatre départements, mais aussi la diminution du risque d'événements incertains remettant en cause des consensus toujours fragiles³⁸⁴. »

382 Y. Kaluzny, *Construction des laboratoires souterrains de recherche. Quel processus de décision ?*, op. cit., p. 3.

383 J. Monestier, *Note prospective sur les décisions d'ouverture en matière de construction des laboratoires souterrains*, op. cit., p. 3.

384 P. Kahn et X. Ouin, *Note à l'attention d'Antoine Blanc*, op. cit., p. 4.

Dans les discussions autour de l'implantation des laboratoires souterrains, mis à part la difficulté pratique de prendre en décision en janvier 1995, aucun argument ne semble assez fort pour arbitrer en faveur d'une décision avant ou après les élections du printemps 1995. Cependant, l'immixtion de nouveaux acteurs dans les choix sur la localisation des laboratoires souterrains impose que les décisions soient justifiées publiquement.

1.2. VERS UNE DÉCISION PROGRESSIVE

1.2.1. QUATRE DÉPARTEMENTS, QUATRE SITUATIONS

Si en cet été 1994 l'implantation de l'Andra dans les départements sélectionnés par C. Bataille est encore très neuve, les quatre situations locales sont déjà différentes. La Vienne est le seul département dont le sous-sol est granitique. Pour disposer de deux laboratoires souterrains dans des roches différentes, il semble opportun de retenir ce département dans le choix final³⁸⁵. De plus, le projet est fortement soutenu par René Monory, président du Sénat et président du Conseil général de la Vienne (« *la motivation de M. Monory paraît sans faille* », note ainsi la DGEMP³⁸⁶).

La Meuse et la Haute-Marne sont des départements limitrophes. La couche d'argile du Callovo-Oxfordien s'étend sous ces deux départements. Afin d'éviter de choisir entre ces deux départements et ainsi de pouvoir éventuellement effectuer ce choix plus tard en fonction de l'évolution de la situation, l'Andra et la DGEMP envisagent un projet de laboratoire interdépartemental entre la Meuse et la Haute-Marne³⁸⁷. Cependant, en cet été 1994, le Conseil général de la Meuse est opposé à une telle option³⁸⁸. Dans le Gard, la géologie est moins bien connue que dans l'Est de la France et son étude s'annonce plus complexe que dans les autres départements. Néanmoins, la proximité des installations nucléaires de Marcoule laisse présager une bonne acceptabilité de l'Andra par la population³⁸⁹. De plus, la DGEMP rapporte : « *le CEA et la Cogéma ont déjà fait connaître officieusement leur préférence pour le département du Gard [...] où des problèmes d'emploi sont susceptibles de se poser au niveau de leurs installations*³⁹⁰ ».

385 Y. Kaluzny, *Construction des laboratoires souterrains de recherche. Quel processus de décision ?*, op. cit.

386 P. Kahn et X. Ouin, *Note à l'attention d'Antoine Blanc*, op. cit., p. 4.

Il est difficile de savoir si la référence aux failles du granite est volontaire dans la note de la DGEMP. L'expression est toutefois soulignée par Yves Kaluzny.

387 Y. Kaluzny, *Construction des laboratoires souterrains de recherche. Quel processus de décision ?*, op. cit., p. 4 ;

P. Kahn et X. Ouin, *Note à l'attention d'Antoine Blanc*, op. cit., p. 4.

388 Y. Kaluzny, *Observations sur le projet de note sur le processus de décision*, op. cit.

389 P. Kahn et X. Ouin, *Note à l'attention d'Antoine Blanc*, op. cit., p. 5.

390 *Ibid.*, p. 3.

I.2.2. UNE DÉCISION PROGRESSIVE ET DIFFÉRENTES OPTIONS

Dans sa note du 4 juillet 1994, Yves Kaluzny propose un étalement du choix de l'implantation des laboratoires. Puisque seule la Vienne a un sous-sol granitique, il suggère d'annoncer avant la campagne électorale de 1995 qu'un laboratoire y sera construit, afin que les recherches menées dans le cadre de la loi soient les plus larges possibles³⁹¹. La DGEMP est également favorable à une annonce rapide de la construction d'un laboratoire dans la Vienne. Ses membres se demandent néanmoins si une telle annonce, précédant le choix de la localisation d'un laboratoire dans l'argile, ne focalisera pas les opposant.es à l'enfouissement dans la Vienne ou, au contraire, si elle ne découragera pas l'engagement des élu.es des trois autres départements à soutenir les autres projets de laboratoires. Cependant, la DGEMP estime que l'annonce de la construction fort probable d'un laboratoire dans la Vienne pourrait aussi créer une émulation chez les élu.es du Gard, de la Haute-Marne et de la Meuse. Une telle annonce aurait en outre l'intérêt de ravir René Monory³⁹².

Pour l'étude de l'argile, Y. Kaluzny distingue trois options. La première focaliserait l'effort de recherche sur un projet interdépartemental entre la Meuse et la Haute-Marne. Le site du Gard resterait alors en réserve. La DGEMP est également plutôt favorable à cette option. Néanmoins, elle risquerait de mécontenter le Conseil général du Gard, fortement investi dans le projet de laboratoire³⁹³. De plus, le Conseil général de la Meuse est alors opposé à un projet interdépartemental. Une négociation ministérielle avec le Conseil général de la Meuse serait un préalable à une telle option³⁹⁴.

La deuxième option consiste à mener, jusqu'en 1995, des recherches avec un même investissement dans les trois départements au sous-sol argileux. Un de ces départements serait alors sélectionné pour accueillir un laboratoire souterrain. Outre le fait qu'un tel effort de recherche dans ces trois départements soit particulièrement lourd pour l'Andra, cette solution a le désavantage de repousser le choix et d'entretenir un certain suspens³⁹⁵. Enfin, la troisième option déplace la question du choix : le directeur de l'Andra suggère ainsi de construire trois laboratoires souterrains, un dans la Vienne, un entre la Meuse et la Haute-Marne et un dernier dans le Gard³⁹⁶.

391 Y. Kaluzny, *Construction des laboratoires souterrains de recherche. Quel processus de décision ?*, op. cit., p. 3.

392 P. Kahn et X. Ouin, *Note à l'attention d'Antoine Blanc.*, op. cit., p. 5.

393 Y. Kaluzny, *Construction des laboratoires souterrains de recherche. Quel processus de décision ?*, op. cit., p. 4.

394 Y. Kaluzny, *Observations sur le projet de note sur le processus de décision*, op. cit.

395 Y. Kaluzny, *Construction des laboratoires souterrains de recherche. Quel processus de décision ?*, op. cit., p. 4.

396 *Ibid.*

I.2.3. DEUX OU TROIS LABORATOIRES

Lorsque le gouvernement a autorisé l'Andra à mener des recherches géologiques dans quatre départements, son communiqué mentionnait que ces recherches permettraient de sélectionner deux sites où implanter deux laboratoires. Avant la note du directeur général de l'Andra de juillet 1994, les commentaires de la loi Bataille ne mentionnent pas l'hypothèse de construire plus de deux laboratoires. La proposition de Y. Kaluzny d'envisager la construction de trois laboratoires séduit néanmoins la DGEMP, qui examine dans son rapport de septembre 1994 les avantages et les inconvénients d'une telle option.

La loi de 1991 stipule la construction de plusieurs laboratoires sans en mentionner le nombre³⁹⁷. Pour la DGEMP, la construction de trois laboratoires pourrait permettre d'augmenter l'amplitude des recherches et de limiter la frustration des élu.es, puisqu'alors tous les départements sélectionnés par C. Bataille auraient leur laboratoire souterrain³⁹⁸. Construire trois laboratoires plutôt que deux augmenterait également les chances de disposer en 2006 d'un site qui puisse accueillir un stockage géologique³⁹⁹. L'inconvénient majeur d'une telle option est son coût. En cet été 1994, la DGEMP note que le coût d'un laboratoire est estimé par l'Andra à « *1,5 milliards de francs d'investissement par laboratoire, plus 70 millions par an de fonctionnement hors expérimentations, plus 60 millions par an d'accompagnement économique*⁴⁰⁰. » Il semble assez peu probable que les producteurs de déchets (EDF, CEA, Cogéma), qui financent les activités de l'Andra, acceptent de payer la construction et l'exploitation de plus de deux laboratoires.

De plus, la construction de trois laboratoires repousse le choix entre les départements. Le dispositif de choix progressif mis en place par C. Bataille prévoit la sélection de quatre départements pour effectuer des reconnaissances géologiques depuis la surface avant le choix de deux sites où implanter des laboratoires (cf. chapitre 1). Les recherches effectuées dans ces deux laboratoires doivent permettre au Parlement d'évaluer l'opportunité de construire un stockage géologique dans l'une des deux formations étudiées. Si finalement trois laboratoires sont construits, la progression du choix envisagée par C. Bataille est perdue. Pour la DGEMP, la construction de trois laboratoires souterrains est une hypothèse intéressante mais l'Andra doit en montrer la nécessité auprès des producteurs. Il est également nécessaire de veiller à ce qu'une telle option ne

397 P. Kahn et X. Ouin, *Note à l'attention d'Antoine Blanc, op. cit.*, p. 2.

398 *Ibid.*

399 *Ibid.*

400 *Ibid.*

soit pas comprise comme une absence de décision⁴⁰¹. Pour Yves Kaluzny, l'Andra ne doit pas à avoir à démontrer la nécessité d'une telle option : « *Cette hypothèse peut être au plan politique un moyen astucieux de faire avancer le problème*⁴⁰². »

CONCLUSION PARTIELLE

Envisager de décider l'implantation des laboratoires souterrains entre la fin janvier et le début février 1995 est finalement peu réaliste. L'inscription des laboratoires dans le monde du nucléaire rend suffisamment sensible la question de leur implantation pour qu'une telle décision ne soit pas prise « à la hussarde »⁴⁰³. La DGEMP pointe dans son rapport :

« Pour des raisons techniques, il paraît très improbable qu'une décision puisse être prise d'ici février 1995 : une communication officielle du Gouvernement sur le choix des sites nécessiterait en effet que les travaux de reconnaissance préalables soient terminés, et que les résultats aient été dépouillés. Dans ces conditions, il est plus probable que le choix officiel des sites ne puisse se faire pour des contraintes de calendrier électoral qu'au troisième trimestre 1995⁴⁰⁴. »

Y. Kaluzny voit ce report de la décision d'un mauvais œil : « *Très mauvais ! On repousse les décisions !* » note-t-il sur la télécopie de la DGEMP qui lui demande son avis sur ce calendrier⁴⁰⁵. En dépit des arguments en faveur d'une décision rapide, c'est finalement l'impossibilité matérielle de précipiter cette décision qui a imposé son report au delà des échéances électorales du printemps 1995.

Le besoin d'argumenter une décision que rien alors ne justifie est au cœur des trois notes échangées durant cet été 1994. L'ouverture de la gestion des déchets nucléaires à de nouveaux acteurs exige que les justifications des choix effectués puissent être défendables publiquement. Toutefois, aucun critère technique ne permet alors de sélectionner les zones où implanter des laboratoires souterrains.

La faiblesse de l'opposition à l'implantation des laboratoires est une des principales motivations pour prendre une décision rapide et un élément important dans le choix des départements où construire des laboratoires souterrains. Néanmoins, une telle motivation politique

401 *Ibid.*

402 Y. Kaluzny, *Observations sur le projet de note sur le processus de décision*, op. cit. Souligné dans le texte.

403 P. Kahn et X. Ouin, *Note à l'attention d'Antoine Blanc*, op. cit., p. 4.

404 *Ibid.*, p. 5.

405 P. Kahn et X. Ouin, *Note à l'attention d'Antoine Blanc.*, op. cit.

est difficilement avouable publiquement. En effet, la loi de 1991, en instaurant une période de quinze ans dévolue aux recherches, a dissocié l'implantation des laboratoires souterrains de leur finalité. Parce que ces derniers sont uniquement présentés comme des installations de recherche, il semble délicat de justifier l'implantation de laboratoires souterrains par des critères autres que scientifiques.

Pour les auteurs des notes échangés durant l'été 1994, l'inscription des laboratoires dans le monde du nucléaire est évidente. Ils estiment également qu'elle l'est pour les opposant.es au nucléaire qui pourraient se mobiliser contre l'implantation de ces laboratoires. Toutefois, la localisation de ces laboratoires ne peut pas être justifiée publiquement par des considérations stratégiques liant les laboratoires aux intérêts de l'industrie nucléaire : ces installations sont destinées à faire des recherches et la loi permet de repousser les discussions sur la gestion des déchets nucléaires.

Ces échanges sur la localisation des laboratoires souterrains explicitent une autre fonction des recherches effectuées par les géologues de l'Andra, « *occuper utilement le terrain* ». Ainsi, les recherches permettent de caractériser un site de stockage mais en tant que telle, la présence des géologues de l'Andra est intéressante car elle justifie la présence de l'Agence dans les quatre départements sélectionnés par C. Bataille.

II. DÉFENDRE L' « ESPRIT DE LA LOI » PAR UNE DÉCISION RAPIDE

La crainte d'Yves Kaluzny que la situation ne s'enlise si aucune décision sur l'implantation des laboratoires n'est prise avant la campagne électorale de 1995 s'est révélée assez justifiée. Il faut en effet attendre le 9 décembre 1998 pour que le Conseil des ministres statue sur l'implantation d'un laboratoire souterrain à Bure. Entre temps, de nombreux éléments ont complexifié le problème et repoussé le moment du choix. Durant l'été 1994, il semblait possible d'implanter un laboratoire souterrain dans chacun des quatre départements dégotés par Christian Bataille. La difficulté de la décision consistait alors à trouver un moyen de ménager la frustration des élu.es qui n'accueilleraient pas de laboratoire et à éviter que cette décision ne catalyse une opposition antinucléaire alors étonnamment peu mobilisée.

Depuis 1994, différents avis critiques sur les projets de laboratoires dans la Vienne et le Gard se sont exprimés. Et en 1998, il ne reste plus que le projet interdépartemental entre la Meuse et la Haute-Marne qui ne soit pas l'objet d'une remise en cause scientifique ou politique. Le choix de

l'implantation des laboratoires se pose alors d'une manière bien différente qu'en 1994 : comment implanter plusieurs laboratoires souterrains alors qu'un seul site est *a priori* favorable à l'accueil d'une telle installation ?

II.1. L'INSTRUCTION ADMINISTRATIVE DES DOSSIERS DE DEMANDE D'AUTORISATION DES LABORATOIRES

II.1.1. L'EXCLUSION DES LABORATOIRES SOUTERRAINS DU MONDE DU NUCLÉAIRE

Le 13 mai 1996, le Conseil d'État autorise l'Andra à déposer trois dossiers de Demande d'Autorisation d'Implantation et d'Exploitation pour trois laboratoires souterrains dans le Gard, dans la Vienne et entre la Meuse et la Haute-Marne. L'Andra dépose les demandes de permis de construire à l'automne de cette même année⁴⁰⁶. Ces installations sont particulièrement atypiques et l'instruction de ces demandes par les services préfectoraux est l'objet de plusieurs échanges entre ces derniers et des salarié.es de l'Andra. Une de ces discussions concerne le classement des laboratoires souterrains comme Établissement Recevant du Public (ERP). L'Andra envisage en effet que les installations de surface et les galeries souterraines soient accessibles⁴⁰⁷. Cependant, la réglementation qui régit le classement des ERP n'est pas adaptée à une installation comme un laboratoire souterrain. Les conditions d'intervention des pompiers et l'inaccessibilité aux personnes à mobilité réduite des galeries souterraines demandent d'obtenir des dérogations par rapport à la réglementation en vigueur. Devant la complexité qu'ajoutent ces demandes de dérogation, l'Andra ne sollicite finalement l'autorisation d'accueillir du public que dans les bâtiments d'accueil en surface⁴⁰⁸. Éventuellement, des visiteurs et visiteuses – et non du public – pourraient accéder aux installations souterraines⁴⁰⁹.

La discussion entre les services préfectoraux de la Vienne et l'Andra sur la possibilité d'accueillir du public dans les galeries du laboratoire est assez révélatrice d'un des rôles de l'activité scientifique de l'Andra. L'ouverture au public des installations de recherche marque une forte volonté d'afficher la transparence des activités de l'Agence : cette ouverture est alors envisagée

406 Le permis de construire pour le laboratoire souterrain de la Vienne est déposé le 25 novembre 1996 puis complété le 3 janvier 1997.

407 J. Cagnon, *Compte rendu. Réunion du 21 janvier 1997. Sous-Commission de sécurité incendie pour les établissements recevant du public*, Andra, 23 janvier 1997.

408 Yves Kaluzny, *Demande de permis de construire*, Andra, 25 novembre 1996.

409 J.M. Bosgiraud, *Conversation T. Merceron avec Préfet Le Pavéc (cf. classement E.R.P. Laboratoire)*, Andra, 24 février 1997.

comme une rupture avec la vieille culture du nucléaire où le secret était de mise. Cette dernière est alors considérée comme responsable du conflit de la fin des années 1980⁴¹⁰. La volonté d'ouvrir les laboratoires souterrains et le rôle politique de la recherche ainsi mise en spectacle s'inscrit dans une transformation plus globale du mode de gouvernement de l'atome⁴¹¹. Cette ouverture des laboratoires est une manière de familiariser les visiteurs et visiteuses à la présence de l'Andra qui se présente alors comme un organisme de recherche.

L'ajournement à 2006 d'une décision sur la politique nationale de gestion des déchets nucléaires permet une dissociation entre les recherches effectuées par l'Andra et leur finalité, qui contribue à rendre acceptable la présentation de l'Agence comme un organisme de recherche. Assurément, une telle présentation de l'Agence rend sa présence plus difficilement critiquable que si elle se présentait comme l'institution en charge de l'implantation d'un stockage. La distance affichée entre le travail des géologues de l'Andra et la finalité de leur travail tend à dissocier l'image de l'Agence de son inscription dans le monde du nucléaire. Il faut toutefois souligner que cette stratégie de dissociation ne convainc pas l'ensemble des acteurs qui prennent part aux débats. Lors du débat parlementaire de 1991, plusieurs parlementaires avaient déjà souligné cette « *hypocrisie* » de la loi.

II.1.2. VIGILANCE LORS DE L'INSTRUCTION DES DEMANDES DE CONSTRUCTION DES LABORATOIRES SOUTERRAINS

Dans la Vienne, l'Andra n'est pas propriétaire des terres sur lesquelles elle souhaite implanter un laboratoire souterrain. Celles-ci appartiennent au maire de la commune⁴¹². Dans une lettre datée du 26 mai 1996, le préfet de la région Poitou-Charentes écrit au ministre de l'Industrie des Postes et des Télécommunications qu'il « *convient d'éviter dans cette affaire, un quelconque soupçon d'ingérence susceptible de peser sur le maire* » : il recommande donc que l'Andra sollicite une déclaration d'utilité publique pour obtenir les terres où implanter un laboratoire⁴¹³. Cette demande complexifie un peu plus encore la procédure administrative d'autorisation du laboratoire souterrain : il est nécessaire que cette déclaration soit préalable au permis de construire et à l'enquête publique. Le préfet de Poitou-Charentes précise que l'instruction d'une telle demande de déclaration d'utilité publique demande généralement une dizaine de mois⁴¹⁴.

410 Andra (ed.), « Décision relative aux laboratoires de recherches de l'Andra », 1998.

411 S. Topçu, *La France nucléaire*, op. cit.

412 Yves Mansillon, *Procédures d'autorisation administratives concernant le projet de laboratoire souterrain de l'Andra en Sud-Vienne*, Préfecture de la Région Poitou-Charentes, Préfecture de la Vienne, 29 mai 1996.

413 *Ibid.*

414 *Ibid.*

Alors que la présence de l'Andra dans la Vienne n'avait pas suscité d'opposition importante, l'enquête publique préalable à la demande de construction du laboratoire suscite des craintes que des opposant.es se manifestent. L'enquête publique dure deux mois à compter du 3 février 1997⁴¹⁵. Au cours du mois de janvier, le directeur de l'antenne de l'Andra dans la Vienne demande qu'un stock de panneaux sur lesquels est placardé l'avis d'enquête publique soit prévu pour pouvoir les remplacer rapidement s'ils sont détériorés. Une société de gardiennage est chargée d'effectuer des rondes toutes les heures pour veiller à l'intégrité des panneaux⁴¹⁶.

Jean Pronost, expert auprès de la Cour d'appel de Paris, préside la commission d'enquête publique dans la Vienne et dans l'Est. Il a auparavant présidé l'enquête publique sur la fermeture du centre de stockage de déchets de faible activité de La Hague en 1995. Dans une lettre publique adressée par l'Association pour le Contrôle de la Radioactivité dans l'Ouest (Acro) au Premier ministre, l'association rappelle que J. Pronost avait focalisé les conflits lors de cette précédente enquête publique. Une nouvelle commission avait alors dû être nommée⁴¹⁷. Lors de l'enquête publique sur la construction d'un laboratoire souterrain dans la Vienne, une réunion publique est particulièrement houleuse à Charroux le 14 mars 1997⁴¹⁸. Auparavant, un Comité de coordination Vienne-Charente contre l'enfouissement des déchets radioactifs a vu le jour⁴¹⁹.

II.1.3. LE VOTE DES COLLECTIVITÉS TERRITORIALES

Dans le cadre des enquêtes publiques, les collectivités territoriales sont invitées à donner leur avis. Dans la Vienne, le Conseil général examine ce dossier le 24 février 1997⁴²⁰. Le préfet présente le projet et le défend. Le conseiller général Alain Claeys, au nom du groupe des élu.es socialistes, apporte son soutien à ce projet. Il rappelle que le conseil s'est prononcé favorablement à l'implantation de l'Andra dans la Vienne lorsqu'il a été sollicité par C. Bataille en 1993⁴²¹. Il insiste également sur la rupture que représente la loi de 1991 et sur le besoin de gérer les déchets radioactifs quelles que soient les opinions de chacun.e sur le nucléaire.

415 JP. Piquard, *Compte-rendu. Réunion Antenne du 10 janvier 1997*, Andra, 14 janvier 1997.

416 *Ibid.*

417 David Boilley, *Lettre au Premier ministre*, Caen, Association pour le Contrôle de la Radioactivité dans l'Ouest, 29 janvier 1997.

418 Yves Kaluzny, *Lettre à Pierre Radanne. Projet de laboratoire souterrain de La Chapelle-Bâton. Loi du 30 décembre 1991*, Andra, 30 juillet 1997.

419 *Ibid.*

420 Laurent Féru, *Vote du Conseil Général de la Vienne. 24 février 1997*, Andra, 25 février 1997.

421 *Ibid.*

Un autre membre de la majorité socialiste insiste sur l'espoir que représentent selon lui les recherches sur la transmutation et le retraitement des déchets (axe 1 des recherches prévues par la loi). Il précise également que la réversibilité d'un éventuel stockage est, pour lui, indispensable. Par ailleurs, ce conseiller général estime qu'aucun stockage ne sera construit dans la Vienne :

« Entre nous, notre problème n'est pas celui-là [la réversibilité du stockage], un site dans l'argile aura une plus grande efficacité mais il fallait mener des recherches dans le granite⁴²² ».

Deux interprétations peuvent être faites d'une telle position. Soit cet élu est particulièrement machiavélique : son argument est uniquement destiné à rassurer ses collègues et il n'est pas entièrement persuadé qu'il n'y aura jamais de stockage dans la Vienne. En tout état de cause, cet élu n'a pas une maîtrise entière sur les décisions qui seront prises ultérieurement. Soit cet élu est convaincu de ce qu'il expose comme un secret de Polichinelle. Dans ce cas, ce laboratoire dans la Vienne aurait uniquement la fonction politique de remplir l'exigence légale de construire plusieurs laboratoires souterrains.

La construction de plusieurs laboratoires permet de dissocier l'implantation des laboratoires de celle d'un stockage : puisque plusieurs laboratoires doivent être construits avant le choix d'un site de stockage, il existe un espoir que l'implantation d'un laboratoire n'entraîne pas celle d'un stockage – et cet espoir est possible dans chacune des régions accueillant un laboratoire. Toutefois, cet espoir n'est fondé qu'à la condition que la construction d'un stockage soit envisagée sur chacun des sites où un laboratoire est implanté. La construction d'un laboratoire dans la Vienne sans prétention à y caractériser un site de stockage relèverait alors d'une stratégie cynique : continuer de faire croire aux élu.es et aux habitant.es de Meuse et de Haute-Marne qu'il n'y aura pas nécessairement un stockage dans leurs départements tout en sachant pertinemment que le choix de la localisation du stockage est déjà tranché.

Le 25 mars 1997, le Conseil régional de Poitou-Charente se prononce en faveur de la construction d'un laboratoire à La Chapelle-Bâton⁴²³. Afin de préparer cette réunion, le directeur de l'Antenne Vienne de l'Andra a rencontré le sous-préfet et le secrétaire général aux affaires régionales de la préfecture de la Vienne. Cette réunion a permis de cadrer la présentation du projet lors de la réunion : une attention particulière est apportée à ne pas mettre en avant l'accompagnement économique promis avec l'implantation d'un laboratoire⁴²⁴. Le préfet a également

422 *Ibid.*

423 « Avis de la Région Poitou-Charentes sur l'implantation d'un laboratoire de recherches souterrain dans le sud de la Vienne », 1997.

424 Thierry Merceron, *Compte-rendu d'entretien avec Henri Bouchaert, SGAR (Secrétaire Général aux Affaires Régionales), Préfecture de la Vienne. Préparation de l'audition Andra en vue du vote CESR + Région Poitou-*

demandé à l'Andra de lui fournir un modèle de délibération pour le conseil régional⁴²⁵. La déclaration du conseil régional approuvée en séance recommande que les recherches sur les trois axes de la loi soient bien poursuivies et que le stockage géologique ne soit pas considéré comme la solution de gestion privilégiée pour les déchets nucléaires⁴²⁶. Le conseil régional demande également à être associé au contrôle de la sécurité dans le laboratoire, que des réponses soient apportées aux recommandations de la CNE et enfin, que l'éventualité de construire un stockage irréversible soit abandonnée. Le 17 avril 1997, le Conseil général de Charente se prononce également en faveur du projet de l'Andra⁴²⁷. Les producteurs de Cognac ont bien demandé que le risque pour leur image, induit par la présence de l'Andra, soit pris en compte dans l'avis du conseil général mais leur cause n'a pas pesé dans la décision⁴²⁸.

Raoul Cartraud, maire de Civray, chef lieu du canton dans lequel l'Andra envisage l'implantation d'un laboratoire souterrain, est un allié précieux de l'Andra. Le 11 avril 1997, ce dernier envoie au directeur de l'Agence la délibération du conseil municipal sur l'implantation d'un laboratoire. L'avis favorable du conseil est accompagné d'un long commentaire⁴²⁹. Celui-ci débute par un historique de la gestion des déchets nucléaires en France et un commentaire sur l'impact de la loi de 1991. D'après les conseillers municipaux, cette loi « *marque une rupture avec la fin du secret en matière nucléaire et l'abandon d'une méthode autoritaire et administrative, et fonde une nouvelle démarche sur la transparence et la démocratie*⁴³⁰. » L'avis du conseil municipal poursuit cependant :

« *On peut cependant constater que cette nouvelle culture n'a pas effacé l'ancienne. La Loi est tantôt présentée comme une manière habile de réaliser un stockage au sens de 1987 ; tantôt pour réaliser un centre de stockage souterrain, nécessaire et inéluctable*⁴³¹. »

Charentes du 25/4/97, 19 février 1997.

425 *Ibid.*

426 « Avis de la Région Poitou-Charentes sur l'implantation d'un laboratoire de recherches souterrain dans le sud de la Vienne », *op. cit.*

427 Dominique Auverlot, *Rencontre avec M. Paul Mourier, Directeur de Cabinet du CG Charente*, Andra, 11 avril 1997.

428 *Ibid.*

429 Raoul Cartraud, *Lettre à Yves Kaluzny*, 11 avril 1997 ; « Avis du Conseil Municipal sur la demande d'autorisation et d'exploitation d'un laboratoire souterrain à La Chapelle-Bâton », 1997.

430 « Avis du Conseil Municipal sur la demande d'autorisation et d'exploitation d'un laboratoire souterrain à La Chapelle-Bâton », *op. cit.*

431 *Ibid.*

Ainsi, les membres du conseil municipal sont méfiants sur la remise en cause de l'inéluctabilité du stockage qu'induirait la loi de 1991. Son ambiguïté et les prises de positions, notamment de la Commission Nationale d'Évaluation dans son premier rapport (cf. chapitre 1), incitent à la vigilance. Pour le Conseil municipal de Civray, le travail de la CNE est essentiel :

« Si la qualité des rapports [de la CNE] dans les aspects techniques et scientifiques est à souligner, il faut aussi relever l'esprit d'indépendance et de responsabilité qui anime la commission. À cet égard il est essentiel de noter l'attachement et la vigilance de la commission vis-à-vis de l'esprit de la Loi dans sa globalité et sa cohérence au travers de sa mise en application⁴³². »

Durant les enquêtes publiques, les élu.es affirment ainsi leur volonté d'être associé.es à la gestion des déchets nucléaires. Plusieurs sont celles et ceux qui insistent sur le besoin de fournir des efforts similaires sur les trois axes de recherches prévus par la loi. Ils et elles affirment également leur attachement à la réversibilité d'un éventuel stockage. La lecture des transformations induites par la loi de 1991 faite par les élu.es de la Vienne témoigne à la fois d'une certaine confiance dans les changements qu'elle a provoqué et d'une crainte que ceux-ci soient uniquement cosmétiques.

Dans ces analyses, l'appréciation de l'inéluctabilité du stockage est ambivalente. Ce sont désormais les parlementaires qui décideront de la politique de gestion des déchets nucléaires et il n'y a pas de raison qu'ils et elles considèrent l'évacuation géologique comme inéluctable. Toutefois, les acteurs historiques du nucléaire gardent un rôle déterminant après 1991 : ce sont le CEA et l'Andra qui effectuent les recherches prévues par la loi de 1991. Dès son premier rapport, la CNE a reconnu l'inéluctabilité du stockage (cf. chapitre 1). Cette institution est chargée d'évaluer scientifiquement les recherches effectuées dans le cadre de la loi pour l'information du Parlement. Elle fonde sa légitimité sur l'autorité scientifique de ses membres et leur indépendance. La remise en cause, par les parlementaires, des conclusions de la commission experte chargée de les informer constituerait un désaveu de la stratégie de rationalisation de la gestion des déchets nucléaires, que les quinze ans de recherche prévus dans la loi Bataille sont censés permettre. La CNE occupe ainsi une place centrale dans le gouvernement de l'aval du cycle nucléaire après 1991.

432 *Ibid.*

II.2. LES CONSÉQUENCES COLLATÉRALES D'UNE ERREUR POLITIQUE

II.2.1. LA DISSOLUTION DE L'ASSEMBLÉE NATIONALE ET LA NOMINATION D'UN GOUVERNEMENT DE « GAUCHE PLURIELLE »

Lors de l'élection présidentielle du printemps 1995, Jacques Chirac est élu président de la République. Le 21 avril 1997, il dissout l'Assemblée Nationale. Des élections législatives sont organisées et le 1^{er} juin, le Rassemblement Pour la République (RPR) perd la majorité à l'Assemblée. Jacques Chirac nomme alors Lionel Jospin Premier ministre. Celui-ci forme un gouvernement de « *gauche plurielle* ». Dominique Voynet, membre des Verts, se voit confier le ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. Par ailleurs, de nouveaux député.es sont élu.es dont notamment Michèle Rivasi, présidente de la Commission de Recherche et d'Information Indépendantes sur la Radioactivité (CRII-RAD), association anti-nucléaire créée au lendemain de l'accident de Tchernobyl.

La dissolution de l'Assemblée Nationale par J. Chirac puis la nomination d'un gouvernement comprenant une ministre écologiste n'amenuisent pas les déboires de l'Andra. Bien au contraire. Déjà, durant l'été 1994, Y. Kaluzny, J. Monestier et la DGEMP soulignaient que les élections présidentielles de 1995 risquaient de repousser la décision d'implantation des laboratoires souterrains. Le changement de majorité à l'Assemblée Nationale en juin 1997 et la nomination de D. Voynet au ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement éloignent encore le moment de la décision.

Les enquêtes publiques sur la construction des trois laboratoires souterrains ont lieu au printemps 1997. Sans grande surprise, elles rendent des avis positifs sur la construction des laboratoires. Les rapports d'enquête publique pointent toutefois que la réversibilité d'un stockage est une demande sociale importante et une condition d'acceptation des laboratoires souterrains. À l'automne 1997, les cabinets ministériels reportent la décision de l'implantation après les élections régionales de mars 1998. Le nucléaire a constitué un point clé de l'accord de gouvernement entre le Parti Socialiste et les Verts. Cet accord prévoit qu'en échange de l'arrêt de Superphénix, Dominique Voynet accepte de signer l'autorisation de construction des laboratoires souterrains.

D. Voynet est la première représentante des Verts à participer à un gouvernement en France. La formation d'une alliance de gouvernement avec le Parti Socialiste et le Parti Communiste a suscité un important débat chez les Verts qui ne s'est pas éteint avec la nomination de D. Voynet au

ministère de l'Environnement⁴³³. La participation de D. Voynet au Gouvernement Jospin se veut constructive et, sur plusieurs sujets, cette dernière accepte de signer des textes en contradiction avec les positions défendues par son parti. Le nucléaire est toutefois un point de crispation au sein du Gouvernement Jospin. Le Parti Socialiste, le Parti Communiste et Les Verts présentent des candidatures distinctes aux élections régionale de mars 1998 et les débats sur les sujets qui divisent la majorité gouvernementale sont repoussés après cette échéance électorale. Le ministre de l'Industrie, Dominique Strauss-Kahn, est notamment candidat à Paris.

Par ailleurs, durant cette deuxième moitié des années 1990, la filière nucléaire traverse une période de doute. À la fin des années 1980, Framatome et Siemens envisagent la construction d'une nouvelle génération de réacteurs, les *European Pressurized Reactors* (EPR). Cette coopération industrielle franco-allemande est toutefois fragile : l'éventualité d'une fusion entre Framatome et Alstom d'une part et l'alliance entre Siemens et le britannique BNFL, concurrent de la Cogéma, ont quelque peu distendu les relations entre les dirigeants de Framatome et de Siemens⁴³⁴. De plus, la présence de membres de Die Grünen dans le Gouvernement allemand de Gerhard Schröder, et de Dominique Voynet dans celui de L. Jospin, menace ce projet d'EPR. En effet, le gouvernement allemand a décidé une sortie progressive du nucléaire et l'abandon du nucléaire est une position défendue en France par Les Verts.

La gestion des déchets est un autre pan de la coopération nucléaire franco-allemande. En effet, les déchets allemands sont retraités dans l'usine Cogéma de La Hague. Le peu de précipitation de l'Allemagne à récupérer ses déchets une fois retraités est régulièrement dénoncé en France. L'arrêt du nucléaire en Allemagne suscite des inquiétudes en France sur le sort des déchets allemands entreposés à La Hague et dont les exploitants des centrales nucléaires allemandes sont toujours propriétaires.

Au début de l'année 1998, l'opportunité économique de construire un nouveau réacteur en France est questionnée par le Directeur Général de l'Énergie et des Matières Premières, Claude Mandil⁴³⁵. Celui-ci exprime alors publiquement ses doutes sur le caractère compétitif de l'EPR, notamment vis-à-vis des centrales à gaz⁴³⁶. De plus, la France dispose déjà d'une surcapacité de production d'électricité correspondant à l'équivalent de quatre tranches de réacteur nucléaire et la

433 Simon Persico, « Un clivage, des enjeux. Une étude comparée de la réaction des grands partis de gouvernement face à l'écologie », Thèse de doctorat, Institut d'Études Politiques de Paris, 2014.

434 Dominique Gallois et Hervé Morin, « L'incertitude croît sur la stratégie nucléaire franco-allemande », *Le Monde*, 1998, p. 21.

435 *Ibid.*

436 *Ibid.*

direction d'EDF envisage de prolonger la durée de fonctionnement des centrales de trente à quarante ans. Le PDG d'EDF, Pierre Daurès, soutient alors que l'électricien français n'est pas prêt à passer commande d'un EPR⁴³⁷.

Dans ce contexte, l'implantation des laboratoires souterrains n'est pas une priorité pour le Gouvernement Jospin. Alors que la direction de l'Andra est impatiente qu'une décision gouvernementale autorise l'implantation de laboratoires souterrains, les membres du gouvernement ne partagent pas ce sentiment d'urgence et repoussent plusieurs fois les décisions à ce sujet. Le lien entre l'implantation des laboratoires souterrains et les autres dossiers du nucléaire impacte notamment le calendrier de la décision à propos de la localisation de ces laboratoires.

II.2.2. LES TRACTATIONS DANS LES CABINETS MINISTÉRIELS

Le 1^{er} décembre 1997, le directeur de la sûreté des installations nucléaires, André-Claude Lacoste, rend un rapport à D. Voynet et C. Pierret, secrétaire d'État chargé de l'Industrie, sur les dossiers de Demande d'Autorisation d'Implantation et d'Exploitation des laboratoires déposés par l'Andra⁴³⁸. Il y note que, vis-à-vis des critères essentiels de la Règle Fondamentale de Sûreté, les trois sites présentent des caractéristiques favorables et qu'il est possible d'y construire des laboratoires souterrains. Cependant, A.C. Lacoste souligne que la construction d'un laboratoire souterrain dans le granite de la Vienne a peu de chance de déboucher sur la construction d'un stockage étant donné les difficultés à caractériser l'hydrogéologie du site. A.C. Lacoste partage les doutes exprimés par G. de Marsily et la CNE sur la possibilité de caractériser un site de stockage dans la Vienne (cf. chapitre 2), mais il se garde bien alors de se prononcer sur l'opportunité d'y implanter un laboratoire.

Le 26 janvier 1998, une réunion interministérielle traite des questions nucléaires afin de préparer le Conseil des ministres du 2 février⁴³⁹. L'arrêt de Superphénix et l'application de la loi Bataille sont à l'ordre du jour. A.C. Lacoste introduit la discussion à propos de l'implantation des laboratoires souterrains en rappelant les conclusions de son rapport de décembre 1997. Il rappelle que le législateur a imposé une obligation de résultat aux recherches sur l'évacuation géologique :

⁴³⁷ *Ibid.*

⁴³⁸ André-Claude Lacoste, *Rapport à Madame la Ministre de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement et à Monsieur le Secrétaire d'État à l'Industrie. Demande d'autorisation pour l'installation et l'exploitation de laboratoires souterrains de recherche sur les déchets radioactifs à haute activité et à vie longue*, ASN, 10 décembre 1997.

⁴³⁹ Secrétariat Général du Gouvernement (ed.), *Compte rendu de la réunion interministérielle tenue le lundi 26 janvier 1998 à 17h sous la présidence de Mme Bettina Laville, conseiller pour l'aménagement du territoire et l'environnement, de M. Bertrand Mabillet et M. Olivier Coste, conseillers techniques au cabinet du Premier ministre. Questions nucléaires*, 29 janvier 1998.

les recherches effectuées par l'Andra doivent permettre au Parlement de se prononcer en 2006 sur la construction d'un stockage géologique. Ainsi, en 1998, pour A.C. Lacoste, l'évacuation géologique est toujours inéluctable. A.C. Lacoste « précise qu'un laboratoire, en tant que tel, ne présente aucun danger et qu'en conséquence, n'importe quel site pourrait être choisi. Mais, il importe de qualifier un site en vue de la qualification éventuelle d'un centre de stockage⁴⁴⁰. » Or, pour lui, la construction d'un stockage dans la Vienne est alors peu probable.

La discussion voit les membres des cabinets du ministère de l'Industrie et de celui de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement s'opposer sur le nombre de laboratoires souterrains qu'il s'agit d'autoriser. À la question de savoir si D. Voynet préfère la construction d'un ou deux laboratoires, son représentant précise que la position de base de D. Voynet est la construction d'aucun laboratoire mais que si la construction d'un tel équipement est nécessaire, il n'en faut qu'un seul. Le représentant de D. Strauss-Kahn rappelle la nécessité de construire deux laboratoires souterrains comme le prévoit la loi de 1991. Pour lui, la construction d'un seul laboratoire, « c'est la chronique d'une mort annoncée » du dispositif engagé par C. Bataille au début des années 1990⁴⁴¹. Si durant cette réunion les positions sont fortement divergentes, la représentante de Lionel Jospin remarque que l'ensemble des participant.es s'accordent pour rejeter l'éventualité de construire un laboratoire sur le site de la Vienne. Le président de l'Andra et le représentant de D. Strauss-Kahn précisent toutefois que si la construction d'un laboratoire dans la Vienne est abandonnée, il est tout de même possible de continuer à étudier les granites sur ce site, depuis la surface ou dans un puits.

Le représentant de D. Voynet réclame le report de la décision sur l'implantation des laboratoires après un approfondissement de la question de la réversibilité. Le Conseil des ministres du 2 février 1998 demande alors à la CNE un rapport spécifique sur ce sujet. Après le Conseil des ministres du 2 février, la décision gouvernementale d'implantation des laboratoires souterrains est donc à nouveau repoussée. En juin 1998, la CNE publie ses réflexions sur la réversibilité⁴⁴². Pour écrire ce document, elle a auditionné des experts internationaux, les acteurs de la loi de 1991, des chercheurs en sciences sociales (le sociologue Yannick Barthe et l'économiste Martin O'Connor) ainsi que la Commission de Recherche et d'Information Indépendantes sur la Radioactivité (CRII-RAD) et le Groupement des Scientifiques pour l'Information sur l'Énergie Nucléaire (GSIEN). Dans ce rapport, la CNE distingue, en fonction des différents types de déchets, les chances de pouvoir un jour valoriser les substances qu'ils contiennent ou diminuer leur nocivité. À

440 *Ibid.*

441 Dominique Auverlot, *Compte-rendu succinct de la réunion du 26 janvier 1998. Questions nucléaires*, Andra, 27 janvier 1998.

442 Commission Nationale d'Évaluation (ed.), *Rapport sur la réversibilité des stockages*, juin 1998.

partir de ce panorama, la Commission établit quelques propositions sur les durées durant lesquelles il pourrait être judicieux d'entreposer les déchets en surface ou de pouvoir les reprendre s'ils sont déposés en profondeur.

II.3. UNE ACCUMULATION DES CRITIQUES

II.3.1. LES CRITIQUES DE LA CNE SUR LES QUALITÉS DU GRANITE

Alors que le calendrier de l'Andra s'enlise dans des tractations au sein des cabinets ministériels, les critiques sur l'opportunité de construire un laboratoire souterrain dans la Vienne s'accumulent. La Commission Nationale d'Évaluation a dans ses rapports n° 2 (juin 1996) et n° 3 (juin 1997) soulevé plusieurs difficultés auxquelles l'étude du site de la Vienne fait face : l'appréhension de la fracturation du granite et la qualification des circulations hydrauliques dans ses fractures ainsi que l'existence d'une couverture sédimentaire dans laquelle deux aquifères sont exploités (cf. chapitre 2). La Commission défend l'idée que le site de la Vienne présente des « *aspects négatifs paraissant [alors] incontournables* »⁴⁴³. Par ailleurs, dans son rapport n° 3, la Commission exprime ses doutes quant aux ressources humaines de l'Andra pour construire et exploiter simultanément plusieurs laboratoires souterrains⁴⁴⁴.

Parmi les membres de la CNE et du Groupe Permanent Déchets, la controverse autour de la construction d'un laboratoire dans la Vienne est avant tout un désaccord sur ce qu'il est possible ou non d'attendre des recherches dans une telle installation. En effet, pour G. de Marsily notamment, la construction d'un laboratoire ne permettra pas de caractériser un site de stockage dans la Vienne : elle n'a donc aucun intérêt. L'opposition entre G. de Marsily et les géologues de l'Andra est un désaccord sur les promesses qu'il est possible de placer dans la réalisation d'un laboratoire dans le granite de la Vienne. Alors que G. de Marsily est initialement le seul à défendre cette position, comment expliquer que ses arguments soient repris et entendus ? Pourquoi n'a-t-il pas été marginalisé, par exemple ?

Tout d'abord, il faut pointer le fait que les positions de G. de Marsily ont eu un écho différent au Groupe Permanent Déchets et à la CNE. L'avis du GP est plus nuancé que celui de la CNE. Le Groupe Permanent est une assemblée large d'une trentaine de membres où siègent notamment

443 Commission Nationale d'Évaluation (ed.), *Rapport d'évaluation n° 3*, op. cit., p. 87.

444 *Ibid.*, p. 26.

quelques salarié.es de l'Andra. Du fait même de cette présence, il semble délicat qu'un avis consensuel du Groupe Permanent remette en cause une conclusion de l'Agence. La Commission Nationale d'Évaluation est groupe de plus petite taille. Des dirigeants du CEA y siègent mais aucun.e salarié.e de l'Andra. De plus, au sein de la CNE, ses membres appartiennent à des communautés scientifiques différentes. Seuls trois membres de la Commission sont des spécialistes des sciences de la Terre : le géologue de l'Institut français du pétrole B. Tissot, qui préside la Commission, le géochimiste du CNRS J.C. Duplessis et l'hydrogéologue G. de Marsily. Rapidement, J.C. Duplessis partage les réticences de G. de Marsily sur la possibilité de construire un stockage dans la Vienne.

En tant que président de la Commission, B. Tissot est l'interlocuteur des pouvoirs publics, qui font pression sur lui pour que la Commission ne publie pas un avis défavorable à l'implantation d'un laboratoire. Toutefois, plusieurs membres de la CNE sont attachés au rôle qui leur est confié et tiennent à l'autonomie des avis de la Commission. Avant leur nomination dans cette Commission, G. de Marsily et J.C. Schapira ont déjà émis des avis critiques sur la politique française de gestion des déchets nucléaires. En 1980, ils se sont ainsi élevés publiquement contre un projet de stockage de déchets nucléaires de faible activité dans une ancienne mine d'uranium à Saint-Priest-la-Prugne (cf. chapitre 1)⁴⁴⁵. Ils considéraient notamment que les qualités géologiques de ce site minier étaient inadaptées à l'implantation d'un stockage de déchets nucléaires.

Les discussions entre les membres de la Commission sont parfois houleuses. Lors d'un entretien, un ancien membre de la CNE rapporte que, contre l'avis de B. Tissot, c'est le ralliement de R. Dautray à la position que G. de Marsily défend avec J.C. Duplessis qui a poussé l'ensemble des membres de la Commission à adhérer à leur position⁴⁴⁶. R. Dautray jouit d'une importante autorité scientifique : il est alors Haut-Commissaire à l'Énergie Atomique et membre de l'Académie des Sciences. Il n'est pas géologue mais le crédit qu'il accorde à l'avis de G. de Marsily et de J.C. Duplessis aurait permis l'adhésion de l'ensemble des membres de la CNE à leur critique. Cette histoire est peut-être un peu simpliste. Toutefois, elle permet d'expliquer le ralliement de la Commission à l'avis de deux de ces membres. Ainsi, ce serait parce que G. de Marsily est insistant, qu'il est attaché à défendre son avis et que son autorité scientifique est reconnue par R. Dautray, dont l'autorité scientifique est plus importante que celle du président de la Commission, que son avis aurait été partagé au sein de la CNE.

445 Y. Barthe, *La mise en politique des déchets nucléaires*, op. cit., p. 172.

446 Entretien avec un ancien membre de la CNE (février 2015).

Depuis le début des enquêtes publiques, l'Andra a interrompu ses recherches de terrain. Les géologues de l'Agence ne produisent plus de données nouvelles sur les sites et ils doivent se contenter de retravailler celles qu'ils ont accumulées entre 1994 et 1996 pour répondre aux critiques qui leur sont faites. Afin de défendre la possibilité d'envisager la construction d'un stockage dans le granite, la direction de l'Andra commande une étude à un universitaire états-unien, le professeur William M. Murphy. Durant l'été 1997, avec une équipe du *Center for Nuclear Waste Regulatory Analyses Southwest Research Institute*, W. Murphy produit un rapport dans lequel il souligne les incertitudes qui existent sur l'interprétation des données géochimiques sur le granite de la Vienne, tout en pointant que les géologues de l'Andra ont utilisé des techniques de pointe et émis des hypothèses raisonnables⁴⁴⁷. Ce rapport ne distingue aucun élément rédhibitoire à la poursuite des recherches dans la Vienne et précise qu'un laboratoire souterrain devrait permettre une compréhension plus fine de la géochimie des eaux présentes dans le granite.

II.3.2. L'ANDRA ATTEND, LES ENNUIS S'ACCUMULENT

En novembre 1997, quarante député.es dont Michèle Rivasi et les députés de la Meuse F. Dosé et J.L. Dumont demandent une révision de la loi de 1991 afin de rendre impossible la construction d'un stockage géologique irréversible⁴⁴⁸. De plus, durant cette période d'attente, une nouvelle proposition qui n'était pas envisagée dans la loi de 1991 voit le jour : le stockage des déchets nucléaires en sub-surface, c'est-à-dire sous terre à faible profondeur ou à flanc de colline. L'étude de cette nouvelle option est fortement plébiscitée par les opposant.es au stockage profond. Elle est défendue jusqu'au gouvernement. En effet, en novembre 1997, Ségolène Royal alors ministre déléguée à l'Éducation nationale annonce publiquement que « *le gouvernement s'apprête à renoncer à l'enfouissement des déchets nucléaires* » et envisage à la place un « *stockage en semi-surface sur le site même des centrales nucléaires* »⁴⁴⁹. Ces propos sont vite démentis par le cabinet du Premier ministre.

447 William M. Murphy, David R. Turner et David A. Pickett, *Rapport d'expert sur les études géochimiques du site de Vienne. Projet du 8 septembre 1997*, San Antonio, Center for Nuclear Waste Regulatory Analyses Southwest Research Institute, 1997.

448 François Dosé, *Lettre à Lionel Jospin*, 18 novembre 1997 ; « L'enfouissement profond des déchets nucléaires ne serait plus privilégié », *Le Monde*, 18/11/1997 p.13

449 Y. Barthe, « Mobilisations et choix techniques. Le cas des déchets nucléaires », *op. cit.* ; Mathieu Escoffier, « Zizanie sur les déchets nucléaires. Des députés PS mènent la fronde. », *Libération*, 20/11/1997 p.18

Dans le Gard, les vignerons et leur syndicat s'opposent vigoureusement à l'implantation de l'Andra. Le 22 mai 1998, l'antenne locale de l'Agence est saccagée⁴⁵⁰. Le Conseil général du Vaucluse et les Conseil régionaux de Languedoc-Roussillon et de Provence-Alpes-Côte-d'Azur se prononcent contre l'implantation d'un laboratoire souterrain à Chusclan au printemps 1997.

Le 24 juin 1998, *Le Figaro* publie un article intitulé « *Le stockage souterrain des déchets nucléaires en question. L'argile a aussi ses failles* »⁴⁵¹. Le chapeau de l'article poursuit sur ce ton :

« *L'Institut de protection et de sûreté nucléaire a mis en évidence l'existence de fissures dans l'argile, dans un ancien tunnel ferroviaire du Larzac. Jusqu'alors on croyait cette roche propice au confinement des colis radioactifs*⁴⁵². »

Ce reportage à Tournemire présente les recherches effectuées par l'IPSN et la mise en évidence de fissures dans l'argile. À l'Andra, la qualification par l'IPSN de l'argile comme une roche fissurée suscite l'indignation. Jusqu'alors l'argile a été présentée comme une roche plastique aux propriétés opposées à celles des granites durs et cassants. Cette plasticité des argiles doit permettre la rétractation des fractures qui pourraient s'y former sous l'action de mouvements tectoniques. La difficulté de l'Agence à caractériser la fracturation du granite est une des critiques majeures de sa proposition d'y construire un laboratoire (cf. chapitre 2). La perspective que s'ouvre une controverse à propos des qualités de l'argile sur ce thème, associé à la discorde autour du laboratoire de la Vienne, fait frissonner l'Andra⁴⁵³. Toutefois, cet article ne provoque pas une remise en cause de l'intérêt d'étudier les possibilités de stocker des déchets dans l'argile.

Durant l'attente d'une décision ministérielle sur l'implantation des laboratoires, l'Andra voit donc s'accumuler les critiques et les doutes sur la possibilité d'évacuer géologiquement des déchets nucléaires. Alors que l'Agence a arrêté de mener des essais sur les sites, elle a peu de prise sur le calendrier et ne maîtrise plus la communication sur la gestion des déchets nucléaires.

450 Jean-Paul Guelpa, *Compte-rendu de l'Assemblée générale ordinaire du Syndicat général des Vignerons des Côtes du Rhône et de la Vallée du Rhône tenue à Nîme le 28 août 1998*, Andra, 1 septembre 1998.

451 Fabrice Nodé-Langlois, « Le stockage souterrain des déchets nucléaires en question. L'argile a aussi ses failles », *Le Figaro*, 24/06/1998 p.11

452 *Ibid.*

453 Yves Kaluzny, *Le temps de la décision*, Andra, 1998.

II.4. DES MOBILISATIONS POUR UNE DÉCISION

En septembre 1998, le gouvernement n'a toujours pas trouvé un accord sur la localisation des laboratoires souterrains. L'Andra se trouve face un blocage politique qui la place dans une situation délicate. En effet, non seulement elle attend une décision à propos du choix des sites où poursuivre ses travaux mais l'Agence se trouve également sans conseil d'administration ni président. Le gouvernement doit en effet nommer treize membres au conseil d'administration et celui-ci ne s'est pas réuni depuis la fin des mandatures précédentes, le 23 octobre 1997. En ce mois de septembre 1998, les comptes de l'Andra de l'année 1997 n'ont pas été approuvés, le budget de 1998 n'a pas été revu et la préparation d'un budget pour 1999 s'annonce difficile. À l'Andra, cette situation de blocage évoque à tous et toutes le moratoire de 1990 : l'absence de décision du gouvernement de gauche plurielle est perçue comme un « *moratoire déguisé* »⁴⁵⁴.

La crise que traverse l'Andra menace également ses sous-traitants, et notamment Antea, filiale du BRGM dont l'activité est uniquement dédiée aux études géologiques pour le stockage des déchets nucléaires. Sans budget et sans travail, l'Andra a considérablement réduit l'appel à ses services. Depuis le dépôt des dossiers de DAIE et les enquêtes publiques du printemps 1997, et durant tout le temps d'attente d'une décision gouvernementale, la direction de l'Andra incite ses différents alliés à se mobiliser pour hâter une décision.

II.4.1. CHERCHEURS ET ÉLU.ES POUR LA CONSTRUCTION D'UN LABORATOIRE DANS LA VIENNE

Durant l'hiver 1997, quelques chercheurs et chercheuses font circuler une pétition dans laquelle ils et elles demandent que la construction des trois laboratoires souterrains pour lesquels l'Andra a déposé un dossier de DAIE soit autorisée au plus vite, et notamment qu'un laboratoire soit construit dans la Vienne⁴⁵⁵. Ce texte défend une séparation entre les recherches et les décisions. Ainsi, les pétitionnaires demandent :

« la clarification des enjeux, critères et modalités de choix, s'appuyant sur une séparation nette entre études et décisions, entre laboratoires souterrains et stockage, de façon à permettre une saine évaluation par la représentation nationale, des recherches sur les trois

454 Note manuscrite de Y. Kaluzny. Boite Andra 2001 0561.

455 « Appel de scientifiques pour la réalisation des trois laboratoires souterrains de recherche », 1997.

*voies et des possibilités de solutions auxquelles elles mènent, mais également une appropriation de ces questions par l'ensemble des citoyens*⁴⁵⁶. »

Cet appel soutient également que face aux incertitudes sur les qualités du granite, il est d'autant plus important d'y construire un laboratoire :

*« le fait que des incertitudes qui subsistent actuellement ne puissent être levées que par les investigations réalisés en laboratoires souterrains doit conduire à se doter de ces outils, non à y renoncer devant l'ampleur des études qui restent à accomplir. On ne découvre pas aujourd'hui qu'un site granitique est plus difficile à comprendre et modéliser et qu'un laboratoire permet seul d'y parvenir. La réalisation d'un laboratoire souterrain n'implique pas celle d'un stockage*⁴⁵⁷. »

Parfois, les élu.es sont également des soutiens importants. Ainsi, le Conseil municipal de Civray, appelé à se prononcer pendant les enquêtes publiques sur l'implantation d'un laboratoire dans le canton dont il est le chef-lieu, joint à sa délibération un long commentaire. Celui-ci pointe l'importance de l'évaluation de la recherche et du dispositif mis en place par la loi de 1991⁴⁵⁸. Cet avis insiste sur la nécessité des recherches sur les trois voies mentionnées dans la loi tout en reconnaissant l'inéluctabilité du stockage géologique. Si le travail de la CNE est considéré comme un gage de rigueur des recherches effectuées, la prise de position de la Commission sur la difficulté d'envisager la construction d'un stockage dans la Vienne est perçue comme contraire à l'« esprit de la loi ».

Le 26 mai 1998, le maire de Civray, Raoul Cartraud, adresse un courrier au Premier ministre en tant que président de la Communauté de communes du Civraisien⁴⁵⁹. Il y reprend l'argumentaire du Conseil municipal de Civray et conclut :

*« L'acceptabilité d'un stockage en surface, subsurface, ou profondeur dépendra de l'état d'avancement des recherches menées sur deux autres voies, de la volonté de les poursuivre, mais aussi de la réversibilité du stockage permettant des solutions alternatives. Dans l'état actuel, il s'agit de développer la recherche et de s'assurer que l'état d'avancement sur les 3 voies se poursuit de façon équilibrée*⁴⁶⁰. »

456 *Ibid.*

457 *Ibid.*

458 « Avis du Conseil Municipal sur la demande d'autorisation et d'exploitation d'un laboratoire souterrain à La Chapelle-Bâton », *op. cit.*

459 Raoul Cartraud, *Lettre à Lionel Jospin*, 26 mai 1998.

460 *Ibid.*

Comme la pétition des scientifiques, la mobilisation des élu.es du civraisien défend le projet de laboratoire au seuil du Poitou en s'appuyant sur la loi de 1991. La construction d'un laboratoire dans la Vienne doit permettre au Parlement de décider d'une politique de gestion des déchets nucléaires en 2006. Si l'évacuation géologique est considérée comme inéluctable, ces argumentaires cherchent à protéger la période dévolue aux recherches, ouverte par la loi Bataille, et s'opposent à l'anticipation du choix de l'implantation d'un site de stockage. La transformation par la loi Bataille de la gestion des déchets radioactifs en un objet de recherche a engendré une forme de mobilisation nouvelle : la défense du travail scientifique, qui doit permettre un choix éclairé des décideurs en 2005. Dans ces discours, l'évaluation des recherches par une Commission experte est considérée comme un gage de rigueur. Cette importance vouée à l'évaluation des recherches par la CNE témoigne d'une certaine défiance envers l'Andra et le CEA, acteurs historiques du nucléaire. La création de la CNE par la loi Bataille est un pivot important dans la rupture annoncée entre un ancien mode de gouvernement de l'aval du cycle nucléaire et celui qui se met en place durant les années 1990.

II.4.2. LA DIRECTION ET LES SALARIÉ.ES AU SECOURS DE L'AGENCE POUR L'INTÉRÊT NATIONAL

Durant l'été 1998, Y. Kaluzny écrit une note intitulée *Le temps de la décision* qu'il destine à ses alliés politiques⁴⁶¹. Elle est structurée en deux parties. Dans la première, le directeur de l'Andra souligne que l'attente augmente le « *risque politique* »⁴⁶². Il pointe le fait que l'alliance récente entre le SPD allemand et Die Grünen rend plus délicates les décisions à propos du nucléaire en France⁴⁶³. Y. Kaluzny note également que l'absence de décision sur l'implantation des laboratoires souterrains nuit à la dynamique impulsée par la loi de 1991 et fragilise l'ensemble de l'industrie nucléaire française au moment de l'ouverture du marché de l'énergie à la concurrence. Ainsi, dans cette note, le directeur général de l'Andra lie le travail de l'Agence aux intérêts de l'industrie nucléaire. Ce lien est généralement omis dans les communications publiques de l'Agence et de ses soutiens. Le directeur général de l'Andra souligne également que l'opposition aux projets de l'Andra est très minoritaire parmi les parlementaires. La première partie de cette note se conclut ainsi :

« *Ne pas prendre de décision c'est ipso facto se déclarer pour ou contre le nucléaire et donc s'exposer politiquement*⁴⁶⁴. »

461 Y. Kaluzny, *Le temps de la décision*, op. cit.

462 *Ibid.*

463 *Ibid.*

464 *Ibid.*

La deuxième partie de cette note soutient que le retard dans la prise de décision sur l'implantation des laboratoires accroît le « *risque technique par les querelles d'experts* »⁴⁶⁵. Outre l'article du *Figaro* sur les fissures dans l'argile, Y. Kaluzny reproche à la Commission Nationale d'Évaluation de restreindre l'ouverture des recherches voulue par la loi⁴⁶⁶. Ainsi, Y. Kaluzny dissocie l'évaluation des qualités du granite de la décision sur l'implantation des laboratoires. Dans cette note, il défend l'idée que la période de quinze ans dévolue aux recherches soit protégée des débats sur la politique de gestion des déchets nucléaires. Pour Y. Kaluzny, l'implantation des laboratoires souterrains est donc stratégique pour l'industrie nucléaire mais il s'agit d'éviter que les débats sur l'implantation de ces installations soient troublés par des questions sur la gestion des déchets nucléaires qui, eux, doivent être relégués au terme de la période de quinze ans ouverte avec la loi Bataille.

En septembre 1998, les syndicats professionnels de l'Agence, craignant pour l'avenir de celle-ci, se mobilisent. En effet, l'absence de budget et de travail leur fait craindre un plan social ou que l'Agence soit « *mangée* » par le CEA⁴⁶⁷. Le 11 septembre, les élus CFE-CGC au Conseil d'administration de l'Andra écrivent aux trois ministres de tutelle de l'Agence pour les alerter sur la situation de blocage dans laquelle celle-ci se trouve⁴⁶⁸. Le 24 septembre 1998, les représentant.es du personnel au Conseil d'entreprise de l'Andra adoptent une motion pour demander que les sites où réaliser des laboratoires souterrains soient choisis au plus vite⁴⁶⁹. Cette motion insiste sur l'appauvrissement des résultats scientifiques, qui pourront être présentés en 2005, que provoque l'attente du choix des sites et l'amenuisement du temps dévolu aux recherches dans les laboratoires souterrains. Cette motion défend également la nécessité de dissocier la question des laboratoires des débats du moment sur l'ouverture du marché de l'énergie et sur la place du nucléaire dans la politique énergétique. La motion des représentant.es du personnel émet une critique sévère à l'encontre de la CNE :

« il ne faudrait pas que le constat anticipé de l'existence "d'éléments négatifs incontournables" pour l'implantation éventuelle d'un futur stockage souterrain sur le site de la Vienne, entrave la libre décision de création d'un laboratoire de recherche souterrain que doit prendre le Gouvernement en s'appuyant sur l'ensemble des éléments fournis par les différents acteurs : commission d'enquête publique, avis des collectivités territoriales, CNE,

465 *Ibid.*

466 *Ibid.*

467 Note manuscrite de Kaluzny, 21/09/98.

468 F. Bosco, D. Jousselin, Alain Trouiller et J.P. Verviale, *Lettre des administrateurs élus de la CGC aux Ministres de l'industrie, de la recherche et de l'environnement*, 11 septembre 1998.

469 « Motion des représentants élus du personnel au Comité d'Entreprise de l'Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs votée en séance du 24 septembre 1998 », 1998.

Groupe Permanent, DSIN, et autre Administrations. [...] Chaque acteur de la loi se doit de jouer le rôle qui lui est dévolu dans la démarche instituée par la loi de 1991, sans apporter de jugement prématuré, donc partiel sur le traitement ultérieur du dossier. [...] Dans ce contexte le rapport annuel n° 3 et le rapport sur les réflexions sur la réversibilité des stockages de la Commission Nationale d'Évaluation font des propositions anticipées, des pronostics définitifs et sévères, qui vont bien au-delà des recommandations attendues à ce stade d'avancement des projets de l'axe 2 de la loi. De fait, ces rapports discréditent le processus par rapport à l'esprit de la loi. Le Gouvernement ne doit pas par des conclusions hâtives, à mi-parcours d'un processus légitime, retarder plus encore l'avancement des études ou proposer des demi-autorisations qui ne rassureraient personne, ne répondraient pas aux questions de 2006, et se montreraient indignes des enjeux. [...] Face à ces difficultés, de nature à entraver le déroulement normal de la démarche de la loi de 1991, les membres élus du Comité d'Entreprise souhaitent que l'esprit de la loi ne soit pas déformé et que soient réaffirmées les responsabilités des différents acteurs vis-à-vis de la Nation. Il est du devoir du Gouvernement, par son exemplarité de conserver l'esprit de la loi⁴⁷⁰. »

Dans cette critique des salarié.es élu.es au Conseil d'entreprise de l'Andra, l'appel à la loi (ou plutôt à son esprit) et un rapport optimiste aux incertitudes viennent justifier le besoin de construire un laboratoire dans la Vienne. Dans leur appel, l'absence d'éléments rédhibitoires à l'implantation d'un stockage justifie la poursuite des recherches sur tous les sites. Elles et ils reprochent à la CNE d'anticiper les résultats qu'il sera possible d'obtenir en 2005. Dans leur motion, l'incertitude sur la capacité à montrer la sûreté d'un stockage laisse ouverts tous les possibles. De plus, les conditions matérielles des recherches (coût de la construction des laboratoires souterrains, capacités humaines de l'Andra à réaliser des essais sur trois sites...) ne doivent pas être prises en compte dans le choix de l'implantation des laboratoires souterrains, contrairement à ce qu'écrit la CNE.

L'« esprit de la loi » tel qu'il est évoqué dans l'extrait ci-dessus sépare les recherches de leur finalité. Alors que l'ensemble des acteurs du nucléaire s'accordent toujours pour considérer le stockage géologique comme inéluctable, les représentant.es des salarié.es de l'Andra militent pour que les recherches sur le granite soient poursuivies sans se préoccuper des chances de pouvoir y construire un jour un stockage. Pour elles et eux, l'évaluation des recherches ne devrait pas prendre en considération les chances que celles-ci puissent permettre de caractériser un stockage.

470 Ibid.

Enfin, les représentant.es des salarié.es lient la mission de l'Andra aux intérêts de la nation⁴⁷¹. Ce appel à la nation permet de désenclaver le stockage du monde du nucléaire et de faire porter la responsabilité de la gestion des déchets nucléaires sur une hypothétique communauté nationale. En réalisant les recherches prévues par la loi, l'Andra travaillerait désormais pour la nation, et non plus pour l'industrie nucléaire. La gestion des déchets reviendrait désormais à celles et ceux qui ont bénéficié de l'énergie nucléaire et non plus aux responsables de la production de ces déchets. Ce serait ainsi au regard de l'engagement des salarié.es de l'Agence pour le bien de la nation que le gouvernement devrait hâter l'implantation des laboratoires souterrains.

Lors de la réunion du Comité d'entreprise du 24 septembre 1998, Y. Kaluzny fait un point sur la situation de l'Agence⁴⁷². Il y souligne la période difficile que traverse l'Andra et les bons dossiers que les salarié.es ont produits sur les recherches effectuées entre 1994 et 1996. Aux représentant.es des salarié.es, il explique avoir essayé de mobiliser les cabinets ministériels sur la situation de l'Andra et saisi la Direction Générale de l'Énergie et des Matières Premières. Si le directeur général reconnaît avoir peu de visibilité sur l'évolution de la situation, il évoque néanmoins les soutiens sollicités chez les élu.es. La préparation de l'année 1999 s'avère difficile. Néanmoins, Y. Kaluzny annonce au Comité d'entreprise qu'il n'y aura pas de diminution de l'effectif. Le directeur de l'Agence conclut son intervention en appelant les salarié.es à la mobilisation dans cette période difficile.

Durant les mois de septembre et d'octobre 1998, Yves Kaluzny, en collaboration avec Christian Bataille et le conseiller technique chargé de l'énergie au cabinet de Christian Pierret, multiplie les rendez-vous pour tenter de débloquer la situation de l'Agence. C'est d'abord vers EDF et le CEA qu'il se tourne pour trouver des alliés à même d'accélérer une décision gouvernementale. Le député André Lajoinie et Robert Hue, secrétaire national du Parti Communiste qui compte deux ministres au gouvernement, sont également appelés à se manifester par l'entremise des syndicats des salarié.es de l'Agence⁴⁷³. La direction de l'Andra cherche également à mobiliser les cabinets de Lionel Jospin et de Jacques Chirac. René Monory, alors président du Sénat et président du Conseil général de la Vienne, appuie toujours le projet de l'Andra dans ce département. Il est toutefois possible que les ministres du Gouvernement de L. Jospin soient peu enclins à faire des cadeaux à cet ancien ministre de plusieurs gouvernements de droite.

471 G. Hecht, *Le rayonnement de la France. op.cit.*

472 Note manuscrite de Y. Kaluzny. Boite Andra 2001 0561.

473 A. Cournut, *Lettre à Yves Kaluzny*, 14 octobre 1998.

Au mois de septembre 1998, plusieurs membres des cabinets ministériels indiquent au directeur de l'Andra que la décision sur l'implantation des laboratoires souterrains n'aura pas lieu avant le congrès des Verts prévu les 14 et 15 novembre 1998 à Noisy-le-Grand⁴⁷⁴. Par ailleurs, ils estiment que la construction de deux laboratoires sera autorisée : un dans l'Est et un dans la Vienne⁴⁷⁵. Pourtant, lors de la réunion interministérielle du 26 janvier 1998, l'ensemble des participant.es s'accordaient pour rejeter l'idée d'implanter un laboratoire souterrain dans la Vienne. Dans les tractations de la direction de l'Andra auprès des cabinets ministériels, les informations sur l'implantation des laboratoires souterrains fluctuent durant toute l'année 1998 et rien ne semble encore acquis à l'automne de cette année.

CONCLUSION PARTIELLE

La crainte formulée par Y. Kaluzny durant l'été 1994 que l'implantation des laboratoires s'avère délicate si le choix de leur localisation est repoussé au delà de l'élection présidentielle de 1995 s'est révélée justifiée. La nomination de Dominique Voynet au gouvernement, les critiques émises par la Commission Nationale d'Évaluation et la mobilisation des vignerons du Gard ont sensiblement compliqué le choix des départements où implanter des laboratoires.

Après les enquêtes publiques, l'Andra se trouve bloquée sans Conseil d'administration ni budget dans l'attente d'une décision gouvernementale. Contre ce « *moratoire déguisé* », la direction et les représentant.es des salarié.es de l'Agence cherchent à hâter une décision. Dans leurs plaidoyers, la référence à la loi de 1991 qui stipule la construction de plusieurs laboratoires souterrains est systématique. De plus, ils et elles défendent une absence d'anticipation des résultats des recherches qui pourraient être menées dans un laboratoire souterrain implanté dans le sud de la Vienne. Pour elles et eux, il est nécessaire de dissocier la décision de construire un laboratoire souterrain de l'appréciation de la possibilité de construire un stockage souterrain : le temps n'est pas à cette décision qui doit être laissée au terme de la période de recherche prévue par la loi.

Les représentant.es des salarié.es et la direction de l'Agence font appel à l'« *esprit de la loi* ». Celui-ci représente l'ouverture, symbole du nouveau mode de gestion de l'aval du cycle, qu'ils et elles opposent à l'ancienne culture du nucléaire, pointée comme responsable de l'échec de l'implantation de l'Andra à la fin des années 1980. C'est au nom de l'intérêt de la nation qu'ils et

474 Note manuscrite de Y. Kaluzny. Boite Andra 2001 0561.

475 Note manuscrite de Kaluzny du 21 septembre 1998. Boite Andra 2001 0561.

elles défendent la nécessité que l'Andra poursuive son travail. L'« *esprit de la loi* » serait un garant de l'intérêt national. Il suppose que les efforts de recherche sur les trois voies prévues par la loi soient poursuivis.

La justification de l'implantation de laboratoire souterrain repose sur un double discours dans lequel la référence au stockage est tantôt explicite ou tantôt tue : soit l'inexorabilité du recours à l'évacuation géologique justifie l'implantation de ces laboratoires, soit le report de quinze ans des décisions sur la gestion des déchets nucléaires dissocie l'implantation des laboratoires souterrains de leur finalité. Suivant ce deuxième discours, l'Andra n'est qu'une institution de recherche mettant en application un programme fixé légalement. Présenter ainsi l'Andra attribue à l'activité scientifique un rôle pacificateur. En effet, la transformation d'un projet industriel en un domaine de recherche est une stratégie classique de gouvernement du temps et de la critique⁴⁷⁶.

Implanter un laboratoire souterrain dans la Vienne ne permettant pas la caractérisation d'un site de stockage interroge la nucléarité de ces installations. En effet, la construction de ces laboratoires n'est justifiée que par le besoin de caractériser un site de stockage mais l'espoir qu'un autre site soit choisi pour accueillir un stockage contribue à l'acceptation de ces laboratoires. La construction de laboratoires souterrains ne doit pas impliquer nécessairement l'implantation d'un stockage malgré le fait que ces laboratoires soient dédiés à la caractérisation d'un site. Dès lors, la construction de deux laboratoires dont un seul permettrait de caractériser un site de stockage serait *ipso facto* l'aveu d'un échec de la stratégie d'implantation progressive de l'Andra pensée par C. Bataille. Construire un deuxième laboratoire uniquement pour remplir l'exigence légale de disposer de plusieurs laboratoires serait coûteux financièrement pour un intérêt stratégique assez limité. En effet, la controverse sur la pertinence d'implanter un laboratoire souterrain dans la Vienne a quasiment ruiné tout espoir qu'un stockage puisse être implanté à La Chapelle-Bâton.

476 J. Blanck, « Gouverner par le temps », *op. cit.* ; Mathieu Baudrin, Benoît Dauguet, Dalia Deias et Benjamin Raimbault, « « On n'est pas des cow-boys ». Controverse sur l'exploitation des gaz de schiste et stratégie de l'industrie pétrolière », *Revue d'anthropologie des connaissances*, 2014, vol. 8, n° 2, p. 451.

III. DEUX LABORATOIRES MAIS UN SEUL SITE

III.1. UNE RECOMMANDATION ET UN ULTIME APPEL

Lors de la présentation devant la CNE de la stratégie d'EDF pour l'aval du cycle nucléaire par son directeur général en mars 1998, un salarié d'EDF mentionne qu'il importe que la communication de la décision sur l'implantation des laboratoires souterrains soit mesurée⁴⁷⁷. Il précise ainsi que l'abandon éventuel des recherches dans la Vienne ne doit pas être perçu comme une remise en cause du stockage géologique dans le granite. La Suède, dont le sous-sol est exclusivement constitué de granite, envisage de construire un stockage géologique sur son territoire. Afin de ne pas gêner les homologues suédois de l'Andra, il importe que l'abandon éventuel des recherches dans la Vienne ne discrédite pas la possibilité d'implanter un stockage dans tous les granites. La Suède est en effet le seul pays avec la Finlande voisine à avoir engagé un projet de stockage.

Alors que l'évacuation géologique est présentée comme la solution de référence internationale pour la gestion des déchets nucléaires, peu de pays ont réellement entrepris la construction d'un stockage. Le plébiscite des institutions internationales en faveur du stockage est un argument de taille justifiant le recours à l'évacuation géologique. Or, le seul stockage en exploitation est alors le *Waste Isolation Pilot Plant* (WIPP) états-unien accueillant uniquement des déchets militaires et implanté par l'armée dans le désert du Nouveau Mexique. Le peu de projets de stockage dans une phase industrielle donne une assise assez fragile au consensus international sur le recours à l'évacuation géologique : ce consensus repose bien davantage sur une déclaration des experts chargés dans chaque pays de la gestion des déchets nucléaires que sur les politiques de gestion de ces déchets concrètement engagées. L'annonce d'un abandon des recherches dans la Vienne ne doit pas nuire à l'un des rares projets réellement engagé.

Le 7 décembre 1998, Y. Kaluzny écrit à M. Hautefort, conseiller technique chargé de l'énergie au Secrétariat d'État à l'Énergie, pour plaider que la construction d'un seul laboratoire est une mauvaise décision⁴⁷⁸. Le directeur général de l'Andra rappelle que la loi de 1991 prévoit la

477 Arsène Saas, *Compte rendu définitif de la préparation, de l'audition et du suivi de la réunion CNE du 8 janvier 1998*, CNE, 4 mars 1998.

478 Yves Kaluzny, *Lettre à Matthias Hautefort*, 7 décembre 1998.

construction de plusieurs laboratoires souterrains. Il souligne que « *le décalage dans le temps d'un deuxième laboratoire revient à afficher explicitement que l'échéance de 2006 n'a plus de sens, ce qui conduit inéluctablement à revoir la loi du 30 décembre 1991* »⁴⁷⁹. Il serait en effet difficilement envisageable de rattraper avant 2006 le retard induit par la sélection ultérieure du site d'un deuxième laboratoire. D'après Y. Kaluzny, le choix d'un site de stockage parmi les deux sites étudiés devrait dès lors être remis à une date postérieure à 2006.

Si la construction d'un seul laboratoire est décidée par le gouvernement, le directeur de l'Andra souligne que les opposant.es au stockage ne manqueront pas d'établir que l'implantation du laboratoire est un préalable au stockage. Dans sa lettre à M. Hautefort, Y. Kaluzny exprime sa crainte que l'implantation d'un seul laboratoire concentre les oppositions sur ce site et accroisse la pression sur les élu.es⁴⁸⁰.

III.2. UNE DEMI-DÉCISION QUI ENTERRE LES RECHERCHES SUR LE GRANITE

L'ultime appel d'Yves Kaluzny en faveur de l'autorisation de la construction de plusieurs laboratoires s'est révélé vain. Pour les ministres chargé.es de prendre cette décision, l'implantation des laboratoires souterrains n'est pas une question centrale comme elle l'est pour le directeur général de l'Andra. De plus les questions nucléaires sont un sujet de divergences parmi les ministres du gouvernement de gauche plurielle et le devenir de l'industrie électro-nucléaire est agité par d'autres débats que ceux de la gestion des déchets nucléaires (cf. ci-dessus). Le 9 décembre 1998, deux jours après l'envoi du courrier d'Yves Kaluzny à M. Hautefort, le Conseil des ministres autorise la construction de deux laboratoires souterrains : un premier à Bure et un second sur un site granitique autre que celui de La Chapelle-Bâton qu'il s'agit alors de trouver⁴⁸¹.

Cette décision est particulièrement habile. Elle est conforme à la loi de 1991 qui prévoit la construction de plusieurs laboratoires et elle laisse ouverte la progressivité du choix de la localisation du stockage géologique. Si un décalage sera difficilement évitable en 2005 entre l'avancement des travaux dans le laboratoire souterrain de Bure et dans le laboratoire implanté dans le granite, la décision du Gouvernement Jospin n'entérine pas que le stockage sera implanté dans l'Est de la France. De plus, une telle décision reconnaît que tant dans la Vienne que dans le Gard, l'implantation d'un laboratoire souterrain n'est pas pertinente puisque la construction d'un stockage

479 *Ibid.*

480 *Ibid.*

481 Matthias Hautefort, *Questions nucléaires. Relevé de conclusions*, 10 décembre 1998.

semble compromise pour différentes raisons. Cette décision d'autoriser la construction de deux laboratoires souterrains en ne désignant qu'un seul site permet donc à la fois d'engager la construction d'un laboratoire souterrain à Bure, de prendre en compte l'exigence légale de construire plusieurs laboratoires souterrains, de satisfaire les critiques sur l'implantation d'un laboratoire dans le Gard et la Vienne tout en redonnant du temps au gouvernement pour décider de la localisation du second laboratoire souterrain.

Le 4 janvier 1999, l'adjoint au chef de service des Affaires Nucléaires à la Direction Générale de l'Énergie et des Matières Premières, Stéphane Grit, écrit à Yves Kaluzny et son adjoint Dominique Auverlot à propos des aspects juridiques de la recherche d'un nouveau site granitique⁴⁸². Il identifie deux solutions : soit reprendre le processus de médiation à zéro, soit s'appuyer sur le travail entrepris par Christian Bataille entre 1992 et 1993. La première solution semble meilleure à S. Grit qui note qu'il est peu probable que des départements, dont C. Bataille avait jugé que l'acceptation locale d'un laboratoire était délicate au début des années 1990, soient désormais candidats à l'accueil d'une telle installation⁴⁸³.

Le site de Marcoule accueillera les recherches confiées au CEA sur le stockage des déchets en sub-surface⁴⁸⁴. Le conseiller technique du Secrétaire d'État chargé de l'Industrie rapporte néanmoins que le gouvernement est attaché à une séparation claire entre les recherches sur le stockage en géologie profonde et celles sur le stockage en sub-surface. Il annonce de ce fait qu'aucune « *aide économique de type Andra* » n'est prévue pour le Gard⁴⁸⁵. Les préfets et le directeur de l'Andra demandent qu'une « *compensation économique* » soit attribuée aux départements non-retenus pour accueillir un laboratoire souterrain afin de tenir compte de « *l'engagement très fort et politiquement risqué des élus locaux* »⁴⁸⁶. Ils estiment également que l'absence d'un tel geste compliquerait la recherche de nouveaux candidats à l'accueil d'un laboratoire souterrain. Toutefois, à l'issue de la réunion, aucune aide économique aux départements de la Vienne et du Gard n'est accordée⁴⁸⁷.

Dans les départements de la Meuse et de la Haute-Marne, M. Hautefort insiste pour que les travaux de creusement du laboratoire souterrain ne commencent pas avant la signature du décret d'autorisation de son implantation. L'accompagnement économique du laboratoire sera de

482 Stéphane Grit, *Aspects juridiques de la recherche de sites granitiques*, 4 janvier 1999.

483 *Ibid.*

484 Philippe Kahn, *Relevé de conclusions de la réunion tenue à Bercy le 15/12/98*, Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, Secrétariat d'État à l'Industrie, Direction Générale de l'Énergie et des Matières Premières. Service des affaires nucléaires, 18 janvier 1999.

485 *Ibid.*

486 *Ibid.*

487 *Ibid.*

120 millions de francs par an⁴⁸⁸. Les départements de la Meuse et de la Haute-Marne ne se partagent donc pas l'accompagnement économique prévu pour l'implantation d'un laboratoire : leurs élu.es ont obtenu l'attribution pour chaque département de la somme prévue pour un laboratoire souterrain. On peut dès lors faire l'hypothèse que l'autorisation effective de l'implantation d'un seul laboratoire ait permis la largesse du gouvernement d'octroyer un accompagnement économique deux fois plus important que prévu pour la construction d'un laboratoire entre la Meuse et la Haute-Marne. Il est en effet possible de douter que les producteurs de déchets aient consenti à une telle largesse si la localisation d'un second laboratoire avait été décidée par le Conseil des ministres du 9 décembre : un tel geste aurait alors augmenté de 150 % l'accompagnement financier de l'implantation des laboratoires souterrains.

Il faut attendre le 3 août 1999 pour que soient ratifiés les décrets autorisant la construction d'un laboratoire souterrain à Bure et instituant une mission de concertation pour la recherche d'un site granitique. Cette mission de concertation est nommée à l'automne et elle se met à travailler le 17 janvier 2000⁴⁸⁹. Le 27 janvier, le réseau Sortir du Nucléaire publie dans la presse la carte des quinze sites granitiques que les géologues de l'Andra et du BRGM considèrent comme géologiquement pertinents d'étudier⁴⁹⁰. Ainsi, alors que la mission de médiation n'a pas encore eu le temps de contacter les acteurs locaux des départements où pourrait être étudiée la possibilité de construire un laboratoire souterrain, ceux-ci apprennent dans la presse la localisation des sites envisagés par l'Andra et le BRGM.

Suite à cette « fuite », la Mission Granite fait face à des oppositions importantes lors de ses déplacements. Le 14 mars 2000, alors que les trois membres de la mission se rendent à Bais en Mayenne, leur véhicule est encerclé par plusieurs milliers de manifestant.es et il ne peut arriver jusqu'à la salle où une réunion est prévue avec les représentants de quarante-quatre associations opposées à l'implantation d'un laboratoire souterrain⁴⁹¹. Sans pouvoir sortir de leur voiture, les membres de la mission de concertation sont lentement raccompagnés par les manifestant.es jusqu'à la limite du département à 5 heures du matin. Suite à cet épisode, la mission de médiation cesse ses déplacements, des manifestations étant prévues à chacun d'eux. Elle rend un rapport en juin 2000 dans lequel elle ne propose aucun site où implanter un second laboratoire souterrain⁴⁹².

488 *Ibid.*

489 Pierre Boisson, Philippe Huet et Jean Mingasson, *Mission collégiale de concertation Granite. Rapport à Madame la ministre de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, à Monsieur le ministre de la Recherche, à Monsieur le secrétaire d'Etat auprès du ministre de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, chargé de l'industrie*, juin 2000 ; Y. Barthe, « *Mission impossible* » ?, *op. cit.*

490 Y. Barthe, « *Mission impossible* » ?, *op. cit.*, p. 69.

491 *Ibid.*, p. 1.

492 *Ibid.*, p. 74.

Les trois membres de la mission ont été livrés à eux-mêmes avec peu de soutien politique⁴⁹³. L'absence de moyens mis à disposition de cette mission (un bureau sans chauffage ni fax) est un indicateur du peu d'attachement du gouvernement à trouver un nouveau site granitique. Ainsi, la décision de d'implantation un deuxième laboratoire souterrain sur un site qu'il s'agit de trouver peut être lue comme une manière de satisfaire l'exigence légale de construire plusieurs laboratoires souterrains, de maintenir artificiellement un doute sur le fait qu'un stockage sera implanté à Bure, de désamorcer la focalisation redoutée des opposant.es à l'enfouissement des déchets nucléaires contre le projet de laboratoire dans l'Est et d'avoir éventuellement une solution de repli au cas où le site de l'Est ne conviendrait plus pour des raisons techniques ou politiques. Néanmoins, suite à l'annonce de la recherche d'un second site granitique, aucun effort n'est fourni pour mettre en œuvre de cette décision.

CONCLUSION

En 1994, au moment où les géologues de l'Andra débutent leur travail de reconnaissance géologique depuis la surface, il semble que des laboratoires souterrains peuvent être implantés n'importe où. Les recherches effectuées par les géologues de l'Andra doivent alors servir à « vérifier » ou « confirmer » que les qualités des formations géologiques permettent d'y envisager un stockage. Deux ans plus tard, la situation a quelque peu évolué et finalement, en 1998, l'absence de décision gouvernementale sur l'implantation de ces installations plonge l'Andra dans une crise qui rappelle à ses salarié.es le moratoire de 1990.

Dans ce chapitre, les discussions expertes sur la pertinence d'implanter un laboratoire souterrain dans la Vienne, détaillées au chapitre 2, se retrouvent dans les argumentaires en faveur d'une décision rapide sur l'implantation des laboratoires souterrains ou de l'abandon des recherches dans le sud de la Vienne. Il n'y a donc pas une herméticité entre les discussions expertes du chapitre 2 et celles de ce chapitre. Le besoin et la capacité d'anticiper les résultats des recherches à mener dans un laboratoire souterrain est un enjeu dans ces deux chapitres. Dans les discussions analysées au chapitre précédent, l'« esprit de la loi » est convoqué par celles et ceux qui défendent l'absence d'anticipation des résultats qu'il est possible d'attendre des recherches dans un laboratoire souterrain.

493 *Ibid.*, pp. 70-71.

À quoi doivent servir des laboratoires souterrains ? C'est en partie à répondre à cette question que ce chapitre est destiné. En revenant sur les enjeux stratégiques liés à leurs implantations, il permet de clarifier un tant soit peu la spécificité de ces installations. Ainsi, ces laboratoires sont bien plus que des équipements dédiés à l'étude des formations géologiques. L'évacuation géologique des déchets nucléaires étant inéluctable pour les acteurs historiques du nucléaire, l'implantation de ces laboratoires est destinée à caractériser un site pour y stocker des déchets. L'implantation de plusieurs laboratoires souterrains induit néanmoins qu'un des sites étudiés n'accueillera pas de déchets nucléaires. Cette éventualité qui permet la construction de deux laboratoires avant celle d'un seul stockage est un des principaux arguments des mobilisations pour la construction de deux laboratoires, et notamment de celles des élu.es dont on peut supposer que les subsides versés pour la construction d'un laboratoire les intéressent autant, sinon plus, que la présence d'un dépôt géologique sur le territoire qu'ils et elles administrent.

La discussion de l'été 1994 a révélé que les recherches effectuées par l'Andra ont aussi une fonction stratégique : « *occuper utilement le terrain* ». Les reconnaissances géologiques depuis la surface et plus tard dans le laboratoire souterrain sont destinées à étudier les possibilités d'évacuer géologiquement des déchets nucléaires mais également à familiariser les habitant.es à la présence de l'Andra à un moment où celle-ci n'est pas encore chargée de construire un stockage. L'ouverture au public des galeries du laboratoire donne une dimension spectaculaire à l'activité scientifique qui doit contribuer à la familiarisation d'un territoire avec une Agence qui se présente alors comme un organisme de recherche.

GÉRER LA TEMPORALITÉ ET VEILLER SUR L'« ESPRIT DE LA LOI »

Le temps et sa gestion sont des enjeux centraux. Tout d'abord, alors que l'implantation des laboratoires semble possible partout, c'est l'intrication de la décision avec le calendrier électoral qui est en jeu. Effectuer un choix rapide ou au contraire attendre que le temps ne décante la situation sont deux options qui présentent chacune des avantages et des inconvénients. En 1997, l'implantation des laboratoires souterrains est loin d'être un dossier prioritaire du Gouvernement de L. Jospin et Dominique Voynet retarde autant qu'elle peut le moment de signer l'autorisation de construction de ces installations. Durant l'attente d'une décision gouvernementale, les critiques sur le travail des salarié.es de l'Andra s'accumulent sans que la direction de l'Agence ne réussisse à les endiguer.

La période de quinze ans dévolue aux recherches par la loi est un ressort argumentaire important de celles et ceux qui défendent une séparation entre le temps de la recherche et celui des décisions⁴⁹⁴. La remise à 2006 des décisions sur la gestion des déchets radioactifs ainsi que la volonté de ne pas anticiper la possibilité ou non de construire un stockage dans la Vienne au moment où la pertinence de construire un laboratoire dans ce département est questionnée constituent des négations de la finalité de la construction de ces laboratoires ; elles excluent hors de leur argumentaire l'inéluctabilité de la construction d'un stockage géologique. Dans ces discours, l'« *esprit de la loi* », c'est-à-dire la négation de l'intérêt pour l'industrie nucléaire de disposer d'une solution de gestion pour les déchets qu'elle a produits, doit être défendu car il est le garant de l'intérêt national. La distinction dans la loi de plusieurs voies de recherche, le besoin d'un effort similaire sur ces trois voies ainsi que l'existence de la CNE constituent les piliers de l'« *esprit de la loi* ». La volonté d'évincer les laboratoires souterrains du monde du nucléaire rappelle que la nucléarité de ces installations est au cœur des débats qui se déroulent alors.

494 J. Blanck, « *Gouverner par le temps* », *op. cit.*

QUELLE ANALYSE FAIRE DE CETTE DÉCISION ?

Comme J. Monestier le présentait en 1994, le choix de la localisation des laboratoires souterrains a été tout sauf simple. Différents éléments ont poussé à l'abandon des projets de laboratoire dans le Gard et la Vienne : l'identification de la présence de déchets nucléaires comme une menace au commerce et la mobilisation des vignerons des Côtes du Rhône pour refuser l'immixtion de l'Andra dans leurs affaires ; l'opposition politique d'un ministre appartenant à un parti opposé à l'usage de l'énergie nucléaire ; le désaccord des membres de la CNE sur la pertinence de poursuivre l'étude des possibilités de stockage dans le granite.

Le monde du nucléaire n'est pas monolithique même si ses dirigeants ont une certaine proximité entre eux et partagent une certaine culture commune⁴⁹⁵. L'ouverture du marché de l'énergie et les rebondissements autour de la coopération nucléaire franco-allemande ne constituent pas le contexte le plus favorable pour hâter une décision rapide sur l'implantation des laboratoires souterrains alors que les projets de l'Andra dans la Vienne et le Gard sont remis en cause publiquement par différents acteurs. De plus, on peut sérieusement douter de l'enthousiasme des dirigeants des producteurs de déchets qui financent la construction des laboratoires souterrains, à payer la construction d'un laboratoire ne permettant pas la caractérisation d'un site de stockage, uniquement pour satisfaire l'exigence légale de construire plusieurs laboratoires. Étant donné l'envenimement de la controverse et la multitude de critiques formulées par la CNE sur les qualités du site de la Vienne, la construction d'un stockage dans la Meuse ou la Haute-Marne semble, en 1998, bien plus probable que dans la Vienne.

De plus, prendre une décision politique qui contredirait l'avis de la CNE se révélerait nuisible au dispositif de gouvernement de l'aval du cycle nucléaire mis en place au début des années 1990. En effet, la CNE y occupe une place centrale. Autorité scientifique indépendante, cette Commission joue un rôle stratégique de légitimation des décisions par leur rationalisation. Prendre une décision contraire à l'avis de la Commission impliquerait soit de remettre en cause son autorité scientifique soit d'admettre que cette décision n'est pas rationnelle. Dans les deux cas, l'ensemble du dispositif mis en place après la loi de 1991 se trouverait affaibli. Au contraire, la décision de rechercher un nouveau site granitique permet de ne pas contrevenir à la loi de 1991 et de maintenir un tant soit peu l'ouverture de la recherche promue par le dispositif mis en place par C. Bataille.

⁴⁹⁵ Scott Viallet-Thévenin, « État et secteur énergétique en France : quels dirigeants pour quelles relations ? », *Revue française de sociologie*, 2015, vol. 56, n° 3, p. 469.

Enfin, l'enveniment de la controverse sur l'implantation d'un laboratoire souterrain dans la Vienne peut aussi s'expliquer par les reports successifs et la délégation du choix de la localisation des laboratoires souterrains au gouvernement. Pour des raisons économiques, il est difficile de croire qu'aurait pu être décidée la construction de trois laboratoires souterrains. On peut imaginer que si la direction de l'Andra n'avait déposé en 1996 que deux dossiers de DAIE pour deux laboratoires souterrains, la décision aurait été plus simple et peut-être plus rapide. Cependant, la direction de l'Andra n'a pas choisi entre les trois sites étudiés entre 1994 et 1996 et elle a demandé l'autorisation de déposer trois dossiers de DAIE. Le Gouvernement d'Alain Juppé a autorisé cette demande. Le Groupe Permanent n'a pas émis d'avis négatif sur celles-ci. Finalement, le choix de la localisation des deux laboratoires a été laissé au Gouvernement de L. Jospin dans lequel le nucléaire est un sujet de désaccord entre ministres. Comme les auteurs des notes de l'été 1994 le pointaient, une prise de position préalable plus rapide de la direction de l'Andra, du Gouvernement d'Alain Juppé ou du Groupe Permanent en faveur de deux projets de laboratoire seulement aurait peut-être été plus simple à gérer.

Au fur et à mesure que les critiques s'accumulent sur la pertinence de construire un laboratoire souterrain dans la Vienne, les géologues et la direction de l'Andra semblent s'entêter à défendre ce projet. L'absence d'éléments rédhibitoires pour l'implantation d'un stockage, la foi dans l'éventualité que les recherches futures lèvent les incertitudes qui existent sur les qualités du site et le besoin de construire plusieurs laboratoires souterrains pour satisfaire la lettre de la loi de 1991 viennent justifier ce projet de laboratoire dans la Vienne. Toutefois, le besoin politique de construire plusieurs laboratoires souterrains semble avoir pris le pas sur la qualification d'un site de stockage auquel rare sont celles et ceux qui ont encore l'air de croire après 1997.

CHAPITRE 4. DES OUTILS POUR ANALYSER LA SÛRETÉ. SCÉNARIOS, SIMULATION NUMÉRIQUE ET REPRÉSENTATIONS DE L'ÉVOLUTION D'UN STOCKAGE

Lors de la controverse sur la pertinence de construire un laboratoire souterrain dans le granite de la Vienne, plusieurs protagonistes dont des responsables de l'Andra ont insisté pour que l'évaluation de la faisabilité de construire un stockage à La Chapelle-Bâton ne soit effectuée qu'au regard d'une analyse de sûreté globale et d'un calcul de l'impact radiologique. La caractérisation encore très préliminaire du site granitique et les ébauches de concept de stockage proposées excluaient toutefois qu'une telle évaluation globale soit produite au moment des demandes d'autorisation de construction des laboratoires souterrains.

La production d'une analyse de sûreté globale d'un projet de stockage est un événement assez rare. Une telle entreprise demande du temps et surtout une caractérisation fine d'un site de stockage, l'étude des phénomènes de migration des radionucléides et la conception d'ouvrages de stockage adaptés au contexte géologique local. En dehors des moments de production d'une démonstration de sûreté, les ingénieurs.es de l'Andra en charge des études de sûreté développent, comparent, testent des outils d'analyse et construisent des représentations du stockage cohérentes avec, d'une part, les connaissances disponibles et, d'autre part, avec les modèles utilisés pour la réalisation des calculs d'impact. Du fait de l'impossibilité épistémique de démontrer formellement la sûreté d'un stockage, le travail de formalisation de la manière d'appréhender son évolution est une entreprise sans fin jouant un rôle important dans la rationalisation du recours à l'évacuation géologique. Dans ce chapitre, je n'aborde pas la manière dont les scénarios ou les *Features, Events & Processes*, les FEP's, sont utilisés pratiquement. Je m'intéresse à la manière dont ces objets sont conçus et au rôle qui leur est attribué.

Avant de chercher à vérifier qu'un projet de stockage est sûr, il importe de concevoir ses barrières ouvragées de telle manière que la sûreté du stockage soit assurée. Ainsi, la définition d'objectifs en terme de sûreté doit guider la conception des ouvrages. De plus, puisque l'impact radiologique d'un stockage est l'étalon de l'évaluation de la sûreté d'un tel ouvrage, la définition de scénarios à même de guider la réalisation de ces calculs est une étape importante de l'analyse de sûreté. Afin de tester les outils et les méthodes d'analyse de sûreté sans attendre la caractérisation

finale d'un site géologique, des exercices de sûreté sont réalisés. La première partie de ce chapitre est destinée à détailler quelques débats qui traversent le travail de conception des outils d'analyse de sûreté de projets de stockage.

La réalisation d'un calcul d'impact est un enjeu central de la démonstration de la sûreté. Néanmoins, la conception des outils numériques à même d'effectuer un tel calcul n'a rien de trivial. En effet, à cause de la multiplicité des éléments qui influent sur la migration des radionucléides et des temporalités sur lesquelles il est nécessaire d'étudier l'évolution d'un stockage, il est impossible de modéliser exhaustivement les phénomènes qui influent sur la migration des radionucléides : l'utilisation de représentations simplifiées de ce processus est nécessaire. La seconde partie de ce chapitre expose la manière dont sont conçus les outils de calcul de l'impact radiologique de projets de stockage.

À la fin des années 1990, les représentations de la migration des radionucléides dans les modèles utilisés pour les calculs d'impact sont considérées comme trop simplistes par les membres de la Commission Nationale d'Évaluation pour que ces outils de calcul permettent de montrer la sûreté d'un projet de stockage. Dès lors, la direction de l'Andra engage un effort de recherche pour développer la simulation numérique à l'Agence et, dans le même temps, elle travaille à amoindrir le rôle de cette activité dans la démonstration de sûreté. La troisième partie de ce chapitre est consacrée à ce déplacement.

Avant d'aborder dans le chapitre suivant la préparation et la réalisation d'une démonstration de la faisabilité d'un stockage entre la Meuse et la Haute-Marne au terme de la période dévolue aux recherches par la loi de 1991, ce quatrième chapitre est destiné à montrer les difficultés à concevoir des outils d'analyse de sûreté appréhendant l'évolution d'un stockage géologique dans sa globalité. L'infinité du temps de la décroissance radiologique des radionucléides destinés à être enfouis est un obstacle de taille à l'objectivation de la sûreté d'un projet de stockage. Dès lors, la construction d'un accord large sur les éléments à intégrer dans une analyse de sûreté, et sur les représentations de la migration des radionucléides utilisées, deviennent des conditions nécessaires à la production d'une analyse convaincante.

Ce chapitre éclaire également l'histoire d'un basculement. Au moment de la demande d'autorisation des laboratoires souterrains, la réalisation d'une analyse globale et quantifiée est présentée, par la direction de l'Andra, comme l'unique moyen d'évaluer la sûreté d'un projet de stockage. Cependant, au début des années 2000, devant les difficultés indépassables de produire une telle analyse exhaustive et quantifiée, le calcul de l'impact radiologique global d'un projet de stockage n'est plus l'unique outil à même de garantir la sûreté d'un tel projet. L'analyse de sûreté

s'appuie dorénavant sur une multiplication d'éléments concordants et non plus uniquement sur la réalisation d'un calcul. Ainsi, il s'agit de discuter ici de la difficulté de faire preuve sur la sûreté d'un projet de stockage et de l'évolution des manières dont les directeurs successifs de l'Andra assurent qu'une maîtrise de l'évolution du stockage est possible.

I. ANALYSER LA SÛRETÉ AVEC MÉTHODE

Un nombre important d'éléments peuvent influencer sur l'évolution d'un stockage. En effet, le temps long de la décroissance des radionucléides destinés à être enfouis amène à considérer l'impact de phénomènes qui peuvent être très ténus ou particulièrement exceptionnels. De plus, appréhender l'évolution des comportements humains durant les prochains millénaires et leurs impacts potentiels sur le stockage ouvre la voie à d'innombrables scénarios de science-fiction, difficiles à prendre en compte dans une analyse de sûreté voulue comme une entreprise rationnelle. Quels usages des sous-sols aura-t-on dans des dizaines de milliers d'années ? Aura-t-on intérêt à exploiter des roches dont aucun usage n'est encore envisagé ? Creuser un trou profond de plusieurs centaines de mètres sera-t-il à la portée de groupes terroristes potentiellement intéressés par les déchets nucléaires ?...

Ainsi, durant les années 1980, les concepteurs du logiciel Bios, à même de calculer le transfert de radionucléides dans la biosphère, soulevaient une hypothèse qui pouvait potentiellement induire un impact radiologique important sur des populations humaines⁴⁹⁶. D'après leurs calculs, la consommation par une population autarcique de légumes cultivés dans le lit d'une rivière asséchée ayant constitué un exutoire pour des radionucléides issus d'un stockage géologique pourrait avoir des conséquences non-négligeables sur cette population. De telles situations de groupes autarciques vivant à proximité des exutoires des projets de stockage constituent désormais des cas limites devenus classiques dans les études de sûreté de projets de stockage. Néanmoins, les hypothèses concernant les modes de vie futurs sont toujours difficiles à objectiver.

Par ailleurs, le nombre de phénomènes naturels ou accidentels pouvant influencer sur l'évolution d'un stockage semble illimité : l'infinité du temps pris en compte dans l'analyse amène à envisager une infinité de phénomènes susceptibles d'influer sur l'évolution du stockage. De ce fait, le souci de complétude des analyses de sûreté est limité par la quasi-infinité du temps qu'il est nécessaire de prendre en compte dans cette analyse. Cette infinité des éléments qui influent potentiellement sur l'évolution du stockage est à même de saper la robustesse des analyses de sûreté. En effet, la

496 G. Lawson et G.M. Smith, *Bios. A Model to Predict Radionuclide Transfer and Doses to Man Following Releases from Geological Repositories*, National Radiological Protection Board, avril 1984.

complétude est un critère de qualité pour les analyses de sûreté. Puisqu'il est impossible de considérer une infinité d'objets, la sélection des éléments à prendre en compte dans une analyse de sûreté est toutefois l'enjeu d'un débat sans fin.

1.1. DÉFINIR DES FONCTIONS POUR CHAQUE BARRIÈRE

Au début des années 1990, les ingénier.es de l'Andra conçoivent les projets de stockage suivant un concept dit « *multi-barrières* ». La Règle Fondamentale de Sûreté III.2.f de 1991 stipule que la sûreté d'un stockage reposera sur trois barrières : le colis, l'ouvrage de stockage et la roche. La *Figure 9* ci-dessous montre la manière dont les ingénier.es de l'Andra conçoivent alors les stockages : les trois barrières entourent les substances radioactives comme des poupées gigognes. On peut noter que cette représentation datant des années 1990 est en tout point similaire avec celle présentée au chapitre 1 datant du début des années 1980 (cf. *Figure 4*).

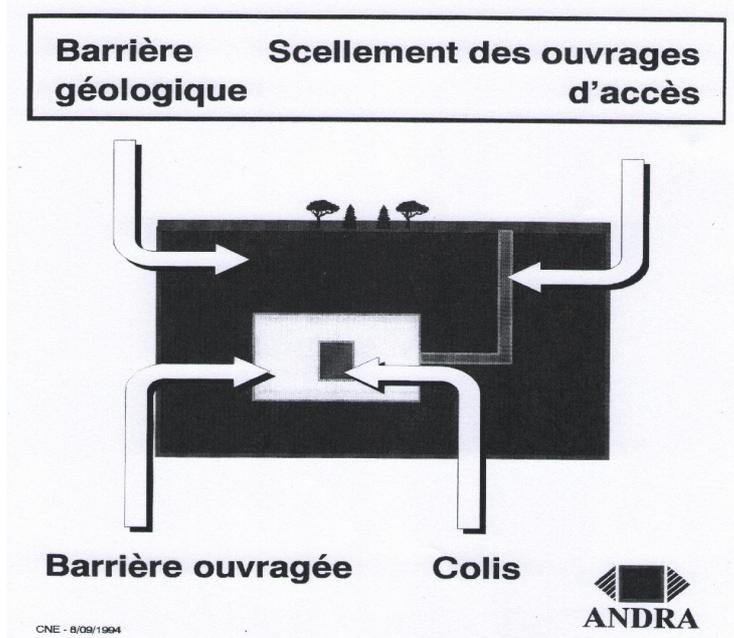


Figure 9. Schéma d'un concept de stockage multi-barrières (Philippe RAIMBAULT, « Exposé à la Commission Nationale d'Évaluation. La démarche de sûreté: la RFS III.2.f et son application aux études Andra », 1994)

Les trois barrières assurent des « *fonctions de sûreté* » complémentaires : toutes jouent un rôle dans la rétention des radionucléides. Une telle conception d'un stockage comme une succession de barrières auxquelles sont allouées des fonctions de sûreté est directement issue de la conception des centrales nucléaires dans lesquelles les différentes enceintes autour du réacteur doivent permettre de restreindre les risques d'un accident nucléaire majeur.

L'attribution de fonctions à chaque barrière est une manière d'orienter la conception du stockage. Elles constituent des objectifs en terme de rétention des radionucléides et sont attribuées à chaque barrière pour un radionucléide donné (ou à une famille de radionucléides issue d'une chaîne de désintégration radioactive). Les ingénieurs de l'Andra distinguent deux fonctions : « retarder » et « limiter »⁴⁹⁷. Pour chaque radionucléide, l'attribution d'une de ces deux fonctions aux barrières dépend d'une part de la chimie des interactions entre les radio-éléments et les matériaux de la barrière et d'autre part du temps de demi-vie des radionucléides.

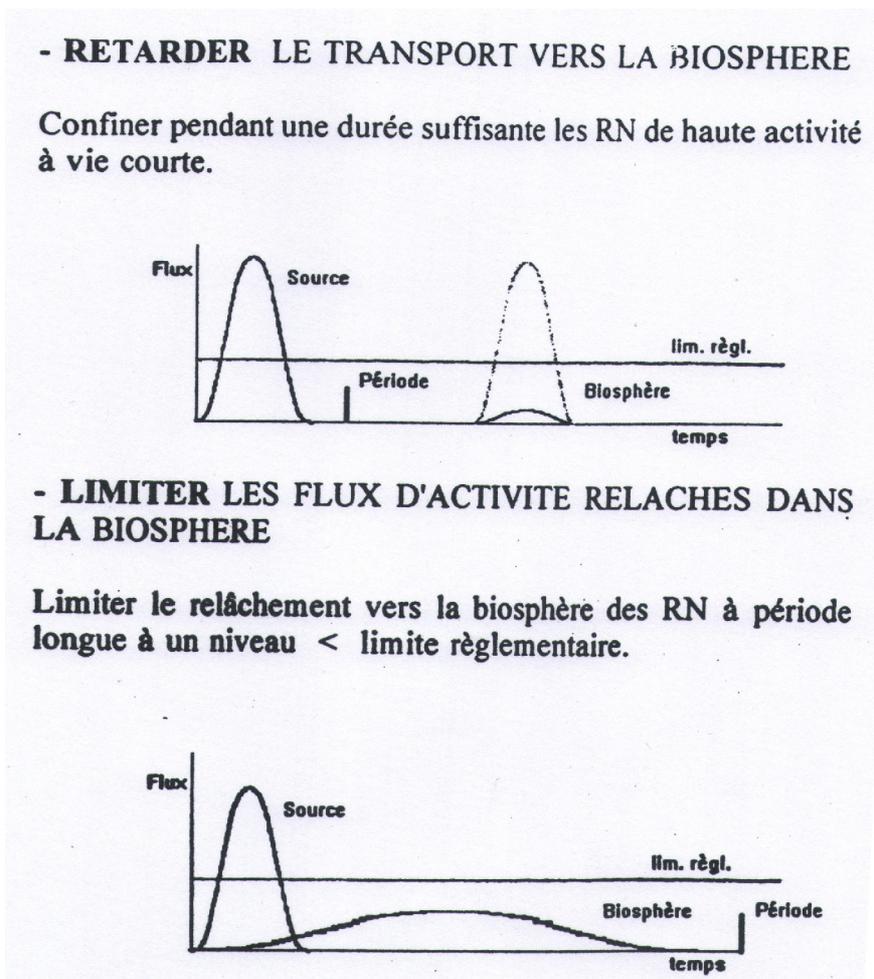


Figure 10. Représentation des effets espérés des fonctions "retarder" et "limiter"
(Philippe RAIMBAULT, *Brouillon d'un transparent pour l'audition de la CNE du 8 septembre 1994*, Andra, 1994)

Lorsqu'une barrière assure une fonction « retarder », cela signifie qu'elle assure la rétention totale d'un radionucléide durant un certain temps au-delà duquel celui-ci migre dans la barrière suivante ou dans la biosphère. Définir une fonction « retarder » consiste à assigner un temps de retard limite en deçà duquel l'ensemble des éléments sont contenus dans la barrière et au-delà

497 Philippe Raimbault, « Les Objectifs et la méthodologie des analyses de sûreté », Andra, 1995.

duquel ceux-ci sont relâchés⁴⁹⁸. Une telle fonction est particulièrement adaptée pour réduire l'impact radiologique des radionucléides à demi-vie courte. En effet, la décroissance de leur activité est (relativement) rapide et il est possible d'envisager que leur dispersion au bout d'une certaine période ait peu d'effets nuisibles.

Lorsqu'une barrière assure une fonction « *limiter* », cela signifie que le relâchement est maintenu continuellement en dessous d'un certain seuil limite. Dans ce cas, le relâchement est continu mais doit rester suffisamment faible pour que l'impact radiologique soit toujours inférieur à la limite autorisée⁴⁹⁹. La représentation ci-dessus (*Figure 10*) illustre l'effet souhaité sur l'impact radiologique dans la biosphère des fonctions « *retarder* » et « *limiter* ».

L'attribution de fonctions aux trois barrières pour l'ensemble des radionucléides doit permettre de maintenir l'impact du stockage en dessous de la dose réglementaire. De ce fait, l'attribution de fonctions aux barrières est définie à partir du calcul de l'impact radiologique total de l'ensemble des radionucléides contenus dans le stockage sur l'humanité. Si des fonctions sont attribuées aux trois barrières, seules les performances des barrières ouvragées peuvent être ajustées – à moins de changer de site. Une fois les barrières ouvragées conçues de manière à assurer les performances fixées par l'attribution de fonctions à celles-ci, il importe toutefois de vérifier que le projet de stockage a bien un impact radiologique inférieur à la limite autorisée.

1.2. LISTER EXHAUSTIVEMENT CE QUI IMPACTE LE STOCKAGE

La définition d'exigence en terme de rétention des radionucléides pour les barrières ouvragées n'est qu'une des activités auxquelles s'attellent les ingénieurs en charge des études de sûreté à l'Andra. Ces ingénieurs travaillent également à évaluer la sûreté de projet de stockage une fois que des concepts de stockage sont définis. Développer des outils afin de réaliser une telle évaluation est un chantier important. En effet, il n'existe pas une bonne manière de montrer la sûreté d'un projet de stockage. Au contraire, les ingénieurs qui travaillent à cette question dans différents pays ont développé différentes méthodes d'analyse de sûreté qui présentent toutes des avantages et des inconvénients. L'existence de cette pluralité de méthodes nuit à la prétention à la rationalité de chacune d'entre elles. Dès lors, l'harmonisation internationale *a minima* des méthodes d'analyse de sûreté doit leur donner une assise commune et ainsi accroître leur robustesse.

498 *Ibid.*

499 *Ibid.*

La construction d'une liste de scénarios doit permettre de prendre en compte, dans l'analyse de sûreté, certains éléments peu probables ou accidentels susceptibles d'influer sur l'évolution d'un stockage. Néanmoins, le nombre de scénarios est nécessairement limité : ces scénarios sont destinés à guider la réalisation des calculs d'impact et de tels calculs demandent du temps. Des choix sont donc nécessaires pour sélectionner les éléments à prendre en compte dans les scénarios. Afin de donner une assise à ces choix, l'utilisation d'outils partagés par une large communauté experte et l'appel à des normes édictées par des institutions supranationales constituent des éléments cruciaux. Par ailleurs, si l'utilisation de scénarios est une démarche classique d'analyse de sûreté, la manière de les construire, leur nombre, leur traitement et leur place dans l'analyse de sûreté diffèrent parfois fortement d'une institution à une autre.

I.2.1. DONNER UNE BASE COMMUNE AUX ANALYSES DE SÛRETÉ

L'Agence pour l'Énergie Nucléaire (AEN) de l'OCDE est une institution centrale dans la diffusion des bonnes pratiques d'analyse de sûreté. En 1992, elle publie un rapport sur la construction des scénarios pour l'analyse de sûreté qui fait depuis figure de référence⁵⁰⁰. Celui-ci est l'aboutissement d'un travail engagé en 1986 par un groupe d'expert.es du *Performance Assessment Advisory Group* (PAAG) du *Radioactive Waste Management Committee* (RWMC) de l'AEN. Dix-huit expert.es ont participé aux activités du groupe dont deux salariés de l'IPSN, P. Escalier des Orres et A. Cernes. L'objectif de ce rapport de 1992 n'est pas d'harmoniser ni la liste des scénarios à prendre en compte ni la manière de les utiliser. Il s'agit, pour l'Agence de l'OCDE, de dresser un panorama des pratiques adoptées dans différents pays et de promouvoir des méthodes judicieuses et cohérentes pour mener à bien les analyses de sûreté⁵⁰¹.

Bien que les différentes institutions travaillant à montrer la sûreté de projets de stockage emploient des méthodes différentes, chacune des méthodes développées est destinée à objectiver l'analyse de la sûreté. Toutefois, l'existence de plusieurs méthodes d'analyse de sûreté ayant toutes prétention à l'objectivité amoindrit le pouvoir d'objectivation de chacune d'entre elles. Pour le groupe d'expert.es de l'AEN, l'objectif n'est pas d'arbitrer en faveur d'une méthode ou d'une autre mais avant tout de déterminer des similitudes entre les différentes méthodes afin de fonder leur légitimité sur des bases communes.

500 AEN/OCDE (ed.), *Systematic Approaches to Scenario Development*, Paris, 1992.

501 *Ibid.*, pp. 9-10.

Le rapport de 1992 de l'AEN pointe que la première étape dans la construction d'une liste de scénarios est d'identifier l'ensemble des éléments à prendre en compte dans l'analyse de sûreté : les phénomènes physiques influant sur la dégradation des barrières ouvragées et la migration des radionucléides, les dysfonctionnements éventuels du stockage, les accidents susceptibles d'impacter son évolution normale...

La génération d'une telle liste doit s'appuyer sur l'imagination et l'expérience d'un large groupe de spécialistes, de différentes disciplines, qui ne doivent pas être limités dans l'étendue de leurs propositions⁵⁰². Pour désigner les éléments à prendre en compte dans une analyse de sûreté, les experts de l'AEN et de l'AIEA utilisent la dénomination de FEP's pour *Features, Events and Processes*. Le temps extrêmement long de la décroissance radioactive et l'infinité des éléments susceptibles d'influer sur le stockage qui en découle amènent les auteurs du rapport de l'AEN à concevoir la construction d'une liste de FEP's comme un chantier progressif : une telle liste doit rester ouverte et pouvoir évoluer. L'exhaustivité de cette liste doit néanmoins demeurer un objectif⁵⁰³.

Suite à la sélection d'une liste de FEP's, le rapport de 1992 de l'AEN mentionne que la construction de scénarios repose soit sur le jugement d'expert.es, soit sur l'utilisation d'arbres, soit une méthode systématique⁵⁰⁴. Cette dernière option a assurément la préférence de l'AEN. Ces dernier.es soulignent que beaucoup d'analyses effectuées jusqu'alors ont utilisé le seul jugement d'expert.es pour construire les scénarios. Cependant ces auteur.es notent que les exigences antérieures en matière de formalisation et de traçabilité de la démonstration de la sûreté étaient moindres : l'encadrement du travail des expert.es n'apparaissaient pas comme une nécessité⁵⁰⁵. En 1992, les analyses sont dorénavant préparées pour les autorités de sûreté mais aussi pour un « *public* » : elles doivent pouvoir résister à ses critiques⁵⁰⁶. De ce fait, le recours au seul jugement d'expert.es n'est plus considéré comme une méthode convenable alors qu'il pouvait suffire lorsque le travail de démonstration de sûreté était confiné dans des arènes expertes.

Ce plébiscite en faveur des méthodes systématiques appelle deux remarques. Tout d'abord, la dévaluation des pratiques antérieures est une rhétorique courante : quand bien même les changements ne sont pas révolutionnaires, l'instauration d'une pratique comme norme nouvelle est souvent accompagnée par un dénigrement des pratiques antérieures qui doit accentuer, par contraste, l'importance de recourir à la nouvelle norme. De plus, en ce début des années 1990, il

502 *Ibid.*, p. 23.

503 *Ibid.*

504 *Ibid.*, pp. 33-38.

505 *Ibid.*, p. 35.

506 *Ibid.*

n'est pas anecdotique de souligner que les auteur.es du rapport de l'AEN mettent en avant le rôle politique de l'analyse de sûreté. S'assurer que l'impact radiologique du stockage est inférieur à la dose réglementaire n'est plus l'unique but de l'analyse de sûreté : il s'agit dorénavant que celle-ci soit convaincante aux yeux des employé.es de l'autorité administrative en charge de l'instruction de la demande de construction, mais aussi pour un public plus large susceptible de s'immiscer dans la gestion des déchets nucléaires et qui pourrait éventuellement se permettre de critiquer l'analyse effectuée.

1.2.2. UNE LISTE D'OBJETS HÉTÉROCLITES COMME BASE COMMUNE

Entre novembre 1993 et septembre 1994, l'ingénieur de l'Andra Pablo Thorner participe à trois réunions organisées par l'AEN destinées à évaluer l'intérêt et la faisabilité de la construction d'une liste de FEP's partagée internationalement⁵⁰⁷. Les comptes-rendus de ces trois réunions permettent de saisir les enjeux et les difficultés de la construction d'une telle liste.

Ces réunions de l'AEN rassemblent entre 7 et 10 personnes. À côté du responsable du projet pour l'AEN, on trouve des représentant.es de Sandia (États-Unis), de SKI (Suède), de Nagra (Suisse), de AEA (Angleterre) et de l'Andra. Quelques consultants participent également à ces réunions. Les différentes agences nationales n'ont pas les mêmes tailles ni les mêmes moyens. Elles n'ont pas non plus à gérer ni la même quantité ni les mêmes types de déchets. Les projets de stockage qu'elles portent ne sont pas au même niveau d'avancement. De ce fait, chaque institution participe au travail du groupe avec des attentes différentes. De plus, les différentes agences utilisent des méthodes d'analyse de sûreté qui leur sont propres. En fonction des roches dans lesquelles la construction d'un stockage est envisagée, les éléments centraux dans l'analyse de sûreté varient. Par exemple, une prospection minière qui forerait dans le stockage est plus probable si celui-ci est implanté dans une couche de sel plutôt que dans une argile. En effet, le sel pourrait éventuellement constituer une ressource intéressante dans le futur. En l'état actuel des connaissances, l'exploitation d'une argile située à plusieurs centaines de mètres sous terre ne représente aucun intérêt.

Comme leur dénomination le laisse à penser, les *Features, Events & Processes* regroupent des objets divers. Une telle liste est censée regrouper tous les éléments qui pourraient influencer sur l'évolution d'un stockage : les phénomènes qui entraînent la dégradation des barrières ouvragées et qui guident la migration des radionucléides ainsi que les causes d'accidents (défaillances techniques,

⁵⁰⁷ Pablo Thorner, *Compte-rendu de la réunion OCDE/AEN sur la constitution d'une base de données de FEPs*, Andra, 9 décembre 1993 ; Pablo Thorner, *Troisième réunion OCDE/AEN sur la constitution d'une base de données de FEPs*, Andra, 23 mars 1994 ; Pablo Thorner, *Quatrième réunion FEPs OCDE/AEN Andra*, 21 novembre 1994.

mauvaise caractérisation du site de stockage, phénomènes naturels catastrophiques...) Néanmoins, les différent.es participant.es aux réunions de l'AEN ne partagent pas la même acception de ce que regroupent ces objets. Dans les compte-rendus de P. Thorner, celui-ci ne mentionne aucune discussion sur ce que sont ces FEP's ni sur leurs utilisations.

Certains organismes utilisent déjà des FEP's. D'autres, comme l'Andra, construisent leurs scénarios à partir de l'identification d'éléments qui peuvent influencer sur le stockage sans regrouper ces éléments avec les phénomènes guidant la migration des radionucléides (cf. ci-dessous). De plus, le nombre de FEP's qu'utilisent les différentes agences diffère également fortement : Sandia (États-Unis) en utilise par exemple 40 lorsque la Nagra (Suisse) en recense 300⁵⁰⁸.

Les participant.es au groupe de travail de l'AEN soulignent que l'exhaustivité d'une liste de FEP's partagée internationalement est un objectif important⁵⁰⁹. Si ils et elles sont parfaitement conscient.es qu'un tel objectif sera difficile à atteindre, ils et elles notent que l'utilisation d'une telle base de donnée exhaustive de FEP's est capitale pour toute démonstration de la sûreté d'un stockage⁵¹⁰. Cependant, les divergences sur la manière d'évaluer la sûreté d'un stockage et la volonté d'un travail commun malgré ces divergences ne facilitent pas le travail de définition des FEP's qui est largement évité lors de ces réunions. L'étude de la faisabilité technique d'une telle base de donnée de FEP's occupe ainsi majoritairement les échanges alors que les différentes interventions témoignent des différentes acceptions de ce que désignent ces FEP's.

Peu importe la manière dont les FEP's sont utilisés, la complétude de la liste est une garantie de la qualité de l'analyse : elle donne une assise commune aux différentes analyses de sûreté l'utilisant. La construction de cette liste de FEP's est considérée comme une base de réflexion pour la réalisation d'analyses de sûreté, un outil de communication entre les différentes institutions mais aussi avec l'extérieur et notamment les autorités de sûreté⁵¹¹. Alors que le rapport de 1992 de l'AEN recommande d'utiliser les FEP's pour la construction des scénarios, il existe plusieurs autres manières d'utiliser ces objets.

Ainsi, la construction d'une liste de FEP's commune et partagée internationalement permettrait une harmonisation minimale des analyses de sûreté qui renforcerait le pouvoir de conviction de chacune d'entre elle. Cette harmonisation permettrait également d'éviter qu'une analyse serve de point d'appui à la critique d'une démonstration de sûreté effectuée selon une méthode différente. Le flou induit par la signification variable des FEP's en fonction des

508 P. Thorner, *Troisième réunion OCDE/AEN sur la constitution d'une base de données de FEPs*, op. cit., p. 5.

509 P. Thorner, *Quatrième réunion FEPs OCDE/AEN*, op. cit., p. 5.

510 *Ibid.*

511 *Ibid.*

participant.es au groupe de travail de l'AEN semble difficilement évitable. En effet, il s'agit que l'utilisation de FEP's s'intègre aux méthodes d'analyse de sûreté nationales sans les transformer radicalement. L'harmonisation des méthodes d'analyse de sûreté à l'aide d'une liste de FEP's ne repose pas sur une transformation des pratiques existantes mais sur l'utilisation d'un nouvel outil permettant d'évaluer la qualité de ces pratiques. La manière d'utiliser ce nouvel outil est laissée à la libre appréciation de chaque institution.

1.2.3. CONSTRUCTION DES SCÉNARIOS ET UTILISATION DES FEP'S À L'ANDRA

En novembre 1994, dans le cadre d'un projet appelé *Everest* (pour *Evaluation of Elements Responsible for the effective Engaged dose rates associated with the final Storage of radioactive waste* – ouf !) financé par la Commission des Communautés Européennes, un groupe de travail sur la sélection des scénarios dans les analyses de sûreté publie un rapport⁵¹². L'IPSN assure la coordination globale du projet Everest qui se déroule de 1991 à 1995 et P. Raimbault de l'Andra assure la direction du groupe de travail sur la sélection des scénarios avant que l'Agence ne se retire du projet. À ce moment, l'IPSN espère encore pouvoir mener des analyses de sûreté quantifiées des projets de stockage que lui soumet l'Andra mais peu à peu, elle ne réalise plus que des analyses critiques des rapports rendus par l'Andra sans réaliser elle-même d'évaluation de sûreté des projets de stockage. Outre P. Raimbault et P. Escalier des Orres (IPSN), le groupe est composé des représentant.es de CEN-SCK (homologue belge de l'Andra), de GRS (autorité de sûreté nucléaire allemande) et de ECN (centre de recherche néerlandais sur l'énergie).

L'objectif du groupe de travail *Everest* est de définir des bases communes pour la construction de listes de scénarios de sûreté. Il s'agit de pousser aussi loin que possible la systématisation des méthodes de construction de listes de scénarios et de documenter les choix effectués dans la prise en compte des différents événements susceptibles d'advenir sur l'évolution d'un stockage après sa fermeture⁵¹³.

Le groupe de travail du projet Everest pointe que la construction d'une liste de scénarios se déroule suivant quatre étapes : la sélection d'une liste de FEP's, leur classification et l'élimination de la liste de ceux dont la probabilité ou l'impact potentiel sont trop faibles, la combinaison des FEP's pour former des scénarios et enfin, la sélection d'une liste de scénarios plus resserrée en fonction de leurs conséquences potentielles et de leurs probabilités. Ainsi, à partir d'une large liste de FEP's

512 Philippe Raimbault, P. Escalier des Orres, S. Lidove, J. Marivoet, K.H. Martens et J. Prij, *Everest Project. Working Group n° 2. Scenario Selection*, Commission des Communautés Européennes, novembre 1994.

513 *Ibid.*, p. 1.1.

conçue pour être exhaustive, une telle méthode doit permettre d'aboutir à la sélection d'un petit nombre de scénarios dont l'impact radiologique est ensuite calculé. Si un tel déroulement de la construction des scénarios est partagé parmi les différentes institutions, les participant.es au groupe de travail d'Everest pointent qu'il existe différentes variations de l'utilisation de cette méthode.

Celle que retiennent les salarié.es de l'Andra et l'IPSN est dite IIE, pour *Independent Initiating Events*⁵¹⁴. Elle est présentée comme celle qui a permis la définition de la liste de scénarios qui figure dans la Règle Fondamentale de Sécurité III.2.f de juin 1991 et elle s'appuie sur les recommandations du rapport Goguel (cf. chapitre 1)⁵¹⁵. Suivant cette méthode IIE, la construction des scénarios s'effectue en quatre phases :

- Établir la liste complète des événements initiateurs indépendants qui peuvent impacter le stockage. Ces « *événements initiateurs* » sont une catégorie de FEP's utilisée par l'Andra.
- Pour chaque événement initiateur, lister les événements qui en dérivent à partir de la liste de FEP's. Si leurs conséquences radiologiques ou leurs probabilités d'occurrence sont trop faibles, les événements sont retirés de l'analyse.
- Construire des scénarios à partir des éléments initiateurs.
- Regrouper les scénarios par familles et concevoir des scénarios « *enveloppe* ». Ces derniers correspondent aux scénarios ayant les conséquences les plus importantes pour chaque famille de scénarios.

La liste de FEP's doit ainsi permettre de construire des scénarios décrivant des déviations de l'évolution du stockage par rapport à l'évolution normale attendue. Néanmoins, à l'Andra, seuls certains FEP's sont utilisés dans la construction des scénarios. De plus, les scénarios construits à partir des différents FEP's ne font pas tous l'objet d'un calcul d'impact : un travail de sélection est effectué afin de déterminer, avant la réalisation d'un calcul, les scénarios dont l'impact radiologique est potentiellement le plus important : les scénarios « *enveloppe* ».

514 *Ibid.*, p. 2.2.

515 *Ibid.*, p. 3.1.1.

Dans la construction d'une liste de scénarios qui feront l'objet d'une évaluation quantifiée de leur impact, le travail des expert.es chargé.es de la sélection des FEP's puis des scénarios « *enveloppe* » occupe une place importante. Dans une note publiée en 1995 par l'Andra, P. Thorner souligne que la systématisation de la méthode de conception des scénarios permet une traçabilité des choix effectués mais laisse tout de même au jugement des expert.es une place centrale dans l'analyse de sûreté :

« Les aspects systématiques ne figurent que comme appui à la rigueur scientifique de la démarche [de construction d'une liste de scénario], alors que le véritable moteur de création, d'assemblage et de décision reste le jugement d'expert⁵¹⁶. »

Ainsi, la formalisation d'une méthode pour concevoir des scénarios de sûreté est destinée à cadrer le jugement des experts : lui seul n'est plus suffisant pour établir une liste de scénarios même si il reste central. Le nouveau rôle politique de ces analyses destinées non plus seulement aux autorités de sûreté mais aussi à un « *public* » s'accompagne ainsi d'un besoin de formalisation et de rationalisation des choix effectués.

Par ailleurs, la construction d'une liste de scénarios est alors perçue comme un travail de longue haleine. P. Thorner note en effet :

« [Il] serait illusoire de penser qu'il est possible de disposer à un moment quelconque, même lointain, de la liste complète et parfaitement détaillée de ces scénarios. La seule démarche raisonnable consiste à poursuivre au maximum l'objectif d'exhaustivité à travers des réactualisations successives de ce travail, que l'on viendra enrichir à l'aide des nouvelles données en provenance des sites, des concepts et des colis de déchets, du niveau de réflexion et de méthodologie à l'Andra, des expertises externes (par exemple DSIN, CNE, Conseil Scientifique, Groupe Permanent) et des collaborations avec les homologues étrangers⁵¹⁷. »

L'infinité des temporalités en jeu dans l'analyse de la sûreté et donc l'infinité des éléments à prendre en compte dans celles-ci induisent une impossibilité formelle de montrer la complétude de l'analyse de sûreté. L'exhaustivité de l'analyse est impossible et sa rationalisation repose désormais sur la reconnaissance de cette impossibilité. Dès lors, maintenir l'analyse ouverte par des actualisations successives est une condition pour que celle-ci puisse tendre vers une exhaustivité.

516 Pablo Thorner, *Analyse et choix de méthodes d'établissement des scénarios de sûreté pour la post-fermeture*, Andra, 13 décembre 1995, p. 24. La fin de cette citation est en italique dans le texte.

517 Pablo Thorner, *Sûreté des stockages profonds. Identification des scénarios pour l'analyse de sûreté post-fermeture. Document récapitulatif*, Andra, 28 mars 1996, p. 6.

Cette impossibilité d'une analyse de sûreté exhaustive induit par ailleurs un besoin de souplesse : la formalisation de l'analyse ne doit en rien constituer une gêne. Ainsi, la formalisation en quatre étapes de la construction d'une liste de scénarios fournit un guide mais ne doit pas contraindre outre mesure la construction de ces scénarios. Dans un rapport d'octobre 1996, P. Thorner précise :

« il a été choisi d'aborder les quatre points de la méthode dans l'ordre [exposé précédemment], sans pour autant s'imposer de terminer une étape avant de passer à la suivante : de toute manière, il n'est pas envisageable de considérer que l'on puisse terminer les réflexions sur l'un quelconque de ces points, tant que nos connaissances seront amenées à évoluer. Cette manière de procéder [...] n'exclut absolument pas les réflexions indépendantes, par exemple pour définir un scénario spontanément. Une part du présent travail [d'établissement d'une liste de scénarios de sûreté] a d'ailleurs été effectuée de cette manière⁵¹⁸. »

Ainsi, la souplesse dans l'application de la méthode proposée constitue assurément une bonne chose. Elle permet de débiter l'analyse de sûreté alors que les études des sites ne sont pas achevées. De plus, si la méthode développée doit permettre de produire une analyse systématique, le travail et la créativité des expert.es ne doivent pas être bridés par celle-ci.

1.3. L'ANALYSE DE SÛRETÉ DANS LE DOSSIER 2001

En 2001, les salarié.es de l'Andra produisent un rapport sur la faisabilité de construire un stockage géologique dans l'argile du Callovo-Oxfordien de l'Est de la France. L'analyse de sûreté effectuée pour ce *Dossier 2001* ne repose pas sur l'utilisation d'une liste de FEP's. Elle est fondée sur l'utilisation de deux méthodes, l'Analyse Phénoménologique des Situations de Stockage (APSS) et l'Analyse Qualitative de Sûreté (AQS).

L'Analyse Qualitative de Sûreté consiste à identifier les dysfonctionnements possibles du stockage afin de définir des priorités de recherche et d'évaluer si les concepts de stockage envisagés respectent l'objectif d'isoler les radionucléides de l'humanité. Trois types de dysfonctionnements sont distingués : les événements initiateurs, les événements perturbateurs et les événements extrêmes. Ces trois types d'événements constituent des catégories de FEP's (cf. ci-dessus). Il en existe toutefois d'autres. Ainsi, dans la liste de FEP's de l'AEN, on trouve également référencés les

518 *Ibid.*, p. 13.

phénomènes physiques qui influent sur la migration des radionucléides. Ces éléments sont pris en compte à l'Andra dans la construction de modèles permettant de calculer le transfert des radionucléides.

À partir des événements sélectionnés, des arbres de défaillance sont construits. Un traitement automatisé des combinaisons de défaillances en a généré environ un million. Seules une cinquantaine d'entre elles correspondent à des séquences d'événements ayant une probabilité supérieure à 10^{-7} . Elles correspondent à environ une dizaine de causes de défaillance. En conclusion de l'AQS, les auteur.es du *Dossier 2001* pointent trois enseignements de cette analyse :

- les scellements des ouvrages et notamment des puits d'accès au stockage sont des éléments clés de la sûreté du stockage ;
- le comportement de la de roche située au contact des ouvrages doit être étudié en priorité car cette zone a une grande importance pour la sûreté du stockage ;
- la défaillance des performances des colis ou de la barrière ouvragée semble alors moins préoccupante pour la sûreté globale du stockage⁵¹⁹.

À partir de cette AQS, les ingénieur.es de l'Andra ont identifié deux événements dont les conséquences en terme de sûreté se révéleraient particulièrement importantes : un forage minier qui atteindrait le stockage et la défaillance du scellement d'un puits d'accès au stockage⁵²⁰. À partir de la sélection d'événements initiateurs et de la génération d'un million de combinaisons entre eux, l'analyse effectuée par l'Andra consiste ensuite à sélectionner des causes de défaillance jusqu'à la construction de deux scénarios altérés. Le *Dossier 2001* est avant tout destiné à préparer l'analyse de sûreté prévue pour 2005, au terme de la période de recherche prévue par la loi de 1991 (cf. chapitre 5). Les ingénieur.es de l'Andra ayant déjà analysé les conséquences d'un forage dans le stockage dans le cadre d'une étude antérieure, ils et elles n'ont pas réitéré cette étude pour le *Dossier 2001*. Un seul scénario d'évolution altérée a donc été étudié dans le cadre de ce dossier : les conséquences d'un défaut du scellement d'un puits d'accès au stockage⁵²¹

519 Andra (ed.), *Dossier 2001 argile sur l'avancement des études & recherches relatives à la faisabilité d'un stockage de déchets à haute activité et à vie longue. Rapport de synthèse*, décembre 2001, pp. 117-118.

520 *Ibid.*, p. 118.

521 *Ibid.*

L'analyse des conséquences radiologiques des deux scénarios étudiés dans le cadre du *Dossier 2001*, le scénario d'évolution normale et le scénario d'évolution altérée d'un défaut de scellement, est fondée sur l'Analyse Phénoménologique de Situation de Stockage. Cet outil d'analyse consiste à décrire l'évolution du stockage depuis son creusement jusqu'à un million d'années après sa fermeture en segmentant cette évolution en 83 situations. Chaque situation correspond à une zone du stockage ou de son environnement pendant une période donnée. Durant cette période, les phénomènes qui guident l'évolution de cette partie du stockage sont supposés invariants. Ainsi, l'état du système évolue durant le début et la fin de la période définissant une situation mais les phénomènes qui guident cette évolution sont inchangés. Ce découpage du stockage et de son évolution en situations doit donner une vue exhaustive de celle-ci. L'APSS permet d'organiser les savoirs produits sur l'évolution du stockage pour les utiliser dans les analyses des différents scénarios définis grâce à l'AQS, et d'assurer une certaine complétude à l'analyse de sûreté.

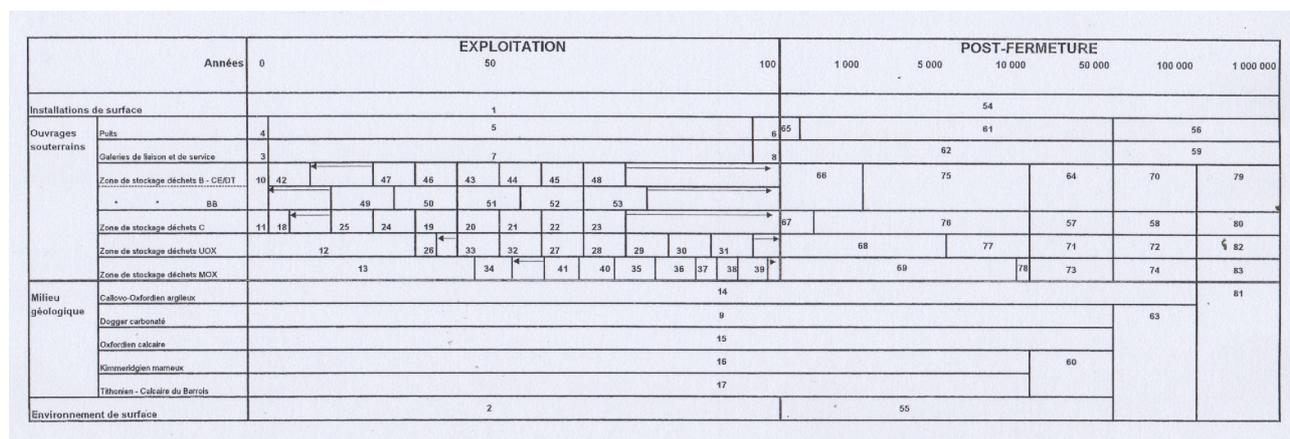


Figure 4.3. Représentation du découpage du stockage et de son évolution en situations (Rémi PORTAL, *Compte-rendu définitif de la préparation & de l'audition du 15 mars 2001. Analyse Phénoménologique des Situations de Stockage (APSS)*, CNE, 2001)

L'analyse de sûreté effectuée par les ingénieurs de l'Andra pour le *Dossier 2001* n'est pas fondée sur l'utilisation d'une liste de FEP's. Cependant, à plusieurs reprises, les auteurs du *Dossier 2001* soulignent la similarité de la méthode employée par l'Andra avec l'utilisation d'une liste de FEP's. Les événements initiateurs de l'AQS ou les phénomènes pris en compte dans l'APSS peuvent être assimilés à des FEP's. De plus, l'utilisation de la liste de FEP's de l'AEN est envisagée afin de vérifier la complétude de l'analyse produite par les salariés de l'Andra.

Plusieurs raisons peuvent expliquer que l'analyse produite pour le *Dossier 2001* ne repose pas sur une liste de FEP's. Tout d'abord, le chantier engagé à l'AEN sur la construction d'une liste de FEP's est long. Il faut ainsi attendre 2000 pour qu'un rapport de l'AEN publie une telle liste⁵²². Une

522 AEN/OCDE (ed.), *Features, Events and Processes (FEPs) for Geologic Disposal of Radioactive Waste*. An

liste de FEP's adaptée aux stockages dans des formations argileuses n'est publiée qu'en 2003⁵²³. Ainsi, le calendrier du chantier engagé par l'AEN pour la construction d'une liste de FEP's ne coïncide pas avec la réalisation d'un dossier préalable à l'évaluation de sûreté de 2005, suffisamment tôt pour pouvoir bénéficier d'un retour d'expérience. Cependant, le dossier produit par l'Andra en 2005 reprend la même méthode d'analyse de sûreté que celle employée dans le *Dossier 2001*. Depuis, les salarié.es de l'Andra ne fondent toujours pas leurs analyses de sûreté sur une liste de FEP's. Le manque de temps n'est donc pas la seule explication de l'utilisation des FEP's à l'Andra.

Les salarié.es de l'Andra ne sont pas à l'initiative du développement d'une liste de FEP's partagée dans le cadre de l'AEN. Ils et elles contribuent à ce travail mais l'engagement de l'Agence dans celui-ci est toujours mesuré. Dès 1994, le caractère hétéroclite des FEP's est considéré comme une limite à l'utilisation de tels objets comme fondement de l'analyse de sûreté. Toutefois, alors que l'utilisation des FEP's est devenue une norme internationale de bonne pratique pour l'analyse de sûreté, le *Dossier 2001* et le *Dossier 2005* insistent pour préciser que la méthode choisie par l'Agence est similaire à l'utilisation d'une liste de FEP's et que la liste de l'AEN est utilisée pour vérifier qu'aucun élément n'a été oublié dans les analyses effectuées à l'Andra.

En tant que norme, la référence à la liste de FEP's est devenue une condition de la production d'une démonstration satisfaisante. Néanmoins, parce que cette norme ne porte pas sur une méthode et qu'elle n'est pas très contraignante, l'usage des FEP's par l'Andra n'est pas venu transformer radicalement la manière dont les salarié.es de l'Agence travaillent. Cependant, étant donné la difficulté de produire une démonstration exhaustive de la sûreté, et la fragilité intrinsèque des démonstrations de sûreté qui en découle, la référence à la liste de FEP's partagée internationalement via l'AEN s'est imposée comme un gage de complétude pour les analyses de sûreté.

CONCLUSION PARTIELLE

Le choix de recourir à l'évacuation géologique des déchets nucléaires est antérieur aux développements des outils d'analyse de sûreté présentés ici. Par ailleurs, depuis 1991, la rationalisation de la conception des stockages et de l'analyse de leur sûreté demande une justification des hypothèses permettant la construction de quelques scénarios dont l'impact radiologique est calculé. L'impossibilité de prendre en compte exhaustivement l'ensemble des

International Database, 2000.

523 Martin Mazurek, F. Joe Pearson, Geert Volckaert et Helmut Bock, *Features, Events and Processes Evaluation. Catalogue for Argillaceous Media*, AEN/OCDE, 2003.

éléments qui influent le stockage impose d'effectuer une sélection. Malgré leur justification, ces choix réduisent la complétude de l'analyse et affaiblissent leur prétention à l'objectivité. Durant les années 1990, l'objectivation du recours à l'évacuation géologique est toutefois une condition de l'acceptation d'un tel projet.

La conception d'une liste de FEP's est une manière de refonder sur une base commune les analyses de sûreté effectuées dans différents pays suivant diverses méthodes. En effet, la coexistence de plusieurs méthodes d'analyse de sûreté est une gêne potentielle pour la prétention à l'objectivité de chacune. Devant l'impossibilité de réaliser une analyse de sûreté exhaustive, les ingénier.es de l'Andra actent que celle-ci devra être actualisée indéfiniment. La rationalisation de l'analyse de sûreté ne sera toujours que partielle, mais sa répétition régulière doit accroître sa robustesse. La sûreté d'un projet de stockage ne sera donc jamais formellement établie mais la multiplication des analyses de sûreté doit permettre la conception d'un stockage de plus en plus sûr.

Le besoin de réaliser une analyse de sûreté en un temps fini, la difficulté d'une caractérisation totale du stockage, de son environnement géologique et de leur évolution et enfin les limites induites par les capacités techniques de calcul limitent la rationalisation de l'analyse de sûreté. L'assurance que la méthode d'analyse retenue soit la meilleure est difficile à garantir et, au niveau international, différentes méthodes coexistent. De plus, l'utilisation d'une méthode formelle ne doit pas être trop contraignante et l'intégration à l'analyse d'éléments nouveaux, non sélectionnés par la méthode retenue, doit rester possible.

La fonction politique de l'analyse de sûreté (rationaliser aux yeux d'un « *public* » le recours à l'évacuation géologique des déchets nucléaires) accentue le besoin d'une formalisation du travail des expert.es sommé.es dorénavant de justifier publiquement leurs choix. Cependant, l'impossibilité d'une prise en compte exhaustive de l'ensemble des éléments qui influenceront potentiellement sur l'évolution du stockage rend le jugement des expert.es indispensable pour sélectionner les éléments à intégrer dans l'analyse de sûreté. La rationalisation de l'analyse de sûreté des projets de stockage consiste donc à encadrer le travail des expert.es sans toutefois brider leur créativité.

II. CALCULER L'IMPACT RADIOLOGIQUE D'UN PROJET DE STOCKAGE

Les scénarios sont destinés à guider la réalisation des calculs d'impact. Si la construction d'une liste de scénarios suscite d'importants débats, la conception d'outils numériques à même d'effectuer les calculs d'impact soulève également plusieurs questions. En effet, à cause de la spécificité des projets de stockage, il n'existe pas de logiciels dédiés à l'évaluation de la sûreté de tels ouvrages. Les ingénieurs de l'Andra doivent donc utiliser des logiciels conçus pour d'autres usages ou développer des logiciels *ad hoc*.

Plus qu'au choix des outils numériques en tant que tels, c'est avant tout à l'histoire de la modélisation de la migration des radionucléides que je m'intéresse dans cette partie. La modélisation du transfert des radionucléides consiste à définir un système d'équations différentielles qui permet le calcul d'un impact radiologique. La résolution, numérique ou analytique, de ce système d'équations différentielles n'est pas une question simple. Néanmoins, elle est peu spécifique aux calculs de l'impact radiologique de projets de stockage. De ce fait, la détermination pratique d'une solution à ce système n'est pas abordée dans ce chapitre. L'objectif de cette partie est davantage de détailler les représentations du stockage et de la migration des radionucléides utilisées dans les modèles utilisés pour le calcul de l'impact radiologique de projets de stockage.

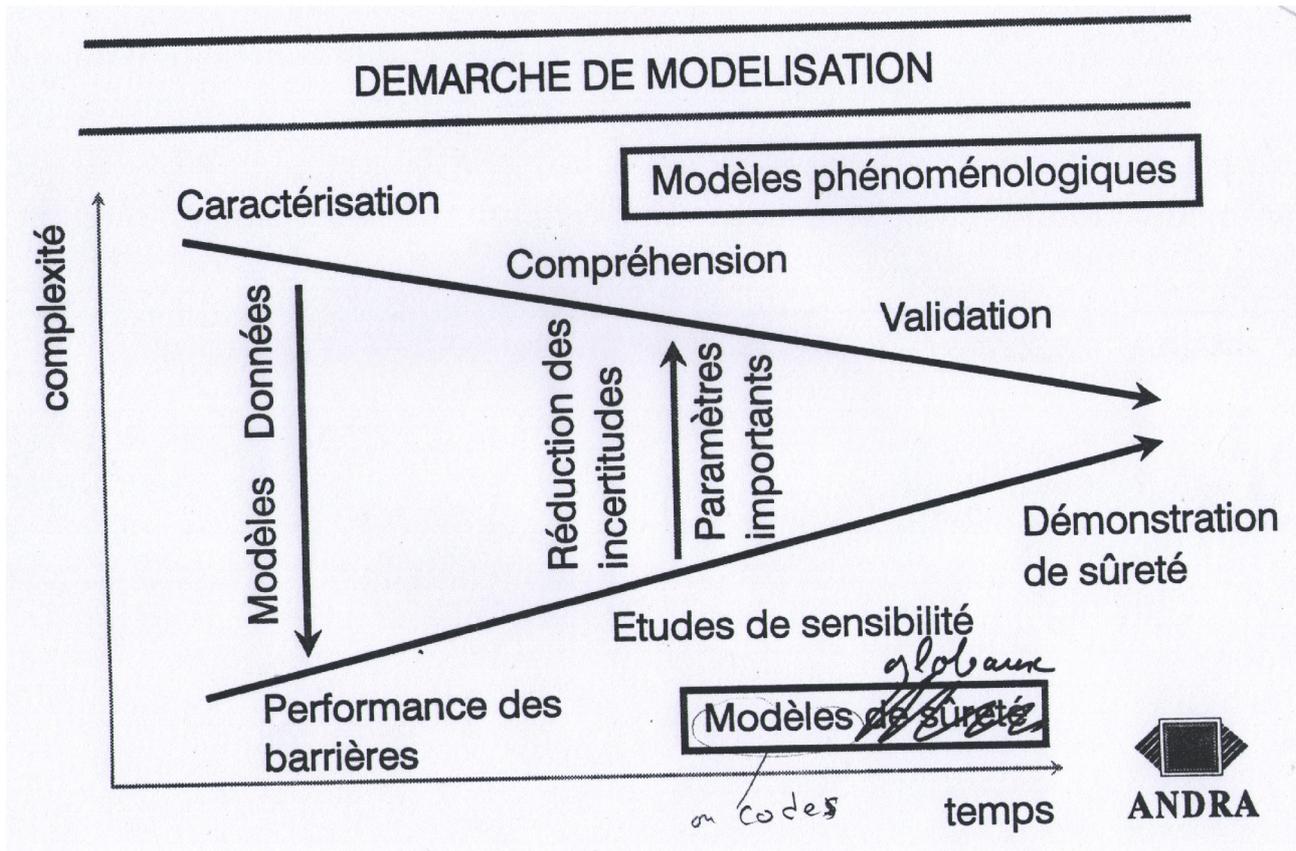


Figure 11. Représentation de la démarche de modélisation de l'Andra (Philippe RAIMBAULT, Brouillon d'un transparent pour l'audition de la CNE du 8 septembre 1994, Andra, 1994)

Lorsque, durant les années 1990, les salarié.es de l'Andra présentent le programme de développement de la modélisation de l'Agence, ils et elles utilisent le schéma ci-dessus (Figure 11). Sur ce brouillon d'un transparent projeté aux membres de la CNE, il importe tout d'abord de noter la rature et l'ambiguïté dans l'utilisation des termes « modèle » et « code ». Tout au long des années 1980 et jusque dans les années 1990, cette ambiguïté est présente entre la désignation de la représentation mathématisée d'un phénomène ou de l'écriture algorithmique des équations. Elle disparaît lorsqu'à l'Andra, la simulation numérique devient une activité confiée à une équipe spécifique au tournant des années 2000.

Ce schéma de la Figure 11 montre la stratégie de l'Andra pour le développement de la modélisation. Celle-ci repose sur le développement de deux catégories de codes dédiés soit à l'étude de phénomènes spécifiques, soit au calcul de l'impact radiologique d'un projet de stockage. Les modèles destinés à représenter des phénomènes spécifiques doivent être simplifiés par l'identification des paramètres prépondérants. Les modèles utilisés pour le calcul d'impact doivent peu à peu se complexifier de manière à ce que les différents types de modèles utilisés convergent. L'utilisation de codes spécifiques à la modélisation de phénomènes particuliers doit ainsi permettre

de justifier les simplifications effectuées dans les codes globaux. La mise en pratique de cette stratégie est hélas plus difficile que ce que ce schéma voudrait laisser croire et, à la fin des années 1990, les membres de la CNE attirent l'attention de la direction de l'Andra sur les difficultés induites par la réalisation d'une simulation globale de l'évolution d'un projet de stockage.

II.1. DÉVELOPPER UN OUTIL DE SIMULATION TOTAL : ESPOIRS ET LIMITES

En octobre 1998, alors que l'Andra attend l'autorisation d'implanter les laboratoires souterrains, la CNE publie son quatrième rapport dans lequel, pour la première fois, elle consacre six pages à la simulation numérique. Le 11 décembre 1997, un mathématicien a été nommé membre de la Commission : Olivier Pironneau, membre correspondant de l'Académie des Sciences et directeur du Laboratoire de Mathématiques appliquées à l'Université de Paris VI.

Dans ce quatrième rapport, les membres de la CNE pointent que la simulation numérique présente de grands enjeux dans les recherches sur l'évacuation géologique des déchets nucléaires :

« La simulation devrait être à même de prévoir le comportement global des déchets depuis la fabrication du colis jusqu'au transfert dans la biosphère d'une certaine fraction de radionucléides contenus dans les déchets en considérant les étapes successives d'entreposage puis de stockage⁵²⁴ ».

Ainsi, les ambitions placées par la CNE dans le développement de la simulation numérique sont particulièrement élevées. Il ne s'agit rien de moins que de concevoir un outil capable de prévoir le devenir des déchets depuis leur fabrication jusqu'au moment où l'activité des radionucléides qu'ils contiennent a suffisamment décru pour être considérée comme bénigne. La construction d'un tel outil total n'est cependant pas encore d'actualité. En effet, le développement de la simulation numérique se heurte à plusieurs difficultés. D'une part, le nombre de phénomènes influant sur l'évolution du stockage est particulièrement important et le temps de la décroissance de certains

524 Commission Nationale d'Évaluation (ed.), *Rapport d'évaluation n° 4*, octobre 1998, pp. 113-114.

radionucléides destinés à être enfouis est quasi-infini⁵²⁵. D'autre part, la simulation numérique de l'évolution du stockage dépend de la caractérisation du stockage et de son évolution. Or, les membres de la CNE estiment peu probable qu'une caractérisation exhaustive du stockage puisse être un jour produite :

« l'expérimentation à long terme est impossible et [...] l'expérimentation à court terme ne peut pas conduire à l'acquisition de toutes les données. Par exemple, la connaissance parfaite de toutes les interactions est impossible et en tout cas trop complexe pour être entièrement prise en compte dans des modèles déterministes. De même, l'échelle géologique des temps qu'il faut considérer conduit à une indétermination sur l'évolution des formations qui ne sera sans doute jamais levée⁵²⁶. »

Ainsi, la CNE en 1998 donne à la simulation un rôle central dans la connaissance de l'évolution du stockage et, dans le même temps, elle reconnaît que le chemin qu'il reste à parcourir avant de pouvoir simuler le comportement des radionucléides, de la conception des déchets jusqu'à leur migration éventuelle dans la biosphère, risque d'être encore long. De plus, la simulation numérique n'est pas une activité autonome : le temps long de la décroissance radioactive compromet les espoirs d'une caractérisation exhaustive de l'évolution d'un stockage et donc d'une modélisation déterministe de celle-ci.

En 1998, un « *logiciel global* » à même de prédire le comportement des radionucléides de La Hague jusqu'à la biosphère située au dessus d'un futur stockage n'existe pas. La Commission souligne que pour l'instant, les recherches se sont focalisées sur le développement des différents « *modules* » permettant de simuler le comportement des différents sous-systèmes du stockage : le terme source, les colis, le champ proche, le champ lointain, la biosphère et la contamination des populations. Les membres de la CNE précisent toutefois qu'« *il est clair que, ce n'est pas en mettant ces modules bout à bout que l'on répondra à la question posée par la sûreté globale du stockage⁵²⁷* ». La Commission recommande qu'une équipe soit créée à l'Andra afin de travailler à la conception d'un « *logiciel global* » et qu'un calendrier lui soit fourni sur les recherches commanditées sur ce sujet.

525 *Ibid.*, p. 114.

526 *Ibid.*

527 *Ibid.*, p. 115.

II.2. SE PRÉPARER À DÉMONTRER LA SÛRETÉ D'UN STOCKAGE EN 2005

En juin 1999, la CNE publie un nouveau rapport dans lequel un chapitre entier est consacré à la modélisation et à la simulation numérique⁵²⁸. Pour écrire ce chapitre, la Commission a organisé une audition le 15 janvier 1999 afin de réaliser un état de l'art sur la simulation numérique dans différents domaines. Suite à cette journée, deux autres auditions plus spécifiques ont été programmées : une première focalisée sur la simulation du champ proche et des phénomènes qui s'y déroulent ; une seconde consacrée aux colis et à l'appréhension des interactions entre les barrières ouvragées et le milieu géologique.

Le cinquième rapport de la CNE détaille les différentes étapes que doit suivre un programme de simulation numérique : définir des objectifs, analyser les phénomènes physiques, chimiques, mécaniques, thermiques, radiologiques et hydrauliques ainsi que les paramètres qui permettent de décrire ces phénomènes, modéliser et mettre en équations les paramètres définis, concevoir des logiciels, analyser la pertinence des banques de données utilisées, comparer les calculs avec les résultats expérimentaux, améliorer les modèles puis les logiciels et enfin, assembler l'ensemble et valider l'outil numérique⁵²⁹.

Pour les membres de la CNE, si les ingénieur.es de l'Andra ont entrepris de référencer l'ensemble des phénomènes physiques qui contribueront à l'évolution d'un stockage, il est peu probable qu'en 2005, elles et ils disposent d'une « *description fine* » de tous les mécanismes. Par contre, les membres de la Commission notent que l'inventaire des phénomènes et l'évaluation de leurs importances mutuelles sera sans doute disponible. Ils défendent qu'« *il ne faut pas attendre d'avoir tout analysé et modélisé pour débiter la simulation de l'ensemble du problème* » : la simulation numérique peut avoir un rôle heuristique et participer à la compréhension des phénomènes physiques⁵³⁰. Les membres de la CNE recommandent ainsi aux salarié.es de l'Andra de travailler au développement des outils de calcul simultanément à la caractérisation du site de Bure.

528 Commission Nationale d'Évaluation (ed.), *Rapport d'évaluation n° 5*, juin 1999, pp. 39-51.

529 *Ibid.*, p. 41.

530 *Ibid.*, p. 44.

D'après les membres de la CNE, la « *modélisation se fait en principe, processus par processus, en écrivant les équations de chaque discipline de la physique ou de la chimie ainsi que leurs solutions analytiques lorsqu'elles sont disponibles*⁵³¹ ». Cependant, « *certains phénomènes deviennent rapidement inextricables à cause de l'interférence d'un grand nombre de variables*⁵³² ». Pour faire face à cette difficulté, les membres de la CNE suggèrent :

*« lorsque le problème est numériquement trop complexe, on peut opérer une réduction du nombre de variables à condition de savoir sélectionner celles qui sont pertinentes ; c'est un problème connu comme très difficile en modélisation et qui ne peut pas être fait a priori, mais seulement en comparant les résultats du modèle complet avec ceux du modèle simplifié*⁵³³ ».

En 1999, les ingénieur.es de l'Andra ne sont pas en mesure de réaliser de telles opérations. Ils et elles utilisent alors le modèle simplifié Oasis dont les membres de la CNE estiment que la validité n'est pas démontrée⁵³⁴. Dans leur cinquième rapport, les membres de la CNE précisent également qu'à l'Andra, la modélisation de la migration des radionucléides est alors limitée par le manque de connaissances sur la physique des mécanismes de transfert dans les différents matériaux⁵³⁵.

L'augmentation des performances calculatoires des ordinateurs ouvre sans cesse de nouvelles possibilités et des calculs qui étaient inenvisageables deviennent parfois possibles. La simulation numérique évolue rapidement et la CNE recommande aux salarié.es de l'Andra de veiller aux développements nouveaux dans ce domaine. L'utilisation d'un outil de calcul modulaire dans lequel plusieurs codes seraient utilisés pour simuler des phénomènes spécifiques permettrait une adaptation progressive de cet outil. L'architecture de l'outil de calcul global doit ainsi pouvoir évoluer en fonction des progrès dans la modélisation des différents phénomènes. De plus, la Commission encourage fortement l'Agence à travailler avec d'autres organismes, publics ou privés, confrontés eux aussi à des questions numériques complexes comme le couplage de différents codes dans un même outil numérique.

Plusieurs membres de la CNE soulignent le retard du développement des outils numériques de l'Andra par rapport au rendez-vous de 2005, lors duquel l'Agence doit montrer sa capacité à concevoir un stockage de déchets nucléaires sûr. Ils pointent notamment la trop grande simplification de la physique du stockage dans les modèles utilisés pour les calculs d'impact et la

531 *Ibid.*

532 *Ibid.*

533 *Ibid.*, p. 45.

534 *Ibid.*

535 *Ibid.*, p. 44.

difficulté à coupler des phénomènes ayant des échelles spatio-temporelles différentes⁵³⁶. La volonté d'éviter que les salarié.es de l'Andra échouent à montrer de manière assez robuste la sûreté d'un stockage motive l'engagement de membres de la CNE à pousser l'Andra à développer ses outils de simulation numérique. Lors de l'audition du 22 février 2000, Olivier Pironneau insiste : « *La CNE ne veut pas arriver sur un constat d'échec en 2004*⁵³⁷ ». Ainsi, la volonté des membres de la CNE que les salarié.es de l'Andra produisent en 2005 une démonstration de sûreté de bonne qualité motive leur engagement à aider l'Andra à développer ses outils de simulation numérique.

Les recommandations de la CNE permettent d'anticiper l'évaluation finale du travail de l'Andra et d'éviter une inadéquation entre le travail des salarié.es de l'Andra et les attentes de ses membres. L'accompagnement de l'Andra dans son activité doit ainsi permettre aux membres de la CNE d'éviter d'avoir à désapprouver les conclusions finales de l'Agence parce que celles-ci n'auraient pas été obtenues avec des outils numériques assez sophistiqués. Les membres de la CNE estiment alors que l'évacuation géologique des déchets nucléaires est inéluctable et ils n'ont aucune envie de rendre en 2005 un rapport qui risquerait de remettre en cause cette solution de gestion. Le travail en amont de l'évaluation finale leur permet de rendre le travail des salarié.es de l'Andra meilleur à leurs yeux tout en évitant une remise en cause de l'évacuation géologique, ce qu'un rapport critique en 2005 sur le travail de l'Agence pourrait provoquer.

II.3. CALCULER LES ÉCHANGES RADIOLOGIQUES ENTRE MAILLES

Afin de mieux comprendre les critiques formulées par les membres de la CNE sur la qualité des outils de simulation numérique utilisés à l'Andra, il me semble nécessaire de détailler quelque peu la manière dont ces outils numériques fonctionnent. Les outils utilisés à l'Andra durant les années 1990 ont, pour la plupart, été conçus durant les années 1980. Dans le cadre du programme Pagis (cf. chapitre 1), des salarié.es de l'Andra et de l'IPSN travaillent à calculer l'impact radiologique de différents projets de stockage dans des granites. Afin de quantifier la migration des radionucléides depuis le stockage jusqu'à la population qui pourrait vivre à son aplomb, le système est discrétisé suivant un maillage (cf. *Figure 12*). Cette opération consiste à décomposer les représentations des différentes barrières du stockage en un nombre fini de sous-systèmes : des mailles. Chaque maille est considérée comme un espace aux propriétés homogènes dans lequel il est

536 Rémi Portal, *Compte rendu rapide de la réunion du 19 décembre 2000 entre l'Andra et la Commission Nationale d'Évaluation « Modélisation et simulation numérique »*, CNE, 8 janvier 2001.

537 « CNE du 22/02/2000 - Modélisation », Andra, 2000, p. 4.

possible de déterminer le comportement des radio-éléments : quels mécanismes guident la migration des radionucléides ? Combien d'éléments qui entrent dans la maille en ressortent ? Au bout de combien de temps en sortent-ils ?

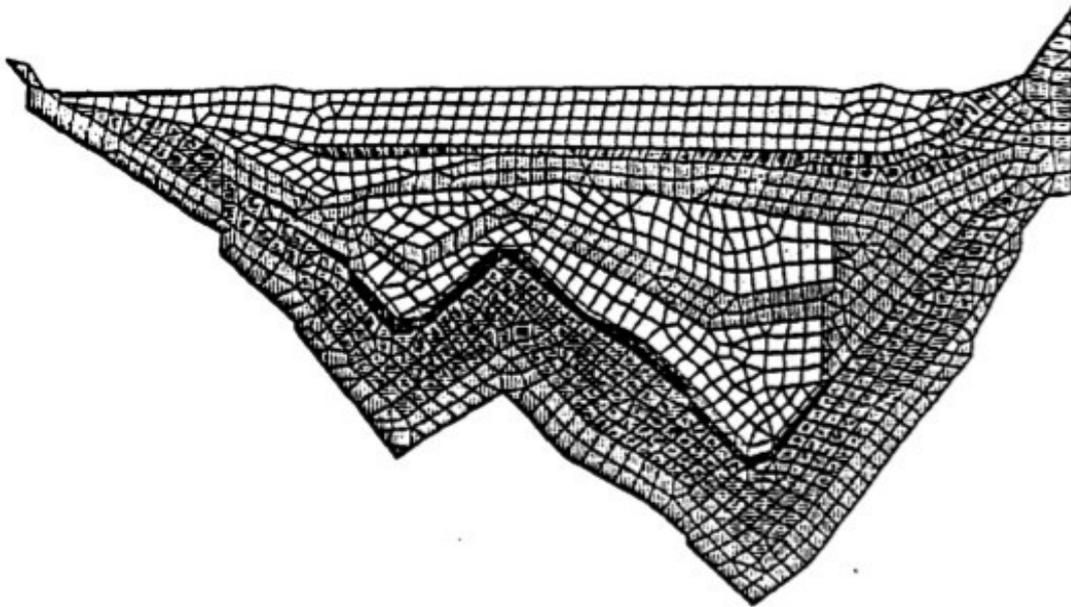


Figure 1 : Example of automatic grid generation with GIBI

Figure 12. Représentation du maillage de la géologie d'un site
(Philippe RAIMBAULT et P. GOBLET, *Results from the Metis Code Participation to the Hydrocoin Exercice*, IPSN/CEA, avril 1987)

La réalisation d'un maillage permet de prendre en compte la variabilité spatiale des propriétés physiques de chaque barrière et d'attribuer des valeurs aux paramètres afin de calculer la migration des radionucléides dans chaque sous-système. C'est une technique classique de simulation numérique. Les simulations du changement climatique utilisent par exemple des maillages pour discrétiser l'atmosphère⁵³⁸.

La taille des mailles, et donc leur nombre, influent directement sur le nombre de calculs à réaliser. La finesse du maillage détermine également la précision avec laquelle les grandeurs caractérisant la géologie doivent être recueillies et mises en forme pour pouvoir être utilisées dans les calculs. Cette réalisation d'un maillage est la première étape de la modélisation. La seconde étape consiste à définir les équations qui expriment le transfert des radionucléides d'une maille à l'autre. Durant les années 1980, la biosphère est représentée par un nombre relativement faible de

538 H. Guillemot, *La Modélisation du climat en France des années 1970 aux années 2000*, op. cit., pp. 245-290.

sous-systèmes. L'exemple de la modélisation des transferts de radionucléides dans la biosphère permet d'entrevoir la manière dont les calculs de la migration des radio-éléments d'une maille à l'autre sont effectués.

II.3.1. CALCULER LE TRANSFERT DE RADIONUCLÉIDES D'UNE MAILLE À L'AUTRE

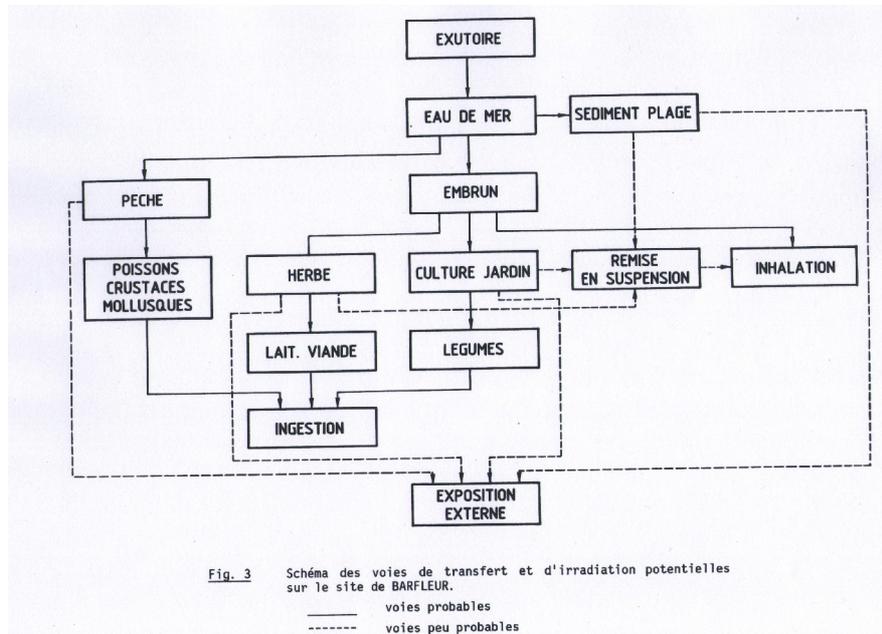


Figure 13. Schéma des voies de transfert des radionucléides et des sources d'irradiation potentielles pour le site de Barfleur (Jean-Marc PERES, *Importance des voies de transfert dans différentes biosphères (formation granitique)*, Andra, juin 1986)

Afin de calculer l'impact du stockage sur les populations, les modèles de biosphère développés durant les années 1980 – Bios du *National Radiological Protection Board* (NRPB) utilisé par l'Andra notamment – prennent en compte les différentes voies de transfert entre les exutoires géologiques (mer ou rivières) et les humains vivant à proximité. La contamination des êtres humains peut avoir différentes causes : exposition externe, inhalation et ingestion (cf. *Figure 13*). Depuis l'exutoire géologique duquel les radionucléides arrivent au contact de la biosphère jusqu'à la contamination humaine, le transfert des radio-éléments est calculé maille par maille, suivant une chaîne de contamination qui mène à l'humanité. Le transfert de radionucléides entre une maille A et une maille B peut être calculé à l'aide d'une équation différentielle dont la forme générale est la suivante :

$$\frac{dN_A}{dt} = S - K_{AB} N_A + K_{BA} N_B - \lambda N_A \quad 539$$

539 G. Lawson et G. M. Smith, *Bios. A Model to Predict Radionuclide Transfer and Doses to Man Following Releases from Geological Repositories*, op. cit., p. 5.

Dans cette équation, S représente le nombre de radionucléides qui entrent dans la maille A par unité de temps (le terme source) ; N_i représente le nombre de radionucléides dans la maille i ; K_{ij} représente le coefficient de transfert de la maille i vers la maille j par unité de temps et λ représente le taux de décroissance radioactive. La variation du nombre de radionucléides dans le compartiment

A en fonction du temps $\left(\frac{dN_A}{dt}\right)$ est ainsi égale au nombre de radionucléides qui sont entrés initialement dans la maille A (S) duquel est soustrait le nombre de radionucléides qui migrent de la maille A vers la maille B ($K_{AB}N_A$), puis est additionné le nombre de radionucléides qui migrent de la maille B vers la maille A ($K_{BA}N_B$) et enfin est soustrait une quantité de radionucléides correspondant à la désintégration radioactive de l'échantillon (λN_A).

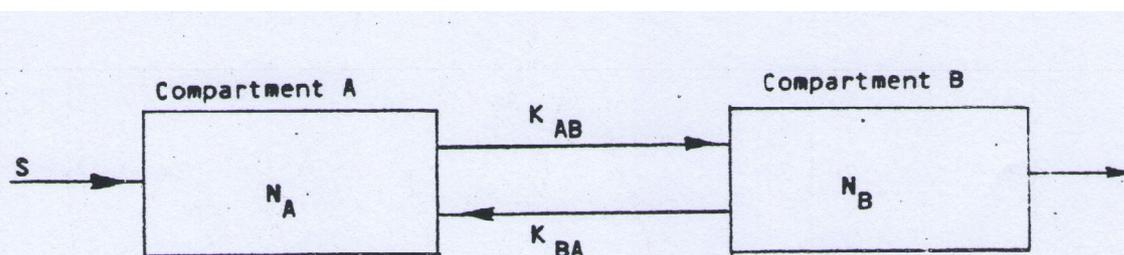


Figure D.4 : Illustrative compartment model, single nuclide

N_A and N_B : nuclide concentration in compartments A and

S : source terme

K_{AB} and K_{BA} : transfer coefficients

Figure 14. Schéma général du transfert d'un radionucléide entre deux compartiments

(G. LAWSON et G.M. SMITH, *Bios. A Model to Predict Radionuclide Transfer and Doses to Man Following Releases from Geological Repositories*, National Radiological Protection Board, avril 1984)

La Figure 14 représente le transfert général d'un radionucléide donné entre deux mailles. Le calcul du transfert des radionucléides entre deux mailles dépend des circulations entre les mailles qui jouxtent celles-ci. Ainsi, si il est établi que les radionucléides présents dans la maille B migrent ensuite vers une maille C, le terme source de l'équation définissant le transfert entre les mailles B et C est $K_{BC}N_B$. Calculer le transfert des radionucléides dans un réseau de mailles consiste ainsi à résoudre un système d'équations différentielles, comportant potentiellement un nombre important d'équations.

Ces calculs du transfert des radionucléides sont effectués indépendamment pour chaque radionucléide (ou chaque chaîne de désintégration radioactive) susceptible de migrer jusqu'à la biosphère : les coefficients K_{ij} dépendent des propriétés géochimiques propres à chaque radio-élément. Les différents modes de fixation de chaque radio-élément dans les sols, les végétaux et les chairs multiplient le nombre de calculs par le nombre d'éléments présents dans les déchets et susceptibles d'arriver jusqu'à la surface. Avant de demander à un outil numérique de proposer des solutions au système d'équations différentielles, tout l'enjeu consiste à déterminer les valeurs de l'ensemble des coefficients de transfert K_{ij} en fonction du temps et de la radiochimie ou de la radiobiologie des processus.

II.3.2. QUE MANGERONT LES POPULATIONS DE LA MANCHE DANS UN MILLION D'ANNÉES ?

La détermination des coefficients de transfert des radionucléides dans la biosphère nécessiterait de connaître l'évolution de la biosphère durant le prochain million d'années, et d'évaluer les habitudes alimentaires des potentielles populations habitant les zones étudiées pendant des temporalités similaires. Bien sûr, une connaissance précise de l'évolution de la biosphère et des modes d'alimentation est impossible. Tout au plus, l'étude de l'évolution du climat (les prochaines périodes glaciaires par exemple) peut-il donner quelques indications sur les écosystèmes possibles et l'étude des habitudes alimentaires contemporaines ou passées peut éclairer sur l'importance des voies de transfert des radionucléides jusqu'aux populations. L'évaluation des contaminations radioactives par l'alimentation montre que la modification du régime alimentaire influe peu sur l'impact du stockage⁵⁴⁰. Par contre, la dilution des radionucléides, notamment due au débit des rivières, peut influencer fortement sur la dose de radioactivité ingérée.

Ces calculs demandent de nombreuses données sur les zones situées à proximité des exutoires. Outre que les salarié.es de l'Andra ne disposent que de peu de données précises sur les sites de Barfleur et d'Auriat qu'elles et ils étudient dans le cadre du programme Pagis, la forme des données dont elles et ils disposent ne permet pas toujours leur utilisation avec le modèle Bios. Les données utilisées pour les calculs et notamment les données qualifiant les sites et les colis doivent se présenter sous une forme adaptée au modèle utilisé pour le calcul. Cette dépendance de la forme des données caractérisant le transfert des radionucléides aux modèles utilisés rigidifie le développement

540 Jean-Marc Peres, *Importance des voies de transfert dans différentes biosphères (formation granitique)*, Andra, juin 1986, p. 12.

de la modélisation en compliquant le changement d'un modèle pour un autre. À la fin des années 1990, les ingénieur.es de l'Andra utilisent toujours le code Bios pour simuler les transferts de radionucléides dans la biosphère.

II.4. DES EXERCICES POUR TESTER LES OUTILS DE CALCUL

L'évaluation de la sûreté des projets de stockage doit permettre de vérifier que ceux-ci respectent bien les critères de radio-protection établis. Néanmoins, les travaux de reconnaissance géologique et de caractérisation des mécanismes de transfert des radionucléides ainsi que les études de conception des ouvrages demandent du temps. De plus, la réalisation d'une évaluation globale de la sûreté d'un concept de stockage optimisé pour un site donné est un chantier important qui mobilise les salarié.es de l'Andra pendant plusieurs années (cf. chapitres 5 et 7). En dehors des moments où sont réalisées de telles analyses globales sur un site précis, les ingénieur.es de l'Andra travaillent à concevoir et à tester les outils disponibles afin de s'assurer que les technologies dont ils et elles disposent permettent de répondre à leurs besoins.

Afin de tester les outils d'analyse de sûreté, d'évaluer les priorités de recherche et d'exprimer les besoins en recherche et développement (R&D) pour la conception des barrières ouvragées, les ingénieur.es de l'Andra s'appuient sur des exercices. Ceux-ci consistent à évaluer la sûreté d'un projet de stockage sur un site fictif. En 1994 et 1995, des ingénieur.es de l'Andra ont mené trois exercices de sûreté à l'aide du code Oasis dans lesquels une barrière de rétention est totalement défaillante afin d'évaluer la redondance des barrières dans le concept de stockage⁵⁴¹. Dans le premier exercice, la roche n'assure aucune fonction de confinement des radionucléides : seuls les colis et la barrière ouvragée bétonnée assurent la rétention des radio-éléments. Dans le deuxième et le troisième exercice, la barrière ouvragée est considérée comme défaillante : les colis et la roche (argile ou granite suivant les exercices) assurent seuls la rétention des radionucléides. Les conclusions de ces exercices sont présentées aux représentants des producteurs de déchets et aux membres de la CNE en 1996.

Dans ces présentations figure une capture d'écran du logiciel Oasis utilisé pour calculer l'impact d'un stockage dans le granite (*Figure 15*). Sur l'arbre qui occupe le bas à gauche de l'écran, on voit l'enchaînement des modules de calculs. En bas, le terme source. Au-dessus, un « répartiteur » vers deux modules qui permettent un calcul de la migration des radionucléides dans

541 Philippe Raimbault, Pablo Thorner, Dallias, Perraud et Jean-Michel Hoorelbeke, « Audition de l'Andra sur la démarche de sûreté », Andra, 1995.

un granite : un module représentant la migration dans la roche, alors considérée comme un milieu poreux, et un module calculant la migration des radionucléides le long des fractures de la roche. La somme de ces deux calculs est effectuée par un « *mélangeur* ». En haut, un dernier module calcule la migration dans la biosphère des radionucléides qui sortent de la roche. L'encart supérieur droit nous indique que dans cette étude, seuls deux radio-éléments ont été considérés : le curium 245 et le césium 231.

II.4.1. REPRÉSENTATION DU STOCKAGE ET STRUCTURE DE L'OUTIL NUMÉRIQUE

Sur la capture d'écran d'Oasis, aucun module de calcul ne représente la migration à travers la barrière ouvragée. Celle-ci est supposée totalement défailante. Les radionucléides qui migrent en dehors des colis sont supposés être immédiatement au contact de la roche. Durant les années 1980, un tel enchaînement des calculs de la migration des radionucléides des colis et dans la roche n'aurait sans doute pas suscité beaucoup de remarques. Néanmoins, durant les années 1990, l'absence de prise en compte de la barrière ouvragée s'avère problématique.

Depuis 1994, les membres de la CNE poussent fortement les salarié.es de l'Andra à affiner leur compréhension phénoménologique de l'évolution du stockage (cf. chapitre 2). La question des couplages entre les phénomènes thermiques, hydrauliques, mécaniques, chimiques et leurs influences sur la migration des radionucléides prend une ampleur grandissante. Dès lors, l'absence de représentation d'une barrière dans un calcul d'impact n'est plus satisfaisante : la rétention des radionucléides n'est plus la seule propriété des barrières devant être prise en compte dans une analyse de sûreté. La barrière ouvragée permet désormais de protéger les colis, les matériaux qui la composent peuvent influencer sur les phénomènes géochimiques dans la roche, les ouvrages peuvent constituer des voies privilégiées pour les circulations hydrauliques... : autant de propriétés autres que d'assurer la rétention des radionucléides, qui peuvent influencer sur leur migration et donc sur la sûreté globale du stockage. De plus, l'étude de phénomènes couplés amène à considérer l'évolution de chaque barrière en relation les unes avec les autres et non plus indépendamment.

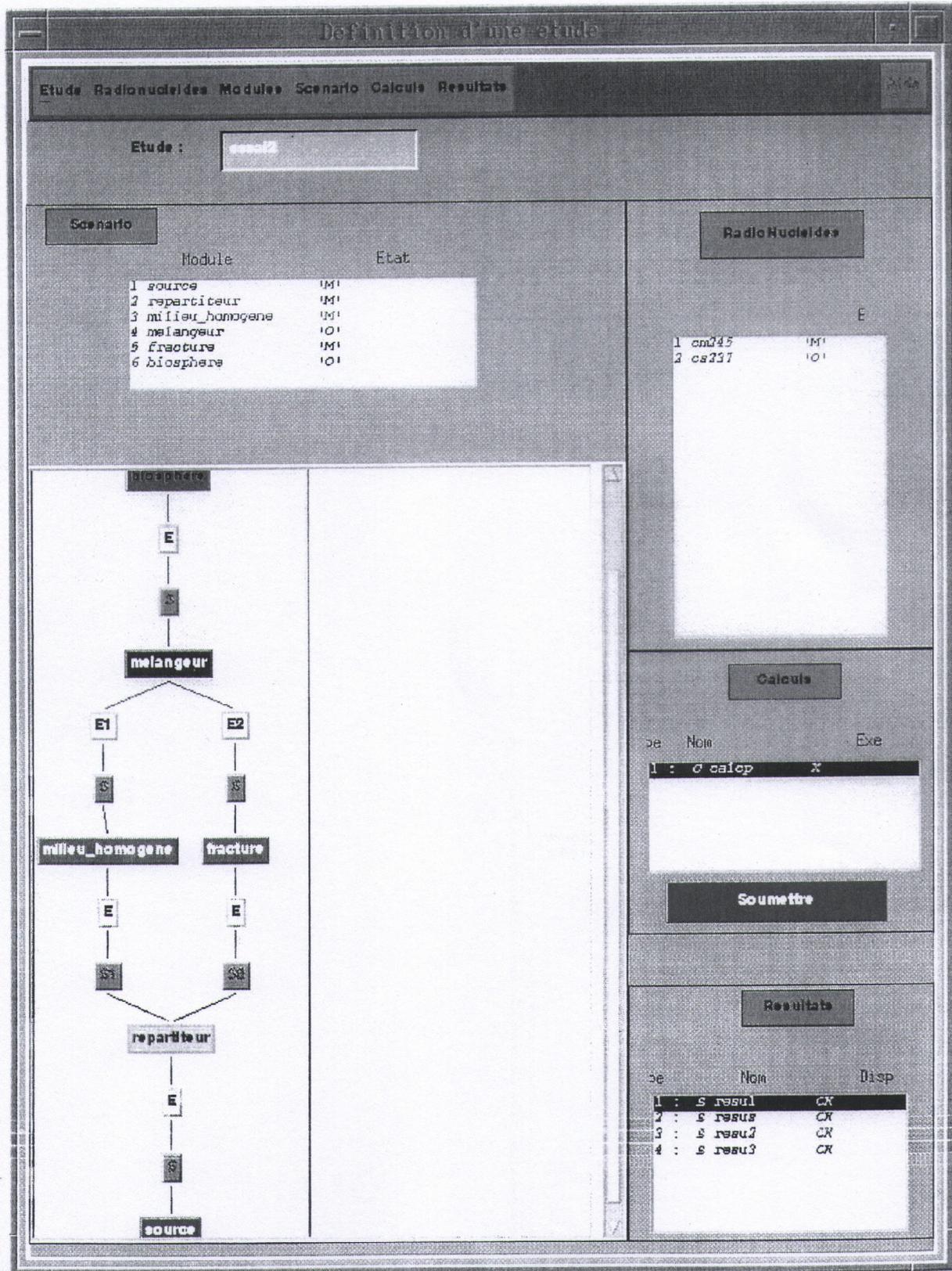


Figure 15. Capture d'écran de l'interface du logiciel Oasis (ANDRA (ed.), Correspondance technique Andra/producteurs, Compte-rendu de la réunion n° 19 du 29 mars 1996, 1996)

Dans cette seconde moitié des années 1990, représenter linéairement la migration des radionucléides depuis les colis jusqu'à la biosphère est également problématique aux yeux des membres de la CNE⁵⁴². Oasis ne permet d'effectuer qu'un enchaînement séquentiel de calculs. De plus, le volume du stockage et de la roche n'est pas pris en compte dans Oasis. Alors que la compréhension phénoménologique de l'évolution du stockage se complexifie, la linéarité des calculs et l'absence de prise en compte du volume constituent une réduction trop grande de la complexité de l'évolution du stockage et un décalage trop important entre les représentations de l'évolution du stockage dans l'outil numérique et dans les études phénoménologiques alors en cours.

La quantité et la forme des grandeurs utilisées pour calculer l'impact radiologique des projets de stockage avec Oasis suscitent également des critiques de la part des membres de la CNE. Ainsi, dans l'exercice de « *court-circuit* » de la barrière géologique, la barrière ouvragée est supposée homogène, isotrope et ses qualités pérennes au cours du temps⁵⁴³. La quantité de radionucléides qui pénètrent dans la barrière ouvragée dépend du taux de relâchement de ses éléments par les colis : dans cet exercice, la dégradation des propriétés de confinement des colis et la libération progressive des radionucléides sont représentées par un taux de relâchement attribué à chaque radionucléide. Une fois dans la barrière ouvragée, les radionucléides migrent par diffusion (c'est-à-dire par homogénéisation chimique entre les matériaux qui constituent cette barrière et les éléments qui se trouvent à son contact) : la barrière ouvragée est considérée comme peu perméable et la diffusion est le seul mode de transfert envisagé (il n'y a pas de dilution par exemple). La diffusion est contrôlée par la limite de solubilité des radio-éléments dans la barrière ouvragée ainsi que par un coefficient de retard permettant de prendre en compte la sorption des radionucléides par la barrière ouvragée (c'est-à-dire la rétention chimique des radionucléides par les matériaux composant cette barrière). La barrière géologique (qui ne joue aucun rôle dans la rétention des radionucléides dans cet exercice) est assimilée à un milieu convectif dans lequel le temps de transfert des radionucléides de la barrière ouvragée jusqu'à la biosphère est nul. La biosphère ne joue pas un rôle de rétention mais de dilution des radionucléides. En effet, dans l'exercice présenté à la CNE, les radionucléides qui sortent de la barrière géologique sont dilués dans une rivière dont le débit est de 100 litres par seconde. Cette dilution atténue l'impact du stockage sur l'humanité.

Peu de phénomènes et peu de variables sont pris en compte dans cette simulation du transfert de radionucléides vers la surface. La migration dans chaque barrière est calculée selon un mode de transfert et seuls quelques paramètres permettent de caractériser la roche et le concept de stockage.

542 Commission Nationale d'Évaluation (ed.), *Rapport d'évaluation n° 4*, op. cit., p. 115.

543 P. Raimbault, P. Thorner, Dallias, Perraud et J.-M. Hoorelbeke, « *Audition de l'Andra sur la démarche de sûreté* », op. cit.

Aucune variabilité spatiale des caractéristiques de la roche et des barrières ouvragées n'est prise en compte dans les calculs : les propriétés des différentes barrières sont modélisées à l'aide de grandeurs moyennes.

Dans le chapitre 2, la controverse autour de l'implantation d'un laboratoire souterrain dans la Vienne a mis à jour que le caractère chaotique de la fracturation du granite rend particulièrement difficile la modélisation des écoulements hydrauliques susceptibles de se produire dans cette roche. Dans l'exercice de sûreté présenté devant la CNE en 1995, la migration des radionucléides due aux circulations hydrogéologiques dans le granite est calculée à l'aide d'un temps de transfert de l'eau jusqu'à la surface (20 000 ans), d'un coefficient de retard qui permet de prendre en compte les processus géochimiques qui guident la dilution progressive des radionucléides et enfin d'un facteur de solubilité. Ces deux derniers paramètres sont spécifiques à chaque radionucléide. Il existe alors un profond fossé entre la représentation de la migration des radionucléides dans le granite utilisée dans ce calcul et celle des études phénoménologiques réalisées par les géologues de l'Andra. La géométrie de la fracturation du granite joue un rôle central dans la controverse ayant abouti à l'abandon, en France, des recherches sur l'évacuation géologique des déchets nucléaires dans le granite. Alors que l'épaisseur, la longueur, la connectivité et le colmatage des fractures sont discutées entre les géologues de l'Andra et les membres de la CNE, la géométrie de la fracturation du granite n'est pas prise en compte dans le calcul effectué pour cet exercice.

De plus, ces exercices ne prennent pas en compte les caractéristiques d'un site précis. Dans les exercices de court-circuit de la barrière ouvragée, la barrière argileuse est représentée par son épaisseur (50 mètres) et un coefficient de diffusion des radionucléides ($5.10^{-10} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$)⁵⁴⁴. Pour chaque radionucléide, deux ou trois paramètres permettent de calculer sa migration dans une barrière⁵⁴⁵. Déterminer la grandeur de ces paramètres demande des analyses et de calculs préalables afin de prendre en compte les caractéristiques physiques du site et des ouvrages. Toutefois, dans les exercices présentés, les valeurs attribuées à ces paramètres sont très grossièrement définies : il s'agit la plupart du temps d'ordres de grandeur⁵⁴⁶. Il semblerait néanmoins difficile de donner un sens à l'attribution de valeurs précises à de telles grandeurs caractérisant un stockage sur un site hypothétique.

544 *Ibid.*

545 P. Ledac, *Manuel utilisateur des maquettes Andra du logiciel Oasis*, Andra, 28 avril 1995.

546 P. Raimbault, P. Thorner, Dallias, Perraud et J.-M. Hoorelbeke, « *Audition de l'Andra sur la démarche de sûreté* », *op. cit.*

Les salarié.es de l'Andra soulignent devant la CNE que ces exercices ont permis de vérifier les potentialités de l'outil de calcul Oasis utilisé par l'Agence. Toutefois, les membres de la CNE se montrent dubitatifs sur la fiabilité des calculs effectués avec cet outil numérique⁵⁴⁷. Pour l'Andra, ces exercices ont permis de montrer qu'une barrière géologique argileuse peut à elle seule suffire à garantir la sûreté d'un stockage géologique. De plus, ces exercices ont aussi montré qu'au-delà d'une certaine garde d'argile, l'augmentation de la profondeur du stockage n'a que peu d'effet sur son impact radiologique global.

II.4.2. SENSIBILITÉ DES CALCULS ET REPRÉSENTATIVITÉ DES MODÈLES

L'importance relative des différents paramètres décrivant le stockage et son évolution, sur l'impact radiologique calculé du stockage, peut être étudiée à l'aide d'études de sensibilité. Celles-ci consistent à calculer l'impact de la variation d'un paramètre sur l'impact radiologique global du stockage. Pour chaque radionucléide, les études de sensibilité permettent aux ingénier.es de l'Andra de connaître les paramètres les plus influents sur leur contribution à l'impact radiologique global du stockage.

L'amplitude des variations des paramètres dans ces études de sensibilité est, il me semble, un bon indicateur du niveau de caractérisation du stockage dans les exercices de sûreté. Ainsi, dans l'exercice de court-circuit de la barrière géologique, les études de sensibilité aux variations des propriétés de la barrière artificielle ont été effectuées par une variation du coefficient de retard de 1 et 50 000 et une variation de l'épaisseur de la barrière artificielle entre 0,1 et 1,15 mètres. Dans l'exercice de court-circuit de la barrière artificielle, les ingénier.es de l'Andra ont pris en compte une variation du temps de transfert de l'eau dans les fractures du granite comprise entre 200 ans et 2 millions d'années et une variation du coefficient de retard de 1 à 1 000⁵⁴⁸. Ces variations de trois ou quatre ordres de grandeur des paramètres dans les études de sensibilité montrent bien, à mon avis, le peu de finesse dans la caractérisation des sites et des ouvrages pris en compte dans les exercices présentés à la CNE en novembre 1995. L'étude de la sûreté d'un concept de stockage adapté à la géologie d'un site précis est cependant une exigence depuis la fin des années 1980. De ce fait, les conclusions qu'il est réellement possible de tirer de tels exercices interrogent.

547 Commission Nationale d'Évaluation (ed.), *Rapport d'évaluation n° 5*, op. cit., p. 45.

548 P. Raimbault, P. Thorner, Dallias, Perraud et J.-M. Hoorelbeke, « *Audition de l'Andra sur la démarche de sûreté* », op. cit.

Lors de l'audition de la CNE du 12 octobre 1994, Raymond Castaing avait déjà critiqué le choix des valeurs attribués aux paramètres permettant de calculer la migration des radionucléides :

« Les coefficients de retard pris dans les exercices de calcul de sûreté (Pagis en particulier) ne semblent pas très réalistes en particulier pour le césium ; il en va de même pour la loi de dissolution des verres. On a trompé M. Bataille et le gouvernement si on leur a fait croire que les niveaux de dose Pagis étaient plausibles⁵⁴⁹. »

Pour R. Castaing, le problème des calculs effectués durant le programme Pagis provient des approximations faites sur certaines valeurs utilisées, les coefficients de retard qui réduisent derrière des nombres la physique des phénomènes de rétention des radionucléides dans les différentes barrières. L'impact calculé des projets de stockage s'en trouvait alors, d'après lui, sous-estimé.

L'objectif des études de sensibilité est de déterminer les paramètres dont l'influence est la plus déterminante sur l'impact radiologique calculé. Une telle variation des grandeurs de paramètres dans les analyses de sensibilité peut, à mon avis, avoir deux explications. Celles-ci ne s'opposent pas nécessairement et peuvent au contraire se compléter. Soit il existe de très grandes incertitudes sur les valeurs de référence choisies qui proviennent d'une forte variation de ces paramètres en fonction des types de roches ou d'une connaissance peu raffinée des mécanismes géochimiques en jeu. Soit ces variations de plusieurs ordres de grandeurs, notamment des coefficients de retard, indiquent un faible souci de la part des ingénier.es en charge de ces exercices de ce qu'induit physiquement une telle variation. La division du travail entre les géochimistes et géophysicien.nes qui déterminent des valeurs pour les coefficients de retard et les ingénier.es qui réalisent les exercices de sûreté pourrait ainsi expliquer l'amplitude de la variation des paramètres dans les études de sensibilité : afin d'observer les conséquences calculées de variations importantes de la grandeur des paramètres, les ingénier.es chargé.es des études de sensibilité pourraient étudier la variation des paramètres sans se préoccuper de ce que ces variations de plusieurs ordres de grandeur impliquent physiquement.

De ce fait, c'est bien la sûreté dans l'absolu d'un stockage sans ancrage territorial que ces exercices montrent. La répétition à différents moments et par différentes institutions de ces exercices génériques est, il me semble, une des raisons principales pour lesquelles les salarié.es de l'Andra sont convaincu.es que la construction d'un stockage sûr est possible, avant la réalisation d'une évaluation de sûreté adaptée à la caractérisation d'un site géologique précis⁵⁵⁰. Ainsi,

549 Arsène Saas, *Compte-rendu de l'audition de la Commission Nationale d'Évaluation du 12 octobre 1994*, CNE, 1994, p. 6.

550 C. Devillers, « Démarche de sûreté pour les stockages de déchets radioactifs en formation géologique profonde », 1995.

l'accumulation d'études génériques contribue à ancrer la conviction de la faisabilité d'un stockage même si les limites de tels exercices dues notamment aux hypothèses retenues, sont soulignées dans leurs conclusions.

CONCLUSION PARTIELLE

L'établissement de l'impact radiologique global de projets de stockage, comme critère principal d'évaluation de leur sûreté, confère au calcul de cet impact une place centrale dans l'analyse de sûreté. De ce fait, les attentes placées dans le développement des outils de calcul sont particulièrement importantes. Cependant, le développement de ces outils est particulièrement lourd. Il dépend de la caractérisation du stockage et de la modélisation de la migration des radionucléides mais aussi de la puissance de calcul des ordinateurs.

Le travail de modélisation et de simulation numérique présenté dans cette partie doit être mis en regard avec les discussions de la partie précédente sur la construction d'une liste de scénarios ainsi qu'avec les débats sur la qualification du site de la Vienne détaillés au chapitre 2. En effet, il m'importe ici de souligner les disparités entre d'une part les représentations du stockage et de la migration des radionucléides utilisées dans les calculs d'impact, d'autre part les attentes des membres de la CNE sur la qualification des circulations hydrogéologiques dans la Vienne et enfin la manière dont les scénarios d'analyse de sûreté sont conçus.

Ainsi, alors que les membres de la CNE poussent les géologues de l'Andra à construire un modèle précis de la fracturation du granite et des écoulements dans les fractures et que la construction de scénarios repose sur l'identification d'une multitude d'éléments pouvant influencer sur l'évolution du stockage, l'outil de calcul Oasis utilisé à l'Andra à la fin des années 1990 prend en compte très peu de variables pour définir la migration des radionucléides dans trois barrières supposées homogènes et indépendantes. La réduction de la complexité des phénomènes de migration à quelques variables rend délicate la détermination des valeurs de celles-ci. De ce fait, les ingénieurs de l'Andra se contentent d'ordres de grandeur.

La réalisation d'exercices destinés à tester les capacités des outils de calcul montre une déconnexion entre ces calculs et la physique de l'évolution du stockage. Ainsi, il est possible de calculer l'impact d'un stockage dans lequel une barrière serait absente alors qu'il est difficile de se représenter ce que pourrait être un stockage sans ouvrage souterrain ou sans formation géologique hôte. De même, les hypothèses retenues dans ces exercices ne caractérisent ni un site géologique

précis ni un concept de stockage particulier. Toutefois, les ingénieur.es de l'Andra tirent tout de même des conclusions de tels calculs. Par exemple, ils et elles notent qu'une formation argileuse pourrait à elle seule assurer la rétention des radionucléides.

Étant donné le peu de précision des paramètres utilisés pour décrire la migration des radionucléides dans chaque barrière, il est probable que les dissemblances entre différentes argiles ou différentes barrières ouvragées ne correspondent pas à des variations importantes des grandeurs utilisées dans les calculs avec Oasis. Néanmoins, la caractérisation d'un site géologique précis est considérée depuis les années 1980 comme une condition d'acceptation d'un stockage, et il est possible de douter qu'un outil tel qu'Oasis permette d'évaluer finement les différences entre deux sites géologiques aux propriétés peu différentes. Ainsi, la caractérisation de la géométrie de la fracturation du granite est un enjeu important dans la controverse autour de la pertinence d'implanter un laboratoire souterrain dans la Vienne ; mais l'absence de prise en compte du volume de la roche dans Oasis rend délicate une évaluation quantifiée de l'influence de la géométrie de la fracturation du granite sur l'impact radiologique d'un projet de stockage.

III. VERS UNE TRANSFORMATION DES USAGES ET DES PRATIQUES DE SIMULATION NUMÉRIQUE

Les exercices d'évaluation de sûreté effectués durant les années 1990 par les ingénieur.es de l'Andra ont permis d'éclairer le fondement des critiques émises par les membres de la CNE sur le développement de la simulation numérique à l'Andra. Alors que le terme de la période dévolue aux recherches par la loi Bataille approche, la construction d'un accord avec les membres de la CNE sur ce qu'il est raisonnable d'attendre d'une démonstration de la sûreté d'un stockage devient un objectif stratégique pour la direction de l'Andra (cf. chapitre 5). Il importe donc que les recommandations insistantes de la CNE sur le développement de la simulation numérique à l'Agence soient prises en compte d'une manière ou d'une autre.

III.1. UN ÉTAT DES LIEUX DES OUTILS DE CALCUL

Au deuxième semestre 1999, la direction de l'Andra commande une expertise à Alain Bourgeat, professeur de mathématiques appliquées à l'Université de Saint-Étienne, afin qu'il dresse un bilan du développement de la simulation numérique à l'Agence et qu'il propose des orientations pour le développement de cette activité. Celui-ci rend un rapport dans lequel il reprend plusieurs points précédemment soulevés dans les rapports de la CNE.

A. Bourgeat pointe plusieurs limites à l'utilisation d'Oasis : la « *réduction mono dimensionnelle de la dynamique spatiale* » ; la hiérarchisation des phénomènes et l'agrégation des paramètres au sein de chaque compartiment ; l'enchaînement séquentiel des calculs d'un compartiment vers l'autre sans rétroaction possible entre eux et l'indépendance des calculs effectués dans chaque compartiment ; et enfin la résolution analytique des équations et donc la simplification dans l'écriture de celles-ci plutôt que dans la recherche de solutions numériques approchées⁵⁵¹. Pour A. Bourgeat, la réduction de la complexité de la physique de la migration des radionucléides dans les modules de calculs d'Oasis est trop grossière par rapport à ce que les technologies existantes pourraient permettre de réaliser. En particulier, il note que la géométrie du stockage et la dynamique des phénomènes influant sur la migration des radionucléides sont insuffisamment prises en compte dans les calculs.

Pour A. Bourgeat, les limites d'Oasis ont plusieurs implications : le temps auquel les colis perdent leur étanchéité et le débit hydraulique sont supposés connus ; la thermique, la mécanique et la chimie ne sont pas explicitement pris en compte dans les calculs ; les différents milieux à travers lesquels migrent les radionucléides sont considérés comme homogènes. Ainsi, la modélisation du transfert des radionucléides dans Oasis implique un certain nombre d'hypothèses réduisant la complexité des représentations de la migration des radionucléides, et celles-ci se révèlent critiquables. A. Bourgeat souligne ainsi :

« la pertinence de certaines simplifications n'est toujours pas prouvée, les bases scientifiques des calculs de sûreté en général doivent être améliorées par un travail d'analyse mathématique et numérique, de même le domaine de validité demande à être confirmé du point de vue physique par un travail serré avec les services de modélisation phénoménologique⁵⁵². »

551 Gérard Ouzounian, *Modélisation - Expertise M. Bourgeat*, Andra, 30 décembre 1999.

552 *Ibid.*

Ainsi, ces critiques portent avant tout sur la représentation de la migration des radionucléides utilisée. La quantification de la migration des radionucléides jusqu'à l'humanité demande un travail commun entre les salarié.es de l'Andra qui développent les outils numériques de calcul, et celles et ceux qui étudient les mécanismes de migration des radionucléides dans les différentes barrières du stockage. La qualité des calculs produits dépend de l'adéquation entre d'une part les représentations de la migration des radionucléides dans les modèles, et d'autre part celles qu'utilisent les géologues et les géochimistes qui étudient ces phénomènes de migration.

En 1999, A. Bourgeat note que « *les simulations produites [jusqu'alors] doivent être utilisées avec beaucoup de prudence* » car la validité des modèles et leur « *robustesse numérique* » ne sont pas bien établies⁵⁵³. Le travail de réduction de la complexité de la physique des phénomènes guidant l'évolution du stockage rend les modélisations produites particulièrement sujettes aux critiques.

Pour A. Bourgeat, la direction de l'Andra dispose de deux options. Soit les ingénieur.es de l'Agence continuent de « *rafraîchir* » les codes qu'elles et ils utilisent. Soit ils et elles s'engagent dans la construction d'une plate-forme de simulation. Pour cela, la résolution de problèmes nouveaux et difficiles (couplages, gestions des échelles différentes, simplification...) sera nécessaire. Néanmoins, sans un tel outil, la communication entre les codes, les comparaisons sur des exemples classiques et le « *calage* » des modèles phénoménologiques avec les résultats expérimentaux se révéleront difficiles.

En conclusion de son expertise de 1999, A. Bourgeat fait deux propositions pour orienter le travail de l'Andra. Tout d'abord, inventorier l'ensemble des outils numériques utilisés ou susceptibles de l'être et les soumettre à différents tests pour évaluer leur qualité, leurs résultats dans différentes situations classiques, leur facilité d'utilisation... Cette première étape vise notamment à déterminer quels codes pourraient éventuellement être intégrés dans une plate-forme numérique. La deuxième proposition est de définir une stratégie pour disposer d'une plate-forme numérique puis de la mettre en œuvre. Pour cela, une équipe dédiée devra être créée à l'Andra. L'Agence devra également rechercher des partenaires pour le développement de cet outil, par exemple au CNRS, à l'Inria, à EDF, au CEA, au BRGM ou ailleurs.

Afin de « *sensibiliser* » la communauté scientifique sur des travaux « *à caractère fondamental sous-jacent aux simulations numériques* », A. Bourgeat répertorie un ensemble de moyens pouvant être mis en place : organisation de sessions spécifiques dans des congrès dédiés au calcul numérique, organisation d'une école d'été, cofinancement avec le CNRS de bourses de thèses, initiation d'un groupe de travail et de journées scientifiques avec le CNRS en vue de la création d'un

553 *Ibid.*

Groupement de Recherche... Certaines difficultés du traitement numérique des questions qui se posent à l'Agence, comme le couplage de plusieurs codes, ne sont pas spécifiques au calcul de l'impact de projets de stockage. D'autres organismes travaillent déjà sur des questions similaires appliquées à d'autres domaines. Profiter de leur expérience apparaît alors comme une manière pertinente de développer la simulation numérique à l'Agence.

III.2. DÉVELOPPER UNE PLATE-FORME NUMÉRIQUE ET FÉDÉRER DES ÉQUIPES DE RECHERCHE

Pour développer son activité de simulation numérique, et notamment pour intéresser la communauté universitaire des numéricien.nes aux problématiques de l'Agence, l'Andra a financé en 2000 et 2001 les Centres d'Été Mathématiques de Recherche Avancée en Calcul Scientifique (Cemracs), écoles d'été de la Société de Mathématiques Appliquées et Industrielles. Des ingénieurs de l'Andra y participent. On y trouve aussi Olivier Pironneau de la CNE.

Un autre moyen mis en œuvre par l'Andra pour « *intéresser et sensibiliser la communauté scientifique* » aux problèmes qui sont les siens et « *repérer les équipes intéressées et compétentes, pouvant participer au développement de la plate-forme de simulation* » est l'exercice Couplex⁵⁵⁴. Couplex est un concours ouvert aux équipes de numéricien.nes qui le souhaitent afin de simuler premièrement la migration de l'iode 129 et du plutonium 242 dans le champ proche (Couplex1), deuxièmement la migration de ces deux radio-éléments dans le champ lointain (Couplex2) et enfin troisièmement, le couplage entre ces deux zones (Couplex3)⁵⁵⁵. Ces trois situations ont été élaborées par un comité scientifique dirigé par A. Bourgeat et auquel participent notamment Jérôme Jaffré (Inria), membre du Conseil scientifique de l'Andra depuis 1995, et O. Pironneau. Les descriptions des trois situations sont publiées sur Internet en décembre 2000 et les contributions sont attendues durant l'année 2001. Huit équipes proposent une simulation pour Couplex1, quatre équipes pour Couplex2 et une seule s'essaye à Couplex3. Les meilleures propositions se voient récompensées par un prix de 6 000€. Les autres propositions reçoivent un prix de 1 500€. L'ensemble des propositions sont discutées lors du Cemracs de l'été 2001.

554 R. Portal, *Compte rendu rapide de la réunion du 19 décembre 2000 entre l'Andra et la Commission Nationale d'Évaluation « Modélisation et simulation numérique »*, op. cit.

555 Alain Bourgeat, Michel Kern, Stephan Schumacher et Jean Talandier, *The COUPLEX Test Cases : Nuclear Waste Disposal Simulation*, février 2002 ; Alain Bourgeat, Michel Kern, Stephan Schumacher et Jean Talandier, « The Couplex test cases: models and lessons », 2003.

Le Groupement de Recherche du CNRS Momas (MODélisation MATHématique et Simulations numériques liées aux études d'entreposage souterrain de déchets radioactifs) voit le jour au milieu de l'année 2002⁵⁵⁶. Il regroupe le CNRS, l'Andra, le CEA, EDF et le BRGM. Différentes équipes universitaires sont invitées à répondre à des projets de recherche organisés autour de quatre thèmes : le couplage entre différents domaines spatiaux, le couplage entre différents phénomènes, la modélisation des changements d'échelles et la prédictibilité, notamment par des calculs inverses ou des analyses de sensibilité. Lors de la création de Momas, vingt-quatre laboratoires participent au Groupement de Recherche⁵⁵⁷.

Dans le même temps, des ingénieurs du CEA et de l'Andra travaillent au développement d'une plate-forme de simulation numérique et, en 2001, le logiciel Isas permet de piloter plusieurs codes différents, effectuant des calculs sur plusieurs ordinateurs en parallèle, à partir d'une interface commune. Il est alors prévu qu'Isas soit abandonné au profit d'une plate-forme, Salomé, développée dans le cadre du Réseau National des Technologies Logicielles qui regroupe notamment le CEA, EDF, Matra... Salomé n'est pas spécialement dédiée à la simulation numérique des projets de stockage. Il s'agit d'un outil plus général permettant un maillage des objets, l'intégration de plusieurs codes, l'analyse des données et la représentation des études⁵⁵⁸. Alors que l'industrialisation de Salomé est en cours, le CEA et l'Andra entreprennent à partir de 2002 de développer une plate-forme numérique spécialement dédiée à la simulation du stockage (Alliance) qui intègre les fonctionnalités de Salomé⁵⁵⁹. Cette plate-forme modulaire doit pouvoir intégrer les évolutions dans la modélisation phénoménologique du stockage.

Au début des années 2000, le Groupement de Recherche Momas et le travail avec le CEA autour de la conception d'une plate-forme de calcul donnent à la simulation numérique à l'Andra une ampleur nouvelle. D'une part, le travail avec différentes équipes de recherches universitaires permet de traiter de questions difficiles comme le couplage de codes dévolus à des usages spécifiques, les changements d'échelles ou la réalisation de calculs inverses. D'autre part, la collaboration de l'Andra avec le CEA doit aboutir à la conception d'un outil performant pour mener les calculs qui seront nécessaires à l'Agence en 2005. Les recommandations insistantes de la CNE ont ainsi débouché sur un développement important de la simulation numérique à l'Andra.

556 Alain Bourgeat, « Groupement de Recherches MOMAS (MODélisation MATHématique et Simulations numériques liées aux études d'entreposage souterrain de déchets radioactifs). Modélisation, simulation numérique », 2003.

557 Rémi Portal, *Mémoire de la réunion CNE-Andra du 7 février 2002*, CNE, 2002.

558 Salomé7. *The Open Source Integration Platform for Numerical Simulation*, CEA/EDF/OpenCascade, 2013.

559 Rémi Portal, *Compte-rendu de l'audition du 5 mars 2003*, CNE, 2003, p. 11.

III.3. DÉPLACEMENT DU RÔLE DE LA SIMULATION NUMÉRIQUE DANS L'ANALYSE DE SÛRETÉ

L'expertise d'Alain Bourgeat et le développement de la simulation numérique à l'Andra sont discutés lors de deux rencontres avec la CNE, le 22 février puis le 8 mars 2000⁵⁶⁰. Lors de ces réunions, plusieurs membres de la CNE soulignent que seuls un numéricien de l'Andra et A. Bourgeat travaillent alors au développement de la simulation numérique à l'Agence : cet effectif leur semble trop faible (« *un se casse la jambe et tout s'arrête*⁵⁶¹ »). Plusieurs membres de la CNE insistent pour que la direction de l'Andra ne tarde pas à mettre sur pied un groupement d'organismes pour concevoir la plate-forme, et qu'elle définisse au plus vite les priorités dans le travail de simulation à effectuer.

Lors de l'audition du 22 février, plusieurs salariés de l'Andra, dont son directeur général, François Jacq, s'emploient à relativiser l'importance du calcul numérique dans l'analyse de sûreté et à éviter que le calcul d'impact ne soit l'unique étalon pour évaluer la sûreté du projet de stockage. Ainsi, M. Kindelane (Andra) rappelle que « *le numérique n'est qu'un outil* » et qu'il faut se méfier des codes trop complexes. Étant donné les incertitudes qui existent sur l'évolution d'un stockage, il importe de faire attention aux « *connaissances de base* » de la physique du stockage⁵⁶². Peu après, F. Jacq précise :

« [Je suis] *convaincu qu'on [l'Andra] sera jugé sur notre capacité à comprendre les phénomènes et à expliquer les choses avec du bon sens. [...] La PSPS [Plate-forme de Simulation de Performance de Stockage] ne fera pas tout, et en 2006, sans elle, on [l'Andra] ne sera pas démunis [...] à un moment, il faut savoir parler avec les mains*⁵⁶³ ».

Lors de l'audition de mars 2000, F. Jacq insiste de nouveau :

« *La PSPS n'est pas une fin en soi : c'est un outil qui nous permettra d'obtenir des résultats convaincants dès 2005/2006, et qui doit pouvoir être utilisé au-delà de cette échéance. C'est un outil qui traduira numériquement les phénomènes, qui nous permettra d'effectuer une analyse critique du projet, de mieux identifier nos besoins de connaissances, d'étayer l'analyse de sûreté.*

560 Le rapport annuel n° 6 de la CNE de juin 2000 ne mentionne pas la réunion du 22 février. Un compte-rendu sans référence, ni auteur, ni entête de cette rencontre, rédigé par un salarié de l'Andra, est disponible dans les archives de l'Agence. Étant donné la similitude des sujets traités dans ces deux auditions, on peut se demander si il ne s'agit pas de la même réunion du 8 mars 2000.

561 « CNE du 22/02/2000 - Modélisation », Andra, op. cit., p. 4.

562 *Ibid.*, p. 3.

563 *Ibid.*, pp. 3-5.

À ce propos, je précise que l'analyse de sûreté ne doit pas se borner à la vérification du respect de la contrainte de dose (0,25 mSv/an). L'Andra doit approfondir la connaissance des phénomènes pour pouvoir justifier les simplifications opérées pour l'analyse de sûreté. La PSPS est un moyen de rassembler les connaissances acquises⁵⁶⁴. »

Dans ces propos de F. Jacq à la CNE, le rôle de la simulation numérique se déplace. La dose à l'exutoire perd son statut de référence ultime pour évaluer la sûreté d'un projet de stockage. Le calcul d'impact radiologique du stockage ne constitue plus l'outil absolu de l'évaluation du projet de stockage que présentera l'Andra et la simulation numérique se voit replacée dans un rôle plus modeste que celui qui a pu lui être attribué auparavant. D'autres connaissances sur l'évolution du stockage doivent permettre d'assurer la robustesse du projet : la plate-forme numérique devra permettre d'agréger les connaissances sur le stockage mais la conception de cet outil ne permettra pas, à lui seul, de montrer la sûreté du projet.

Durant les années 2000, ce déplacement de la manière d'évaluer la sûreté de projets de stockage n'est pas entrepris uniquement à l'Andra. L'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA), la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) mais aussi les homologues suédois (SKB) et états-uniens (DOE) de l'Andra ne considèrent plus la dose radiologique comme l'unique critère d'évaluation de la sûreté de projets de stockage⁵⁶⁵. Devant les multiples incertitudes qui entachent le calcul d'impact, ces institutions plébiscitent l'utilisation de plusieurs autres indicateurs de sûreté en complément du calcul de la dose radiologique⁵⁶⁶.

Lors de la présentation du *Dossier 2005* devant les membres de la Commission Nationale d'Évaluation, le directeur général adjoint de l'Andra, Philippe Stohr, est particulièrement explicite sur la confiance qu'il attribue aux outils numériques de calcul et sur le rôle que doit dorénavant avoir la simulation numérique dans la démonstration de la sûreté de projets de stockage :

« ça me rassure, lorsque l'on fait un calcul de sûreté, que les ingénieurs, avant d'appuyer sur la touche return du calcul et d'attendre 7 ou 8 jours que l'ordinateur [ait] enfin donné ces résultats, soient capables de dire avant l'ordinateur ce qu'on va trouver. Ça montre qu'on a une maîtrise du système, qu'on a su réduire la complexité et qu'on n'est pas complètement

564 Rémi Portal, *Compte rendu définitif de la préparation & de l'audition du 8 mars 2000, et des actions consécutives. Révision annuelle du document « Stratégie et programme de recherche » - Simulation numérique - Présentation des résultats de l'exercice européen SPA de calcul d'impact du stockage de combustible usé*, CNE, 2000, p. 27.

565 J.M. Mure, *Note de synthèse sur l'applicabilité des indicateurs de sûreté à l'évaluation de sûreté du stockage géologique de déchets HAVL*, Andra, 1 septembre 2000, p.5 ; Karna Kalmbach et Klaus-Jürgen Röhlig, « Interdisciplinary Perspectives on Dose Limits in Radioactive Waste Management: A Research Paper Developed within the ENTRIA Project », *Journal of Radiological Protection*, 2016, vol. 36, n° 2, pp. 8-22.

566 J. M. Mure, *Note de synthèse sur l'applicabilité des indicateurs de sûreté à l'évaluation de sûreté du stockage géologique de déchets HAVL*, *op. cit.*, p. 5.

dépendant de ce que l'informatique va nous dire. [...] C'est une démarche de sûreté que l'on peut effectivement discuter mais qui me semble éminemment plus robuste qu'une confiance un peu trop aveugle dans une modélisation où on aurait quelque chose de tout couplé, en ce demandant pendant que les calculs tournent quels vont être les résultats⁵⁶⁷. »

Déjà en 1992, dans une note interne sur le rôle de la modélisation dans la démonstration de la sûreté de projets de stockage, Patrick Raimbault, adjoint au directeur de la sûreté à l'Andra, formulait cette mise en garde sur le peu d'efficacité du calcul numérique pour développer la confiance dans la sûreté d'un projet de stockage :

« On peut [...] s'interroger sur la dimension exacte que doit prendre la modélisation dans le processus de développement de la confiance que l'on doit créer autour d'un projet de stockage et sur les méthodes permettant de rendre crédibles les résultats obtenus à partir d'une modélisation numérique. En effet, les démonstrations basées sur l'utilisation de codes extrêmement lourds implantés sur de gros ordinateurs et fonctionnant comme des boîtes noires que l'utilisateur domine mal, et dont il connaît à peine le domaine de validité, ne sont pas très convaincantes. Lorsque l'utilisateur indique ensuite que la boîte noire permet d'extrapoler des résultats sur des millions d'années, il n'est plus crédible⁵⁶⁸. »

Dans son rapport n° 6 de juin 2000, la CNE acte le déplacement sur le statut du calcul numérique qu'a entrepris F. Jacq au printemps 2000. La partie du rapport consacrée à la simulation numérique débute ainsi :

« La simulation numérique est une aide à la connaissance et à la décision (conception et sûreté) dans la plupart des domaines, tels que l'analyse des phénomènes thermiques dans les sites de stockage [...] ou l'étude de la tenue des conteneurs dans le temps, ou encore la dispersion des radionucléides dans la biosphère, ainsi que la géomécanique des roches⁵⁶⁹... »

Le rapport se poursuit en énonçant qu'une « analyse de sûreté comprend plusieurs éléments interdépendants, chacun étant indispensable à l'obtention d'un résultat réaliste et crédible⁵⁷⁰ ». À côté de l'évaluation de l'impact radiologique global du stockage, le rapport mentionne la construction de scénarios, l'étude des phénomènes qui guident le comportement des sous-systèmes du stockage, l'analyse des incertitudes et la validation de l'ensemble de ces éléments.

567 Catherine Ponsot-Jacquín, *Compte rendu définitif de l'audit de l'Andra par la CNE du 9 novembre 2005. Dossier 2005 - Argile*, CNE, 6 janvier 2006, p. 22.

568 Philippe Raimbault, *Le Rôle de la modélisation dans la démonstration de sûreté d'un stockage*, Andra, juillet 1992.

569 Commission Nationale d'Évaluation (ed.), *Rapport d'évaluation n° 6*, juin 2000, p. 101.

570 *Ibid.*

À titre de comparaison, un an auparavant, le rapport n° 5 de la Commission publié en juin 1999 annonçait :

« *La simulation numérique sur ordinateur est un outil puissant de rassemblement cohérent, exhaustif, dans un cadre opératoire, des connaissances*⁵⁷¹. »

Et dans leur rapport n° 4 d'octobre 1998, les membres de la CNE écrivaient :

« *La simulation devrait être à même de prévoir le comportement global des déchets depuis la fabrication du colis jusqu'au transfert dans la biosphère d'une certaine fraction de radionucléides contenus dans les déchets en considérant les étapes successives d'entreposage puis de stockage. La simulation consistera donc à introduire les données caractéristiques de tous les systèmes nécessaires pour traiter globalement le problème des déchets radioactifs*⁵⁷². »

Entre 1998 et 2000, la simulation numérique a donc changé d'objectif. D'outil total à même d'appréhender globalement le devenir des radionucléides depuis la conception des déchets jusqu'à leur transfert éventuel dans la biosphère, la simulation est devenue une aide à la connaissance et à la décision. Le calcul de l'impact radiologique n'est plus l'étalon de l'évaluation de la sûreté d'un projet de stockage. C'est désormais davantage la manière dont ce calcul est produit qui permet d'évaluer la robustesse du projet proposé. Il faut ici remarquer que la méthode, la qualité des travaux et la justification des choix importent désormais davantage, alors que l'outil était hier le garant principal de la sûreté du stockage (cf. chapitre 5). Ce n'est plus la conception du code qui permet de disposer d'une évaluation de sûreté robuste mais la cohérence et la qualité des études mobilisées dans l'analyse et dans les calculs.

CONCLUSION PARTIELLE

Dès le début des années 2000, la direction de l'Andra et les membres de la CNE préparent l'évaluation finale par la CNE des travaux effectués durant les quinze ans dévolus aux recherches par la loi Bataille de 1991 (cf. chapitre 5). Il s'agit alors que les attentes des membres de la CNE et le travail effectué par les salarié.es de l'Agence concordent. En réponse aux remarques insistantes de la CNE sur le développement de la simulation numérique à l'Andra, non seulement la direction de l'Agence a consenti à ce qu'un effort soit fourni pour développer une plate-forme de simulation

571 Commission Nationale d'Évaluation (ed.), *Rapport d'évaluation n° 5, op. cit.*, p. 41.

572 Commission Nationale d'Évaluation (ed.), *Rapport d'évaluation n° 4, op. cit.*, pp. 113-114.

numérique, mais elle a aussi travaillé activement à déplacer le rôle attribué à la simulation numérique dans la démonstration de sûreté de projets de stockage. Ainsi, l'Agence a pris en compte les recommandations de la CNE, mais elle a aussi fait en sorte que la CNE n'exige plus des salarié.es de l'Andra un travail hors de portée de ce qu'il est raisonnable d'attendre en quelques années.

Le partage d'une même ambition et la reconnaissance de l'inévitabilité du recours à l'évacuation géologique des déchets nucléaires sont assurément les clés de la coopération constructive entre les membres de la CNE et les salarié.es de l'Andra. O. Pironneau de la CNE s'est fortement investi dans le développement de la simulation numérique à l'Andra : son implication a été bien plus importante qu'une évaluation des travaux produits par l'Andra. De même, L. Jaffré s'est mobilisé bien plus que ce que sa participation au Conseil scientifique de l'Agence exigeait de lui. Le développement de la simulation numérique à l'Andra et la conception d'une plate-forme numérique de calcul reposent massivement sur un travail en collaboration avec des institutions extérieures à l'Agence. De plus, suivant les recommandations de la CNE et de A. Bourgeat, la direction de l'Andra n'a pas cherché à développer en son seul sein ses outils de simulation numérique, mais elle a entrepris des partenariats avec les mondes académiques et industriels.

CONCLUSION. UNE ANALYSE GLOBALE INDISPENSABLE ET IMPOSSIBLE

Depuis les années 1980, l'implantation de laboratoires souterrains doit permettre de fonder les analyses de sûreté sur la caractérisation précise de sites géologiques. Toutefois, au-delà des difficultés à trouver des sites où l'implantation de laboratoires souterrains et éventuellement d'un stockage puisse être envisagée, la réalisation d'une analyse de sûreté prenant en compte la caractérisation précise des mécanismes de transfert des radionucléides dans un contexte géologique spécifique n'est pas sans poser quelques problèmes dans le développement des outils d'évaluation de sûreté. En effet, jusqu'au début des années 2000, les codes utilisés pour les calculs d'impact manipulent des variables qui décrivent bien plus grossièrement les mécanismes de transfert que les représentations issues des études phénoménologiques.

Durant les années 1990, la stratégie de développement de la modélisation et de la simulation numérique à l'Andra repose sur la convergence des modèles phénoménologiques et de ceux utilisés pour les calculs d'impact. Néanmoins, la complexification des représentations de la géologie et des

mécanismes de transfert, induites par les critiques et les recommandations insistantes des membres de la CNE et, dans le même temps, le peu d'évolution des outils numériques utilisés à l'Andra, ont accentué la divergence entre les modèles utilisés pour les études phénoménologiques et ceux dédiés aux études de sûreté. Ainsi, à la fin des années 1990, les salarié.es de l'Andra travaillant à la caractérisation de sites de stockage et à l'évaluation de la sûreté de projets de stockage utilisent des représentations du transfert des radionucléides trop différentes aux yeux des membres de la CNE pour que les études phénoménologiques puissent garantir la robustesse des calculs d'impact.

La systématisation de l'analyse de sûreté et l'exhaustivité de la prise en compte des éléments qui peuvent influencer sur la migration des radionucléides sont les deux fondements d'une analyse robuste d'un projet de stockage. Toutefois, le temps quasi-infini sur lequel la démonstration de la sûreté doit être effectuée limite fortement les prétentions à l'exhaustivité et à la systématisation de l'analyse de sûreté. Le besoin de développer une méthode efficace, permettant de montrer la sûreté d'un projet de stockage lors de sa demande d'autorisation, ou en réponse à une demande politique, impose d'utiliser des méthodes imparfaites. Dès lors, la construction d'un accord entre l'Andra et ses évaluateurs sur ce qui constitue une démonstration de sûreté acceptable est nécessaire.

Les démonstrations de sûreté ont été produites pour l'administration qui instruit les demandes d'exploitation d'installations et aussi, après 1991, pour les parlementaires et plus largement pour un « *public* » qu'il s'agit de convaincre de la maîtrise du recours à l'évacuation géologique. La stabilisation de ce qui constitue une analyse de sûreté acceptable repose sur la construction d'accords avec des groupes d'expert.es extérieurs à l'Agence : l'Agence pour l'Énergie Nucléaire, la Commission Nationale d'Évaluation, les organismes publics ou privés avec lesquels les ingénieur.es de l'Andra travaillent au développement de la simulation numérique... L'accord entre expert.es appartenant à différentes institutions est une condition de l'acceptation éventuelle d'une installation de stockage en dehors de ces communautés expertes. La Commission Nationale d'Évaluation a été créée comme « *Académie des déchets nucléaires* » pour apporter un crédit au travail de l'Andra. À l'AEN, les expert.es travaillent à harmoniser les méthodes d'analyse de sûreté afin de consolider le consensus international sur le besoin de recourir à l'évacuation géologique. Le travail des salarié.es de l'Andra en relation avec des chercheurs et des chercheuses travaillant dans d'autres organismes est une manière de construire un outil de calcul à partir de technologies correspondant à l'état de l'art.

Lors de la demande d'autorisation des laboratoires souterrains, les salarié.es de l'Andra estiment impossible la réalisation d'un calcul d'impact intégrant des caractérisations fines des sites. Les travaux de reconnaissance ont alors débuté depuis peu et les laboratoires souterrains sont

justement destinés à affiner la caractérisation des sites géologiques. À ce moment, la direction de l'Andra plébiscite le recours à un calcul d'impact global afin d'évacuer du débat la question de la démonstration de la sûreté. Au terme de la période dévolue aux recherches par la loi, la réalisation d'un calcul prenant en compte la caractérisation exhaustive des phénomènes guidant l'évolution d'un stockage est toujours impossible. Toutefois, la production d'un rapport montrant la possibilité d'implanter un stockage à Bure est attendue et il n'est plus possible de remettre à plus tard la production d'une analyse globale de la sûreté d'un projet de stockage. Une autre stratégie est alors employée par le nouveau directeur général de l'Andra : minimiser le rôle du calcul d'impact dans l'analyse de sûreté globale.

Alors qu'au moment de l'instruction des demandes d'autorisation des laboratoires souterrains, le calcul d'impact est présenté comme l'indicateur principal de la sûreté des projets de stockage, la réalisation de ce calcul n'occupe plus une place centrale dans la démonstration de sûreté d'un projet de stockage au moment où l'Andra doit produire une telle analyse en 2005. Les deux stratégies mises en place par les directeurs généraux successifs de l'Andra permettent de négocier la poursuite de projets de stockage malgré les incertitudes inhérentes au projet d'évacuation géologique.

CHAPITRE 5. LE *DOSSIER 2005*, UN RAPPORT MASSIF AUX CONCLUSIONS MODESTES POUR UNE POLITIQUE MESURÉE

Après la période de crise provoquée à l'Andra par l'attente d'une décision gouvernementale autorisant la construction des laboratoires souterrains (cf. chapitre 3), l'activité de l'Agence est entièrement orientée vers 2005 et la publication d'un bilan des recherches effectuées dans le cadre de la loi Bataille. Cette loi prévoit qu'une demande d'implantation d'un stockage puisse être déposée dès 2007⁵⁷³. Durant les années 1990, les différents observateurs du travail de l'Andra, et notamment les membres de la Commission Nationale d'Évaluation (CNE), ont souligné que le calendrier induit par la loi est particulièrement serré. En effet, trouver des sites où implanter des laboratoires, creuser ces derniers, y mener des essais et exploiter leurs résultats en quinze ans imposaient de ne pas perdre de temps. L'attente de l'autorisation d'un laboratoire à Bure a resserré davantage encore le calendrier prévisionnel de l'Andra.

Dès l'annonce de l'abandon des recherches dans la Vienne en décembre 1998, et avant le fiasco de la Mission Granite au premier semestre 2000 (cf. chapitre 3), la plupart des salarié.es de l'Andra estiment peu réaliste de construire et d'exploiter, avant 2005, un laboratoire sur un site granitique qu'il s'agit encore de trouver. Les efforts de l'Agence se concentrent sur le site argileux de Bure. La réalisation d'essais dans le laboratoire souterrain de la Meuse devient un premier enjeu stratégique. En effet, la loi précise que l'étude des possibilités de stocker des déchets nucléaires en géologie profonde doit reposer sur des mesures effectuées dans de telles installations⁵⁷⁴.

Après l'autorisation de construire un laboratoire, le deuxième enjeu stratégique pour la direction de l'Andra est de produire, en 2005, un dossier montrant la possibilité d'implanter un stockage qui soit irréprochable. Il s'agit alors à tout prix d'éviter de réitérer l'épisode des demandes d'autorisation des laboratoires qui avaient soulevé des critiques virulentes après leurs dépôts (cf. chapitre 2). Ainsi, la production d'un dossier robuste en 2005 fait l'objet d'une attention importante.

La décision ministérielle de décembre 1998 est accompagnée de la recommandation d'apporter une attention particulière à ce qu'un éventuel stockage puisse être réversible, c'est-à-dire à ce que les colis de déchets qui pourraient y être déposés puissent être repris durant une certaine période. La loi prévoit l'étude des possibilités de stockage réversible ou irréversible mais déjà,

573 *Loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs, op. cit.*, art. 4.

574 *Ibid.*, art. 4.

durant le débat sur la loi de 1991, plusieurs parlementaires avaient insisté pour que la réversibilité du stockage soit privilégiée. Je n'étudierai pas en détail dans cette thèse les controverses autour de la réversibilité d'un éventuel stockage. Néanmoins, il faut souligner ici que ce débat s'est focalisé d'une part sur la possibilité d'une récupérabilité technique des colis placés dans le stockage, d'autre part sur l'adéquation entre la réversibilité et la sûreté du stockage et enfin, sur la réversibilité du processus de décision concernant l'implantation progressive d'un stockage. Ce chapitre aborde notamment la décision de poursuivre les recherches à Bure après 2006 et de reporter toute demande de construction d'un stockage à 2015. Il importe de souligner qu'une telle suggestion s'accorde pleinement avec la stratégie qui se met alors en place à partir des années 2000 et qui consiste à privilégier une fragmentation dans le temps des décisions.

Ce chapitre est dédié à l'étude de la préparation du dossier rendu par l'Andra au Parlement en 2005, qui débute dès le début des années 2000. Il s'agit ici de montrer comment le cadrage et le contenu du rapport ont été discutés, dans différentes arènes, bien avant l'échéance de 2005. Les conclusions de l'Andra ont été évaluées avant le rendu du dossier au Parlement : lors de sa publication, ce *Dossier 2005* jouit déjà de l'approbation de la Commission Nationale d'Évaluation, du Conseil scientifique de l'Andra et de l'Agence pour l'Énergie Nucléaire de l'OCDE (AEN). Toutefois, les parlementaires demeurent les évaluateurs finaux des recherches et le consensus scientifique sur la faisabilité d'un stockage dans l'argile du Callovo-Oxfordien ne saurait suffire à donner confiance dans les conclusions de l'Agence, en dehors des cercles scientifiques et industriels travaillant à l'étude du stockage.

Le *Dossier 2005* publié par l'Andra est particulièrement volumineux. Plutôt qu'à étudier son contenu ou sa réception, ce chapitre est consacré à l'étude de sa construction. En 2001, l'Andra publie un rapport destiné à tester la méthode employée pour montrer la faisabilité d'un stockage dans l'argile. Ce *Dossier 2001* fait l'objet d'une revue par l'AEN. La première partie de ce chapitre est dévolue à la présentation de ce test qui permet à la direction de l'Andra d'évaluer les méthodes retenues et le programme de recherche, ainsi que d'obtenir une approbation de la qualité de son travail par une institution internationale.

Par ailleurs, le creusement du laboratoire souterrain de Bure accumule du retard, notamment à cause de l'arrêt des travaux pendant quasiment un an, suite à un accident mortel en mai 2002. Dès lors, il devient évident pour la direction de l'Andra, les membres de la CNE et ceux du Conseil scientifique que l'Andra devra poursuivre ses recherches après 2006, avant de pouvoir déposer une demande d'autorisation d'un stockage. De ce fait, l'échéance de 2006 est le terme d'une étape à l'issue de laquelle l'Andra espère poursuivre ses recherches. Les décisions qui sont prises à l'issue de

la période de recherche ouverte avec la loi de 1991 font de l'évacuation géologique la solution nationale de référence sans que l'implantation d'un tel stockage ne soit encore officiellement demandée. La deuxième partie de ce chapitre est consacrée l'appréhension de l'échéance de 2006 par la direction l'Andra, les membres de la CNE et quelques membres de cabinets ministériels.

Enfin, la dernière partie de ce chapitre aborde la politique scientifique de l'Andra et la construction du *Dossier 2005*. L'impossibilité de produire une démonstration formelle de la sûreté d'un stockage amène la direction de l'Andra à adopter une posture humble et prudente. L'objectif du *Dossier 2005* est avant tout d'apporter des gages de la qualité du travail effectué par l'Andra afin de susciter la confiance des parlementaires. Les organismes, les chercheurs et les chercheuses ayant contribué aux recherches sur le stockage ou validé les conclusions de l'Agence apportent alors un crédit à la démonstration de sûreté qui ne repose plus seulement sur un calcul d'impact. Étant donné la difficulté de rendre intelligible un calcul d'impact sur des temporalités extrêmement longues, l'appel à des normes partagées internationalement, le recours à une méthode d'analyse standardisée, l'ouverture des recherches à une large communauté scientifique et la validation des travaux par différentes institutions occupent dorénavant une place de choix dans l'administration de la preuve de la sûreté d'un projet de stockage.

Ce chapitre décrit une transformation dans le gouvernement, par la recherche, de l'aval du cycle nucléaire. L'« *esprit de la loi* » de 1991 contenait l'espoir d'une dépolitisation du choix de l'évacuation géologique par une rationalisation de celui-ci⁵⁷⁵. En quinze ans, l'Andra a capitalisé une quantité impressionnante de connaissances et développé des techniques d'analyse de sûreté qui la placent à l'avant-garde des pratiques plébiscitées par les institutions internationales. La manière de justifier la possibilité d'implanter un stockage évolue à mesure que l'échéance de 2005 se rapproche. Au début des années 2000, la responsabilité, la mesure et l'humilité constituent des vertus capitales pour gouverner les projets industriels. Calculer l'impact radiologique d'un stockage sur un million d'années n'est plus envisagé comme une manière convaincante de faire preuve.

575 Y. Barthe et C. Gilbert, *Recherche et déchets nucléaires. Une réflexion interdisciplinaire*, op. cit., pp. 51-52.

I. PRÉPARER L'ÉCHÉANCE DE 2005 DÈS LE DÉBUT DES ANNÉES 2000

I.1. UN CONTRAT POUR STRUCTURER LA RECHERCHE

En 2000, un nouveau directeur général de l'Andra, François Jacq, est nommé à la place d'Yves Kaluzny. Ingénieur général des Mines et docteur en sociologie, celui-ci travaillait auparavant à la direction des technologies au ministère de la Recherche⁵⁷⁶. Il y a notamment assuré la coordination du Comité de suivi des recherches sur l'aval du cycle nucléaire (Cosrac). En 1999, le Conseil d'administration de l'Agence est renouvelé et un nouveau président, Yves Le Bars, est désigné. Il a notamment pour mission de prêter « *une attention particulière aux questions d'évaluation scientifique et technique* » et de veiller à ce que, sur les sites dont le sous-sol est étudié, « *l'Andra assure un dialogue de qualité avec les élus, les associations et les populations concernées* »⁵⁷⁷.

En juillet 2001, le président et le directeur général de l'Andra signent un contrat quadriennal avec les ministres de tutelle de l'Agence. Celui-ci a pour fonction, dix ans après la loi de 1991 et le changement de statut de l'Andra, de définir des objectifs pour les quatre années restantes avant l'échéance fixée par la loi⁵⁷⁸. Ce contrat précise notamment un calendrier devant permettre à l'Agence de disposer, en 2005, des éléments nécessaires pour évaluer la faisabilité d'un stockage. En effet, depuis le refus gouvernemental d'autoriser la construction d'un laboratoire dans la Vienne et l'échec de la Mission Granite, les ministres et la direction de l'Andra s'accordent pour considérer que l'étude des possibilités de stockage dans l'argile et dans le granite auront des niveaux d'avancement respectifs bien différents. Le contrat quadriennal stipule ainsi que l'étude des possibilités de stocker des déchets nucléaires à Bure constitue un objectif prioritaire pour l'Andra⁵⁷⁹. La possibilité d'implanter un stockage dans le granite n'est pas abandonnée mais en l'absence

576 François Jacq, « Pratiques scientifiques, formes d'organisation et représentations politiques de la science dans la France de l'après-guerre. La "politique de la science" comme énoncé collectif (1944-1962) », Thèse de doctorat, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, Paris, 1996.

577 Claude Allègre, Dominique Strauss-Kahn, Dominique Voynet et Christian Pierret, *Lettre de mission d'Yves Le Bars*, 6 mai 1999.

578 *Contrat quadriennal Etat/Andra 2001-2004*, Ministère de la Recherche, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, Secrétariat d'État à l'Industrie, Secrétariat d'État au Budget, Andra, 6 juillet 2001, p. 7.

579 *Ibid.*, p. 12.

d'étude d'un site précis et sans autorisation de construire un laboratoire souterrain dans cette roche, le niveau de connaissances sur le granite ne sera pas comparable avec celui qui peut être attendu sur le stockage dans l'argile.

Le contrat quadriennal fixe trois échéances pour le programme d'étude de la faisabilité d'un stockage à Bure⁵⁸⁰. En 2001, l'Andra doit conduire un exercice d'analyse quantitative de la sûreté des concepts de stockage. Une seconde analyse de la sûreté est prévue en 2004. Enfin, en 2005, l'Agence devra remettre au gouvernement un dossier sur la faisabilité d'un stockage géologique.

Afin de mener à bien ce programme, le contrat entre l'Andra et ses tutelles ministérielles précise la structuration attendue des recherches⁵⁸¹. Agence de programme, l'Andra est priée de s'entourer de partenaires scientifiques compétents. Elle doit par ailleurs identifier les priorités de recherche et constituer un réseau scientifique à même de répondre aux questions auxquelles elle est confrontée. Il n'importe donc pas aux chercheurs et chercheuses de l'Andra de répondre directement aux questionnements qui se posent à elles et eux – en recrutant par exemple – mais de constituer un réseau scientifique basé sur des groupements de laboratoire. Par ailleurs, le contrat quadriennal encourage l'Agence à développer une politique de publication de ses résultats scientifiques et notamment de ceux obtenus grâce au laboratoire souterrain⁵⁸². Dès le début des années 2000, le travail de la nouvelle direction de l'Andra est donc orienté vers l'échéance de 2005. L'organisation de la recherche et la validation du travail de l'Agence avant ce rendez-vous sont planifiés dans le programme quadriennal encadrant l'activité de l'Agence.

1.2. LE DOSSIER 2001, UN DOSSIER TEST

En décembre 2001, conformément au contrat quadriennal, l'Andra publie un dossier sur l'avancement de ses travaux sur la faisabilité d'un stockage dans l'argile⁵⁸³. Celui-ci est composé de deux tomes : un rapport de synthèse destiné à un large public (160 pages) et un rapport scientifique plus détaillé (300 pages). Ce dossier est présenté comme un rapport préliminaire, non conclusif. Il fait le point sur les connaissances acquises sur le Callovo-Oxfordien et sur l'avancement des études de conception et d'évaluation de sûreté. Ce rapport est également conçu comme un test de la méthode d'analyse de sûreté développée à l'Andra, soumise aux critiques afin d'anticiper le dossier

580 *Ibid.*

581 *Ibid.*, p. 13.

582 *Ibid.*, p. 14.

583 Andra (ed.), *Dossier 2001*, *op. cit.*

qu'aura à rendre l'Agence en 2005⁵⁸⁴. L'écriture de ce *Dossier 2001* est ainsi pleinement envisagée comme une étape en préparation de l'échéance de 2005 permettant d'orienter le programme de recherche, de guider les études de conception et d'identifier les éléments stratégiques, notamment les composants du stockage jouant un rôle déterminant pour sa sûreté⁵⁸⁵.

L'analyse de sûreté à long terme effectuée pour le *Dossier 2001* repose sur l'étude de deux scénarios : un scénario d'évolution normale et un scénario d'évolution altérée dans lequel les scellements des ouvrages, notamment des puits d'accès, sont défaillants⁵⁸⁶. Dans cette analyse, l'inventaire radiologique du stockage n'est pas pris en compte dans sa totalité. Pour chaque catégorie de colis, les salarié.es de l'Agence ont sélectionné une dizaine de radionucléides dont le temps de leur migration jusqu'à la biosphère a été calculé. Cette sélection a été effectuée en fonction de la mobilité des radionucléides et d'une estimation de leur contribution à l'impact radiologique global du stockage⁵⁸⁷. La prise en compte d'un seul scénario altéré et l'étude de l'impact de quelques radionucléides permettent de tester la méthode d'analyse de sûreté. Ils permettraient néanmoins difficilement d'assurer la robustesse d'une analyse de sûreté reposant sur la prise en compte exhaustive des éléments susceptibles d'influer sur le stockage (cf chapitre 4).

La conclusion du *Dossier 2001* pointe la quantité importante de connaissances accumulées sur les différents composants du stockage et elle souligne que le laboratoire souterrain de Bure devrait permettre aux salarié.es de l'Agence de raffiner leur compréhension de la géologie du site d'ici 2005⁵⁸⁸. Elle souligne également le fait que les concepts de stockage et les méthodes d'analyse de sûreté devraient permettre de produire, en 2005, une analyse de la faisabilité d'un stockage de bonne qualité⁵⁸⁹. Dans le *Dossier 2001*, l'Andra précise également qu'aucun élément rédhibitoire à la construction d'un stockage dans le Callovo-Oxfordien n'a été mis à jour⁵⁹⁰. Dossier test et rapport d'étape, le *Dossier 2001* repose sur une analyse incomplète et des recherches débutées peu avant. Néanmoins, les promesses placées dans les recherches à venir et l'analyse de sûreté préliminaire effectuée permettent à la direction de l'Agence de se montrer confiante sur les conclusions qu'il sera possible de produire en 2005.

584 *Ibid.* Liminaire.

585 *Contrat quadriennal Etat/Andra 2001-2004, op. cit.*

586 Andra (ed.), *Dossier 2001, op. cit.*, p. 118.

587 *Ibid.*, p. 119.

588 *Ibid.*, pp. 154-155.

589 *Ibid.*, p. 156.

590 *Ibid.*, p. 157.

1.3. L'ÉVALUATION PAR LA CNE DES CALCULS EFFECTUÉS

Le 21 mars 2002, la CNE dédie une de ses auditions à l'examen des modèles utilisés et des simulations effectuées pour le *Dossier 2001*⁵⁹¹. Après trois exposés introductifs sur les objectifs des calculs, la méthode retenue et la sélection des radionucléides choisis pour ces calculs, quatre salariés de l'Andra présentent les modèles utilisés pour représenter le champ proche et le champ lointain puis la structuration des calculs et leurs résultats.

L'outil de calcul utilisé pour la réalisation du *Dossier 2001* comporte cinq modules : ceux-ci permettent aux numéricien.nes de l'Andra de calculer la migration des radionucléides à travers les colis, les alvéoles, les ouvrages de stockage, le milieu géologique et enfin la biosphère (cf. *Figure 16* ci-dessous). Dans son intervention à propos de la structuration du calcul d'impact, Guillaume Pépin, ingénieur au service Calcul Scientifique de la direction scientifique, précise :

« la disparité des échelles de temps et d'espace caractéristiques d'un stockage HAVL ne permet pas la modélisation complète et simultanée de l'ensemble des éléments du stockage et de son environnement : pour chaque scénario, le système global (depuis les colis jusqu'à l'homme) est découpé en sous-systèmes physiques (compartiments) agencés en séquences, et en échelles emboîtées. Pour chaque compartiment, des calculs préliminaires sont d'abord menés afin de simplifier le modèle conceptuel sur la géométrie, les voies de transfert et les phénomènes. Une fonction de relâchement est ensuite calculée, modélisant aussi fidèlement que possible les phénomènes physiques mis en jeu, et utilisant la fonction de relâchement du compartiment précédent. À l'issue de la modélisation du dernier compartiment, l'impact radiologique à l'homme est quantifié, pour chaque radionucléide de chaque colis-type retenu⁵⁹². »

591 Rémi Portal, *Compte rendu définitif de l'audition du 21 mars 2002. Modélisation et simulation numérique - Bases de calculs de vérification de sûreté (Dossier 2001) - Simulation opérées et enseignements scientifiques tirés de ces simulations*, CNE, 2002.

592 *Ibid.*, p. 24.

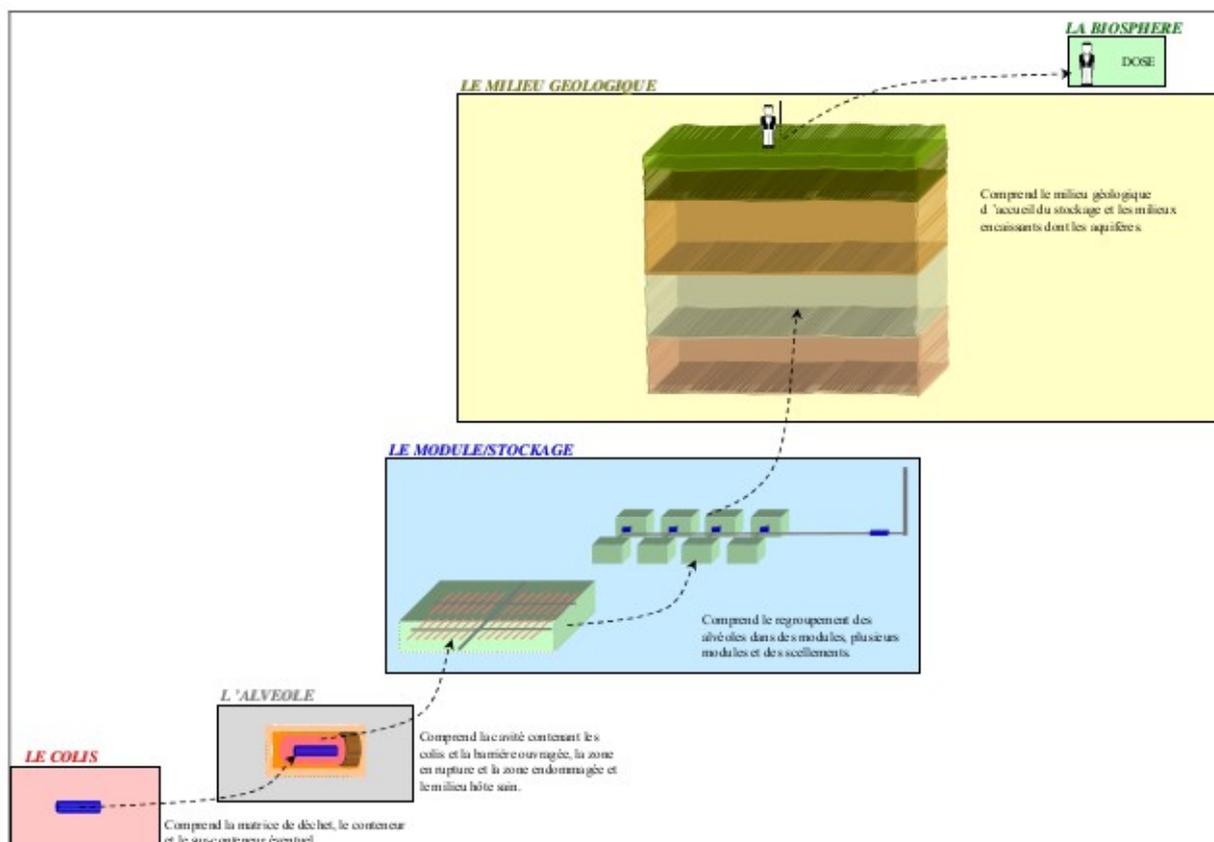


Figure 16. Décomposition de la modélisation en différents compartiments par l'Andra pour le Dossier 2001 (ANDRA (ed.), Dossier 2001 argile, décembre 2001)

Ainsi, des modèles de différents types sont utilisés dans l'analyse de sûreté. Des modèles conceptuels sont dédiés à la représentation des mécanismes de migration des radionucléides dans les différents compartiments du stockage. Ceux-ci sont ensuite simplifiés jusqu'à obtenir une fonction de relâchement qui permet de calculer la quantité de radionucléides sortant de chaque compartiment en fonction de la quantité qui y pénètre (cf. chapitre 4).

Durant l'audition de mars 2002, les membres de la CNE formulent plusieurs remarques sur le travail effectué à l'Andra. Tout d'abord, ils critiquent à plusieurs reprises les hypothèses retenues dans la construction des scénarios qui guident les calculs d'impact. Pour le Dossier 2001, les salarié.es de l'Andra ont choisi de retenir des données caractéristiques du stockage « raisonnablement pénalisantes » et non des données « best-estimate » représentant le plus fidèlement possible le système (cf. chapitre 1)⁵⁹³.

593 Ibid., p. 4.

Un tel choix doit permettre d'effectuer une évaluation robuste : si l'impact calculé du stockage est satisfaisant alors que des hypothèses pessimistes ont été prises en compte, le stockage est considéré *a fortiori* comme étant sûr. À différents moments, les membres de la CNE critiquent néanmoins le caractère pénalisant des hypothèses retenues. Ainsi, par exemple, les salarié.es de l'Agence ont considéré que l'ensemble des colis de stockage assurent entièrement leur propriétés de confinement durant mille ans, comme le prévoit le cahier des charges qui encadre leur conception. Pour plusieurs membres de la CNE, il aurait été préférable de prendre en compte un certain taux de défaillance des colis⁵⁹⁴. L'hypothèse que la totalité des milliers de colis stockés dans Cigéo soient conformes à leur cahier des charges ne semble pas très réaliste et elle n'est pas considérée comme suffisamment pénalisante, par les membres de la CNE, pour que l'analyse effectuée soit robuste.

Le caractère subjectif du choix des valeurs « *raisonnablement pénalisantes* » est souligné par la CNE⁵⁹⁵. En effet, ces valeurs dépendent du jugement des expert.es qui les ont sélectionnées et le caractère pénalisant de ce choix peut toujours être critiqué. Par exemple, G. de Marsily estime que les hypothèses retenues par l'Andra pour appréhender la lixiviation du verre nucléaire dans lequel sont coulés les radionucléides sont plus « *raisonnablement optimistes* » que « *raisonnablement pénalisantes* »⁵⁹⁶.

De plus, des membres de la Commission critiquent la simplicité des modèles utilisés à l'Andra. Par exemple, les salarié.es de l'Agence ont choisi comme hypothèse que la resaturation en eau du stockage est immédiate lors de sa fermeture. De ce fait, les calculs ont été effectués en postulant que les ouvrages de stockage sont toujours saturés en eau. Cependant, d'après les études phénoménologiques réalisées, la resaturation complète du stockage pourrait durer jusqu'à cent mille ans⁵⁹⁷. Pour le directeur général de l'Andra, l'hypothèse d'une resaturation immédiate du stockage est pénalisante⁵⁹⁸. Toutefois, plusieurs membres de la CNE doutent du caractère pénalisant de cette hypothèse. L'absence de prise en compte de la variation du milieu géologique durant le prochain million d'années, de certains mécanismes de transport des radionucléides ou de l'évolution des conditions thermiques dans le stockage est également souligné par les membres de la CNE comme des éléments dommageables à la qualité de l'analyse de sûreté⁵⁹⁹.

594 *Ibid.*, p. 27.

595 Commission Nationale d'Évaluation (ed.), *Rapport d'évaluation n° 8, juin 2002*, p. 38.

596 R. Portal, *Compte rendu définitif de l'audition du 21 mars 2002, op. cit.*, p. 13.

597 *Ibid.*, p. 4.

598 *Ibid.*, p. 31.

599 *Ibid.*, pp. 5, 28.

Lors de la présentation des hypothèses, des modèles et des calculs utilisés pour produire le *Dossier 2001*, les membres de la Commission se montrent critiques à l'égard du travail effectué par les salarié.es de l'Andra – c'est leur rôle. L'outil de calcul utilisé à l'Andra est alors comparable au logiciel Oasis (cf. chapitre 4). Néanmoins, la direction de l'Agence a consenti à ce qu'un effort soit fourni pour développer ses outils de simulation numérique et les membres de la CNE ne critiquent pas directement l'outil de calcul utilisé en 2001. Ils concentrent leurs remarques sur les modèles utilisés et les hypothèses retenues dans la conception des scénarios. Le choix de retenir des hypothèses pénalisantes accorde aux expert.es qui les ont sélectionnées un rôle déterminant. Choisir des hypothèses réalistes (« *best-estimate* ») aurait peut-être donné moins de prises à une discussion. Toutefois, alors que la caractérisation du site est en cours, la sélection d'hypothèses au plus près de l'état réel du stockage était difficilement envisageable.

1.4. UNE REVUE INTERNATIONALE SUR LE DOSSIER 2001

Le *Dossier 2001* fait l'objet d'une revue par l'Agence de l'OCDE pour l'Énergie Nucléaire (AEN)⁶⁰⁰. Cette revue est une commande du gouvernement⁶⁰¹. Elle se déroule entre les mois de novembre 2002 et mai 2003. Au regard des standards et des pratiques internationales, l'équipe de revue est chargée de vérifier si le *Dossier 2001* repose sur des bases solides, et si la méthodologie employée est cohérente⁶⁰².

L'équipe de revue est sélectionnée par le secrétariat du *Radioactive Waste Management Committee* (RWMC) de l'AEN. Elle comporte huit experts internationaux travaillant pour la plupart dans des agences en charge de la gestion des déchets nucléaires⁶⁰³. Le groupe se réunit une première fois en novembre 2002. À l'issue de cette rencontre, il demande des documents complémentaires aux salarié.es de l'Andra, permettant de justifier les résultats présentés dans le *Dossier 2001*. Le groupe de revue envoie également environ deux cent questions écrites à l'Agence. Durant une semaine en février 2003, les membres de l'équipe de revue rencontrent les chercheurs et

600 AEN/OCDE (ed.), *Programme français de R-D sur le stockage géologique de déchets radioactifs. Revue internationale par des pairs du Dossier 2001 Argile*, 2003.

601 *Ibid.*, p. 3.

602 R. Bertrand, *Relevé des discussions de la réunion du GPD du 09/10/2003. Information du GPD et de la CNE sur les résultats de l'audit de l'OCDE/AEN sur le dossier 2001 de l'ANDRA*, Groupe Permanent Déchets, 22 février 2006, p. 8.

603 AEN/OCDE (ed.), *Revue internationale par des pairs du Dossier 2001 Argile*, op. cit.

chercheuses de l'Andra. Le président de la revue, Alan Hooper, conseiller scientifique principal de Nirex, homologue britannique de l'Andra, est chargé de coordonner l'écriture du rapport. Personne ni à l'Andra ni au gouvernement n'y a eu accès avant sa publication.

L'objectif des revues coordonnées par l'AEN n'est pas d'approuver ou de désapprouver un programme mais d'aider l'institution dont le travail est évalué à progresser⁶⁰⁴. Globalement, le rapport de l'AEN note que les fondements de la R&D à l'Andra sont solides et de bonne qualité, que le programme de recherche est clair, que les options de conception semblent raisonnables, que la méthode d'analyse de sûreté est pertinente, qu'aucun élément rédhibitoire à l'implantation d'un stockage n'a été mis à jour et que l'approche de la réversibilité du stockage retenue permet une certaine flexibilité⁶⁰⁵. Le seul manque important du *Dossier 2001*, identifié par l'équipe de revue, est l'absence de prise en compte de la production d'hydrogène gazeux par la corrosion des conteneurs et de son évacuation du stockage. Le dihydrogène est un gaz devenant explosif lorsque sa pression augmente : son évacuation constitue donc un enjeu important pour la sûreté d'un ouvrage souterrain.

Il me paraît intéressant de souligner la manière dont les membres de l'équipe de revue évaluent la solidité des fondements scientifiques du travail de l'Andra. En effet, les experts de l'AEN expliquent cette solidité par l'« *esprit d'ouverture* » et l'« *intégration d'une large communauté scientifique* » dans les travaux de recherche pilotés par l'Agence⁶⁰⁶. Ils pointent également les liens avec les institutions de recherche, le financement de doctorats et de post-doctorats ainsi que les relations contractuelles de l'Andra avec plus de cent laboratoires de recherche comme des garants de la solidité des connaissances utilisées par l'Agence : « *Ces liens assurent un fondement scientifique solide autant pour les travaux actuels que pour la poursuite des travaux futurs*⁶⁰⁷. » Ainsi, pour l'équipe de revue de l'AEN, la multiplicité des collaborations des équipes de l'Andra avec d'autres institutions scientifiques est un gage de solidité des savoirs produits.

Le rapport de l'AEN note également que les bases scientifiques sur lesquelles repose le travail de l'Andra sont conformes aux normes et aux pratiques internationales⁶⁰⁸. Le groupe de revue souligne que l'entreprise méthodologique développée par l'Andra est « *à l'avant-garde* » des pratiques plébiscitées au niveau international et que l'utilisation de l'Analyse Phénoménologique des

604 R. Bertrand, *Relevé des discussions de la réunion du GPD du 09/10/2003*, op. cit.

605 AEN/OCDE (ed.), *Revue internationale par des pairs du Dossier 2001 Argile*, op. cit., pp. 9-10.

606 *Ibid.*, p. 10.

607 *Ibid.*, p. 11.

608 *Ibid.*

Situations de Stockage (cf. chapitre 4) est « innovante »⁶⁰⁹. Conformément à la commande du gouvernement à l'AEN, l'évaluation du travail de l'Andra se fait par comparaison avec les travaux sur l'évacuation géologique entrepris dans les pays de l'OCDE.

Afin de perfectionner le travail de l'Agence, le groupe de revue a émis une série de recommandations. Les trois plus importantes concernent d'une part la présentation du rapport, sa clarté et son adaptation aux publics visés, d'autre part la prise en compte de la production de gaz dans le stockage et enfin l'explicitation de l'application du principe de réversibilité du stockage⁶¹⁰. Dans l'ensemble, le rapport de l'AEN est admiratif du travail présenté dans le *Dossier 2001*. Au sein des pays de l'OCDE, l'Andra figure alors parmi les organismes les plus avancées dans un projet de stockage.

1.5. LA RÉCEPTION DES CONCLUSIONS DE LA REVUE AEN PAR LA CNE

Le rapport de l'AEN est présenté conjointement au Groupe Permanent Déchets (GP) et à la Commission Nationale d'Évaluation (CNE) le 9 octobre 2003⁶¹¹. Cyrille Vincent, directeur adjoint à l'industrie nucléaire au sein de la Direction Générale de l'Énergie et des Matières Premières (DGEMP) au ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, y explicite les raisons qui ont poussé le ministère à commander une évaluation du *Dossier 2001*, et présente son appréciation du travail de revue. Pour les salarié.es de la DGEMP, le *Dossier 2001* est envisagé comme un test avant l'échéance de 2005. Il importait donc que celui-ci soit largement diffusé et discuté. Ayant connaissance des revues précédentes pilotées par l'AEN, le recours à cette institution pouvant fournir une expertise internationale et indépendante était destiné à conforter le travail des salarié.es de l'Andra ou susciter des ajustements à un moment stratégique vis-à-vis de l'échéance de 2005⁶¹². C. Vincent se dit particulièrement impressionné du travail effectué par le groupe de revue de l'AEN. Il souligne que cette évaluation est complémentaire de celles effectuées statutairement par les membres de la CNE et du Groupe Permanent. Il estime que cette revue permettra à l'Andra d'améliorer son travail : les recommandations faites devraient être utilisées en ce sens.

Après la présentation des conclusions de la revue par son président A. Hooper, un dialogue s'engage entre ce dernier, les membres du Groupe Permanent et ceux de la CNE. Au nom de O. Pirroneau, absent, G. de Marsily interroge A. Hooper sur l'appréciation, par l'équipe de revue, de

609 *Ibid.*

610 *Ibid.*, p. 12.

611 R. Bertrand, *Relevé des discussions de la réunion du GPD du 09/10/2003*, op. cit.

612 *Ibid.*, pp. 7-8.

la qualité des modèles utilisés pour le *Dossier 2001*. En effet, l'équipe de revue se montre moins sévère que la CNE sur la qualité des modèles et sur les hypothèses retenues dans la conception des scénarios. Ainsi A. Hooper expose :

« les modèles déjà disponibles sont amplement suffisants pour les étapes prévisibles futures du programme français et cela représente déjà pas mal d'efforts à déployer à ce niveau. Ce serait donc peut-être une influence négative que nous imposerions au programme que de requérir une modélisation encore plus avancée qui requerra nécessairement des données différentes. [...] nous estimons que le document sur le programme scientifique est déjà assez exigeant et va déjà assez loin⁶¹³ ».

A. Hooper termine sa réponse à G. de Marsily en précisant que sa question et l'exigence dont font part les membres de la CNE vis-à-vis de l'Andra sont louables. Toutefois, ce décalage entre les attentes et les appréciations de la qualité du travail de l'Andra, par la CNE et par l'équipe de revue de l'AEN, jure quelque peu.

L'AEN et la CNE n'ont pas les mêmes rôles. L'AEN a pour objectif d'aider les gouvernements des pays de l'OCDE dans le développement de leur politique nucléaire. La réalisation de *peer review* est un des moyens pour cela. La Commission Nationale d'Évaluation a été instituée comme garante de la qualité des recherches effectuées dans le cadre de la loi de 1991 et comme conseillère du Parlement pour évaluer ces recherches. De plus, les membres de la CNE et ceux de l'équipe de revue de l'AEN n'évaluent pas le travail de l'Agence au regard des mêmes références. Ainsi, l'équipe de revue de l'AEN compare le dossier de l'Andra avec les travaux effectués au sein des autres organismes en charge de la gestion des déchets nucléaires dans les pays de l'OCDE. L'Agence française est alors parmi les organismes à la pointe sur de nombreux sujets. Les membres de la CNE évaluent quant à eux le travail des salarié.es de l'Andra par rapport à l'état de l'art dans l'ensemble du monde académique et dans d'autres secteurs industriels, sur chacune des questions soulevées par l'étude de l'évolution d'un dépôt géologique, prises isolément les unes des autres.

613 *Ibid.*, pp. 12-13.

I.6. NE PAS ARRIVER SUR UN CONSTAT D'ÉCHEC EN 2005

Si les membres de la Commission Nationale d'Évaluation se montrent critiques sur le travail de l'Andra, il ne faudrait pas croire qu'ils cherchent à placer l'Agence dans une situation délicate. Au contraire, les membres de la CNE partagent avec l'Andra l'objectif qu'un rapport convaincant sur la faisabilité d'un stockage à Bure soit produit en 2005. Au début des années 2000, les membres de la CNE ont formulé de vives critiques sur le développement de la simulation numérique à l'Andra et ils ont alerté la direction de l'Agence sur le risque, à leur yeux, que le retard dans le développement des outils de calcul puisse amener l'Andra à rater l'échéance de 2005 (cf. chapitre 4). Leur critiques et leur efforts avaient alors pour objectif d'aider les salarié.es de l'Andra à produire une démonstration convaincante en 2005. Olivier Pironneau (CNE) avait ainsi souligné que « *La CNE ne veut pas arriver sur un constat d'échec en 2004*⁶¹⁴ ». Les remarques des membres de la Commission sur le *Dossier 2001* sont également destinées à pousser les salarié.es de l'Andra à produire le meilleur dossier possible en 2005.

Au moment des demandes d'autorisation des laboratoires souterrains, les membres de la CNE s'opposaient au projet de l'Andra de continuer à étudier les possibilités de stockage dans le granite (cf. chapitre 2). Leurs critiques avaient alors pour but de montrer l'irrationalité du projet de l'Andra. La situation est bien différente au début des années 2000 : les membres de la CNE sont convaincus de l'inéluctabilité du recours à l'évacuation géologique et ils s'accordent avec les géologues de l'Andra pour considérer que le Callovo-Oxfordien présente des qualités favorables pour accueillir un stockage.

À cet égard, la fin de la discussion lors de l'audition de la CNE consacrée aux calculs effectués pour le *Dossier 2001*, et pendant laquelle plusieurs membres de la Commission se sont montrés particulièrement dubitatifs sur les hypothèses retenues par l'Andra, est à mon avis assez éclairante. Le président de la CNE, Bernard Tissot adresse ainsi cette remarque aux salarié.es de l'Andra à propos de ce qui vient de lui être présenté :

« J'ai vu beaucoup de diagrammes représentant la période 10 000 ans - un million d'années. Vous savez tous, comme moi, que ce que nous recherchons avant tout, c'est l'acceptation sociale. Croyez-vous que vous pourrez l'obtenir en présentant de tels diagrammes, où tout se

614 « CNE du 22/02/2000 - Modélisation », Andra, *op. cit.*, p. 4.

... passe à l'horizon de 100 000 ans... la distance qui nous sépare de l'homme de Neanderthal. [...] La question essentielle [...] est celle de l'acceptation sociale. Croyez-vous que votre travail est une contribution en ce sens⁶¹⁵ ? »

Cette intervention explicite plusieurs éléments. Tout d'abord, pour le président de la CNE, la Commission partage un même objectif avec les salarié.es de l'Andra : l'« *acceptabilité sociale* » du projet de stockage porté par l'Agence. B. Tissot exprime également l'idée que cette « *acceptabilité sociale* » dépend des connaissances qui sont présentées par l'Andra : les résultats des recherches effectuées sont publiés dans des documents publics afin que celles et ceux qui pourraient douter de la pertinence du projet de l'Agence l'acceptent.

De plus, l'appréhension de l'évolution à long terme du stockage pose ici la question spécifique de l'intelligibilité des calculs effectués sur des périodes temporelles qu'il est difficile de se représenter : quel effet de persuasion peuvent avoir ces calculs sur les lecteurs et lectrices du rapport de l'Andra ? L'Agence est-elle crédible lorsqu'elle présente le résultat de calculs effectués sur des périodes de plusieurs centaines de milliers d'années ? Que des calculs manipulant des échelles temporelles si longues soient produits et présentés au sein du monde académique ne semble pas tant problématique aux yeux du président de la CNE. Mais une publication de ceux-ci dans un dossier destiné à permettre l'« *acceptabilité sociale* » du recours à l'évacuation géologique des déchets nucléaires l'interroge. Le *Dossier 2005* aura un grand rôle politique et il est nécessaire de prendre celui-ci en compte lors de sa préparation.

CONCLUSION PARTIELLE

L'écriture et l'évaluation du *Dossier 2001*, notamment par l'équipe de revue de l'AEN, sont d'une grande importance dans la préparation du rapport de 2005. Tout d'abord, l'évaluation globalement élogieuse du *Dossier 2001* par l'Agence de l'OCDE donne un crédit important au travail de l'Andra. Le *Dossier 2001* est un rapport d'avancement dont l'objectif est de tester la méthode employée pour analyser la sûreté d'un projet de stockage et de s'assurer que le programme scientifique envisagé entre 2002 et 2005 est pertinent. Il n'existe pas une méthode unique pour démontrer la sûreté d'un projet de stockage : l'harmonisation internationale des pratiques d'analyse de sûreté n'est pas totale et chaque agence utilise une méthode qui lui est propre (cf. chapitre 4).

615 R. Portal, *Compte rendu définitif de l'audition du 21 mars 2002*, op. cit., p. 32.

Dans leur évaluation du *Dossier 2001* et plus particulièrement dans celle des modèles utilisés dans les calculs d'impact, les membres de la CNE se montrent plus critiques à l'égard du travail de l'Andra que l'équipe de revue de l'AEN. L'évaluation menée par les membres de la CNE ne repose pas essentiellement sur une comparaison avec les pratiques des homologues étrangers de l'Andra. Elle est focalisée sur l'appréhension des incertitudes et la représentativité des modèles de l'évolution physique du stockage. Toutefois, étant données les temporalités mises en jeu par l'évacuation géologique et la complexité du système, la modélisation de l'évolution du stockage et de la migration des radionucléides constituera toujours une réduction de la complexité de la physique du stockage. En ce sens, la démonstration de sûreté risque d'être toujours imparfaite.

L'exigence des membres de la CNE vis-à-vis du travail de l'Andra n'est pas destinée à mettre l'Agence en difficulté. Depuis leur premiers rapports, ils soulignent que l'évacuation géologique de certains déchets nucléaires est inéluctable (cf. chapitre 1). Par leurs critiques et leurs recommandations, les membres de la CNE cherchent avant tout à pousser les salarié.es de l'Andra à produire la meilleure démonstration de sûreté possible. En effet, les membres de la CNE partagent avec les salarié.es de l'Andra l'ambition que la démonstration produite en 2005 soit convaincante au point qu'elle assure l'« *acceptabilité sociale* » du stockage. Tant les membres de l'équipe de revue de l'AEN que ceux de la CNE ont donc pour objectif d'aider les salarié.es de l'Andra à montrer la sûreté d'un projet de stockage au terme de la période dévolue aux recherches par la loi de 1991.

II. MONTRER LA FAISABILITÉ D'UN STOCKAGE ET CONSTRUIRE L'ADHÉSION DU PUBLIC

Au début de l'année 2002, le creusement des deux puits du laboratoire souterrain accumule du retard par rapport au programme établi initialement par l'Andra et le Groupement Fond Est, responsable des travaux⁶¹⁶. Fin mars, le puits principal a atteint une profondeur d'environ 200 mètres ; le puits auxiliaire, 120 mètres. Le fonçage des puits avance d'un mètre par jour en moyenne alors que le planning prévisionnel reposait sur une vitesse deux fois supérieure. De plus, en 2001, un accident a arrêté le chantier durant un mois et la Direction de la Sûreté des Installations Nucléaires (DSIN) a demandé à l'Agence la réalisation de mesures dans les puits, non-prévues dans le calendrier, qui ont retardé le chantier de 40 jours supplémentaires. Fin avril 2002, le directeur général de l'Andra estime que le retard cumulé du chantier est d'environ une année⁶¹⁷.

⁶¹⁶ Gérard Ouzounian, *40^{ème} réunion du Conseil Scientifique de l'Andra du 30 avril 2002. Compte rendu de la réunion générale*, Andra, 2002, p. 5.

⁶¹⁷ *Ibid.*

Le 15 mai 2002, un ouvrier meurt sur le chantier de creusement du puits principal. La perte d'expérience en génie minier des entreprises françaises est parfois avancée comme une des causes de ce décès. Les travaux de fonçage sont interrompus. Jusqu'alors, la direction de l'Andra et l'ensemble des observateurs du travail de l'Agence considéraient que le calendrier devant permettre d'obtenir des résultats expérimentaux à partir d'essais menés dans le laboratoire souterrain était extrêmement serré. L'accident mortel de mai 2002 vient compromettre la possibilité même de faire reposer le bilan des recherches attendu pour 2005 sur des données acquises dans le laboratoire souterrain.

Durant le deuxième semestre de l'année 2002, la direction de l'Andra retravaille en profondeur le programme expérimental. La participation des géologues de l'Andra aux recherches menées dans le laboratoire souterrain suisse de Mont Terri est renforcée. Par ailleurs, l'objectif de demander l'autorisation de construire un stockage en 2006 est clairement abandonné : l'étude des possibilités de stocker des déchets nucléaires entre la Meuse et la Haute-Marne se poursuivra au-delà de 2006 – si toutefois le Parlement en décide ainsi. L'accident de mai 2002 n'est pas l'unique cause de cette prolongation des recherches mais il vient entériner ce choix. Même sans lui, peu d'expérimentations auraient pu être menées dans le laboratoire souterrain avant 2005. Par ailleurs, cette poursuite des recherches après 2006 est loin d'être problématique pour la direction de l'Andra. Bien au contraire.

Le fonçage du puits principal est arrêté jusqu'au 30 avril 2003. Lors de sa présentation de l'ajustement du programme de recherche devant la CNE en janvier 2003, le directeur général de l'Andra, F. Jacq, précise que le forage du puits principal devrait atteindre l'argile du Callovo-Oxfordien durant le troisième trimestre de 2004⁶¹⁸. L'Andra prévoit la construction d'une « niche », au-dessus des galeries principales du laboratoire, à 445 mètres de profondeur. Des essais doivent y être menés à partir de la fin de l'année 2004. Suite à la révision du programme scientifique, le nombre d'essais dans cette niche est augmenté. Le fonçage du puits principal doit atteindre sa profondeur prévue (490 mètres) durant le deuxième semestre de 2005⁶¹⁹. Durant l'année 2004, le creusement des puits progresse de 0,8 mètre à 1 mètre de profondeur par jour en moyenne⁶²⁰. L'Andra envisage que les galeries du laboratoire soient creusées à partir du puits auxiliaire. Lors du fonçage des puits, les travaux de creusement sont accompagnés d'un suivi géologique de leurs parois : ce suivi doit permettre de raffiner l'étude des propriétés de la roche et d'observer l'impact du

618 Rémi Portal, *Compte-rendu de l'audition du 8 janvier 2003. Laboratoire souterrain*, CNE, 2003, p. 6.

619 *Ibid.*

620 Rémi Portal, *Compte rendu de l'audition du 21 janvier 2004. Laboratoires souterrains*, CNE, 18 février 2004.

fonçage sur la tenue mécanique de l'argile. La plupart de ces observations sont programmées dans le puits principal. De plus, étant donné qu'il n'y a pas de niche dans le puits auxiliaire, le creusement de celui-ci atteint la profondeur de 490 mètres avant le puits principal.

II.1. ADAPTER LE PROGRAMME EXPÉRIMENTAL AU RETARD DANS LE CREUSEMENT DU LABORATOIRE

Plusieurs mesures prévues dans le laboratoire souterrain demandent du temps. C'est notamment le cas des essais de diffusion dans le Callovo-Oxfordien (Cox). L'argile du Cox a été retenue entre autres pour sa faible perméabilité. La diffusion d'éléments introduits dans la roche y est donc particulièrement lente. Néanmoins, l'étude des propriétés de diffusion présente un grand intérêt afin d'évaluer la migration des radionucléides dans la roche.

Des essais de diffusion sont effectués par les géochimistes de l'Andra à Mont Terri depuis 1998. Cependant, transposer au Callovo-Oxfordien du Bassin de Paris les résultats obtenus dans l'argile à Opalinus suisse n'est *a priori* pas évident. En janvier 2003, Sarah Dewonck, responsable de ces expérimentations à l'Andra, souligne devant la CNE que des essais de diffusion effectués sur des échantillons des deux roches ont donné des résultats du même ordre de grandeur⁶²¹. De ce fait, elle estime que pour l'étude des propriétés de diffusion, l'argile du Mont Terri peut être considérée comme un analogue de l'argilite de l'Est de la France⁶²². À l'Andra, les modélisations de la migration des radionucléides sont basées sur les mesures de diffusion effectuées sur les échantillons de Callovo-Oxfordien prélevé lors de forages depuis la surface. Des essais menés à Mont Terri entre 1998 et 2002 ont montré que les mesures effectuées sur des échantillons sont représentatives des observations effectuées dans le laboratoire souterrain⁶²³. Ce résultat conforte les géochimistes de l'Andra dans leur utilisation des mesures de diffusion effectuées sur échantillon pour valider leurs modèles de la migration des radionucléides dans la roche.

Sans assez de temps pour mener des expériences de diffusion dans le laboratoire souterrain de Bure avant 2005, les géochimistes de l'Andra justifient donc leur utilisation de données acquises sur des échantillons du Callovo-Oxfordien par deux comparaisons. D'une part, les mesures effectuées sur des échantillons d'argile du Mont Terri et de l'Est de la France sont comparables. D'autre part, les mesures effectuées en Suisse sur des échantillons et *in situ* donnent des résultats

621 R. Portal, *Compte-rendu de l'audition du 8 janvier 2003, op. cit.*, p. 23.

622 *Ibid.*

623 *Ibid.*, p. 24.

concordants. Les géochimistes de l'Andra concluent donc que l'utilisation de mesures effectuées sur des échantillons d'argilite du Callovo-Oxfordien donnera des résultats comparables aux mesures effectuées dans le laboratoire souterrain qui ne pourront pas être effectuées avant 2005.

Toutefois, la transposition de résultats obtenus à Mont Terri pour caractériser l'argile du Callovo-Oxfordien n'est pas toujours possible. L'étude de l'endommagement de la roche au voisinage des ouvrages, dû au creusement et à leur présence, est particulièrement importante car cette zone endommagée, l'*Excavated Damaged Zone* (EDZ), pourrait constituer une voie de transfert privilégiée pour l'eau et les radionucléides (cf. chapitre 6 et chapitre 7). Néanmoins, les propriétés mécaniques des argiles à Opalinus et du Callovo-Oxfordien diffèrent et rendent délicate la transposition des études de l'EDZ. Les expérimentations effectuées dans la niche sont en grande partie consacrées à l'étude du comportement de l'EDZ : en janvier 2003, cinq ou six forages y sont prévus pour caractériser l'endommagement de la paroi de la niche⁶²⁴.

II.2. L'IMPORTANCE RELATIVE DES ESSAIS DANS LE LABORATOIRE SOUTERRAIN

À quelques années de l'échéance de 2005, l'accumulation de retard dans le creusement du laboratoire suscite bien des interrogations sur le bilan des recherches que pourra produire l'Andra en 2005. Lors de sa présentation devant la CNE en mars 2003, F. Jacq relève le fait que malgré ce retard, l'Andra a acquis une quantité de connaissances considérable depuis 1991. Il souligne que les mesures et les forages effectués depuis la surface ont permis une caractérisation importante du Callovo-Oxfordien et il note qu'« *il y a, dans le programme français, survalorisation du rôle du laboratoire souterrain* »⁶²⁵.

Pour le directeur de l'Andra, cette importance accordée aux essais effectués dans le laboratoire souterrain est une conséquence de l'histoire. Il suggère ainsi qu'après l'échec des prospections géologiques de la fin des années 1980, la loi de 1991 a attribué un rôle trop prédominant aux laboratoires souterrains par rapport à leur utilité réelle pour montrer la sûreté d'un projet de stockage. Ainsi, la nécessité de disposer d'un laboratoire souterrain pour montrer la sûreté d'un stockage devient gênante lorsqu'il apparaît que l'Andra ne disposera que de peu de connaissances produites dans le laboratoire de Bure en 2005. Pour F. Jacq en 2003, donner une

624 *Ibid.*, p. 13.

625 Rémi Portal, *Compte-rendu de l'audition du 6 mars 2003. Stratégie et programmes de recherches*, CNE, 2003, p. 6.

importance stratégique aux essais dans le laboratoire souterrain n'est pas pleinement justifié scientifiquement : les connaissances acquises depuis la surface devraient permettre d'évaluer la faisabilité d'un stockage géologique entre la Meuse et la Haute-Marne.

Cette relativisation du rôle du laboratoire souterrain dans la démonstration de la faisabilité d'un stockage est contradictoire avec l'ensemble des discours tenus précédemment, notamment lors des tractations autour des demandes d'autorisation des laboratoires souterrains (cf. chapitre 3). La nécessité de disposer de laboratoires souterrains pour étudier les possibilités de stockage était alors continuellement défendue.

Alors que le creusement du laboratoire souterrain s'enlise, ce revirement effectué par F. Jacq explicite le rôle politique de ces installations : leur implantation permet d'ancrer la présence de l'Andra autant que d'acquérir des connaissances sur la géologie locale. La nécessité de ces installations pour démontrer la sûreté d'un dépôt géologique est tantôt mise en avant lorsqu'il s'agit d'implanter un laboratoire, tantôt minimisée lorsqu'il devient certain que peu de connaissances pourront y être produites. Si la nécessité de telles installations pour démontrer la sûreté d'un projet de stockage varie en fonction des contextes, leur présence au sein du territoire est, elle, constante.

II.3. ANTICIPER L'APRÈS 2006 SANS COURT-CIRCUITER LE DÉBAT PARLEMENTAIRE

Lors des auditions de la CNE consacrées à la révision annuelle du document *Stratégie et Programme de recherches* du ministère de la Recherche, l'évaluation du bilan des travaux effectués par l'Andra et le devenir de la gestion des déchets nucléaires après 2006 occupent largement les discussions. L'ensemble des acteurs de l'aval du cycle anticipent la manière dont pourra être poursuivi la gestion des déchets nucléaires après 2006. Néanmoins, sur ce sujet, la discrétion est particulièrement grande. F. Jacq précise :

« Bien sûr, l'ANDRA a réfléchi à ses activités futures au-delà de 2006. Mais il faut être prudent. Toute anticipation de l'échéance prête le flanc à l'accusation de contourner ou de forcer le fonctionnement de nos institutions démocratiques⁶²⁶. »

En effet, au terme de la période de quinze ans dévolue aux recherches par la loi de 1991, c'est au Parlement d'évaluer les conclusions de l'Andra et du CEA, et de définir une politique nationale de gestion des déchets nucléaires. Cette évaluation reposera sur un avis de la Commission Nationale d'Évaluation dont les membres s'accordent sur l'inévitabilité du recours au stockage.

⁶²⁶ *Ibid.*, p. 22.

Néanmoins, une attention particulière est accordée à maintenir un suspens sur la politique nationale de gestion de ces déchets qui pourra être décidée en 2006. Tout ce qui pourrait apparaître comme une décision de la « *technostructure* » avant le débat parlementaire de 2006 est proscrit.

La vigilance du directeur de l'Andra visant à éviter que certaines actions puissent être considérées comme un mépris du débat démocratique et laisser sous-entendre que l'implantation d'un stockage après 2006 est déjà engagée, a des incidences sur le programme des recherches. Ainsi, au début des années 2000, F. Jacq justifie la limitation de la zone sur laquelle sont effectuées des mesures géophysiques par la volonté d'éviter de sous-entendre que l'Andra prépare la construction d'un stockage⁶²⁷. De même, lorsqu'un membre de la CNE suggère de réaliser un « *point zéro* » de l'état de l'environnement, le directeur général de l'Andra exprime son embarras à engager une étude qui pourrait supposer l'installation prochaine d'un stockage⁶²⁸.

En mars 2003, G. de Marsily (CNE) relève qu'il serait d'ores et déjà possible d'écrire le rapport de 2005 : un certain nombre de connaissances sur la géologie et la conception du stockage sont disponibles et, à moins que les recherches dans le laboratoire souterrain ne révèlent quelques « *surprises* », le programme des travaux à mener pour caractériser plus finement le site est défini⁶²⁹. Cependant, G. de Marsily souligne qu'une telle annonce pourrait apparaître comme prématurée et raviver les oppositions à l'évacuation géologique :

« La loi de 1991 ménage un suspens. À avancer prématurément, sous condition que tel fait redouté ne soit pas observé, que le stockage est faisable, on risquerait de cristalliser les oppositions. La CNE se verrait reprocher de se prononcer en aveugle et prématurément. Mais, afin d'informer préparatoirement la représentation nationale, je crois qu'il serait néanmoins utile de décrire dès à présent ce que nous devrions être à même de pouvoir avancer⁶³⁰. »

L'annonce des décisions sur l'aval du cycle nucléaire est toujours délicate. Au début des années 1990, le directeur de l'Andra, Jacques Monestier et la Direction Générale de l'Énergie et des Matières Premières avaient envisagé différentes manières d'annoncer le choix des départements retenus pour l'implantation des laboratoires souterrains (cf. chapitre 3). Au sein des institutions qui travaillent à la gestion des déchets nucléaires, le consensus sur l'inéluctabilité du recours à l'évacuation géologique n'a pas été ébranlé par les quinze ans de recherches instaurés par la loi de

627 Rémi Portal, *Compte rendu définitif de la préparation et de l'audition du 28 février 2001. Document « Stratégie et programmes de recherches » : révision annuelle*, CNE, 2001, p. 14.

628 R. Portal, *Compte rendu définitif de la préparation & de l'audition du 8 mars 2000, et des actions consécutives*, *op. cit.*, p. 23.

629 R. Portal, *Compte-rendu de l'audition du 6 mars 2003*, *op. cit.*, p. 22.

630 *Ibid.*

1991. Néanmoins, l'ensemble des communications publiques, notamment lors de l'implantation de l'Andra à Bure, ont insisté pour séparer les recherches de la décision qui sera prise par les parlementaires en 2006. Les responsabilités sont partagées : l'Andra effectue les recherches prévues par la loi et le Parlement décide de la politique de gestion de l'aval du cycle. Néanmoins, l'avis de la CNE devrait influencer sur le choix des parlementaires et la préparation du débat de 2006 à l'Assemblée et au Sénat commence à être envisagée plusieurs années auparavant.

Alors que l'Andra, la CNE, le CEA, EDF et l'ensemble des institutions internationales traitant des questions nucléaires s'accordent sur l'inéluctabilité du recours à l'évacuation géologique, la direction de l'Agence, la CNE et le gouvernement entretiennent un certain suspens sur l'après 2006 dans leurs déclarations publiques. D'une part, l'anticipation de la teneur du débat parlementaire est l'objet d'inquiétudes : malgré les liens proches entre la direction de l'Andra et les élu.es meusiennes et haut-marnaises et l'influence de députés comme Claude Birraux (UDF puis UMP) et Christian Bataille (PS), fortement engagés en faveur d'une politique nationale de gestion de l'aval du cycle nucléaire, la direction de l'Andra a peu de contrôle sur le déroulement de ce débat. D'autre part, le débat parlementaire doit être précédé d'une large consultation publique dont le déroulement suscite bien des craintes. À cette occasion, de nombreux avis sur la gestion des déchets nucléaires devraient se faire entendre, notamment ceux d'organisations farouchement opposées à l'évacuation géologique. Enfin, ce suspens rappelle que la transparence et l'ouverture dans le gouvernement de l'atome ne sont pas incompatibles avec l'existence de secrets⁶³¹. Le temps et les lieux des réflexions stratégiques et ceux de la communication et de la décision sont bien distincts⁶³².

II.4. UN APPRENTISSAGE COMMUN DE LA MANIÈRE DE DÉMONTRER LA SÛRETÉ ET DE L'ÉVALUER

Les auditions de l'Andra par la CNE permettent aux salarié.es de l'Agence d'adapter leur travail aux exigences des membres de la Commission. De plus, pour les membres de ces deux institutions, qui partagent l'objectif que la faisabilité d'un dépôt géologique soit établie de la meilleure manière possible en 2006, ces auditions sont nécessaires afin de s'accorder sur la manière d'évaluer cette faisabilité. Les discussions deviennent plus régulières alors que l'échéance de 2005 se rapproche. En mars 2003, François Jacq conclue ainsi son intervention devant la CNE :

631 S. Topçu, *La France nucléaire*, op. cit.

632 Claude Gilbert et Emmanuel Henry, « La définition des problèmes publics : entre publicité et discrétion », *Revue française de sociologie*, 2012, vol. 53, n° 1, p. 35.

« Je voudrais enfin faire observer – j'exclus le cas particulier du WIPP – qu'aucun dépôt géologique n'a été réalisé et mis en service à ce jour. Faute d'expérience, qui peut dire ce que doit être le dossier établissant la faisabilité d'un tel dépôt ? Ce qui doit être démontré ? Comment l'évaluer ? Il nous faut, peu à peu, apprendre⁶³³. »

Étant admis qu'il est impossible de caractériser exhaustivement l'évolution d'un stockage sur des temporalités de l'ordre de la centaine de milliers d'années et que la démonstration de la faisabilité d'un stockage ne reposera pas uniquement sur un calcul d'impact, l'appréciation de ce qui constitue une bonne démonstration de sûreté devient un objet de discussion. Ainsi, la démonstration produite par les salarié.es de l'Andra ne sera pas bonne ou mauvaise : elle sera plus ou moins robuste et plus ou moins convaincante. Bien sûr, il existe un certain nombre de normes et de méthodes ainsi qu'un consensus autour des bonnes qualités du Callovo-Oxfordien pour la rétention des radionucléides. Néanmoins, l'appréciation de la qualité du rapport produit par les salarié.es de l'Andra dépendra du niveau d'exigence de ses évaluateurs et en premier lieu des membres de la CNE.

La discussion lors des auditions de la CNE sur l'avancée des recherches de l'Andra sont l'occasion pour la Commission d'apprécier que l'Agence fait de son mieux pour étudier la faisabilité d'un stockage géologique. Ce suivi régulier du travail de l'Andra par la CNE permet d'éviter que l'institution qui évaluera le travail de l'Agence ne découvre celui-ci en 2005 : le bilan de l'Andra devrait être en adéquation avec le programme scientifique de l'Agence dont la CNE a eu connaissance. Pour les membres de la CNE, les résultats qui lui seront présentés en 2005 ne seront pas une surprise : à plusieurs occasions, ils auront eu l'occasion de discuter avec les salarié.es de l'Agence des recherches effectuées. Les auditions de la CNE constituent des espaces de discussion dans lesquels l'évaluation par la CNE des recherches menées par l'Andra en 2005 s'anticipe. Les discussions entre les salarié.es de l'Andra et les membres de la CNE sur la construction du *Dossier 2005* et l'émission de recommandations par la Commission minimisent le risque que le rapport rendu par l'Agence soit en inadéquation avec les attentes de ses évaluateurs. Les membres de la CNE savent ce que publiera l'Andra et la direction de l'Agence connaît les attentes de la Commission.

633 R. Portal, *Compte-rendu de l'audition du 6 mars 2003*, op. cit., p. 23.

Le *Waste Isolation Pilot Plant* (WIPP) est un stockage géologique dans lequel l'armée états-unienne dépose des déchets nucléaires d'origine militaire. Il est implanté dans une couche de sel du sous-sol du Nouveau-Mexique. En activité depuis 1991, son exploitation est arrêtée depuis février 2014 suite à un incendie dans une installation souterraine.

L'Andra ne proposera pas la construction d'un stockage dès 2007 et elle ne montrera pas la sûreté d'un stockage à Bure en 2005. Toutefois, l'Agence entend apporter à ce moment la démonstration de la faisabilité d'un stockage géologique dans l'Est de la France, sous réserve que la poursuite des recherches ne révèle pas d'élément rédhibitoire à l'implantation d'un tel ouvrage. Démontrer la faisabilité d'un stockage sans en démontrer la sûreté permet à l'Agence de reconnaître qu'il subsiste encore des incertitudes tout en enracinant le projet. Il s'agit de marquer une étape vers l'implantation d'un stockage géologique tout en convenant qu'il existe encore quelques incertitudes sur le comportement du stockage.

L'Andra ne déposera donc pas de demande de construction d'un stockage en 2005. Si le Parlement en convient, la direction de l'Andra souhaite poursuivre les essais dans le laboratoire souterrain de Bure durant dix ans après 2006, avant de déposer une telle demande. Néanmoins, il importe tout de même que des décisions soient prises dès 2006, notamment que l'évacuation géologique soit reconnue comme la solution nationale de gestion des déchets nucléaires en France. Ainsi, Yves Le Bars, président de l'Andra, note en mars 2003 devant la CNE :

« La France n'a pas choisi le stockage géologique comme solution de référence pour l'évacuation des déchets radioactifs alors que de nombreux autres pays (à l'exception du Canada et du Royaume-Uni) l'ont déjà fait. C'est un enjeu en soi qu'une telle décision soit prise⁶³⁴ ».

Pour le président de l'Andra, un des enjeux majeurs de la nouvelle loi qui sera votée en 2006 est de dissiper l'ambiguïté contenue dans la loi de 1991 sur les solutions possibles pour l'aval du cycle nucléaire. Faire de l'évacuation géologique une solution de gestion nationale permettrait d'engager l'industrialisation du projet de stockage même si une demande d'autorisation n'est pas déposée par l'Andra en 2005. Alors que l'Andra s'est implantée dans l'Est de la France comme un organisme de recherche, il importe, au terme de la période dévolue aux recherches par la loi Bataille, que l'industrialisation du projet de stockage puisse être engagée et que les deux autres voies de recherche inscrites dans la loi de 1991 ne puissent plus être considérées comme de potentielles solutions de gestion.

634 *Ibid.*, p. 20.

II.5. APPRÉCIER LES TERMES DU DÉBAT PUBLIC

La manière dont les parlementaires vont apprécier le travail de l'Andra et les conséquences potentielles du débat à l'Assemblée et au Sénat suscitent bien des inquiétudes. En effet, si la faisabilité d'un stockage sous réserve que la poursuite des recherches ne révèle pas d'élément rédhibitoire à la construction d'un stockage est établie pour la CNE et le Conseil scientifique de l'Agence, nul n'a le contrôle sur la manière dont se déroulera, dans l'arène publique, le débat sur la gestion des déchets nucléaires. Les participant.es à l'audition de la CNE de mars 2003, consacrée aux questions stratégiques, s'accordent pour considérer que le consensus scientifique sur le bilan des recherches est une condition pour bénéficier d'une position d'autorité dans le débat⁶³⁵. Cependant, lors de cette audition, plusieurs intervenants pointent le fait que le débat parlementaire ne prendra pas uniquement en compte des questions scientifiques.

Pour Bernard Frois, directeur du Département Énergie, Transports, Environnement et Ressources Naturelles au ministère de la Recherche, il est du ressort de la CNE de prendre la responsabilité d'affirmer que l'évacuation géologique est possible dans l'Est de la France. Il précise :

« La CNE est le responsable ultime dans le cadre du processus imposé par la loi. Son indépendance a été voulue à cette fin. [...] Vous devez assumer les incertitudes après en avoir fait l'évaluation. La CNE est une instance apte à statuer, comme le sont sur d'autres questions, dans le domaine nucléaire, les autres commissions instituées. [...] je vous demande votre avis, je m'en remets à votre sagesse. Si vous me dites « le stockage à Bure n'est pas acceptable », je vous croirai, mais non sans avoir discuté pied à pied ! Car je ne suis pas prêt non plus à accepter vos conclusions sans discussion⁶³⁶. »

B. Frois insiste donc pour que les membres de la CNE s'engagent dans leur évaluation du travail de l'Andra. Alors que l'Agence est chargée d'étudier la possibilité de stocker des déchets nucléaires en profondeur, B. Frois rappelle que la volonté d'une évaluation indépendante des recherches doit permettre à la CNE d'émettre des avis impartiaux sur les recherches effectuées, afin d'informer le Parlement. Les conclusions de la Commission sont discutables – surtout si elles remettent en question le travail de l'Andra – mais le rôle politique de cette commission est d'apporter un point de vue objectif sur la faisabilité d'un stockage géologique.

635 *Ibid.*, p. 18.

636 *Ibid.*

Alors que la formulation de B. Frois laisse entendre que la CNE aura la responsabilité de valider, ou non, la faisabilité d'un stockage géologique à Bure, les précisions apportées lors du débat modèrent ce point de vue : la CNE évaluera le bilan de l'Andra en 2005 et le Parlement décidera de la politique de gestion des déchets nucléaires. Il importe en effet aux membres de la CNE de rester dans le rôle qui est le leur : l'évaluation des recherches. J.C. Duplessis (CNE) conclue la discussion ainsi :

« Nous venons de passer [d']un abrupt « la CNE décidera » à l'expression plus nuancée de ce qu'elle devra faire : une évaluation. Car telle est sa mission, et la CNE l'accomplira avec l'honnêteté scientifique de chacun de ses membres. La CNE évaluera donc les documents qui lui seront soumis, sans transiger. Faites-nous de bons documents... et vous aurez une bonne évaluation⁶³⁷. »

Ainsi, la responsabilité est partagée entre la CNE et le Parlement. À l'approche de 2005, la capacité de la CNE à s'être montrée critique des conclusions de l'Andra, notamment sur les qualités du granite de la Vienne (cf. chapitre 2), devient un gage de crédit. Cependant, l'anticipation des attentes des parlementaires au terme des quinze ans écoulés depuis 1991 est délicate. Plusieurs membres de la CNE redoutent que le Parlement attende de la Commission une réponse à la question « *Peut-on stocker géologiquement des déchets nucléaires⁶³⁸ ?* ». Pourtant, l'avancée des recherches exclue qu'une réponse ferme et définitive puisse être apportée à cette question : l'Andra et la CNE s'accordent pour considérer que les qualités du Callovo-Oxfordien sont *a priori* favorables à l'implantation d'un stockage mais les recherches, notamment dans le laboratoire souterrain, devront se poursuivre après 2006. L'appréciation de François Jacq de l'échéance de 2005 est éclairante sur ce point :

« Je ne peux préjuger du sens dans lequel le Parlement statuera, le moment venu. L'Agence est un acteur scientifique et technique qui agit au mieux de ses moyens : il ne lui appartient pas d'indiquer quelle décision pourrait être prise. [...] les décisions à prendre à l'échéance fixée par la loi ne peuvent s'apprécier en un « tout ou rien ». Le processus voulu par le législateur est un imposant programme de recherches dont un bilan doit être établi. L'ANDRA, comme les autres acteurs, doit rendre compte de son action. Il ne lui appartient pas d'aller au-delà. Ceci posé, des résultats permettant de se forger une conviction sur la

637 *Ibid.*, pp. 21-22.

638 *Ibid.*, p. 17.

faisabilité devraient être disponibles. Il n'est donc pas inconcevable que le Parlement juge qu'il dispose d'éléments suffisants pour se prononcer sur les suites à donner, notamment sur un programme calendaire d'actions futures⁶³⁹. »

Tant chez les membres de la CNE que pour la direction de l'Andra, l'anticipation de la réception par les parlementaires des conclusions du *Dossier 2005* se veut prudente. Les salarié.es de l'Agence n'apporteront pas de réponse tranchée sur la sûreté d'un éventuel stockage et sa direction se refuse à proposer la construction d'un stockage géologique. Tout juste l'Agence pourra montrer qu'elle a fait tout ce qu'il lui était possible de faire en quinze ans, avec les moyens dont elle disposait. Ses recherches devraient être convaincantes sur la faisabilité d'un stockage mais elles ne constitueront pas la preuve qu'un stockage sûr puisse être construit. De plus, si l'évaluation du travail de l'Agence par la CNE ne devrait pas aller à l'encontre des conclusions de l'Agence, les membres de la Commission tiennent à se cantonner à un rôle d'évaluateur et ils ne veulent pas décider pour le Parlement des suites à donner aux quinze ans de recherches effectuées depuis 1991. De ce fait, l'Andra démontre la faisabilité d'un stockage sans demander la construction d'un tel ouvrage dès 2007 et la CNE évalue la qualité du travail de l'Agence mais, au grand dam du représentant du ministère de la Recherche, ni la direction de l'Andra ni les membres de la CNE n'entendent prendre la responsabilité d'indiquer au Parlement quelle pourrait être la politique de gestion des déchets nucléaires après 2006.

CONCLUSION PARTIELLE

Après l'accident mortel de mai 2002, plusieurs discussions lors des auditions de la CNE portent sur la stratégie à adopter pour appréhender l'échéance de 2005 et le débat parlementaire qui suivra. La direction de l'Andra ne déposera pas de demande de construction d'un stockage en 2005 : elle estime nécessaire de poursuivre les recherches à Bure durant dix ans avant de soumettre une telle demande. Une telle proposition permet de reculer la décision sur l'implantation d'un stockage. Elle permet aussi de laisser à plus tard le traitement des incertitudes qui existent encore dans différents domaines (comportement de l'EDZ, scellement des ouvrages, gestion des gaz...) Néanmoins, il importe tout de même que la loi qui sera votée en 2006 ancre symboliquement le projet de stockage en faisant de celui-ci la solution nationale de référence pour la gestion des déchets nucléaires. La décision sur l'implantation de l'Andra à Bure est ainsi fragmentée et les responsabilités partagées entre les parlementaires, l'Andra et la CNE.

639 R. Portal, *Compte-rendu de l'audition du 8 janvier 2003*, op. cit., p. 14.

Pour convaincre la représentation nationale de la faisabilité du recours à l'évacuation géologique, le consensus entre les scientifiques travaillant sur cette question est considéré comme un préalable indispensable. Tout est fait à l'Andra durant la première moitié des années 2000 pour aboutir à un tel accord. Cependant, la décision politique prendra en compte d'autres éléments que les avis des scientifiques unanimes.

L'appréciation de la faisabilité d'un stockage en 2005 demande un dialogue entre l'Andra et ses évaluateurs. L'évaluation progressive du travail de l'Andra et l'entente entre l'Agence et la CNE sur les recherches entreprises par l'Andra permet d'anticiper l'adéquation, lors de l'évaluation finale du travail de l'Andra, entre ce que les salarié.es de l'Agence ont produit et les attentes des membres de la Commission. Conseillant le Parlement sur les recherches effectuées, la CNE a une grande responsabilité en 2006. En effet, il semble délicat que les parlementaires contredisent l'avis d'une commission dont ils et elles ont nommé la moitié des membres. L'indépendance de la CNE et l'honnêteté de ses membres sont des gages de la crédibilité de leur propos.

III. LE *DOSSIER 2005* : UN RAPPORT MASSIF ET MODESTE

III.1. ORGANISATION DE LA RECHERCHE À L'ANDRA

III.1.1. LE CONSEIL SCIENTIFIQUE, CONSEILLER ET GARANT

Travaillant en relation étroite avec sa direction et engagé au service de l'Agence, le Conseil scientifique (CS) de l'Andra joue un rôle complémentaire de celui de la Commission Nationale d'Évaluation. Regroupant douze expert.es extérieur.es à l'Agence, nommé.es par décret du gouvernement, il publie des avis sur l'activité scientifique de l'Andra afin d'orienter sa politique scientifique. Ces avis sont destinés au président et au directeur général de l'Andra. Comme pour la CNE, l'extériorité des membres du Conseil scientifique vis-à-vis de l'Andra et leur qualité d'expert.es reconnu.es donnent une autorité scientifique à ses avis. Ce conseil a également pour fonction d'apporter un crédit aux recherches menées par l'Agence par leur évaluation avant leur publication.

Le Conseil scientifique joue un rôle important au moment de l'écriture du *Dossier 2005*. Sa relecture avant publication apporte une évaluation interne du dossier avant les évaluations externes par la CNE et l'IPSN. La relecture du *Dossier 2005* par les membres du Conseil scientifique apporte à l'Agence une première validation scientifique du rapport. Le Conseil s'estime ainsi « *garant de la qualité scientifique de ce Dossier* » et il « *engage sa responsabilité, tant politique que scientifique* » dans sa validation de celui-ci⁶⁴⁰.

Comme la CNE, le Conseil scientifique suit le travail de l'Agence de manière régulière. Il a été amené à se prononcer sur le programme et les collaborations scientifiques de l'Agence. Une fois par an, les membres du CS visitent quelques services de la direction scientifique de l'Andra afin de rencontrer leurs membres et d'avoir un regard précis sur leur travail.

L'évaluation des recherches effectuées fait l'objet d'un contrôle important de la part de la direction de l'Agence. Ainsi, par exemple, lorsque le Comité Local d'Information et de Suivi (Clis) de Bure commande à l'*Institute for Energy and Environmental Research* (IEER) un « *audit externe sur "la pertinence et la rigueur scientifique du programme de l'Andra"* », François Jacq précise aux membres du Conseil scientifique, lors de la réunion du 30 juin 2003, que le rapport de l'IEER ne constituera pas un « *avis autorisé* »⁶⁴¹. En effet, il n'est pas dans les missions du Clis de commander des expertises sur les travaux de l'Andra. L'Agence n'a ainsi aucune obligation de répondre au rapport de l'IEER. Le président de l'Andra rappelle que les avis de la CNE, de l'AEN et du Conseil scientifique sont en revanche des « *avis autorisés* ». En fonction des conclusions du rapport de l'IEER, le directeur général de l'Andra envisage de demander au Conseil scientifique de rappeler l'avis qu'il avait émis auparavant sur le programme scientifique de l'Agence.

Lorsque l'IEER publie son rapport d'évaluation en décembre 2004, celui-ci conclue que « *la poursuite de la recherche [après 2006] ne doit pas préjuger de la faisabilité de la construction d'un centre de stockage géologique à Bure, parce qu'un tel jugement est très prématuré* »⁶⁴². Ce rapport souligne que la qualité des techniques utilisées par l'Andra est variable en fonction des domaines d'étude⁶⁴³. Dans la caractérisation du terme source, la mécanique et l'influence du changement climatique sur l'évolution d'un stockage, l'IEER note que l'Andra est à la pointe de ce qui se fait alors. Par contre, les membres de l'IEER notent que le « *programme de recherche de l'ANDRA n'est*

640 Alain Trouiller, *Compte rendu. 50^e réunion du Conseil Scientifique de l'Andra du 09 mars 2005*, Andra, 12 mai 2005, p. 3-4.

641 Alain Trouiller, *45^e réunion du Conseil Scientifique de l'Andra du lundi 30 juin 2003. Compte rendu de la réunion générale*, Andra, 7 août 2003, p. 1.

642 Arjun Makhijani et Annie Makhijani, *Examen critique du programme de recherche de l'ANDRA pour déterminer l'aptitude du site de Bure au confinement géologique des déchets à haute activité et à vie longue*, Institute for Energy and Environmental Research, 2004, p. 19.

643 *Ibid.*

pas suffisamment transparent pour permettre d'émettre des avis indépendants sur de nombreux aspects de ce programme »⁶⁴⁴. Néanmoins, il leur semble que le programme scientifique de l'Agence est incomplet pour évaluer la faisabilité d'un stockage⁶⁴⁵.

L'évaluation extérieure du travail scientifique apporte un crédit important à l'Agence – et les membres de l'IEER le soulignent⁶⁴⁶. Néanmoins, il importe à F. Jacq de maîtriser ces évaluations. Le Conseil scientifique et la CNE sont engagés dans une évaluation régulière et de longue durée : ils accompagnent le travail de l'Andra. La construction d'une démonstration de faisabilité d'un stockage et la manière de l'évaluer font l'objet d'un apprentissage commun entre l'Andra, son Conseil scientifique et la CNE. Étant donné que la sûreté d'un stockage ne peut être démontrée de manière formelle (sur le modèle d'une démonstration mathématique), le temps long de l'évaluation permet de construire un accord sur ce qui peut être attendu de l'Andra. La décision du Clis de commander une évaluation ponctuelle du travail de l'Andra à un institut connu pour sa sympathie avec les mouvements environnementalistes n'est pas perçue comme une opportunité d'obtenir du crédit, mais au contraire comme une tracasserie risquant de briser le consensus scientifique autour de la qualité du travail de l'Agence.

La direction de l'Andra cherche à garder une certaine maîtrise sur les évaluations de l'Agence. Les membres de l'IEER ont été reçus par l'Andra à Bure mais, contrairement à ce qui leur a été annoncé lors de leur visite, leurs questions sur certains points précis sont restées sans réponse⁶⁴⁷. L'Andra n'a aucune obligation de satisfaire les demandes de l'IEER. L'expertise scientifique des recherches effectuées à l'Andra n'est pas dans les missions du Clis et il est nécessaire que chaque institution reste dans le rôle qui est le sien. Si l'ouverture et la transparence sont deux principes vertueux auxquels l'Andra souscrit, ils n'impliquent pas que tous les sujets puissent être discutés n'importe quand avec n'importe qui – notamment alors que l'échéance de 2005 se rapproche et que le programme expérimental dans le laboratoire de Bure accumule du retard.

644 *Ibid.*, p. 20.

645 *Ibid.*

646 *Ibid.*

647 *Ibid.*, p. 16.

III.1.2. UNE POLITIQUE SCIENTIFIQUE TOURNÉE VERS LE MONDE ACADÉMIQUE

La collaboration de l'Andra avec des organismes de recherche extérieurs est un élément central de sa politique scientifique. Les groupements de laboratoires créés autour des problématiques de l'Andra ont des rôles particulièrement importants dans la production de connaissances sur des questions spécifiques, pour lesquels il existait peu de savoirs avant que l'Andra ne finance des recherches, comme par exemple, les interactions chimiques entre le fer et l'argile.

Après une visite du service Matériaux (DS/MA) le 16 octobre 2001, le sociologue Michel Callon, rapporteur pour le Conseil scientifique du « *visiting comitee* », précise la nature du travail des ingénieur.es qu'il a rencontré⁶⁴⁸. Il souligne que leur activité première est de coordonner des programmes et des projets de recherche : les ingénieur.es de l'Andra sont des gestionnaires qui négocient, optimisent les échanges et animent les groupements de laboratoires. Pour M. Callon, le travail des ingénieur.es du service Matériaux est, « *entre science et management* »⁶⁴⁹. La plupart des recherches mobilisées par l'Agence sont effectuées par des institutions avec lesquelles l'Andra a un rapport contractuel. L'Andra est une agence de moyen plus qu'un organisme de recherche à proprement parler, et les salarié.es de la direction scientifique, mis à part la minorité qui travaille à Bure ou au Mont Terri, ne mènent pas de travaux de recherche mais coordonnent des programmes et capitalisent les résultats. Ils et elles produisent pour cela un important travail de synthèse.

Depuis le début des années 2000, la direction de l'Andra a fait de la publication d'articles scientifiques un objectif à atteindre, entrant en compte dans le calcul de la prime d'intéressement des salarié.es de l'Agence⁶⁵⁰. Lors de sa réunion du 16 mai 2001, le Conseil scientifique de l'Agence précise :

« *Le but d'une politique de publication dans le domaine scientifique est d'asseoir les actions à long terme et en particulier la stratégie du stockage sur une réputation reconnue dans les sciences et techniques correspondantes*⁶⁵¹. »

L'objectif d'accroître les publications scientifiques est destiné à augmenter la réputation scientifique de l'Agence et écarter les critiques qui mettraient en doute la scientificité des recherches sur le stockage. Par ailleurs, lorsque le directeur scientifique de l'Andra, Patrick Landais, expose

648 Gérald Ouzounian, *Conseil Scientifique de l'Andra. Compte rendu de la réunion du 16 octobre 2001*, Andra, 2001.

649 *Ibid.*

650 R. Portal, *Compte-rendu de l'audition du 6 mars 2003*, *op. cit.*, p. 4.

651 Philippe Stohr, *35^{ème} réunion du Conseil Scientifique du mercredi 16 mai 2001. Compte rendu de la réunion générale*, Andra, 21 mai 2001.

aux membres du Conseil scientifique les motivations pour lesquelles il envisage l'organisation, en décembre 2002, d'un congrès international sur la barrière argileuse dans le stockage géologique, il le fait en ces termes :

« Il s'agit d'une évolution des journées scientifiques de l'Agence afin de mieux insérer les résultats obtenus par l'Andra dans un contexte international, d'associer les homologues étrangers de l'Agence, de donner aux partenaires académiques de l'Agence une opportunité de valoriser au mieux les résultats et de susciter l'attrait de nouveaux partenaires⁶⁵². »

Ainsi, devant le Conseil scientifique, P. Landais met en avant l'intérêt de ce colloque pour le positionnement de l'Agence dans le champ académique. Les recherches sur l'évacuation géologique des déchets nucléaires ont soulevé de nombreuses questions neuves comme la caractérisation des circulations hydrauliques et gazeuses dans la zone endommagée autour des ouvrages de stockage ou l'évolution à très long terme de l'hydrogéologie du Bassin de Paris, qui n'avaient aucune raison d'être étudiées avant qu'elles ne le soient par l'Andra. Avec l'organisation de ce colloque, l'Andra entend donner une visibilité aux recherches qu'elle a financées et provoquer des discussions sur celles-ci avec les organismes qui à l'étranger sont chargés de la gestion des déchets nucléaires.

En soi, que de tels enjeux existent dans l'organisation d'une manifestation scientifique est tout à fait classique. Cependant, au début des années 2000, une telle politique scientifique fondée sur la communication des recherches est nouvelle à l'Andra. Alors que la transparence est devenue un des fondements du gouvernement de l'atome, la publicisation des recherches sur l'évacuation géologique doit apporter de la grandeur au projet de l'Agence en montrant sa maîtrise scientifique des questions soulevées par l'étude de l'évolution du stockage⁶⁵³.

Toutefois, les chercheurs et chercheuses travaillant avec l'Agence ont un sentiment mitigé à l'égard de leur financeur : certain.es considèrent leur participation à l'entreprise de l'Andra comme un alibi permettant de dépolitiser la question du devenir des déchets nucléaires⁶⁵⁴. L'ouverture de la recherche est aussi parfois perçue comme une source de complexification inutile des problèmes⁶⁵⁵. En effet, les recherches ouvrent sans cesse de nouvelles questions en même temps qu'elles produisent des connaissances. Ainsi, elles permettent d'accroître la maîtrise par l'Andra de l'évolution du stockage tout en déstabilisant constamment les représentations antérieures de cette évolution.

652 Philippe Stohr, 36^{ème} réunion du Conseil Scientifique du mardi 26 juin 2001. *Compte rendu de la réunion générale*, Andra, 2001, p. 6.

653 S. Topçu, *La France nucléaire*, op. cit.

654 Y. Barthe et C. Gilbert, *Recherche et déchets nucléaires. Une réflexion interdisciplinaire*, op. cit., pp. 49-57.

655 *Ibid.*, p. 53.

III.2. DES CONCLUSIONS MESURÉES POUR UN DOSSIER CONVAINCANT

III.2.1. L'AVIS DU CONSEIL SCIENTIFIQUE SUR LE *DOSSIER 2005*

Le 24 octobre 2003, le Conseil scientifique émet un avis sur l'architecture du *Dossier 2005* telle qu'elle lui a été présentée par F. Jacq. Cet avis souligne que la faisabilité d'un stockage dans le Callovo-Oxfordien est d'ores et déjà bien établie :

« *Le Conseil considère dès à présent que le point fort du dossier, à savoir l'opinion qu'il existe des solutions fiables et robustes au problème du stockage, est bien établi. Il note qu'aucun obstacle rédhibitoire n'a été rencontré au cours des études importantes déjà conduites en France et dans le monde*⁶⁵⁶ ».

De plus, le CS estime que les moyens que se donne l'Andra pour produire un rapport de qualité sont bons et que l'Agence a su prendre en compte les commentaires du *Dossier 2001*. Durant l'année 2005, la relecture du *Dossier 2005* occupe largement les réunions du Conseil scientifique dont la composition a été en partie renouvelée au début de cette même année. La direction de l'Andra lui a communiqué des versions préliminaires des différents tomes du *Dossier 2005*. Ceux-ci ont fait l'objet de questions du Conseil auxquelles les salarié.es de l'Andra ont répondu. La version finale du *Dossier 2005* datée de décembre 2005 prend en compte les retours du Conseil scientifique.

Dans l'avis qu'il rend sur le *Dossier 2005*, le Conseil souligne de nouveau que la faisabilité d'un stockage est établie. Pour le CS, plusieurs éléments justifient cette conclusion : les qualités géologiques du Callovo-Oxfordien, les reconnaissances effectuées par l'Andra à Bure, l'architecture proposée par l'Agence, la complétude des recherches et le faible impact radiologique calculé du stockage⁶⁵⁷. Ainsi, la faisabilité d'un stockage repose d'une part sur la qualité des méthodes mobilisées, d'autre part la qualité de la roche et des ouvrages destinés à accueillir les déchets et, enfin, sur le calcul de l'impact radiologique du stockage.

Le Conseil formule plusieurs remarques sur le dossier de l'Andra⁶⁵⁸. Il note que l'appréciation des incertitudes pourrait être davantage éclaircie. Notamment, le choix des hypothèses et leur caractère pénalisant pourraient être précisés. De même, le pessimisme des scénarios d'évolution altérée choisis est considéré comme difficile à apprécier. Le CS note que la prise en compte de la

656 Alain Trouiller, 46^e réunion du Conseil Scientifique de l'Andra du vendredi 24 octobre 2003. *Compte rendu de la réunion générale*, Andra, 2003.

657 Conseil Scientifique de l'Andra (ed.), *Avis sur le Dossier 2005 Argile et Granite*, 13 décembre 2005, p. 1.

658 *Ibid.*, p. 2.

réversibilité par l'Andra est une des grandes réussites du *Dossier 2005*. Globalement, le Conseil scientifique se montre satisfait du travail des salarié.es de l'Andra et approuve la conclusion de la faisabilité d'un stockage géologique dans le Callovo-Oxfordien.

III.2.2. STRUCTURE ET CONCLUSIONS DU *DOSSIER 2005*

Le *Dossier 2005* publié par l'Andra présente un bilan des quinze ans de recherche effectués depuis 1991. Il est composé de plusieurs tomes et traite non seulement de la faisabilité d'un stockage géologique dans l'argile du Callovo-Oxfordien mais aussi dans le granite. L'étude des possibilités de stockage dans le granite ne repose pas sur la caractérisation d'un site précis. De ce fait, ces possibilités sont bien moins étayées que celles d'implanter un stockage dans l'argile. Les enjeux placés dans l'étude du stockage dans l'argile et dans le granite sont différents : alors que la direction de l'Andra estime possible d'implanter un stockage dans le Callovo-Oxfordien au terme d'une période de recherche de dix ans après 2006, l'implantation d'un stockage dans un site granitique imposerait de commencer à sélectionner un site précis. Cependant, l'échec de la Mission Granite de 2000 laisse peu d'espoir de trouver des collectivités locales candidates pour accueillir un tel projet. Dans ce chapitre, je me focalise uniquement sur le *Dossier 2005 Argile* que je désigne par « *Dossier 2005* » pour plus de commodité.

Le *Dossier 2005* est composé de trois tomes qui ont respectivement pour thème l'architecture du stockage et la gestion des déchets nucléaires (496 pages), l'étude phénoménologique de l'évolution du stockage (520 pages) et enfin l'analyse de la sûreté d'un stockage (737 pages). Une synthèse (239 pages) résume ces trois documents. Ceux-ci reposent sur cinq « *référentiels de connaissances* », documents qui regroupent les connaissances acquises sur la géologie et la biosphère, les matériaux utilisés, les radionucléides, le comportement des déchets dans le stockage et l'inventaire des déchets produits et à produire.

Je ne développerai pas le contenu des différents tomes qui constituent le *Dossier 2005*. Il me semble néanmoins pertinent d'en souligner les conclusions⁶⁵⁹. Celles-ci soulignent les acquis des quinze ans de recherche effectuées. Elles pointent le fait que la « *faisabilité de principe* » d'un stockage dans l'argile est acquise et mentionnent le travail qu'il reste à réaliser avant le dépôt éventuel d'une demande de construction d'un stockage⁶⁶⁰.

659 Andra (ed.), *Dossier 2005 Argile*, juin 2005, pp. 224-229.

660 *Ibid.*

Tout d'abord, la période 1991-2005 est présentée comme une période d'intensification des recherches. Ces recherches ont utilisé un ensemble de techniques de mesures le plus large possible⁶⁶¹. Les salarié.es de l'Andra ont travaillé de concert avec leurs homologues étrangers, notamment dans les laboratoires souterrains dont ils disposent⁶⁶². De plus, les recherches entreprises par l'Andra s'appuient sur une communauté scientifique « *de haut niveau* » insérée au niveau international⁶⁶³. Les recherches effectuées par l'Agence ont été évaluées régulièrement par des institutions extérieures à l'Andra⁶⁶⁴. Ainsi, les conclusions du *Dossier 2005* justifient la qualité des recherches entreprises par leur production dans un réseau largement internationalisé d'homologues, de laboratoires partenaires et d'évaluateurs. La multiplicité des techniques de mesure et des outils de reconnaissance utilisés apporte également un crédit à l'Andra, appuyant son engagement à satisfaire le mieux possible la mission que la loi de 1991 lui a confiée.

La conclusion du *Dossier 2005* mentionne que la faisabilité de principe d'un stockage dans le Callovo-Oxfordien repose avant tout sur les bonnes qualités de la roche, qui correspondent à celles stipulées dans la RFS III.2.f (épaisseur suffisante, stabilité, homogénéité, faible perméabilité, capacité de rétention des radionucléides)⁶⁶⁵. De plus, l'Andra a développé des concepts de stockage simples et robustes. L'architecture n'est pas optimisée mais elle est considérée comme réaliste⁶⁶⁶. La réversibilité du stockage a été prise en compte dans sa conception⁶⁶⁷. Le calcul de l'impact radiologique sur l'environnement et l'humanité est bien en dessous des normes en vigueur⁶⁶⁸. Des marges de sûreté importantes ont été prises.

Enfin, la conclusion du *Dossier 2005* stipule que si la faisabilité de principe d'un stockage dans le Callovo-Oxfordien est établie, des incertitudes subsistent toujours et la poursuite des recherches serait nécessaire avant toute demande de construction d'un stockage, si le Parlement plébiscite le recours à l'évacuation géologique. Des expériences de longue durée au laboratoire souterrain sont nécessaires. Des essais technologiques et des études d'ingénierie doivent aussi y être effectués. De plus, les reconnaissances géologiques ont été focalisées à la proximité immédiate du laboratoire souterrain : la transposition des observations à l'endroit d'un stockage reste à faire. Par ailleurs, la réduction des incertitudes, notamment dans certains modèles, permettrait d'accroître encore la confiance dans les analyses de sûreté.

661 *Ibid.*, p. 224.

662 *Ibid.*, p. 225.

663 *Ibid.*

664 *Ibid.*

665 *Ibid.*, p. 226.

666 *Ibid.*

667 *Ibid.*

668 *Ibid.*, p. 227.

Au terme de la période dévolue aux recherches par la loi de 1991, le bilan dressé par l'Andra soutient ainsi que les salarié.es de l'Agence ont fait tout leur possible pour étudier la faisabilité d'un stockage dans l'argile. L'importante masse des rapports destinés au Parlement vient en témoigner. De plus, l'Agence n'est pas seule à étudier les possibilités de stockage. Cette solution est plébiscitée à l'étranger et par différentes institutions internationales. Les recherches effectuées à l'Agence ont été discutées dans le monde académique et évaluées par différentes institutions. De plus, les qualités du Callovo-Oxfordien sont particulièrement bonnes pour envisager y implanter un stockage et la conception de barrières ouvragées adaptée à cette formation géologique semble alors réaliste.

Néanmoins, il reste toujours des incertitudes sur les phénomènes qui guident l'évolution du stockage. Trop pour assurer la sûreté d'un stockage ? Peut-être. Dix ans de recherches supplémentaires permettront-ils de s'en affranchir ? Peut-être. Ce délai de dix ans n'est-il qu'une nouvelle manœuvre pour repousser le moment de la décision d'implanter un stockage à Bure ? Une manière élégante pour les dirigeant.es de l'Andra et les membres de la CNE de fuir leur responsabilité ? Un *remake* du dispositif pensé par le député Christian Bataille au début des années 1990 ? Peut-être, mais plusieurs raisons ont sans doute justifié cette proposition que personne n'a remise en cause parmi les acteurs engagés dans la gestion de l'aval du cycle nucléaire.

Il serait vain de vouloir démêler les raisons scientifiques des raisons politiques à ce report d'une demande de construction d'un stockage. Il y a, en 2005, des incertitudes sur l'évolution d'un projet de stockage – et il y en aura toujours. De plus, entériner le recours à l'évacuation géologique comme une solution nationale de gestion des déchets nucléaires, et reporter toute demande d'autorisation après une période de recherche dévolue notamment à l'industrialisation des procédés de stockage et au choix d'une zone précise où implanter le dépôt, permet d'engager un peu plus le projet sans avoir à répondre à toutes les questions qu'il pose. Si les évaluations du *Dossier 2005* sont globalement élogieuses, la détermination des grandeurs caractéristiques de la roche et du stockage ainsi que la réalisation des calculs d'impact radiologique ont tout de même soulevé bien des questions.

III.2.3. CALCULS ET DONNÉES DANS LE *DOSSIER 2005*

Lorsque les chercheurs et chercheuses de l'Andra leur présentent le travail entrepris dans le laboratoire souterrain de Bure et les mesures qui y ont été effectuées, les membres de la CNE se montrent réjouis de la qualité des exposés qui leur sont faits. Durant les années 1990 et jusqu'au début des années 2000, les membres de la Commission se montraient souvent sévères vis-à-vis de la qualité des recherches effectuées par l'Agence (cf. chapitres 2 et 4). À l'approche de l'échéance de 2005, le ton change. Il faut noter ici que, durant les années 1990, le directeur de l'Andra, Yves Kaluzny, intervient extrêmement rarement devant la Commission. Son successeur, François Jacq, répond personnellement et de manière régulière aux questions de la CNE et les membres de la CNE apprécient une telle attention à leur égard.

L'écriture du *Dossier 2005* représente un travail de grande ampleur. Les calculs d'impact effectués pour celui-ci ont duré plusieurs mois au cours de l'année 2004. Ceux-ci ont été réalisés à partir de données validées durant l'année 2003 (sur la sélection des données pour la réalisation de calculs d'impact, cf. chapitre 7). Les mesures expérimentales effectuées dans le laboratoire souterrain en 2004 et 2005 ont donc été intégrées dans le rapport après la réalisation de la plupart des calculs qui l'étaient. Des marges ont été établies sur les valeurs de certains paramètres puis les mesures effectuées dans le laboratoire ont permis de préciser ces valeurs. La réalisation de calculs de sensibilité a également permis de s'assurer de la robustesse des modèles utilisés par rapport à de légères variations des valeurs caractéristiques de la roche.

Les salarié.es de Andra utilisent deux types de simulation numérique : d'une part des simulations de sous-systèmes de stockage aux plus près de la physique dans lesquelles les différents phénomènes mécaniques, chimiques, thermiques, hydrauliques... sont « *couplés* » entre eux, et d'autre part des calculs de sûreté qui permettent de calculer la migration des radionucléides jusqu'à la biosphère (cf. chapitre 4). Ces derniers sont plus grossiers. Ils sont validés par comparaison avec les résultats des simulations phénoménologiques. Cette simplification de la physique du stockage dans les modèles de sûreté s'appuie sur l'identification des phénomènes prédominants. Les phénomènes dont l'impact est considéré comme marginal ne sont pas pris en compte dans les

calculs de sûreté. Toutefois, l'identification des phénomènes prédominants et marginaux est difficilement systématisable. Lors de l'audition de la CNE consacrée à l'examen du *Dossier 2005*, le numéricien Olivier Pironneau (CNE) formule cette remarque :

« En lisant vos rapports cet été, et aussi les rapports techniques, nous avons été plusieurs à trouver que la stratégie qui consiste à dire que l'on va négliger quelque chose parce que c'est non pénalisant a ses limites car, au bout d'un moment on finit par se dire que : 1/ si on mettait le verre directement dans un trou, rien ne se passerait et 2/ il suffirait de faire un calcul simple sur un coin de table au lieu de faire tous ces essais numériques. J'exagère bien entendu, mais j'aimerais juste passer un message pour l'après 2006 : il faut user avec modération du "non pénalisant", car en dehors de notre milieu, ça donne un peu l'impression que ce n'est plus de la science⁶⁶⁹. »

Cette remarque invite les salarié.es de l'Andra à considérer l'impact politique des simplifications effectuées. O. Pironneau ne critique pas directement le travail de l'Andra. Cependant, il souligne que la justification des simplifications est toujours délicate : elle demande une familiarité avec les questions pour ne pas être perçue comme arbitraire et faire perdre sa scientificité à l'étude de la sûreté du stockage. Si ces simplifications ne gênent pas O. Pironneau, leur impact politique le questionne toutefois. Cette remarque explicite également la tension qui peut exister entre science et sûreté (cf. chapitre 7). Alors que la connaissance phénoménologique de l'évolution du stockage et la réalisation de calculs d'impact sont au cœur de la démonstration de la sûreté d'un projet de stockage, les simplifications effectuées pour réaliser les calculs pourraient affaiblir la scientificité de l'analyse de sûreté. En effet, celle-ci repose sur la finesse des représentations de l'évolution du stockage et la réalisation de calculs d'impact exige la construction de représentations simplifiées de la migration des radionucléides vers la surface.

III.2.4. LA MÉTHODE COMME GARANTE DE LA CONFIANCE

Le *Dossier 2005* est écrit pour un public large, n'ayant pas nécessairement de formation scientifique : les parlementaires en sont les premiers destinataires. Il importe que ce rapport soit convaincant, c'est-à-dire que ses lecteurs et lectrices aient confiance dans ses conclusions. Pourtant, comme je l'ai souligné à de nombreuses reprises, la faisabilité d'un stockage et la démonstration de sa sûreté, sous réserve que la poursuite des recherches ne révèle pas d'élément rédhibitoire, ne sont en rien triviales.

669 C. Ponsot-Jacquín, *Compte rendu définitif de l'audition de l'Andra par la CNE du 9 novembre 2005. Dossier 2005* - Argile, op. cit., p. 21.

La première partie du tome consacré aux analyses de sûreté est dédiée à l'explicitation de la méthodologie mise en place par l'Andra pour produire ce rapport. L'importance de la « *confiance* » dans l'évaluation de la sûreté du stockage y est explicitée :

« Le fondement de cette confiance repose sur la qualité de l'argumentation technique, sous tous ces aspects : confiance dans le concept de stockage, dans les données, les modèles, les analyses, mais également dans l'approche elle-même qui organise l'ensemble de ces données techniques en un ensemble cohérent [...].

La confiance ne naît pas uniquement des seules analyses présentées par l'organisme en charge du développement du stockage, indépendamment du contexte dans lequel elles ont été produites. L'appel à des normes prédéfinies, à des objectifs de sûreté clairs et à des méthodologies partagées, et jusqu'à un certain point harmonisées au niveau international, contribue à rendre plus solide le dossier. Au-delà de ce seul point, une grande importance doit également être accordée à la crédibilité des analyses présentées ; cela dépasse le champ du débat technique, et renvoie aux modalités d'établissement du dossier. L'organisation mise en place, les procédures permettant de s'assurer que les données ont été acquises et traitées dans des conditions garantissant un traitement transparent et fiable des données, font partie intégrante [de ce dossier]⁶⁷⁰ ».

Cette qualification de la manière dont la confiance de la faisabilité d'un stockage est administrée corrobore plusieurs points soulevés précédemment. Tout d'abord, l'étude de la faisabilité d'un stockage est stabilisée par le contexte dans lequel elle est produite. Les normes et l'harmonisation internationale des pratiques apportent des références au regard desquelles une évaluation est possible. De plus, la qualité du travail produit, les méthodes et les procédures guidant celui-ci sont déterminantes pour susciter la confiance dans les conclusions de l'Agence.

670 Andra (ed.), *Dossier 2005 Argile. Tome Évaluation de sûreté du stockage géologique*, juin 2005, p. 33.

Au même moment, la production d'un calcul d'impact a perdu son effet convainquant. Déjà, lors de l'audition de la CNE consacrée aux calculs effectués pour le *Dossier 2001*, B. Tissot (CNE) avait interpellé les salarié.es de l'Andra sur la difficulté à convaincre en présentant des résultats de calculs sur des temps difficilement appréhendables (cf. ci-dessus). Lors de la présentation du *Dossier 2005* devant la CNE en novembre 2005, le directeur de la sûreté à l'Andra, Arnaud Grévoz, explicite le rôle accordé aux calculs d'impact radiologique dans le *Dossier 2005* :

« Je crois que la plus grande prudence à avoir, sur la base des connaissances actuelles, concerne le schéma général d'évolution du stockage et les calculs notamment d'impacts et de performances du stockage ; nous avons essayé de nous rattacher notamment aux réflexions de la Commission internationale de protection radiologique qui a souligné dans la publication n° 81, qu'en aucun cas, les calculs d'impacts sur le stockage ne peuvent être considérés comme des prédictions de l'impact du stockage, ce sont des indicateurs de la sûreté du stockage qui doivent contenir des marges de prudence et des marges conservatives. Mais en aucun cas, quand on dit que la dose est de tant à telle période, nous ne prétendons avoir prédit l'impact du stockage, le terme de prédiction a été banni du dossier 2005⁶⁷¹. »

Ainsi, comme le chapitre 4 l'annonçait, le calcul d'impact radiologique ne joue plus un rôle central dans la démonstration de faisabilité d'un stockage. D'ailleurs, les références à des temps calculés supérieurs au million d'années ont été écartées du *Dossier 2005*. Par exemple, les numéricien.nes de l'Agence ont calculé que les actinides contenus dans les déchets mettraient jusqu'à 53 millions d'années à migrer en dehors du Callovo-Oxfordien⁶⁷². Devant l'extrême difficulté qu'un sens puisse être accordé à de tels calculs, ils n'ont pas été intégrés dans le *Dossier 2005* mais tronqués à un million d'années – ce qui constitue déjà un temps considérable ! Le *Dossier 2005* n'est pas construit autour de la production de ces calculs et ceux-ci n'occupent pas une place centrale dans ce rapport : la confiance dans les conclusions de l'Agence ne repose pas sur l'impact calculé du stockage.

671 C. Ponsot-Jacquelin, *Compte rendu définitif de l'audition de l'Andra par la CNE du 9 novembre 2005. Dossier 2005* - Argile, op. cit., pp. 5-6.

672 *Ibid.*, p. 25.

Au contraire, la capacité de l'Agence à disposer d'une compréhension fine de l'évolution des sous-systèmes du stockage et à réaliser, sur des espaces et des temps restreints, des calculs couplés de différents phénomènes d'une part, puis à assurer la cohérence de ces calculs avec des calculs de sûreté plus globaux d'autre part, est soulignée comme un gage de la robustesse de l'analyse présentée. Devant la CNE, le directeur général adjoint de l'Andra, Philippe Stohr, précise :

« ça me rassure, lorsque l'on fait un calcul de sûreté, que les ingénieurs, avant d'appuyer sur la touche return du calcul et d'attendre 7 ou 8 jours que l'ordinateur [ait] enfin donné ses résultats, soient capable de dire avant l'ordinateur ce qu'on va trouver. Ça montre qu'on a une maîtrise du système, qu'on a su réduire la complexité et qu'on n'est pas complètement dépendant de ce que l'informatique va nous dire. En ce sens là, avoir une approche en deux temps nous semble important avec, en premier, une approche phénoménologique où on essaye d'avoir la quintessence de la connaissance scientifique avec des phénomènes couplés extrêmement fins, jusqu'à des couplages chimie, transport, interaction de matériaux pour regarder l'intimité des phénomènes à des échelles de temps très courtes où d'espaces très réduits et de l'autre côté, à partir de cette compréhension fine, essay[er] d'épurer le schéma pour regarder quels sont les grands mécanismes, les grands facteurs importants vis-à-vis de la sûreté qui ont permis de porter l'accent à la fois sur les études et également sur le fonctionnement et la description du stockage, ce qui va contribuer à la robustesse du système. C'est une démarche de sûreté que l'on peut effectivement discuter mais qui me semble éminemment plus robuste qu'une confiance un peu trop aveugle dans une modélisation où on aurait quelque chose de tout couplé, en ce demandant pendant que les calculs tournent quels vont être les résultats. C'est une réaction à titre personnel, mais vis-à-vis de la capacité à démontrer [de] ces calculs de sûreté, ce n'est pas une prédiction, c'est une démonstration dans la conviction que l'on peut avoir sur la sûreté des installations, c'est quelque chose qui est important à prendre en compte⁶⁷³. »

Montrer la sûreté d'un projet de stockage suppose de s'en convaincre avant de vouloir convaincre les autres. Cette confiance dans la sûreté de l'ouvrage dépend de la qualité du travail et des méthodes permettant de garantir celle-ci. Elle dépend de la finesse de la compréhension de l'évolution du stockage et de l'adéquation entre ces représentations fines et celles utilisées dans les calculs d'impact. La confiance dépend de l'engagement responsable de celles et ceux qui travaillent à cette démonstration et du réseau d'acteurs qui participent d'une manière ou d'une autre à stabiliser les connaissances produites. Le temps sur lequel il importe d'établir la sûreté d'un projet de stockage

673 Ibid., pp. 22-23.

fait la spécificité d'un tel projet et il exacerbe les incertitudes qui subsistent inévitablement sur la connaissance de l'évolution d'un tel ouvrage. De ce fait, le calcul d'impact, parce qu'il repose sur des représentations simplifiées des phénomènes, ne jouit plus d'un pouvoir de persuasion important. Au contraire, reconnaître l'incomplétude de l'analyse et l'assumer devient dès lors le gage d'un engagement vertueux et responsable à mener à bien le projet de stockage. La démonstration de sûreté n'est plus une prédiction de l'évolution de l'ouvrage.

III.2.5. L'ACTION MESURÉE, UN ENGAGEMENT VERTUEUX

Lorsqu'en novembre 2000, M. de Franco, directeur de la sûreté à l'Andra, présente quelques éléments de la démonstration de la sûreté d'un stockage aux étudiant.es de l'École Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts, il précise que pour construire la confiance, trois éléments sont nécessaires : « *faire preuve de modestie* », « *susciter le débat contradictoire* » et « *être transparent* »⁶⁷⁴. L'analyse des risques est construite autour de trois arguments : « *on a compris en s'appuyant sur des connaissances scientifiques et techniques partagées (ou débattues)* », « *on n'a rien oublié* » et « *on a prévu des parades* »⁶⁷⁵. Ainsi, la discussion des savoirs produits est considérée comme un élément central. La prise en compte exhaustive des phénomènes qui guident l'évolution du stockage est un objectif. Néanmoins, comme il s'agit désormais d'être modeste et qu'il est impossible de prétendre garantir cette exhaustivité, prévoir des parades, au cas où l'évolution du stockage dévierait des évolutions envisagées, permet d'assurer la robustesse de la sûreté du stockage. Une telle approche modeste et transparente de la démonstration de la sûreté d'un stockage est largement partagée au sein de l'Andra à partir des années 2000.

François Jacq, titulaire d'un doctorat en sociologie des sciences effectué sous la direction de Michel Callon et Dominique Pestre, et soutenu en 1996 au Centre de Sociologie de l'Innovation de l'École des Mines de Paris, est sans doute pour beaucoup dans le développement d'une telle approche de la démonstration de sûreté, relativement humble dans ses conclusions et consciente des limites de la science à montrer la sûreté d'un dépôt géologique sur des temps quasi-infinis. En effet, derrière les conclusions responsables et modestes de l'Andra en 2005, proposant de poursuivre les recherches sans chercher à engager précipitamment la construction d'un stockage dès 2007, il est possible de reconnaître ce que M. Callon, P. Lascoumes et Y. Barthe ont appelé, en 2001 dans *Agir dans un monde incertain*, l'« *action mesurée* »⁶⁷⁶. La participation de M. Callon au Conseil

674 M. De Franco, « La Gestion des déchets radioactifs. Éléments d'une démonstration de sûreté », Andra, 2000, p. 5.

675 *Ibid.*

676 Michel Callon, Pierre Lascoumes et Yannick Barthe, *Agir dans un monde incertain. Essai sur la démocratie technique*, Paris, Seuil, 2001, pp. 263-308.

scientifique de l'Andra, sa direction des thèses du directeur général de l'Agence et de Y. Barthe sur la « *mise en politique* » des déchets nucléaires ainsi que la forte audience qu'a eue dès sa publication *Agir dans un monde incertain* constituent autant d'éléments qui peuvent justifier le rapprochement entre cet ouvrage et la politique menée par l'Andra (cf. chapitre 6).

Pour M. Callon et ses co-auteurs, l'action mesurée s'oppose aux décisions tranchantes et tranchées⁶⁷⁷. Elle n'est pas synonyme d'inaction ou d'indécision et s'appuie sur le principe de précaution : l'action mesurée est « *une démarche positive d'appréciation et de gestion des situations de forte incertitude*⁶⁷⁸ ». Cette « *démarche active et ouverte, contingente et révisable [...] repose sur un approfondissement de la connaissance* » et un mode de décision itératif comme un « *enchaînement de rendez-vous* »⁶⁷⁹. La décision n'est plus celle d'un acteur individuel mais « *engage un réseau d'acteurs diversifiés* »⁶⁸⁰. Assurément, reconnaître l'existence d'incertitudes, poursuivre les recherches pendant dix ans, reporter la demande d'implantation d'un stockage, élargir le « *collectif de recherche* », multiplier les évaluations des travaux de l'Andra et le grand nombre d'acteurs différents engagés sont autant d'éléments qui, au début des années 2000, font de la gestion des déchets nucléaires un exemple convaincant de la démocratie technique en action⁶⁸¹.

Mon propos ici n'est pas de dire que la sociologie pratiquée au Centre de Sociologie de l'Innovation est l'instigatrice de la transformation du gouvernement de l'aval du cycle nucléaire. Elle y contribue et la direction de l'Andra y est sensible. Je voudrai plutôt affirmer ici qu'*Agir dans un monde incertain* est le révélateur d'un changement dans la manière de gouverner les projets techno-industriels au début des années 2000 et que M. Callon est à la fois un théoricien et un artisan de cette inflexion. Je développe ce point plus longuement dans le chapitre suivant.

Dans chacun de ses rapports, la CNE a recommandé que des recherches en sociologie soient menées sur la gestion des déchets nucléaires. À l'approche de l'échéance de 2005, les membres de la CNE et des ministères ont accueilli très favorablement le nouveau positionnement de l'Andra, plus modeste et mesuré. La Direction Générale de l'Énergie et des Matières Premières a elle aussi engagé une réflexion sur la gouvernance de l'aval du cycle au printemps 2004, en préparation du débat public précédant le débat parlementaire de 2006. Philippe d'Iribarne, ingénieur général des Mines et

677 *Ibid.*, p. 263.

678 *Ibid.*, p. 264.

679 *Ibid.*, pp. 264, 308.

680 *Ibid.*, p. 308.

681 Bruno Latour, *La Science en action. Introduction à la sociologie des sciences*, trad. Michel Biezunski, Paris, La Découverte, 2005.

sociologue au CNRS est chargé de cette mission. Celui-ci adresse en avril 2005 un rapport au ministre délégué à l'Industrie⁶⁸². Ses conclusions sont pleinement en accord avec la démarche prudente adoptée par F. Jacq pour construire le *Dossier 2005*.

Je commenterai peu la contribution à la sociologie de P. d'Iribarne. Comme le titre de son rapport *Les Français et les déchets nucléaires* l'indique, son travail consiste à analyser ce que « *les français* » pensent des déchets nucléaires. P. d'Iribarne souligne que la maîtrise technique dont se parent parfois les ingénieur.es peine à convaincre : face à l'assurance arrogante des technicien.nes, la méfiance est un sentiment régulièrement observé. De plus, les catastrophes technologiques régulières (Tchernobyl en tête) viennent conforter l'idée qu'une maîtrise technique totale est impossible. Pour P. d'Iribarne, le temps infini de la décroissance radioactive des déchets nucléaires annihile l'ambition de convaincre qui que ce soit avec un discours technicien. Toutefois, il souligne que lorsqu'il s'agit de gérer pragmatiquement les déchets nucléaires, le crédit accordé aux expert.es augmente. Pour P. d'Iribarne, la reconnaissance des limites de l'ambition savante à maîtriser des temps qui dépassent l'entendement crédibilise la parole experte :

« si les experts, en prétendant maîtriser les déchets par delà les siècles, semblent tenter d'usurper un rôle où ils ne sont pas légitimes, cela menace leur crédibilité dans le rôle qui leur est reconnu : le rôle de recherche, au sein du temps des hommes, des solutions qui, avec leurs limites, sont les moins mauvaises possibles à des questions trop complexes pour que le profane puisse les maîtriser⁶⁸³. »

Citant Lénine, P. d'Iribarne s'interroge sur la manière d'aborder publiquement la gestion des déchets nucléaires⁶⁸⁴. Il dresse alors une série de principes qu'il considère comme vertueux : avoir une attitude responsable, être modéré dans la portée de ses conclusions, faire de son mieux. Ainsi, il m'apparaît pertinent de souligner que les conclusions de P. d'Iribarne coïncident avec l'action mesurée chère à M. Callon, P. Lascoumes et Y. Barthe, et avec l'approche retenue par la direction de l'Andra pour appréhender l'échéance redoutée de 2005. On peut noter que tous ces acteurs travaillent ou ont travaillé à l'École des Mines de Paris.

Une telle approche mesurée délaisse la perspective de rationaliser le choix de l'évacuation géologique, que le recours à la recherche dans la loi Bataille avait permis d'envisager. Au contraire, elle repose sur la reconnaissance que les recherches menées à l'Andra ne permettront pas de démontrer formellement la sûreté d'un stockage sur des temps infinis. Cette transformation du rôle

682 Philippe d'Iribarne, *Les Français et les déchets nucléaires*, avril 2005.

683 *Ibid.*, p. 4.

684 *Ibid.*, p. 52.

de la science dans le gouvernement de l'aval du nucléaire est par ailleurs la marque d'un changement plus global à ce moment des rapports entre science et politique dans lequel les chercheurs et chercheuses en sciences sociales ont joué un rôle important⁶⁸⁵.

CONCLUSION PARTIELLE

Lorsque la direction de l'Andra remet au Parlement le *Dossier 2005* qui conclue les quinze ans de recherches effectuées depuis 1991, ce travail a déjà fait l'objet de nombreuses évaluations. Il n'y a donc pas de raison de s'inquiéter outre mesure de sa réception par la CNE et l'Autorité de Sûreté Nucléaire. Le *Dossier 2005* n'engage pas uniquement la responsabilité de l'Andra mais aussi celle de son Conseil scientifique et de l'ensemble des universitaires qui ont travaillé aux côtés de l'Andra depuis plusieurs années.

Cependant, alors que l'autorité des expert.es est remise en cause suite à plusieurs accidents (Tchernobyl, AZF...) et différents scandales (vache folle, amiante, sang contaminé...), l'anticipation de la réception du *Dossier 2005* en dehors des mondes de la recherche et de l'expertise est prudente. L'accord sur la qualité du rapport dans les mondes académiques et experts n'est pas synonyme d'une confiance large dans les conclusions de l'Andra en dehors de ceux-ci. La mesure est donc de mise à la veille d'un débat public et d'un débat parlementaire dont les conséquences sur l'aval du cycle sont difficiles à prévoir.

Le *Dossier 2005* a d'abord une fonction politique : construire la confiance dans la faisabilité du stockage en dehors des communautés scientifiques ayant travaillé sur ce sujet et notamment chez les parlementaires. La méthode employée et le crédit des institutions ayant contribué au travail des salarié.es de l'Andra sont pour cela des éléments capitaux. En revanche, la foi aveugle dans les calculs de l'impact du stockage durant le prochain million d'année appartient désormais au passé.

685 Helga Nowotny, Peter Scott et Michael Gibbons, *Rethinking Science: Knowledge and the Public*, Oxford, Polity Press, 2001 ; Emanuel Bertrand, « Un discours européen de la gouvernance participative : le Livre blanc de 2001 », 2015.

ÉPILOGUE : UN DÉBAT PUBLIC ET UNE LOI

En 2006, le rapport d'évaluation final de la Commission Nationale d'Évaluation se conclue ainsi :

« Les recherches sur la gestion des déchets nucléaires les plus avancées, en France, sont celles sur le stockage réversible en situation géologique profonde qui représente la voie de référence pour une gestion définitive de déchets ultimes que la France se doit d'étudier jusqu'au bout. L'utilisation simultanée des techniques minières et de celles de l'industrie pétrolière s'est révélée hautement profitable sur le site de Bure. Les données acquises sur ce site sont considérables. Elles placent ces travaux au meilleur niveau des recherches internationales. Le grand intérêt porté par de nombreux pays étrangers aux recherches menées en France dans ce sens (collaborations internationales) confirme ce point de vue. Le stockage dans une roche argileuse très régulière et homogène, dépourvue de failles conductrices d'eau, comme l'est la couche du Callovo-Oxfordien sur le site de Bure, peut être retenu comme une solution de référence⁶⁸⁶. »

Les membres de la Commission soulignent ensuite le besoin de poursuivre les recherches dans le laboratoire souterrain. Dans cette conclusion de la CNE, on retrouve les éléments mis en avant dans le *Dossier 2005* pour apporter du crédit à la démonstration de faisabilité d'un stockage dans le Cox (utilisation des meilleurs techniques, approbation de la communauté internationale, qualités géologiques de la roche).

En janvier 2005, les ministres de l'Écologie et délégué à l'Industrie saisissent la Commission Nationale de Débat Public afin d'organiser un débat sur la gestion des déchets nucléaires. Celui-ci se déroule entre les mois de septembre 2005 et janvier 2006. Durant cette consultation, de nombreux participant.es refusent d'accepter l'inéluctabilité du recours à l'évacuation géologique et s'opposent au choix du stockage comme solution de référence. L'entreposage pérennisé en surface ou sub-surface (à une très faible profondeur) est régulièrement plébiscité.

686 Commission Nationale d'Évaluation (ed.), *Rapport global d'évaluation des recherches conduites dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991*, janvier 2006, p. 4.

Lors de ce débat public, la directrice de la DGEMP, Mme Galey-Leruste, présente les trois manières dont elle estime que le Parlement peut légiférer en 2006⁶⁸⁷. Soit les parlementaires décident de poursuivre les recherches sur les trois axes inscrits dans la loi de 1991. Une nouvelle période de recherche s'ouvrirait alors. Soit une solution de référence est choisie et les recherches sont poursuivies sur l'ensemble des voies. Soit le Parlement choisi entre stockage et entreposage, et seules les recherches sur l'option choisie sont poursuivies. La deuxième solution, plébiscitée par la DGEMP, est finalement retenue par les parlementaires.

Dans un entretien, le rapporteur de la loi de 2006 et président de l'Office Parlementaire de l'Évaluation des Choix Scientifiques et Techniques (Opecst), Claude Birraux, estime que le consensus qui s'est dégagé durant le débat public autour du recours à l'entreposage en surface n'est qu'une manœuvre des groupes anti-nucléaires pour empêcher le recours à l'évacuation géologique des déchets nucléaires⁶⁸⁸. Entre une solution plébiscitée lors du débat public qu'il considère comme une stratégie contre l'implantation d'un stockage et le recours à la solution unanimement recommandée par l'industrie nucléaire, le rapporteur de la loi de 2006 affiche clairement une préférence pour la seconde. Quinze ans de recherche et un rapport sur la faisabilité du stockage dans le Callovo-Oxfordien dont la qualité est saluée unanimement n'ont toutefois pas permis de dépolitiser la gestion des déchets nucléaires. Depuis 2006, le stockage géologique est la solution de gestion de référence mais le recours à cette solution est toujours contesté en 2006. Le dépôt d'une demande d'autorisation d'un stockage est fixé à 2015.

687 Georges Mercadal, *Compte-rendu du débat public sur les options générales en matière de gestion des déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue. Septembre 2005 - janvier 2006*, Commission nationale du débat public, 27 janvier 2006, p. 99.

688 P. Cézanne-Bert et F. Chateauraynaud, *Les formes d'argumentation autour de la notion de réversibilité dans la gestion des déchets radioactifs*, *op. cit.*, pp. 143-144.

CONCLUSION. OBLIGATION DE PRODUIRE UN RAPPORT CONVAINCANT ET POURSUITE DES RECHERCHES

Pour les acteurs historiques du monde du nucléaire (CEA, EDF, Areva, Andra, DGEMP, AEN...), l'évacuation géologique n'est pas une option de recherche parmi d'autres. De plus, dès ses premiers rapports, la Commission Nationale d'Évaluation a souligné l'inévitabilité du stockage géologique. Dès lors, pour la direction de l'Agence, l'échéance de 2006 constitue un enjeu stratégique majeur. Dès le début des années 2000, une fois autorisée la construction d'un laboratoire souterrain à Bure, l'activité de l'Agence est orientée vers ce rendez-vous.

Alors que l'évaluation des demandes de construction des laboratoires souterrains avait suscité des critiques ayant entraîné le processus de décision dans une longue tourmente (cf. chapitres 2 et 3), le nouveau directeur général de l'Andra, François Jacq, s'attache à anticiper l'évaluation finale des recherches effectuées par l'Agence. La direction de l'Agence a construit un réseau scientifique large autour des travaux de caractérisation de l'argile et des ouvrages de stockage : la recherche sur l'évacuation géologique des déchets nucléaires s'appuie désormais massivement sur des organismes de recherche extérieurs. Le Conseil scientifique de l'Andra et la CNE sont consultés régulièrement sur les programmes de recherche, les études en cours et les conclusions des chercheurs et chercheuses de l'Agence. Par ailleurs, la production d'un dossier en 2001, présentant la méthode choisie par l'Andra pour montrer la sûreté d'un stockage et les travaux de recherches engagés, a permis à l'Agence de recueillir les critiques et d'adapter son travail en conséquence, mais aussi d'avoir l'approbation de l'AEN sur la qualité de son travail. Par rapport à ce qui se fait dans les pays de l'OCDE, l'équipe de revue de l'AEN a estimé que le travail effectué à l'Andra est d'une grande qualité. Dès lors, lorsque l'Andra rend le *Dossier 2005* au Parlement, le contenu de celui-ci a déjà fait l'objet d'une large évaluation appuyant sa qualité.

Au terme de quinze ans de recherches, l'Andra a capitalisé une importante quantité de connaissances sur l'argile du Callovo-Oxfordien, l'évolution d'un stockage géologique et les mécanismes de transport des radionucléides. Ces connaissances ont été évaluées par des scientifiques de renommée internationale et indépendants de l'Agence. Cependant, au moins depuis l'accident mortel de mai 2002, la direction de l'Andra, les membres de la CNE et ceux du Conseil scientifique de l'Agence s'accordent pour considérer que les expérimentations menées au laboratoire souterrain auront été trop peu nombreuses et auront duré trop peu de temps pour que soit déposée

une demande de construction d'un stockage dès 2007. L'ensemble de ces acteurs plébiscitent la poursuite des recherches sur le site de Bure. Il importe toutefois que le rendez-vous de 2006 entérine que l'évacuation géologique est la solution de gestion nationale de référence.

Ce report du dépôt d'une demande d'autorisation d'un stockage n'est pas particulièrement gênant pour l'Andra. Au contraire, la fragmentation des décisions dilue les responsabilités. Reconnaître la faisabilité d'un stockage sans en autoriser le creusement permet aux parlementaires de reporter la décision d'implanter un stockage tout en permettant à l'Andra de poursuivre son implantation à Bure où l'économie locale devient peu à peu dépendante des subsides accordés en accompagnement de la présence de l'Agence.

Le *Dossier 2005* conclue à la faisabilité d'un stockage dans le Callovo-Oxfordien. Les numériciens de l'Andra ont mené des calculs de l'impact radiologique afin de vérifier que celui-ci demeure bien en dessous de la limite réglementaire. Néanmoins, l'ensemble de l'argument de ce dossier n'est pas orienté vers ce calcul : l'objectif principal du dossier est de construire la confiance des lecteurs et lectrices, au premier rang desquels figurent les parlementaires, dans la conviction qu'un stockage est faisable dans le Cox. Le consensus scientifique est identifié comme une condition de la crédibilité des conclusions de l'Agence mais la foi technicienne dans des calculs de la migration de radionucléides durant des millions d'années est dorénavant perçue comme un obstacle à l'instauration de cette confiance. La confiance dans la démonstration de faisabilité d'un stockage ne saurait s'appuyer uniquement sur sa scientificité. La mesure, la responsabilité, la précaution et le dialogue sont alors autant de principes vertueux nécessaires pour conquérir la confiance au delà des cercles scientifiques et industriels ralliés à l'idée de l'inéluctabilité du stockage et conquis par la qualité du travail fourni par l'Andra.

Entre le moment où l'Andra cherchait à implanter des laboratoires souterrains et la fin de la période dévolue aux recherches par la loi Bataille, les rôles de la simulation numérique et du laboratoire souterrain ont évolué. Durant les années 1990, le besoin d'une analyse de sûreté globale a permis à l'Andra d'évacuer les discussions sur les éléments rédhibitoires à l'implantation d'un stockage (cf. chapitre 2). Lorsqu'il devient évident que la construction d'un outil numérique total est irréaliste, l'importance du calcul dans l'analyse de sûreté est dévaluée. De même, le besoin de laboratoires souterrains pour montrer la sûreté d'un stockage est le principal argument pour justifier leurs constructions. Néanmoins, à l'approche de 2005, alors que peu d'essais ont été effectués dans le laboratoire souterrain de Bure, le nouveau directeur général de l'Andra minimise l'importance de ces installations pour conclure à la faisabilité d'un stockage.

Exemple parfait du modèle de démocratie technique promu par M. Callon, P. Lascoumes et Y. Barthe, la gestion des déchets nucléaires se veut alors prudente et responsable, modeste et transparente. Néanmoins, non seulement la loi de 2006 a ignoré somptueusement les conclusions du débat public de 2005 mais la poursuite des recherches n'est rien d'autre que l'optimisation de la conception d'un stockage. Certes, aucun stockage n'a été autorisé mais il importe de souligner que la capitalisation de quinze ans de recherche par l'Andra et les moyens colossaux dont dispose l'Agence rendent illusoire toute discussion scientifique globale sur le devenir d'un stockage : celle-ci est cantonnée à se focaliser sur des aspects ponctuels très spécifiques. De plus, les millions de francs et d'euros investis en Meuse et en Haute-Marne doivent être pris en compte dans l'appréhension de l'ouverture de la décision de recourir ou non à l'implantation d'un stockage géologique à Bure.

CHAPITRE 6. VERS LE CREUSEMENT DU STOCKAGE. EXPÉRIMENTATIONS DANS LE LABORATOIRE SOUTERRAIN, IMPLANTATION LOCALE ET RECHERCHES EN SCIENCES SOCIALES

En 2006, les parlementaires votent une loi qui stipule que l'évacuation géologique est la solution nationale de référence pour la gestion des déchets nucléaires de haute activité et à vie longue⁶⁸⁹. Cette loi précise qu'une période de dix ans est dévolue à la poursuite des recherches avant que l'Andra ne dépose en 2015 une demande de construction d'un stockage. Dans le *Dossier 2005*, il subsiste des incertitudes sur la caractérisation des phénomènes guidant la migration des radionucléides et influant sur l'évolution du stockage. Avant 2005, seuls quelques essais en profondeur ont été effectués précipitamment dans le laboratoire souterrain de Bure. Avant la construction d'un stockage, la poursuite des recherches dans ce laboratoire et l'étude des possibilités de transposition des mesures qui y sont effectuées à une zone où pourrait être implanté un stockage sont des chantiers majeurs pour l'Andra. De plus, la conception du stockage entre alors dans une phase de développement industriel. Aux essais phénoménologiques dans le laboratoire souterrain s'ajoutent des essais technologiques afin d'évaluer, par exemple, la capacité à sceller le stockage lors de sa fermeture, ou de retirer des colis d'une alvéole de stockage.

Le dernier chapitre de cette thèse, qui suit celui-ci, analyse un travail de revue interne à l'Andra, à laquelle ont contribué un nombre important de salarié.es de l'Agence, avant le dépôt de la demande d'autorisation du stockage prévu entre la Meuse et la Haute-Marne et baptisé Cigéo (pour Centre Industriel de stockage Géologique) en 2010. Le dépôt de cette demande était initialement envisagé en 2015 avant d'être repoussé plusieurs fois. La revue interne étudiée dans le chapitre suivant s'est déroulée entre 2013 et 2014. Par ailleurs, un débat public précédant la demande d'autorisation de construction de Cigéo a (difficilement) eu lieu durant l'année 2013. La période étudiée dans cette thèse est bornée par cette revue et ce débat public.

Ce sixième chapitre est consacré à l'analyse des transformations induites par le passage du projet de stockage dans une phase industrielle et la poursuite des recherches dans le laboratoire souterrain entre 2006 et 2013. Tout d'abord, il s'agit de détailler quelque peu le travail effectué dans le laboratoire souterrain de Bure. La première partie de ce chapitre est ainsi destinée à éclaircir la transformation des représentations de l'évolution du stockage par l'important effort de recherche

689 Loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs, *Journal Officiel de la République Française*, 28 juin 2006.

fourni dans cette installation souterraine unique. La deuxième partie de ce chapitre porte sur trois événements, d'ampleurs diverses, ayant agité l'Andra autour des années 2010 : la sélection d'une « zone de transposition » où implanter Cigéo, l'évaluation des recherches effectuées par l'Agence par un cabinet d'experts états-uniens, et la fronde des producteurs de déchets financeurs du stockage contre l'augmentation du coût du projet porté par l'Andra. Enfin, la dernière partie de ce chapitre est dévolue à l'étude de la contribution de quelques sociologues à la définition d'un modèle de gouvernance pour le stockage.

I. MULTIPLICATION DES ESSAIS DANS LE LABORATOIRE SOUTERRAIN

En 2006, dix ans de recherches sont prévus par la loi avant le dépôt d'une demande d'autorisation de construction d'un stockage. Alors que le laboratoire souterrain de Bure a été peu exploité avant la publication du *Dossier 2005* (cf. chapitre 5), ces recherches ont deux objectifs. D'une part, il s'agit d'affiner par des essais souterrains relativement longs la compréhension des mécanismes géophysiques et géochimiques qui influenceront sur l'évolution de l'ouvrage et la migration des radionucléides dans la roche. D'autre part, les recherches effectuées à l'Andra doivent permettre de montrer la faisabilité industrielle des solutions techniques envisagées. Dans cette première partie, j'expose la variété des questions que soulèvent l'étude de l'évolution d'un stockage. Il s'agit de comprendre ce que font les salarié.es de l'Andra qui travaillent dans le laboratoire souterrain. Quels sont leurs problèmes ? Comment le comportement du stockage est-il appréhendé ? Qu'est-ce qu'un essai dans un laboratoire souterrain ?

1.1. ÉTUDIER LE COUPLAGE DES PHÉNOMÈNES AUX INTERFACES ENTRE LES MATÉRIAUX

Suite à l'évaluation du *Dossier 2005*, la direction de la R&D de l'Andra engage en 2007 un nouveau programme de recherche pluriannuel. Celui-ci est structuré suivant trois thématiques principales : l'approfondissement des connaissances sur les phénomènes élémentaires qui guident le relâchement et le transfert des radionucléides, le couplage entre les différents phénomènes notamment aux interfaces entre les matériaux artificiels et la roche et enfin, la variabilité spatiale et temporelle du milieu géologique⁶⁹⁰. À ces trois thèmes de recherche, il faut également ajouter un ensemble de travaux destinés à assurer la faisabilité technique d'un certain nombre d'options de conception du stockage (forage des alvéoles, scellement des ouvrages...)

Dans le programme expérimental de l'Andra, l'étude de la roche au contact des ouvrages occupe une place importante. En effet, le creusement des ouvrages et la chaleur dégagée par certains déchets modifient les propriétés mécaniques d'une couche d'argile située autour des ouvrages. Le creusement des ouvrages provoque une fracturation de l'argilite sur une zone de quelques décimètres à quelques mètres d'épaisseur appelée EDZ pour *Excavated Damaged Zone*. Ces micro-fractures constituent potentiellement des voies privilégiées pour les circulations hydrauliques et gazeuses. De plus, la chaleur dégagée par les déchets et l'aération des galeries du stockage assèchent la roche au contact des ouvrages. Les circulations gazeuses, notamment d'oxygène, dans les ouvrages perturbent la géochimie de cette couche de roche autour des ouvrages. Ainsi, dans l'EDZ, des phénomènes thermiques, mécaniques, hydrauliques, chimiques ainsi que des circulations gazeuses sont susceptibles de se produire. L'étude des couplages de ces phénomènes mobilise des chercheuses et des chercheurs travaillant dans différentes disciplines.

La possibilité de circulations gazeuses et hydrauliques dans l'EDZ préoccupe particulièrement la direction de la R&D de l'Andra et les évaluateurs du travail de l'Agence. En effet, ces circulations pourraient constituer des vecteurs de la migration des radionucléides. Portés par les fluides en mouvement le long des ouvrages souterrains et des puits d'accès au stockage, les radionucléides pourraient éventuellement migrer bien plus rapidement vers la surface que par diffusion à travers la roche : ces circulations pourraient ainsi « court-circuiter » la barrière géologique et entraîner une contamination radiologique de la biosphère. La nécessité d'assurer la

690 Andra (ed.), « Audition CNE – Andra du 14 novembre 2007 : Programme scientifique & Programme observation / surveillance », 2007.

sûreté du stockage explique l'importance des recherches entreprises sur la physique dans l'EDZ. Alors que la capacité de la roche à confiner les radionucléides a été montrée par l'Andra en 2005, il ne faudrait pas que les circulations hydrauliques et gazeuses dans l'EDZ constituent des voies de transfert court-circuitant la barrière rocheuse. Cette question complexe est spécifique à l'évacuation géologique des déchets nucléaires. La formation et le comportement de l'EDZ dépendent grandement des propriétés de l'argile.

En janvier 2010, une audition de la CNE est consacrée aux études des phénomènes se produisant autour des alvéoles où doivent être stockés les déchets HAVL (de Haute Activité et à (demi-)Vie Longue). P. Landais, directeur de la R&D à l'Andra, expose la variété des phénomènes à prendre en compte à l'aide de ce schéma (Figure 17)⁶⁹¹.

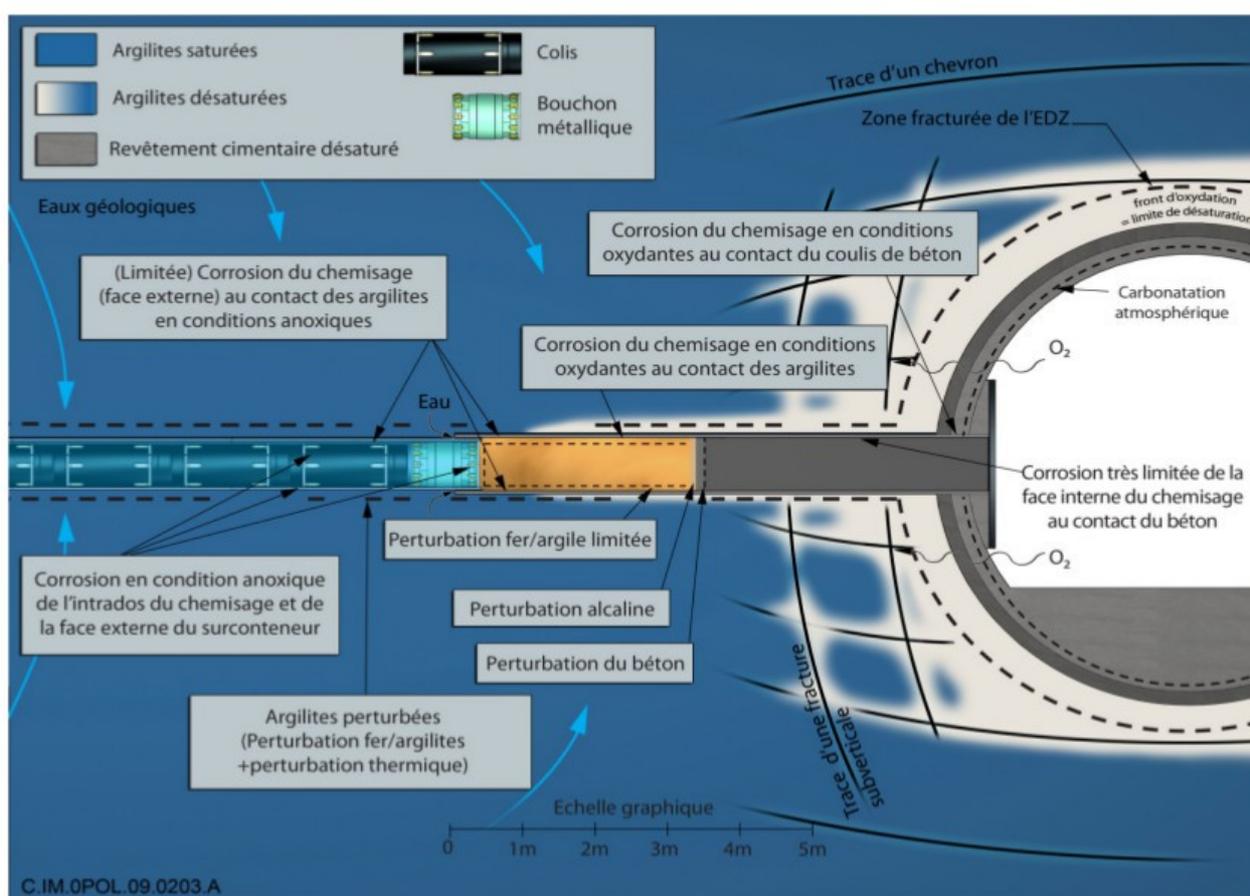


Figure 17. Schéma des phénomènes à prendre en compte pour étudier le comportement des alvéoles destinées à stocker les déchets HAVL (ANDRA (ed.), « Audition CNE – Andra du 7 janvier 2010 Alvéoles HA et MAVL », 2010)

691 Andra (ed.), « Audition CNE – Andra du 7 janvier 2010 Alvéoles HA et MAVL », 2010.

Sur ce schéma, on peut observer une alvéole horizontale remplie de colis et reliée à une galerie de manutention (à droite). On voit que la perturbation mécanique (fracturation) de la roche est beaucoup plus importante autour de la galerie, dont le diamètre est bien plus grand que celui de l'alvéole. L'alvéole ne contient pas de colis jusqu'à la galerie : le remplissage de l'alvéole s'arrête là où les perturbations (désaturation et fracturation) des propriétés de la roche autour de la galerie s'estompent. Autour de l'alvéole, le dégagement thermique et l'altération des matériaux du chemisage modifient les propriétés de la roche. Le schéma indique également les arrivées d'oxygène depuis la galerie et la venue, dans les ouvrages, d'eau présente dans la roche. Il mentionne également les interactions entre ces fluides, les matériaux du stockage et la roche. Ce schéma montre ainsi, à l'échelle macroscopique, la variété des phénomènes qui doivent être pris en compte pour comprendre l'évolution des conditions physico-chimiques aux abords des alvéoles.

Les échelles spatiales et temporelles des phénomènes ayant lieu dans l'EDZ sont d'une grande variabilité. La fracturation de la roche due au creusement s'observe à des échelles métriques mais les interactions géochimiques entre les matériaux introduits dans le stockage et la roche s'observent à des échelles nanométriques. Par ailleurs, la fracturation de la roche due au creusement du stockage est rapide et brutale. Par contre, la désaturation hydrique de la roche (c'est à dire son assèchement dû à la ventilation des ouvrages) et sa resaturation ultérieure (la saturation par l'eau présente dans la roche des ouvrages après leur fermeture) sont particulièrement longues. De plus, les phénomènes ne sont pas tous simultanés.

L'enjeu du programme expérimental consiste à caractériser l'évolution des conditions physico-chimiques dans lesquelles vont se trouver les alvéoles ainsi que les transitions entre les différents états⁶⁹². Pour cela, l'étude est organisée autour des interactions entre trois familles de matériaux : le verre des matrices dans lesquelles les radionucléides sont piégés, le fer des colis de stockage et l'argile. L'altération des propriétés de ces matériaux est guidée par trois phénomènes : au contact de l'eau, le fer se corrode, le verre se dissout et les éléments issus de la dégradation de ces matériaux perturbent chimiquement l'argile. Ces phénomènes sont ainsi tous couplés.

Les conditions industrielles de construction et de remplissage des alvéoles influent sur ces phénomènes. Ainsi, les études phénoménologiques de l'évolution des alvéoles sont liées aux essais technologiques de conception de celles-ci. Par exemple, l'existence de vides technologiques entre la roche et le chemisage métallique d'une part et entre le chemisage et les colis influe sur la quantité

692 *Ibid.*

d'oxygène présente dans le stockage après sa fermeture et donc sur la corrosion des colis. Ce vide peut être réduit dans une certaine mesure mais la pose du chemisage et le dépôt des colis nécessitent un minimum d'espace entre ces différents éléments du stockage.

L'étude de l'évolution phénoménologique de l'alvéole HAVL est divisée en trois situations qui correspondent à trois moments de cette évolution⁶⁹³. Tout d'abord, l'argilite est désaturée en eau à cause de la présence du stockage ; la température est élevée. Les conditions géochimiques sont alors oxydantes à cause de l'oxygène présente dans l'air au contact de la roche, lors de l'exploitation du stockage. Les sur-conteneurs métalliques dans lesquels sont placés les colis se corrodent à cause de la présence d'oxygène mais ils restent étanches. Dans la deuxième situation, la température des colis et donc de la roche a décliné ; le stockage est saturé par l'eau présente dans la roche. Du fait de l'épuisement de l'oxygène non-renouvelée après la fermeture du stockage, la corrosion des sur-conteneurs a maintenant lieu en condition anoxique. Elle est due aux molécules d'eau (H₂O) présentes dans la roche, et au contact avec les sur-conteneurs. Cette corrosion anoxique produit du dihydrogène (H₂) gazeux. Les produits de cette corrosion se diffusent dans l'argilite. Enfin, dans la troisième situation, la corrosion généralisée des sur-conteneurs et des conteneurs a anéanti leur étanchéité. La température du stockage est comparable à celle de l'ensemble de la roche environnante. De l'eau arrive au contact du verre et altère les propriétés de celui-ci. Les éléments issus de la corrosion des conteneurs et des sur-conteneurs sont au contact du verre et la géochimie dans l'argilite est perturbée par les matériaux issus de la dissolution du verre. Les radionucléides jusqu'alors immobilisés dans le verre commencent à migrer dans l'argilite.

Dans ce déroulement schématique des phénomènes aux interfaces entre la roche, les colis et le verre, la production de dihydrogène gazeux pose un problème spécifique. En effet, lorsque sa pression augmente, ce gaz devient explosif. De plus, l'augmentation de la pression autour des alvéoles pourrait entraîner une nouvelle fracturation de la roche. Ainsi, pour la sûreté du stockage, l'évacuation du dihydrogène produit par corrosion semble préférable. Cependant, cette évacuation suppose que les scellements des alvéoles et du stockage soient perméables au gaz. La faisabilité industrielle de tels scellements n'était pas encore démontrée lors de la préparation de la demande d'autorisation de Cigéo en 2013. Le chapitre suivant revient en détail sur les débats autour de l'appréhension de ces circulations gazeuses dans le stockage au moment où les salarié.es de l'Andra préparent la demande de construction du stockage pour 2015.

693 *Ibid.*

1.2. MISE EN PLACE D'UNE EXPÉRIENCE DANS LE LABORATOIRE SOUTERRAIN

Afin d'approcher d'un peu plus près le travail des chercheuses et des chercheurs de l'Andra, je propose de détailler quelque peu la mise en place d'une expérimentation dans le laboratoire souterrain de Bure. Prévu dans le programme scientifique de 2007, l'essai SDZ (*Saturation Damaged Zone*) est destiné à étudier le comportement hydromécanique de l'argilite et notamment de l'EDZ formée autour d'une galerie⁶⁹⁴. L'objectif de cet essai est de produire une désaturation de l'EDZ (c'est-à-dire un assèchement de la roche dû à l'introduction d'air dans le réseau de fractures de l'EDZ) et une resaturation (c'est-à-dire une augmentation de la teneur en eau jusqu'à saturation) qui soient contrôlées, et de mesurer les effets mécaniques de telles perturbations hydrauliques.

La désaturation et la resaturation jouent des rôles importants dans l'évolution des conditions hydrauliques et géochimiques du stockage et de ce fait dans la dégradation des composants ouvragés. L'épaisseur de l'EDZ et la densité de la fracturation dans cette zone influent sur les circulations hydrauliques et gazeuses ainsi que sur la cinétique des phénomènes géochimiques induits par la présence de ces fluides. Si la fracturation de l'EDZ est principalement due aux perturbations mécaniques induites par le creusement des galeries, l'essai SDZ vise à évaluer l'influence des conditions hydrométriques dans les ouvrages sur l'évolution de cette fracturation.

Plusieurs essais ont été effectués précédemment dans le laboratoire souterrain afin de caractériser l'EDZ. Des essais ont mesuré la perméabilité au gaz et à l'eau de cette zone. Cependant, l'humidité et la température de l'air présent dans les galeries du laboratoire varient suivant les saisons. Aucun essai n'avait jusqu'alors étudié l'influence de la teneur en eau de l'air présente dans les galeries sur l'EDZ, notamment sur la désaturation de la roche au contact de l'air et sur les phénomènes géochimiques liés à celle-ci.

Deux expérimentations dédiées à l'étude de la désaturation de l'EDZ ont été menées précédemment dans les laboratoires souterrains de Mol en Belgique et de Mont Terri en Suisse⁶⁹⁵. Ces deux laboratoires sont implantés dans des formations argileuses. Néanmoins, les propriétés de ces argiles diffèrent de celles du Callovo-Oxfordien. La première expérience a été menée par l'Andra au début des années 1990 à Mol. La seconde a été effectuée dans le cadre d'un projet européen auquel contribuait l'Andra et s'est étendue de 2001 à 2006. À partir du retour d'expérience de ces expérimentations, un travail de simulation numérique a été entrepris à partir de 2008 tout d'abord par un sous-traitant de l'Andra puis directement par des ingénieur.es de l'Andra. Ces

694 Andra (ed.), « Audition CNE – Andra du 15 janvier 2009 : Projet HAVL », 2009.

695 *Ibid.*

simulations sont destinées à évaluer les ordres de grandeur de l'évolution temporelle des phénomènes et ainsi d'aiguiller la conception de l'essai (géométrie, choix et position des capteurs, choix du dispositif de ventilation contrôlée...) Le calcul des temps caractéristiques des phénomènes permet également de définir les cycles de variation de l'hydrométrie durant l'essai.

La réalisation d'un essai dans le laboratoire souterrain nécessite de trouver une place où implanter cet essai. En effet, le creusement du laboratoire est progressif et répond aux besoins des chercheurs et chercheuses de l'Andra. À la fin de l'année 2008, l'architecture du laboratoire est la suivante (Figure 18).

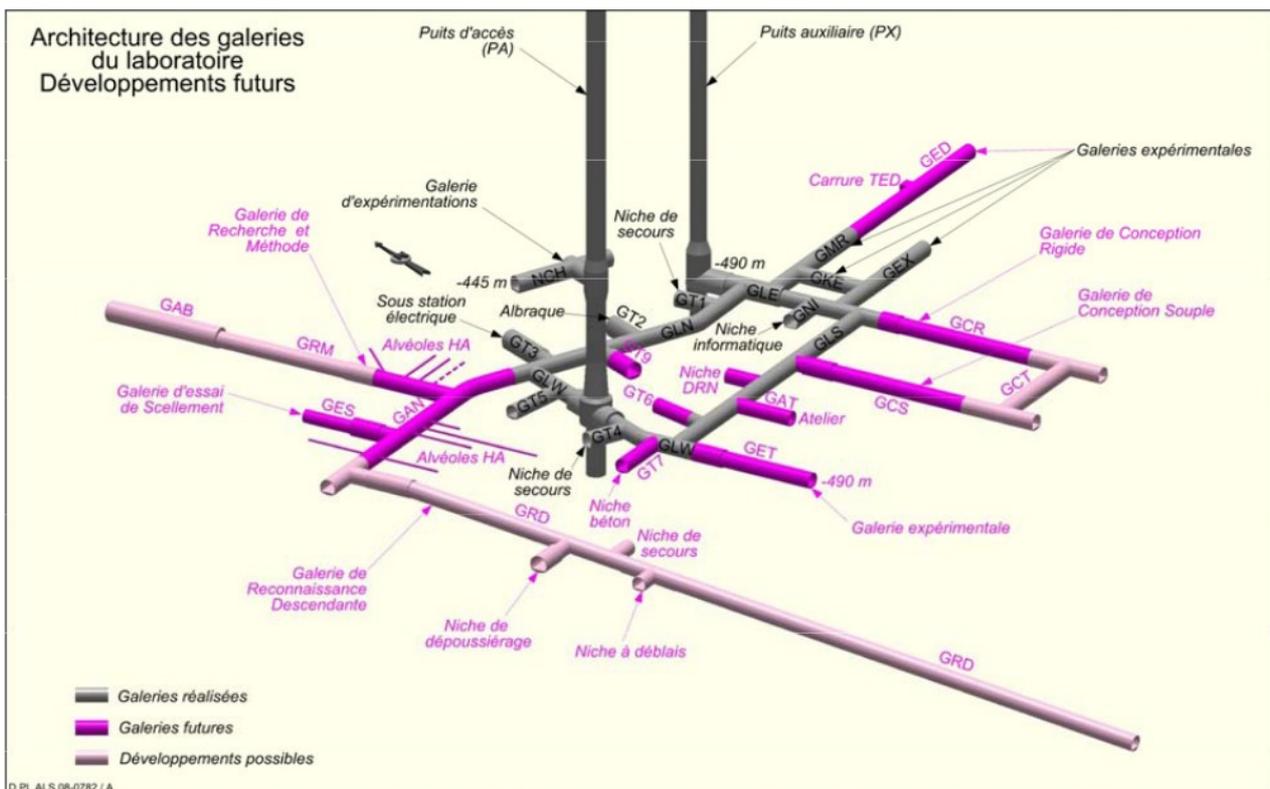


Figure 18. Représentation 3D de l'architecture du laboratoire souterrain de Bure à la fin de l'année 2008 et des développements futurs de celui-ci (ANDRA (ed.), « Audition CNE – Andra du 15 janvier 2009 : Projet HAVL », 2009)

Sur ce schéma, les galeries représentées en gris sont celles déjà construites. Les galeries violettes sont celles dont le creusement est prévu et les galeries roses, celles dont le creusement est envisagé. L'essai SDZ doit être implanté à l'extrémité de la galerie GED (Galerie Expérimentale Deux, en haut à droite sur le schéma). Étant donné que cet essai doit avoir lieu dans une atmosphère contrôlée, la décision d'implanter celui-ci dans une galerie qui n'est pas encore creusée est un avantage. Ainsi, durant le creusement de la galerie, un ensemble d'observations et de mesures peuvent être réalisées. Sont prévus : des relevés géologiques des parois de la galerie et des mesures de la convergence de la galerie, des mesures de la température et de l'hydrométrie induites par la

ventilation du chantier ainsi que des prélèvements sur la paroi de la galerie pour mesurer leur teneur en eau. Ces éléments doivent permettre aux chercheurs et chercheuses de l'Andra de connaître l'historique détaillé de cette galerie et de la roche avant le début de l'essai. Le creusement des galeries du laboratoire au fur et à mesure des besoins des recherches impose néanmoins une planification relativement importante et longue des essais avant l'installation des équipements de mesure et le début des relevés.

L'essai SDZ est implanté sur un tronçon de galerie de 7,2 mètres de longueur. Cinq mètres au fond de la galerie sont isolés et réservés pour d'autres essais. Un sas étanche isole les derniers 12,2 mètres de la galerie. Perpendiculairement à l'axe de la galerie, plusieurs forages sont prévus. Ceux-ci sont équipés de capteurs permettant de relever, à différentes distances de la paroi de la galerie, des mesures de la pression dans les pores de la roche, du degré de saturation de la roche et de la convergence de la galerie. De plus, des observations régulières de la paroi de la galerie sont prévues ainsi que des carottages dans la roche. La figure ci-dessous (*Figure 19*) montre la répartition des forages équipés de capteurs autour de la galerie GED.

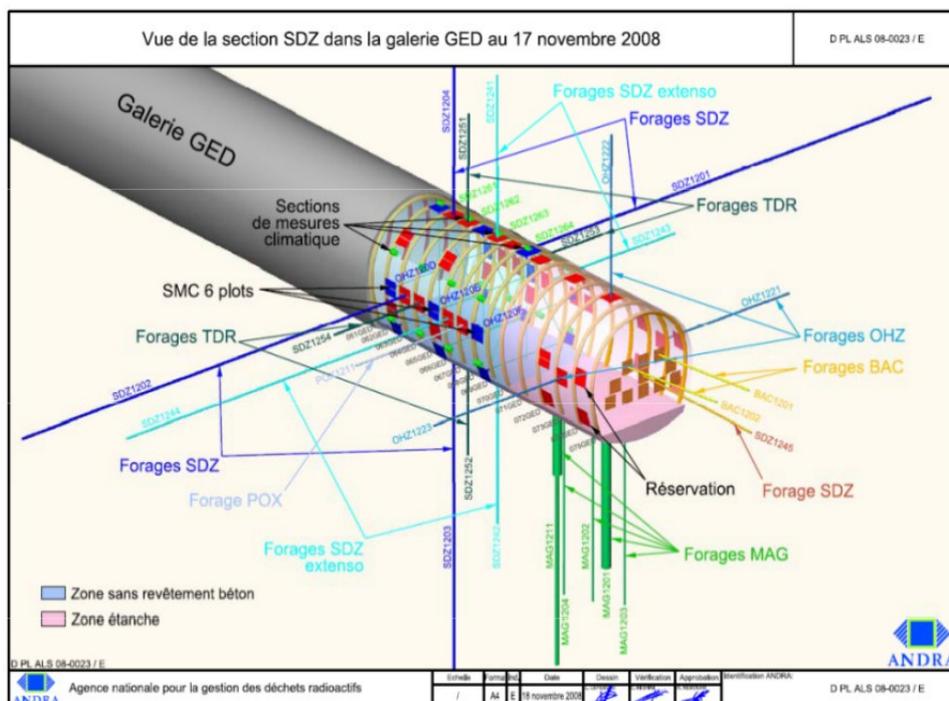


Figure 19. Représentation 3D de la répartition des forages équipés de capteurs de l'essai SDZ autour de la galerie GED (ANDRA (ed.), « Audition CNE – Andra du 15 janvier 2009 : Projet HAVL », 2009)

La fond de la galerie où est implanté l'essai SDZ est creusé entre les mois de décembre 2008 et janvier 2009⁶⁹⁶. Jusqu'en mai 2009, des mesures hydrométriques et climatiques sont effectuées dans ce fond de galerie. L'instrumentation de cet essai est réalisé entre juin et août 2009. Le sas isolant l'essai du reste de la galerie est fermé en septembre 2009. En 2015, des mesures étaient toujours réalisées. Celles-ci ont apporté différents enseignements aux chercheuses et aux chercheurs de l'Andra sur la porosité de l'EDZ. Notamment, l'essai SDZ a permis de montrer que la désaturation en eau de la roche est limitée à la zone fracturée de l'EDZ et qu'elle n'influe pas sur la teneur en eau de la zone microfissurée de l'EDZ (située plus loin de la paroi que la zone fracturée). La photo de la *Figure 20* montre l'intérieur de la galerie SDZ. Les tiges perpendiculaires qui se croisent au milieu de la galerie permettent de mesurer la convergence de la galerie (sa déformation sous l'action de la roche environnante).



Figure 20. Photo de l'intérieur de la galerie SDZ
(Théophile GUILLON, « Comportement hydromécanique des argilites du Callovo-Oxfordien lors de cycles de désaturation-resaturation » Thèse de doctorat, Nancy-Université, Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy, 2011, p.112)

696 Théophile Guillon, « Comportement hydromécanique des argilites du Callovo-Oxfordien lors de cycles de désaturation-resaturation », Thèse de doctorat, Nancy-Université, Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy, 2011, p. 168.

Au-delà des mesures obtenues par cet essai, c'est l'organisation même de la recherche dans le laboratoire souterrain qu'il me semble importante de souligner. Si le temps de la mise en place de cet essai dans le laboratoire souterrain (trois ans entre la planification de l'expérience SDZ et les premiers résultats expérimentaux) n'a rien d'exceptionnel, il nécessite néanmoins une anticipation importante des questions qui pourraient être adressées à l'Agence par ses évaluateurs. La construction du programme scientifique de l'Agence est longuement discutée notamment avec les membres de la CNE et du Conseil scientifique de l'Agence. Par ailleurs, le temps nécessaire à la mise en place des essais dans le laboratoire souterrain donne une importance à la simulation préalable des phénomènes que les chercheurs et les chercheuses souhaitent observer pour le dimensionnement des essais. Les mesures produites expérimentalement permettent en retour de valider ou d'ajuster les modèles utilisés dans les outils de simulation numérique.

1.3. DÉMONTRER LA FAISABILITÉ TECHNIQUE DU STOCKAGE

Si l'apport par l'Andra d'éléments assurant sa maîtrise scientifique de l'évolution du stockage est un élément stratégique central guidant la conception de son programme scientifique, la recherche d'une maîtrise technologique et industrielle de la conception du stockage occupe également une part importante des recherches. Au printemps 2009 débute un essai de creusement, dans le laboratoire souterrain, de cinq alvéoles d'un diamètre comparable à celles destinées à accueillir les colis de déchets HAVL dans le concept de stockage retenu alors par les ingénieurs de l'Andra. Pour l'Agence, l'objectif principal de cet essai est de montrer sa capacité à forer des alvéoles horizontales, rectilignes, de 70 centimètres de diamètre et dont l'espacement entre la paroi de la roche et le chemisage métallique est limité à 2 centimètres sur l'ensemble du diamètre⁶⁹⁷. Il s'agit ainsi avant tout de tester la machine à même de creuser ces alvéoles et la mise en place par poussage du chemisage métallique. Celui-ci est composé de tronçons tubulaires de 2 mètres de long.

697 Andra (ed.), « Audition restreinte CNE – Andra des 25 et 26 mars 2010. Programme expérimental et démonstrateurs en laboratoire souterrain, Ete et ZIRA », 2010.

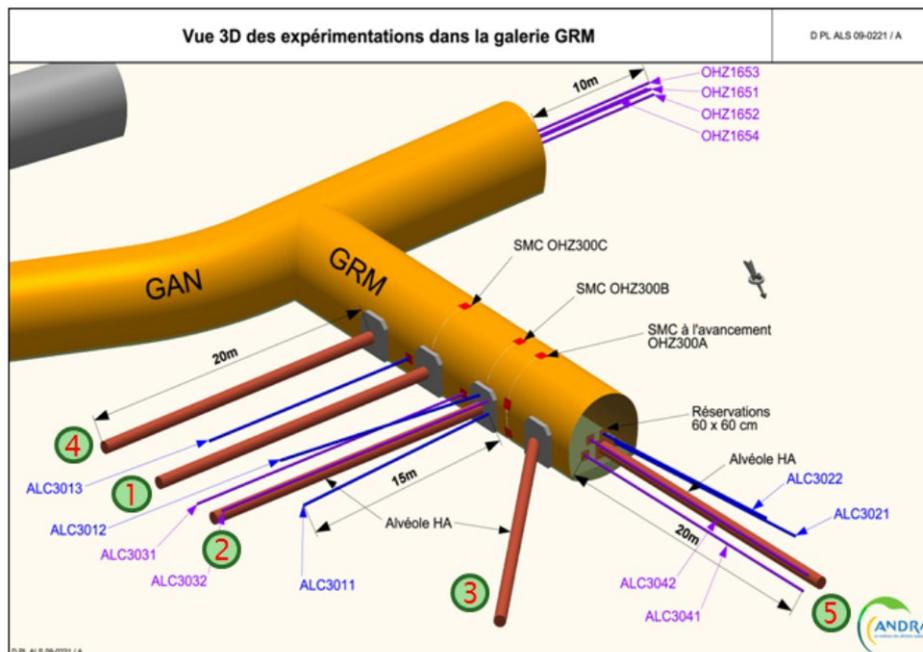


Figure 21. Représentation 3D de l'essai de forage d'alvéoles HAVL (ANDRA (ed.), « Audition restreinte CNE – Andra des 25 et 26 mars 2010. Programme expérimental et démonstrateurs en laboratoire souterrain, Ete et ZIRA », 2010)

Cet essai a aussi pour objectif d'étudier l'impact hydraulique et mécanique du creusement de ces alvéoles sur la roche, le comportement mécanique des alvéoles et l'endommagement de leur paroi. Ainsi, durant le creusement, les paramètres de celui-ci, notamment la pression exercée par l'outil de forage sur la roche, sont enregistrés. De plus, plusieurs forages équipés de capteurs sont implantés dans la roche autour des trajectoires prévisionnelles des alvéoles afin de mesurer les conséquences du creusement sur la roche. Une fois les alvéoles creusées, une auscultation vidéo de leur paroi et des mesures de leur convergence sont prévues. Dans le laboratoire souterrain, les essais ont souvent plusieurs objectifs. La figure ci-dessus (*Figure 21*) représente l'implantation prévisionnelle des cinq alvéoles de cet essai (en rouge, numérotées de 1 à 5) dans la galerie GRM (en jaune). Cette galerie GRM est située à gauche sur la représentation du stockage de la *Figure 18*. En bleu, le long des alvéoles, sont représentés les forages équipés de capteurs.

Le forage de la première alvéole (alvéole 1 sur le schéma) débute à la fin du mois de mars 2009. Cependant, la pose du chemisage dans l'alvéole est interrompue au bout de 9,5 mètres et non de 20 mètres comme initialement prévu. L'accumulation de débris dans l'alvéole, la difficulté d'aligner les tronçons successifs du chemisage et le faible espace entre celui-ci et la roche expliquent en partie cet échec. Le forage de l'alvéole, uniquement de jour, a aussi entraîné la convergence de l'alvéole durant la nuit et a contribué au blocage du chemisage. L'essai est poursuivi

par le forage de l'alvéole 5, orientée perpendiculairement par rapport à l'alvéole 1. Cette fois, le forage est effectué en continu : trois équipes se succèdent jours et nuits. Ce forage est mené jusqu'à la longueur de 20 mètres prévue. Néanmoins, l'observation de la paroi de l'alvéole montre une importante sur-excavation par rapport au cahier des charges fixé.

Le forage d'une troisième alvéole (l'alvéole n° 4 sur le schéma) est réalisé jusqu'à 20 mètres suite à une adaptation du cahier des charges de l'essai (augmentation de l'espacement entre la paroi de l'alvéole et le chemisage, optimisation de l'évacuation des résidus du forage...) L'alignement des tronçons du chemisage dans cette troisième alvéole n'est pas encore satisfaisant. Le forage des deux dernières alvéoles de l'essai (alvéoles n° 2 et n° 3) est reporté au printemps 2010. En effet, le retour d'expérience des trois premiers essais conduit les ingénier.es de l'Andra à modifier l'outil de forage et adapter la conception du chemisage afin d'en faciliter la pose. Outre les difficultés techniques auxquelles ce premier essai de forage d'alvéoles s'est confronté, celui-ci a également mis en évidence que la pression exercée par le forage sur la roche est bien supérieure à la grandeur modélisée. La pression exercée par l'outil de forage et la chaleur dégagée par le creusement de la roche, qui n'étaient pas prises en compte dans les modélisations, pourraient expliquer les grandeurs de pression mesurées *in situ*. Cet essai a aussi montré que la déformation des alvéoles sous l'action des contraintes géophysiques a principalement lieu durant les trois premiers mois après leur forage. La mesure de cette convergence des alvéoles est cohérente avec les observations de la convergence des galeries effectuées auparavant.

Ce premier essai de forage d'alvéoles depuis le laboratoire souterrain s'est heurté à des difficultés majeures : les alvéoles ne sont pas conformes au cahier des charges fixé, tant au niveau de l'espacement entre la roche excavée et le chemisage que pour l'alignement des tronçons du tubage. Or, l'espacement entre le chemisage et la roche est un paramètre important : la quantité d'air qui s'y trouve influe sur la corrosion des conteneurs et la géochimie à l'interface entre les colis et la roche. De plus, l'alignement du chemisage est nécessaire pour assurer la réversibilité du stockage : ressortir des colis de déchets d'une alvéole non-linéaire semble bien plus difficile que si celle-ci est rectiligne.

CONCLUSION PARTIELLE

À partir de 2007, l'exploitation du laboratoire souterrain se développe fortement et de nombreux essais y sont implantés. Ces recherches s'appuient sur des groupements de laboratoires thématiques, financés par l'Andra, qui regroupent plusieurs institutions, publiques et privées, autour de problématiques liées à l'évacuation géologique des déchets nucléaires. L'effort de recherche fourni tend à affiner l'étude des phénomènes qui influent sur l'évolution du stockage et la migration des radionucléides. Ainsi, il ne s'agit plus seulement de caractériser les propriétés de rétention des barrières qui constituent le stockage mais d'étudier le couplage des différents phénomènes, notamment dans les zones à l'interface entre plusieurs matériaux. La possibilité nouvelle de mener des expérimentations dans le laboratoire souterrain permet la production d'un ensemble de données jusqu'alors impossibles à acquérir.

Le travail des chercheuses et des chercheurs engagés dans les groupements de laboratoires et l'affinement des questionnements ont plusieurs effets. D'une part, ils améliorent la compréhension des phénomènes qui guident l'évolution du stockage. L'accumulation de ces connaissances donne à l'Andra une position singulière : l'Agence possède désormais un capital de connaissances bien supérieur aux autres institutions. Après 2006, jamais les salarié.es de l'Andra ne sont mis en difficulté sur l'affinement de leur compréhension de l'évolution du stockage, par les membres de la CNE ou d'autres institutions évaluatrices du travail de l'Agence, comme ils ont pu l'être avant 2005 (cf. chapitres 2 et 4). D'autre part, la multiplication de ces études complexifie fortement la compréhension de l'évolution du stockage. En effet, cette production de savoir ouvre sans cesse de nouveaux questionnements. Cette dynamique propre au travail scientifique dans laquelle la production de savoir s'accompagne d'interrogations nouvelles sur les limites des connaissances produites peut s'avérer gênante, lorsqu'il s'agit de montrer la sûreté d'un ouvrage (cf. chapitre 7)⁶⁹⁸.

L'organisation même de la recherche à l'Andra accentue la visibilité des incertitudes induites par les recherches qui se développent dans le laboratoire souterrain. Ainsi, les chercheurs et les chercheuses recevant des financements de l'Andra ont tout intérêt à montrer qu'il existe encore des incertitudes dans leur domaine pour continuer à être financé.es par l'Agence. Une telle stratégie est aussi mise en œuvre par les chercheurs et les chercheuses de l'Andra lorsque l'industrialisation du projet de stockage (et la rigueur budgétaire post-crise de 2008) déplace le cœur stratégique de l'activité de l'Agence des recherches dans le laboratoire souterrain vers la réalisation opérationnelle de Cigéo. Il ne s'agit pas ici de dire que les incertitudes sont produites par l'organisation de la

698 Thomas S. Kuhn, *La Structure des révolutions scientifiques*, trad. Laure Meyer, Paris, Flammarion, 2008.

recherche à l'Andra. Ces incertitudes sont inhérentes au travail scientifique, et l'organisation de la recherche à l'Andra pousse parfois les chercheuses et les chercheurs à mettre ces incertitudes en avant.

Par ailleurs, à partir de 2007 et jusqu'à ce que s'approche la demande d'autorisation de Cigéo, la direction de l'Andra cherche à présenter l'Agence avant tout comme une institution de recherche. Les tractations engagées dès 2009 afin que l'Andra soit évaluée par l'Agence d'Évaluation de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur (AERES) sont, à mon avis, un révélateur de cette démarche⁶⁹⁹. La réalisation d'essais technologiques sur la faisabilité industrielle du stockage amène, par ailleurs, des difficultés nouvelles pour les salarié.es de l'Agence. qui ont des incidences non seulement sur la conception du stockage, mais aussi sur son évolution phénoménologique. Ainsi, le volume des vides technologiques dans les alvéoles détermine la quantité d'oxygène présente dans celles-ci et de ce fait, ce paramètre influe sur la corrosion des conteneurs et leur capacité de rétention des radionucléides. De même, la réalisation de scellements laissant s'échapper le dihydrogène gazeux produit par la corrosion anoxyque des conteneurs détermine la pression au contact de la roche et l'éventuelle sur-fracturation que celle-ci pourrait entraîner.

II. IMPLANTATION LOCALE, GESTION DE LA CRITIQUE ET FINANCEMENT DU STOCKAGE

II.1. OÙ IMPLANTER LE STOCKAGE ?

Entre 1991 et 2005, la direction et les communicant.es de l'Andra l'ont maintes et maintes fois répété : le laboratoire souterrain ne sera pas transformé en stockage géologique. Cependant, comme le soulignaient déjà les conclusions du programme Pagis à la fin des années 1980, l'étude des possibilités d'évacuer géologiquement des déchets nucléaires doit être focalisée sur un site précis : des études génériques sur l'évolution d'un stockage ne peuvent suffire à montrer la sûreté d'un tel ouvrage. Dès lors, les études menées par les géologues de l'Andra en Meuse et en Haute-Marne sont destinées à qualifier la possibilité d'un stockage dans l'argilite du Callovo-Oxfordien (Cox). Dans le *Dossier 2005*, les géologues de l'Andra ont défini une zone de transposition de 250 km² sur laquelle ils estiment que les propriétés physico-chimiques du Callovo-Oxfordien sont

⁶⁹⁹ Aeres (ed.), *Rapport d'évaluation de l'Agence nationale de gestion des déchets radioactifs (Andra)*, septembre 2012.

similaires à celles observées dans le laboratoire souterrain⁷⁰⁰. Au Sud, cette zone est limitée par la diminution de l'épaisseur de la couche en dessous de 130 mètres, valeur considérée comme minimale pour la sûreté d'un stockage. La zone est limitée à l'est par le fossé de Gondrecourt, accident tectonique majeur de la région, au Nord par une transformation de la composition minéralogique du Cox et à l'ouest par l'enfoncement de la couche d'argilite en deçà de 630 mètres qui perturbe ses propriétés mécaniques et complexifie le creusement des ouvrages⁷⁰¹.

La définition d'une zone précise où implanter un stockage est la première échéance stratégique pour la direction de l'Andra après la loi de 2006. Il s'agit non seulement de déterminer la zone en profondeur où pourraient être implantés les ouvrages de stockage mais aussi les zones en surface où pourraient être construites les installations permettant l'acheminement des salariés, des machines et des déchets en profondeur et à proximité desquelles les résidus miniers seraient déposés. Si les implantations des zones souterraines et de surface sont liées, des marges de manœuvre existent, notamment car les colis seront acheminés sous terre par une descenderie inclinée (cf. *Figure 22* ci-dessous).

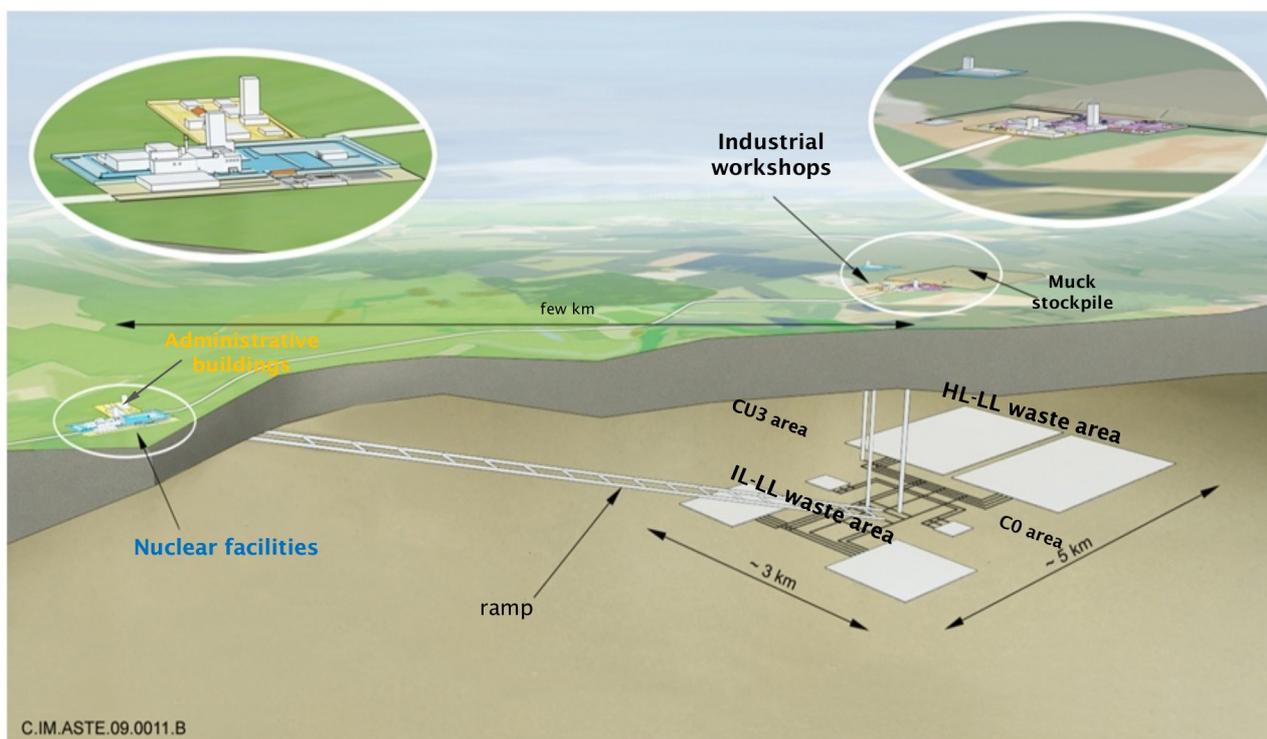


Figure 22. Représentation de l'architecture prévisionnelle du stockage Cigéo en 2009 (Patrick LANDAIS, « La gestion des déchets radioactifs en France », *Andra*, 2010)

700 Andra (ed.), *Dossier 2005. Argile. Tome Évolution phénoménologique du stockage géologique*, juin 2005, p. 41.

701 *Ibid.*, p. 119.

La loi de 2006 prévoit que l'Andra dépose une demande d'autorisation de construction (DAC) pour un stockage en 2015. Sous réserve de l'acceptation de cette demande, l'exploitation du stockage doit débuter en 2025. La loi prévoit également que la DAC soit précédée d'un débat public et d'une loi déterminant les conditions de réversibilité du stockage. Suivant le calendrier établi par la direction de l'Andra, le débat public est prévu en 2013. La détermination de la localisation des installations de stockage en 2009 doit permettre de produire pour le débat public un dossier de présentation du stockage suffisamment étayé⁷⁰². Les deux ans entre 2013 et 2015 sont destinés à prendre en compte les retours du débat public avant le dépôt de la demande d'autorisation du stockage.

En 2005, l'Andra a démontré que la construction d'un stockage est possible sur toute la zone de transposition. Afin de définir une Zone d'Intérêt pour la Reconnaissance Approfondie (ZIRA), à l'intérieur de la zone de transposition, sur laquelle focaliser leurs reconnaissances géologiques, les ingénieurs de l'Andra ont déterminé un ensemble de critères techniques et politiques justifiant leur choix. D'une part, il s'agit de sélectionner les zones où les qualités géologiques sont les meilleures en terme de sûreté (profondeur, épaisseur, faible diffusion, faible perméabilité) et qui soient suffisamment larges pour accueillir les installations de stockage telles qu'elles sont alors conçues. D'autre part, la ZIRA doit permettre d'implanter l'entrée de la descenderie dans la zone limitrophe entre la Meuse et la Haute-Marne, les puits d'accès doivent être dans une zone boisée et le stockage ne doit pas être situé sous des zones urbanisées – afin de limiter les critiques plus que pour limiter les risques⁷⁰³. Ainsi, la localisation de la ZIRA est choisie en fonction des propriétés géologiques de la roche et de critères liés à l'aménagement du territoire. Ce choix de l'implantation de la ZIRA fait l'objet d'échanges entre la direction de l'Andra, les élus locaux et les membres du Comité Local d'Information et de Suivi (Clis). Étant donné que les salarié.es de l'Andra ont montré en 2005 la possibilité d'implanter un stockage sur une large zone autour de Bure, le choix d'une zone restreinte où implanter le stockage pose peu de difficultés aux salarié.es de l'Agence. La possibilité de détacher en partie les choix de l'implantation des installations de surface et des installations souterraines simplifie également la sélection des zones où construire les ouvrages de stockage.

702 Claire Kerboul, *Compte-rendu définitif audition restreinte Andra du 6 octobre 2010. Point de vue de l'Andra sur le rapport n° 4 de la CNE2 & enjeux de la stratégie d'industrialisation du projet HA-MAVL*, CNE2, 12 juin 2010.

703 Andra (ed.), « Implantation du stockage profond : choix d'une zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie (ZIRA) », 2010, p. 29.

II.2. L'ÉVALUATION DIFFICILE DES RECHERCHES EFFECTUÉES PAR L'ANDRA

La proposition d'une ZIRA au gouvernement a amené les salarié.es de l'Andra à publier un rapport justifiant son choix, le *Dossier 2009*. Le Comité Local d'Information et de Suivi (Clis) de Bure a demandé à l'Institut pour la Recherche sur l'Énergie et l'Environnement (*Institute for Energy and Environmental Research*, IEER), cabinet d'expertise états-unien, de procéder à une évaluation de ce dossier. Les six chercheurs embauchés par l'IEER ont produit une analyse de la documentation fournie par l'Andra et certains d'entre eux ont visité le laboratoire souterrain de Bure en août 2010. Déjà en 2004, le Clis a commandé une expertise des travaux de l'Andra à l'IEER. Ce premier rapport de l'IEER analysait le *Dossier 2001* publié par l'Andra (cf. chapitre 5) et il relevait un certain nombre de domaines dans lesquels les recherches effectuées à l'Andra étaient encore trop préliminaires pour pouvoir assurer la possibilité de concevoir un stockage sûr.

II.2.1. LES EXPERTS DE L'IEER SUBMERGÉS PAR LA DOCUMENTATION DE L'ANDRA

Les conclusions des experts de l'IEER à propos du *Dossier 2009* sont bien moins critiques que celles de leur précédente évaluation. Avant de les détailler quelque peu, il me semble important de faire une remarque sur la communication de documents scientifiques par l'Andra à l'IEER. En 2005, les experts de l'IEER ont vivement critiqué le fait que l'Andra ne communique pas assez les résultats des recherches qu'elle effectue. L'IEER appelait alors l'Andra à plus de transparence. Le coordinateur du rapport de l'IEER, Arjun Makhijani, notait :

« *Le programme de recherche de l'ANDRA n'est pas suffisamment transparent pour permettre d'émettre des avis indépendants sur de nombreux aspects de ce programme dans les délais impartis*⁷⁰⁴. »

En 2009, l'accès aux documents de l'Andra par les experts de l'IEER a été bien différent. Dans l'introduction du rapport de 2010, Arjun Makhijani souligne que son équipe a eu du mal à analyser l'ensemble de la documentation fournie par l'Andra. Il souligne aussi dans les remerciements et le post-cryptum du rapport qu'à deux reprises, la direction de l'Andra a fourni à la

704 A. Makhijani et A. Makhijani, *Examen critique du programme de recherche de l'ANDRA pour déterminer l'aptitude du site de Bure au confinement géologique des déchets à haute activité et à vie longue*, op. cit., p. 20.

demande l'IEER des documents supplémentaires⁷⁰⁵. A. Makhijani indique par ailleurs que les sources qui permettent aux équipes de recherche de l'Andra d'étayer leurs conclusions ne sont pas notées dans les rapports de l'Agence⁷⁰⁶. Il souligne ainsi :

« Dans ces conditions, nous ne pouvons pas être certains que les lacunes que nous avons constatées sont, dans tous les cas, des lacunes réelles ou si les données sont « enfouies » dans une quelconque publication⁷⁰⁷ ».

Le 14 février 2011, trois membres de l'IEER ont présenté la première version de leur rapport au Clis. Le 16 février, ils ont échangé avec des salarié.es de l'Andra auxquels ils avaient communiqué leur questions. Pour plusieurs d'entre elles, les précisions apportées par les salarié.es de l'Andra ont amené les membres de l'IEER à revoir leur rapport. Les conclusions du rapport de l'IEER débutent ainsi :

« dans un certain nombre de domaines, l'Andra est à l'avant-garde en ce qui concerne la recherche en laboratoire souterrain. Son excellent travail, seule ou en collaboration avec des organismes internationaux, a fait avancer l'état de l'art de la science et l'ingénierie de mise en stockage. Ses efforts de recherche, à l'appui de son programme de stockage de Bure, sont remarquables et impressionnants. Le large éventail des efforts approfondis est absolument remarquable. Lors de sa visite du 18 août 2010, l'équipe de l'IEER a été très impressionnée par le travail effectué dans le laboratoire souterrain⁷⁰⁸. »

Ainsi, après la loi de 2006 et alors que les expérimentations dans le laboratoire souterrain de Bure se développent fortement, la direction de l'Andra a choisi de répondre favorablement aux demandes de documentation de l'IEER. Les salariés de ce cabinet d'expertise de petite taille se sont ainsi trouvés quelque peu submergés par les rapports fournis par l'Andra. Que les liens entre les recherches effectuées et les conclusions de l'Agence ne soient pas explicitées dans les documents de l'Andra a complexifié plus encore le travail des experts de l'IEER. Il existe une forte asymétrie de moyens entre l'Andra et l'IEER. L'Agence a accumulé plus de dix ans de recherches sur le Callovo-Oxfordien. Elle est désormais à la pointe des recherches sur l'évacuation géologique des déchets nucléaires.

705 Arjun Makhijani, Jaak Daemen, George Danko, Gerhard Jentzsch, Elena Kalinina et Krishan Wahi, *Examen critique du programme de l'Andra sur les recherches effectuées dans le laboratoire souterrain de Bure et sur la zone de transposition pour définir une ZIRA. Rapport final*, Institute for Energy and Environmental Research, 9 mars 2011, pp. 7, 11.

706 *Ibid.*, p. 11.

707 *Ibid.*

708 *Ibid.*, p. 13.

II.2.2. DES CRITIQUES DISCRÉDITÉES

Les commentaires critiques de l'IEER sont de plusieurs ordres. Ils ne traitent pas en particulier du choix de la ZIRA qui était l'objet même du *Dossier 2009* de l'Andra et de la demande d'expertise du Clis. Les commentaires de l'IEER ont fait l'objet d'une réponse technique de l'Andra parue en novembre 2011⁷⁰⁹. Les remarques de l'IEER reflètent pour beaucoup la difficulté pour les experts de l'Institut états-unien à se repérer dans la documentation fournie par l'Andra⁷¹⁰. En réponse, les salarié.es de l'Andra ont précisé les références utilisées pour étayer leurs conclusions. Par ailleurs, les documents analysés par l'IEER dataient pour plusieurs d'entre eux de 2005 : en réponse au rapport de l'Institut, l'Andra a indiqué également les recherches entreprises depuis, notamment dans le laboratoire souterrain, qui permettent de répondre à certaines questions formulées par les experts états-uniens. Certaines questions de l'IEER relèvent également de la stratégie de gestion nationale des déchets nucléaires (inventaire des déchets destinés au stockage, calendrier des travaux). De plus, les experts de l'IEER ont reproché à l'Andra de peu recourir à des analyses probabilistes, alors que la réglementation française stipule que les analyses de sûreté doivent être menées de manière déterministe⁷¹¹.

Le désaccord le plus marqué entre l'Andra et de l'IEER concerne l'homogénéité (ou non) de la formation argileuse. Pour les experts de l'IEER, les salarié.es de l'Andra ont une approche globalement optimiste des performances du stockage qui les amène à concevoir le Callovo-Oxfordien comme une formation homogène et de ce fait, à considérer qu'à très long terme, la roche se comportera comme un fluide idéal et le site sera alors dans un état proche de celui antérieur à la construction du stockage⁷¹². Pour les géologues de l'Andra, il existe bien des « *variabilités* » minéralogiques et physico-chimiques dans le Callovo-Oxfordien néanmoins ces variations ont été prises en compte et ne constituent pas une « *hétérogénéité* » de la formation géologique⁷¹³. De plus, pour les salarié.es de l'Agence, le caractère optimiste des conclusions, pointé par l'IEER, est principalement dû au recours par l'Agence à des méthodes déterministes. En effet, dans sa réponse, la direction de la R&D de l'Andra relève que l'IEER n'a pas étudié les scénarios altérés analysés par l'Andra⁷¹⁴. Pourtant, dans ces scénarios, les conséquences de situations dégradées résultant d'une évolution pessimiste du stockage sont prises en compte. Ainsi, la divergence d'appréciation entre

709 Andra (ed.), *Réponse technique de l'Andra au rapport de l'IEER*, 25 novembre 2011.

710 Patrick Lebon, *Rencontre du 16 février 2011. Réponses Andra aux questions IEER*, Andra, 28 février 2011.

711 C. Foasso, *Histoire de la sûreté de l'énergie nucléaire civile en France (1945-2000)*, op. cit.

712 A. Makhijani, J. Daemen, G. Danko, G. Jentzsch, E. Kalinina et K. Wahi, *Examen critique du programme de l'Andra sur les recherches effectuées dans le laboratoire souterrain de Bure et sur la zone de transposition pour définir une ZIRA. Rapport final*, op. cit., pp. 14-15.

713 Andra (ed.), *Réponse technique de l'Andra au rapport de l'IEER*, op. cit., p. 6.

714 *Ibid.*

des représentations du Callovo-Oxfordien comme une formation homogène dans laquelle des variations locales des propriétés géophysiques sont observées, ou comme une formation hétérogène, est assimilée, dans la réponse fournie par l'Andra au rapport de l'IEER, à la différence de norme dans la manière de mener l'évaluation de la sûreté d'un projet de stockage – que l'Institut souligne par ailleurs.

Globalement, la direction de l'Andra n'a pas été gênée par la contre-expertise de l'IEER et elle a su tirer profit de celle-ci en soulignant l'appréciation globalement élogieuse de l'IEER sur la qualité des recherches effectuées à l'Andra. Le travail de l'Agence est régulièrement évalué, notamment par la Commission Nationale d'Évaluation (CNE) et l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN). Ces évaluations sont légalement instituées et la direction de l'Andra doit composer avec elles. Non seulement l'Andra n'a aucune obligation ni de répondre ni de satisfaire aux recommandations formulées par l'IEER dans son évaluation ponctuelle commandée par le Clis mais l'extériorité de l'Institut états-unien et sa faible taille sont deux faiblesses supplémentaires pour peser sur les recherches menées par les salarié.es de l'Andra.

À titre de comparaison, en juin 2010, la CNE a publié son rapport d'évaluation annuel. Lors de la rencontre entre la directrice générale de l'Andra, le directeur de la R&D de l'Agence et les membres de la CNE en octobre 2010, les deux représentant.es de l'Andra ont souligné l'embarras dans lequel un point du rapport de la CNE les place. En effet, les membres de la CNE ont souligné que l'Andra ne dispose par encore d'un modèle thermohydromécanique de l'évolution de la roche⁷¹⁵. Pourtant, les membres de la CNE estiment qu'un tel modèle « *est indispensable pour prévoir l'évolution des ouvrages et ses conséquences en matière de sûreté et de réversibilité* »⁷¹⁶. Lors de leur rencontre, la directrice générale et le directeur de la R&D de l'Andra ont fait part de leur inquiétude sur la capacité de l'Andra, et d'une manière plus large de la communauté scientifique, à pouvoir répondre à cette demande de la CNE⁷¹⁷. Si les deux représentant.es de l'Andra soulignent le travail effectué dans ce domaine et celui qu'il est encore possible de faire pour améliorer la qualité de ce modèle, le directeur de la R&D pointe qu'il doute de la capacité des équipes qui travaillent avec l'Andra de parvenir à faire dans un avenir proche ce qu'aucune équipe de recherche au monde n'a encore réussi à faire⁷¹⁸. La proposition du géomécanicien de la CNE, P. Berest, d'organiser une journée de travail afin d'aborder le fond de cette question de modélisation thermohydromécanique est accueillie favorablement par Marie-Claude Dupuis, directrice générale de l'Agence.

715 Commission Nationale d'Évaluation (ed.), « Rapport d'évaluation n° 4 ».

716 *Ibid.*

717 C. Kerboul, *Compte-rendu définitif audition restreinte Andra du 6 octobre 2010. Point de vue de l'Andra sur le rapport n° 4 de la CNE2 & enjeux de la stratégie d'industrialisation du projet HA-MAVL*, op. cit., p. 5.

718 *Ibid.*

Il me semble que cette comparaison entre les évaluations effectuées par l'IEER et la CNE éclaire plusieurs points. D'une part, la contre-expertise produite par les experts de l'IEER est considérée par les salarié.es de l'Agence comme une tracasserie inutile. L'envoi d'un nombre important de documents que la petite équipe de l'IEER a eu du mal à traiter d'une part, puis le dévoilement en réponse au rapport de l'Institut des références d'un certain nombre de publications qui viennent justifier les conclusions de l'Andra d'autre part, ont permis de gérer relativement efficacement la contre-expertise commandée par le Clis. L'Andra est ressortie renforcée de cet épisode : non seulement les experts de l'IEER ont souligné la qualité des recherches effectuées mais les salarié.es de l'Andra ont aussi montré qu'ils sont en mesure de répondre aux critiques formulées par l'Institut. D'autre part, l'évaluation par la CNE peut devenir embarrassante. La Commission évaluera le travail lors de sa demande de construction d'un stockage et il vaudrait mieux que les représentant.es de l'Agence et de la CNE se soient accordé.es auparavant sur ce qu'il est raisonnable d'attendre d'une analyse de sûreté d'un projet de stockage. De plus, l'apprentissage commun des salarié.es de l'Andra et des membres de la CNE fait de ces derniers des critiques beaucoup plus fines des recherches effectuées par l'Andra que les experts de l'IEER. La proximité qui s'est installée entre les membres de l'Andra et de la Commission ainsi que le partage de l'ambition que l'Andra conçoive le stockage le plus sûr possible rend envisageable un travail commun entre des chercheuses et des chercheurs de l'Agence et ceux de la CNE afin de trouver une manière satisfaisante de maîtriser l'évolution du stockage (cf. chapitre 5).

Le traitement par la direction de l'Andra des critiques formulées par les experts de l'IEER et les membres de la CNE relève de stratégies différentes. La proximité des membres de la CNE avec les recherches effectuées à l'Agence les amène à formuler des critiques potentiellement gênantes pour les salarié.es de l'Andra mais une discussion est possible afin de s'accorder sur des représentations communes et acceptables des phénomènes. Au contraire, les critiques de l'IEER sont esquivées par les salarié.es de l'Andra tout d'abord en noyant les chercheurs de l'IEER sous une importante quantité de documents mal référencés puis en réduisant leurs remarques à une opposition culturelle entre partisans d'approches de sûreté probabilistes et déterministes.

Il me semble intéressant de souligner un dernier point à propos de la contre-expertise du travail de l'Andra effectuée par l'IEER. La première recommandation de l'Institut est que la contre-expertise des recherches de l'Andra soit menée de manière plus régulière et accompagne les travaux de l'Agence. L'Institut suggère que ce rôle puisse être assuré par l'IRSN si des moyens lui sont attribués pour cela. Selon les auteurs du rapport de l'IEER, une telle contre-expertise régulière aurait

l'avantage de contrebalancer l'optimisme que lisent les chercheurs états-uniens dans les conclusions de l'Andra. Il est intéressant de noter ici que le rapport de l'IEER s'appuie assez peu sur les rapports d'évaluation publics de la CNE.

Suite à la restitution de la contre-expertise de l'IEER au Clis, les membres du Comité travaillent à une motion sur la poursuite des recherches dans le laboratoire souterrain dont l'autorisation administrative doit alors être reconduite. Les membres du Clis approuvent la poursuite des expérimentations dans le laboratoire souterrain et recommandent la « *mise à disposition dans le laboratoire de niches dédiées à des expérimentations réalisées par des organismes extérieurs, indépendants de l'ANDRA* »⁷¹⁹. Jamais à ma connaissance la direction de l'Andra n'a accepté une telle demande. Ce refus est révélateur d'une part du pouvoir que confère à l'Andra l'exclusivité d'usage du laboratoire souterrain de Bure, et d'autre part de la conscience qu'ont les experts de l'IEER, les membres du Clis et la direction de l'Andra de l'asymétrie créée entre l'Agence et ses évaluateurs par l'exclusivité de l'usage de cet équipement.

II.3. UN STOCKAGE TROP CHER

Durant l'année 2010, le projet de stockage de l'Andra a été quelque peu ébranlé. La remise en cause du projet porté par l'Agence n'est pas venue de militant.es écologistes ou anti-nucléaires mais des producteurs de déchets nucléaires, EDF en tête. Si ces derniers ne contestent aucunement le recours à l'évacuation géologique, ils reprochent à l'Andra d'être incompétente pour gérer industriellement un projet d'une telle ampleur. Le point central de leur critique est le coût du projet de stockage porté par l'Andra.

La direction de l'Andra n'a pas communiqué de chiffre sur les coûts du stockage depuis 2005. En réponse à une question lors d'une audition de la CNE, la directrice générale de l'Andra explique que les représentant.es des tutelles ministérielles de l'Agence refusent toute communication sur le coût du stockage⁷²⁰. En 2003, le coût de la construction du stockage, son exploitation durant cent ans et sa fermeture était estimé à 14,1 milliards d'euros par la Direction Générale de l'Énergie et des Matières Premières⁷²¹. Mi-2010, un article du journal *Les Échos* avance le chiffre de 35 milliards d'euros pour le stockage⁷²². Le chiffrage du coût d'un chantier prévu

719 Benoît Jaquet, *Réunion du 18 avril 2011*, Comité Local d'Information et de Suivi, juillet 2011, p. 25.

720 C. Kerboul, *Compte-rendu définitif audition restreinte Andra du 6 octobre 2010. Point de vue de l'Andra sur le rapport n° 4 de la CNE2 & enjeux de la stratégie d'industrialisation du projet HA-MAVL*, op. cit., p. 4.

721 Commission Nationale d'Évaluation (ed.), « Rapport d'évaluation n° 5 ».

722 Thibaut Madelin, « Déchets nucléaires : EDF inquiet de la dérive des coûts », *Les Échos*, 06/10/2010 p.1

pour durer cent ans est délicat. Il est particulièrement dépendant de l'inflation et la réalisation de provision pour payer ce chantier pose de nombreuses questions que je n'aborde pas dans ce travail. Basak Saraç-Lesavre a soutenu en 2015 une thèse sur cette question⁷²³. L'existence de chiffrages différents du coût du stockage n'est, a priori, pas très surprenant.

Dans un rapport au président de la République sur l'avenir de l'industrie nucléaire française, François Roussely, président d'honneur d'EDF, pointe en juin 2010 l'urgence pour l'Andra de s'associer à EDF, à Areva et au CEA pour planifier opérationnellement la conception de Cigéo⁷²⁴. À ce moment, dans les réunions techniques entre les ingénieur.es de l'Andra et ceux de EDF, les relations se détériorent. En effet, les ingénieur.es d'EDF souhaitent peser sur les choix technologiques de conception du stockage et font également valoir leur expérience dans la maîtrise de grands projets industriels. Cependant, la direction de l'Andra entend garder le contrôle sur la conception de l'ouvrage. Devant le refus de la direction de l'Andra de retenir des options de conception réduisant les coûts du stockage, des salarié.es d'EDF, du CEA et d'Areva travaillent, durant l'année 2010, à une conception du stockage alternative à celle de l'Andra et moins onéreuse.

Le 6 octobre 2010, dans le cadre de l'évaluation du Plan National triennal de Gestion des Matières et Déchets Radioactifs (PNGMDR), Sylvain Granger, directeur de la division Combustibles nucléaires d'EDF est auditionné par l'Office Parlementaire d'Évaluation des Choix Scientifiques et Techniques (Opecst)⁷²⁵. Interrogé par le député Claude Birraux (UMP), il explicite les reproches adressés à l'Andra par les producteurs de déchets et leur propositions pour l'aval du cycle. S. Granger souligne qu'EDF, le CEA et Areva considèrent que l'avancement du développement industriel du projet de l'Andra est insuffisant⁷²⁶. Il note que l'optimisation de l'architecture du stockage par les ingénieur.es de l'Andra n'est pas aboutie. Plus particulièrement, il souligne que les ouvrages souterrains sont trop longs par rapport à la quantité de déchets à stocker. Il cite une étude commandée par EDF montrant que le coût par déchet du projet français est particulièrement élevé : environ deux fois plus important que pour le projet suédois⁷²⁷.

723 Basak Saraç-Lesavre, « Formuler les valeurs du nucléaire : Communautés, équations, budgets et débats autour des déchets nucléaires », Thèse de doctorat, ENSMP, Paris, 2015 ; Basak Saraç-Lesavre, « In Search of an Assessment of the Future. The Case of the US Nuclear Waste Programme », in Markku Lehtonen, Luis Aparicio et Pierre-Benoît Joly (ed.), *Socioeconomic Evaluation of Megaprojects. Dealing with uncertainties*, Routledge, London, 2016, pp. 25-43.

724 François Roussely, *Avenir de la filière nucléaire française. Synthèse du rapport*, 16 juin 2010, p. 11.

725 Christian Bataille et Claude Birraux, *Rapport sur l'évaluation du plan national triennal de gestion des matières et déchets radioactives*, Office Parlementaire d'Évaluation des Choix Scientifiques et Techniques, 2011.

726 *Ibid.*, p. 301.

727 *Ibid.*, p. 302.

Dans le chapitre 1, j'explique qu'en Suède, le choix de réaliser des conteneurs en cuivre rend le projet de stockage suédois plus cher que le projet français. Plusieurs raisons peuvent expliquer qu'en 2010, EDF défende l'inverse. Tout d'abord, dans le chapitre 1, je montre qu'il est difficile d'évaluer précisément les conséquences économiques de choix techniques concernant la gestion des déchets nucléaires. Il existe de fortes variations sur ces estimations économiques en fonction des hypothèses considérées dans les calculs. Il est possible qu'EDF ne prenne pas en

D'une part, dans l'architecture proposée par l'Andra, certaines galeries sont doublées voir triplées afin de séparer les travaux de creusement des ouvrages de l'exploitation du stockage et de la manipulation des déchets⁷²⁸. Les représentant.es des producteurs estiment que le creusement du stockage en une seule fois, et non au fur et à mesure de son exploitation comme le prévoit l'Andra, permettrait de réduire le nombre de galeries à creuser – les mêmes galeries serviraient alors pour le passage des machines et l'évacuation des déblais miniers puis pour la manutention des colis de déchets. D'autre part, les représentant.es des producteurs considèrent que l'architecture proposée par l'Andra comporte trop d'intersections entre les galeries. Une telle architecture empêcherait de recourir à un tunnelier pour creuser le stockage, ce qui réduirait le coût de l'ouvrage par rapport à l'utilisation d'une machine à attaque ponctuelle alors envisagée par l'Andra. Enfin, les représentant.es des producteurs pointent qu'un allongement de 40 mètres à 130 mètres des alvéoles dans lesquelles doivent être stockés les déchets vitrifiés permet de réduire le nombre d'alvéoles nécessaires et ainsi de diminuer la longueur totale des galeries de liaison entre les alvéoles de 100 kilomètres à 40 kilomètres. Une telle option de conception réduirait aussi massivement le coût du stockage⁷²⁹.

Devant l'Opecst, S. Granger plaide pour un changement d'organisation du projet de stockage. L'Andra resterait maître d'ouvrage mais elle serait assistée dans cette mission par un groupement constitué d'EDF, du CEA et d'Areva⁷³⁰. Le représentant d'EDF indique qu'une telle organisation permettrait à l'Andra de bénéficier de la compétence industrielle des producteurs de déchets et de mettre fin à la séparation entre la responsabilité technique qui incombe alors à l'Andra et la responsabilité financière des producteurs de déchets – séparation considérée par S. Granger comme nuisible pour la maîtrise industrielle du projet⁷³¹. Ce dernier défend également que *« l'accroissement du coût [du stockage] s'accompagnait, jusqu'à un certain point, d'une amélioration de la sûreté, au-delà, en induisant des objets complexes, sensibles à différents aléas, il pouvait, au contraire, en l'absence de retour d'expérience, la dégrader⁷³² »*. Le projet des producteurs pourrait ainsi être plus robuste que celui de l'Andra.

compte, dans ses calculs, le coût des conteneurs, particulièrement onéreux en Suède. De plus, le projet de stockage suédois peut être plus cher à la fin des années 1980 et moins cher aujourd'hui si le coût du stockage français a augmenté davantage que celui du projet suédois pendant cette période.

728 *Ibid.*, p. 301.

729 *Ibid.*, p. 235.

730 *Ibid.*, p. 302.

731 *Ibid.*, pp. 302-303.

732 *Ibid.*, p. 303.

EDF, le CEA et Areva ont demandé la suspension de l'instruction par l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) du dossier de conception déposé par l'Andra à la fin de l'année 2009. À la place, leurs dirigeants souhaitent que l'ASN instruisse en urgence leur proposition d'architecture⁷³³. Toutefois, la direction de l'ASN refuse d'instruire le dossier des producteurs de déchets : la loi de 2006 confiant la gestion des déchets nucléaires à l'Andra, la direction de l'ASN estime qu'aucune autre institution ne peut déposer de demande d'implantation d'un stockage⁷³⁴.

Si la direction de l'Andra se montre ouverte à un dialogue avec les producteurs de déchets, notamment en vue d'améliorer l'optimisation des concepts de stockage, elle souligne devant l'Opecst que la faisabilité industrielle des options proposées par les producteurs n'est pas assurée⁷³⁵. En effet, si les ingénieurs de l'Andra ont montré la sûreté d'un stockage dont les alvéoles ont une longueur de 40 mètres, la direction de l'Agence relève que leur allongement à 130 mètres pourrait avoir des conséquences en terme de sûreté. Il faut rappeler qu'en 2009, les ingénieurs de l'Andra ont eu bien du mal à forer une alvéole de 20 mètres de long : forer une alvéole rectiligne de 130 mètres semble alors hors de portée des capacités techniques des ingénieurs de l'Andra. Par ailleurs, l'usage d'un tunnelier pour creuser les ouvrages souterrains pourrait influencer sur les propriétés de l'EDZ⁷³⁶. Néanmoins, le point qui inquiète alors le plus la direction de l'Andra est la remise en cause par les producteurs de déchets du modèle de gouvernance de Cigéo proposé par l'Agence et l'impact nuisible du projet proposé par les producteurs pour l'acceptation locale du stockage⁷³⁷.

La direction de l'Andra est attachée au creusement progressif du stockage. La décision d'exploiter le stockage est envisagée de manière fragmentée dans le temps : la poursuite du projet doit régulièrement faire l'objet d'une décision. Telle que la direction de l'Agence l'envisage à la fin des années 2000, la poursuite du creusement et de l'exploitation du stockage doit ainsi faire périodiquement l'objet d'une évaluation par l'Autorité de Sûreté Nucléaire, d'une consultation et d'une décision politique. Cet engagement de la direction de l'Andra est considéré comme une condition nécessaire à l'acceptation du projet de stockage par les élus locaux et les différentes « parties prenantes ». Le projet des producteurs de creuser le stockage d'une seule traite est alors perçu par la directrice général de l'Agence comme un risque de voir se briser les efforts de l'Agence

733 *Ibid.*, p. 234.

734 Andra (ed.), *Compte-rendu interne de la réunion du 6 janvier 2011, préparatoire à la réunion DG ASN et Andra du 12 janvier 2011*, janvier 2011.

735 C. Bataille et C. Birraux, *Rapport sur l'évaluation du plan national triennale de gestion des matières et déchets radioactives*, op. cit., p. 235.

736 *Ibid.*

737 C. Kerboul, *Compte-rendu définitif audition restreinte Andra du 6 octobre 2010. Point de vue de l'Andra sur le rapport n° 4 de la CNE2 & enjeux de la stratégie d'industrialisation du projet HA-MAVL*, op. cit., p. 11.

pour gagner la confiance des élu.es et de la population locale⁷³⁸. Ainsi, la direction de l'Andra justifie en partie le surcoût du projet de stockage qu'elle défend par un besoin politique de donner des garanties sur la gouvernance du projet.

CONCLUSION PARTIELLE

Le développement industriel du projet de stockage ne s'effectue pas sans encombre. Alors que le dépôt de la demande d'autorisation de Cigéo s'approche, les conclusions des travaux effectués par l'Andra sur la sûreté d'un stockage dans le Callovo-Oxfordien sont toujours l'objet de critiques. Néanmoins, les salarié.es de l'Agence ont capitalisé un nombre colossal de connaissances sur le comportement de la roche et des ouvrages et ils jouissent désormais d'un usage exclusif du laboratoire souterrain qui leur procure un avantage certain vis-à-vis des évaluateurs de son travail.

Au tournant des années 2010, l'optimisation économique de la conception industrielle du stockage devient l'objet d'un conflit ouvert entre les directions d'EDF, du CEA et d'Areva d'une part et celle de l'Andra d'autre part. L'inquiétude majeure de la directrice générale de l'Agence est alors de voir ses efforts pour « *construire la confiance* » des différentes « *parties prenantes* » anéantis. La dernière partie de ce chapitre détaille le modèle de gouvernance de Cigéo plébiscité par la direction de l'Andra et explicite le fondement de la crainte qui saisit alors la tête de l'Andra.

Cette crainte de la direction de l'Andra est accentuée par certains propos de dirigeant.es d'EDF avec qui les relations se sont envenimées. Ainsi, la directrice de l'Andra rapporte aux membres de la CNE que certains représentants des producteurs suggèrent d'abandonner l'ambition de construire un stockage réversible si les coûts induits par cette exigence sont trop importants⁷³⁹. La réversibilité du stockage est pourtant devenue une exigence légale en 2006. Alors que les ingénieur.es de l'Andra prévoient de tuber les alvéoles de stockage afin de pouvoir éventuellement ressortir les déchets, la directrice générale de l'Andra mentionne également que des salarié.es des producteurs de déchets ont avancé que, si un jour il est vraiment nécessaire de ressortir les colis stockés, il suffira de creuser la roche autour pour les récupérer : il serait ainsi possible d'économiser le coût du tubage métallique des alvéoles conçu pour assurer la récupérabilité des colis⁷⁴⁰. De plus, si la reprise des colis n'est plus une contrainte pour la conception du stockage, peu importe que les

738 *Ibid.*

739 *Ibid.*

740 *Ibid.*

alvéoles soient forcées rectilignement. Les problèmes techniques de la déviation des forages, lorsque la longueur des alvéoles augmente, n'ont plus lieu d'être si la réversibilité du stockage n'est plus requise.

Devant la CNE, M.C. Dupuis défend que la focalisation des dirigeant.es d'EDF, d'Areva et du CEA sur l'optimisation économique du stockage risque de nuire à l'acceptabilité du projet. Alors que la direction de l'Agence travaille à construire une image exemplaire de l'Andra, soucieuse du dialogue et transparente sur son activité, la directrice de l'Andra craint qu'une reprise en main du projet de stockage par les producteurs aboutisse à sa remise en cause⁷⁴¹. Bien sûr, d'autres explications, moins défendables publiquement, viennent sûrement s'ajouter à cette réticence : l'agacement face au doute des producteurs sur la capacité des salarié.es de l'Agence de gérer industriellement le projet et la volonté de garder la maîtrise du projet phare de l'Andra ont sans doute également pesé dans l'opposition de la direction de l'Andra au projet de stockage porté par les producteurs de déchets.

Avant le dépôt par l'Andra d'une demande de construction d'un stockage en 2015, un débat public sur les modalités de son implantation est prévu en 2013. Pour la direction de l'Andra, il importe que le conflit avec les principaux producteurs de déchets financeurs du stockage soit résolu avant ce débat. Toutefois, cette opposition entre les dirigeant.es de l'Andra d'une part et d'EDF, d'Areva et du CEA d'autre part sur le coût du stockage dure jusqu'en janvier 2016 où le coût du stockage est finalement fixé par un décret signé par la ministre de l'Écologie et de l'Énergie, Ségolène Royal : le stockage coûtera 25 milliards d'euros c'est-à-dire un peu plus que le chiffre annoncé par les producteurs (20 milliards) et nettement moins que celui qu'ont calculé les ingénieur.es de l'Andra (32,8 milliards)⁷⁴². Le ministère n'a pas communiqué comment il compte réduire de plus d'un quart le coût du stockage calculé par les ingénieur.es de l'Andra.

741 *Ibid.*

742 *L'enfouissement de déchets radioactifs à Bure coûtera 25 milliards d'euros*, http://www.lemonde.fr/energies/article/2016/01/16/l-enfouissement-de-dechets-radioactifs-a-bure-coutera-25-milliards-d-euros_4848360_1653054.html, consulté le 15 mai 2017.

III. SCIENCES SOCIALES ET GOUVERNANCE DE CIGÉO

Au moins depuis le débat parlementaire qui précède la loi de 1991, la réversibilité d'un éventuel stockage est un enjeu central et récurrent. Jusqu'au milieu des années 1990, certain.es ingénieur.es en charge de la conception des projets de stockage jurent que l'irréversibilité du stockage est nécessaire pour garantir la sûreté de l'ouvrage. La possibilité de ressortir pendant un temps les colis déposés en profondeur s'est toutefois peu à peu imposée comme une condition minimale de l'acceptation politique de l'enfouissement (cf. chapitre 3). En 2006, la réversibilité est devenue une exigence légale pour les projets de stockage⁷⁴³.

Depuis la thèse de Yannick Barthe, les recherches en sciences sociales sur l'aval du cycle nucléaire ont largement étudié la controverse autour de la réversibilité du stockage⁷⁴⁴. La réversibilité du stockage est désormais au cœur du modèle de gouvernance ce Cigéo. Dans celui-ci, la possibilité technique de ressortir les déchets stockés est accompagnée de la possibilité politique de revenir sur les décisions prises. Ainsi, l'exploitation et la fermeture du stockage doivent être progressives : régulièrement, la poursuite de l'exploitation ou de la fermeture du stockage doivent être questionnées ; la décision d'implanter un stockage est ainsi fractionnée et les responsabilités des décideurs successifs diluées.

Un tel engagement vertueux des dirigeant.es de l'Andra, fondé sur la transparence et le dialogue, repose sur leur responsabilité morale et la foi dans des institutions supposées garantes du bien commun. Ce mode de gouvernance est censé susciter la confiance du plus grand nombre dans le projet de stockage. Néanmoins, jusqu'à présent, l'argument d'un possible retour en arrière dans l'exploitation du stockage a surtout servi à aller de l'avant, et à engager celui-ci malgré les réticences et les oppositions d'un certain nombre d'individus et d'organisations.

743 Loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs, *op. cit.*, art. 3, 5 et 12.

744 Y. Barthe, *La mise en politique des déchets nucléaires*, *op. cit.* ; P. Cézanne-Bert et F. Chateauraynaud, *Les formes d'argumentation autour de la notion de réversibilité dans la gestion des déchets radioactifs*, *op. cit.* ; Y. Barthe, P. Cézanne-Bert, F. Chateauraynaud et L. Aparicio, *Rendre gouvernable les déchets radioactifs. Le stockage profond à l'épreuve de la réversibilité*, *op. cit.*

III.1. QUELLE GOUVERNANCE POUR CIGÉO ?

Depuis 2006, Marie-Claude Dupuis et la nouvelle direction de l'Andra ont encouragé le développement des recherches en sciences sociales à l'Agence : un philosophe est recruté pour coordonner ces recherches ; un groupement de laboratoire est créé ; trois thèses (dont celle-ci) et d'autres travaux de recherches sont financés⁷⁴⁵. Parallèlement, la mise en place d'un Comité d'Expertise et de Suivi de la Démarche d'Information et de Consultation (Coesdic), chargé de conseiller la direction de l'Agence, a une grande influence sur le développement du modèle de gouvernance du projet Cigéo.

Plusieurs raisons peuvent expliquer cet engouement pour les sciences sociales. La loi de 2006 a été précédée par un débat public en 2005 qui s'est déroulé péniblement (cf. chapitre 5) et un nouveau débat public est prévu avant le dépôt de la demande d'autorisation d'un stockage. De plus, avec le développement industriel du projet de stockage, le choix de la localisation précise de Cigéo est un chantier stratégique important. Enfin, plus généralement, durant les années 2000, la participation du plus grand nombre aux projets technoscientifiques est la manière de gouverner ces projets et les chercheurs et chercheuses en sciences sociales sont les expert.es attiré.es pour cela⁷⁴⁶.

Le Coesdic est composé de :

- Anne Bergmans, sociologue à l'université d'Antwerpen (Belgique). Elle a travaillé sur l'engagement des parties prenantes dans la gestion des déchets nucléaires. Avec l'homologue belge de l'Andra (Ondraf), elle a participé à la mise en place de partenariats locaux autour de l'implantation d'un centre de stockage de déchets nucléaires de faible activité et à vie courte dans les Flandres⁷⁴⁷.

745 P. Cézanne-Bert et F. Chateauraynaud, *Les formes d'argumentation autour de la notion de réversibilité dans la gestion des déchets radioactifs*, *op. cit.* ; Oana Ionescu, « Réversibilité du stockage géologique des déchets radioactifs : la théorie des options réelles dans l'aide à la décision », Thèse de doctorat, Université de Nancy 2, 2011 ; Markku Lehtonen, *La mémoire plurimillénaire associée au stockage des déchets radioactifs : analyse des travaux pionniers et étude de la littérature en sciences humaines et sociales*, Andra, 2011 ; Markku Lehtonen, *Le raisonnement par analogie à l'échelle anthropique dans l'analyse de performance et dans la communication publique concernant le stockage géologique des déchets radioactifs*, Andra, 2011 ; J. Blanck, « Gouverner par le temps », *op. cit.*

746 G. Lits, *La gestion des déchets hautement radioactifs belges à l'épreuve de la démocratie. Contribution à une sociologie des activités décisionnelles*, *op. cit.* ; C. Blatrix, « Des sciences de la participation », *op. cit.*

747 Evelyn Hooft, Anne Bergmans, Katleen Derveaux et Liesbet Vanhoof, « Local Partnerships: Achieving Stakeholder Consensus on Low-Level Waste Disposal », Tucson, 2002 ; Beate Kallenbach-Herbert, Bettina Brohmann, Peter Simmons, Anne Bergmans, Yannick Barthe et Meritxell Martell, *Addressing the Long-Term Management of High-level and Long-lived Nuclear Wastes as a Socio-Technical Problem: Insights from InSOTEC*, European Commission, août 2014 ; A. Bergmans, G. Sundqvist, D. Kos et P. Simmons, « The Participatory Turn in Radioactive Waste Management », *op. cit.*

- Michel Callon, président du Coesdic, sociologue au Centre de Sociologie de l'Innovation (École des Mines de Paris) et membre du Conseil scientifique de l'Andra depuis 2000. Avec Bruno Latour, M. Callon est à l'origine du développement de la théorie de l'acteur-réseau en France⁷⁴⁸. Il est un théoricien et un grand promoteur de la « *démocratie technique* » – j'y reviendrai.
- Pierre-Benoît Joly, économiste et sociologue à l'Institut National de Recherche en Agronomie. Il est un des principaux artisans du développement de la concertation autour des controverses technoscientifiques en France. Il a notamment participé à l'organisation des concertations autour des cultures OGM, des nanotechnologies et de la biologie de synthèse⁷⁴⁹.
- Saïda Laârouchi-Engström, vice-présidente de SKB, homologue suédois de l'Andra, elle dirige à la fin des années 1990 la recherche d'un site où implanter un stockage en Suède.

Comme le montre le travail de Grégoire Lits, cet engouement pour les sciences sociales se retrouve chez plusieurs agences européennes en charge de la gestion des déchets nucléaires, notamment en Suède et en Belgique⁷⁵⁰. La participation du plus grand nombre aux décisions et la construction d'une confiance de la population locale dans la gestion des déchets nucléaires sont les questions principales adressées aux sociologues mobilisé.es. Le *Forum for Stakeholder Confidence* (traduit en Forum sur la confiance des parties prenantes) au sein de l'Agence pour l'Énergie Atomique de l'OCDE dont l'activité débute dès 2000 est un espace central d'échange sur les « *aspects sociaux* » de la gestion des déchets nucléaires⁷⁵¹.

748 Michel Callon, « Éléments pour une sociologie de la traduction. La domestication des coquilles Saint-Jacques et des marins-pêcheurs dans la baie de Saint-Brieuc », *L'Année sociologique*, 1986, vol. 36, pp. 169-208.

749 Pierre-Benoît Joly et Claire Marris, « La participation contre la mobilisation ? Une analyse comparée du débat sur les OGM en France et au Royaume-Uni », *Revue internationale de politique comparée*, 2003, vol. 10, n° 2, p. 195 ; Pierre-Benoît Joly et Alain Kaufmann, « Lost in Translation? The Need for 'Upstream Engagement' with Nanotechnology on Trial », *Science as Culture*, 2008, vol. 17, n° 3, pp. 225-247.

750 G. Lits, « Analyse du rôle des chercheurs en sciences sociales dans la gestion des déchets radioactifs », *op.cit.* ; G. Lits, « Curiosité ou engagement ? Panorama historique du rôle des chercheurs en sciences sociales dans la gestion des « aspects sociaux » du nucléaire », *op.cit.*

751 AEN/OCDE (ed.), « Stakeholder Confidence and Radioactive Waste Disposal. Inauguration, First Workshop and Meeting of the NEA Forum on Stakeholder Confidence in the Area of Radioactive Waste Management », Paris, août 2000.

En 2011, le Coesdic adresse un rapport sur la gouvernance de Cigéo à la direction de l'Andra. Cette dernière reprend largement les recommandations qui y sont faites⁷⁵². Ce rapport mérite que l'on détaille quelque peu son contenu car celui-ci permet de mieux comprendre les craintes suscitées à l'Andra par la proposition des producteurs de déchets de reprendre en main le développement industriel de Cigéo.

Dans le rapport du Coesdic, ses auteur.es débutent par relever qu'à côté d'incertitudes, communes à tout projet industriel et dont la « *connotation* » est négative, le projet Cigéo est aussi porteur d'incertitudes « *positives* », « *productives* », qui pourraient « *conduire à un enrichissement du projet et à sa meilleure adaptation aux attentes des différents publics concernés* »⁷⁵³. L'existence de ces incertitudes et les promesses qu'elles portent pourraient amener à modifier le cahier des charges du stockage durant son exploitation. Il devient dès lors souhaitable, pour pouvoir saisir les opportunités induites par ces incertitudes, de mettre en place un mode de gouvernance permettant l'évolution du projet de stockage au cours de son exploitation. L'optimisation technico-économique du projet pourrait ainsi se poursuivre durant tout le temps de l'exploitation du stockage⁷⁵⁴. La possibilité de faire évoluer l'architecture et les concepts de stockage au fur et à mesure de son exploitation pourrait également permettre d'adapter la conception du stockage à l'évolution de la production de déchets nucléaires. En effet, une partie des déchets que doit accueillir Cigéo n'est pas encore produite⁷⁵⁵. Pour les auteur.es de ce rapport, cette flexibilité technologique du stockage durant son exploitation est nécessaire pour permettre la réversibilité, « *flexibilité politique* » du projet, désormais inscrite dans la loi⁷⁵⁶. Cette réversibilité laisserait le choix aux « *générations futures* » d'influer sur le projet de stockage. En cela, elle constitue un engagement vertueux pour les membres du Coesdic.

752 Michel Callon, Anne Bergmans, Pierre-Benoit Joly et Saïda Laârouchi-Engström, « Contribution du COESDIC aux réflexions sur la gouvernance du projet Cigéo de l'ANDRA » ; Coesdic, *Rapport d'activités 2011*, Andra, juin 2012 ; *Un projet flexible et réversible*, <http://www.cigéo.com/un-projet-flexible-et-reversible>, consulté le 15 mai 2017.

753 M. Callon, A. Bergmans, P.-B. Joly et S. Laârouchi-Engström, « Contribution du COESDIC aux réflexions sur la gouvernance du projet Cigéo de l'ANDRA », *op. cit.*, p. 2.

754 *Ibid.*, p. 3.

755 *Ibid.*

756 *Ibid.*, p. 4.

Afin de satisfaire à cette exigence de flexibilité politique et technologique, les sociologues conseiller.es de la direction de l'Andra recommandent d'organiser l'exploitation du stockage comme un enchaînement de séquences ponctuées par des rendez-vous, lors desquels le développement industriel du stockage peut être adapté au surgissement d'éléments imprévus :

« Ce déroulement séquentiel est le seul à pouvoir concilier les exigences contraires qui s'appliquent au projet : il doit être engagé sans tarder car quels que soient les décisions et événements futurs, on ne peut retarder la mise en place de dispositifs de gestion durable des déchets actuellement stockés dans des installations temporaires; d'autre part, il doit être ouvert, pendant toute sa durée, aux réorientations possibles ou nécessaires⁷⁵⁷. »

Une telle conception du stockage doit reposer sur une démarche consultative incluant les différentes « parties prenantes ». Elle doit pousser les acteurs industriels à la responsabilité. Celle-ci est une condition au développement de la confiance dans ce projet et elle doit ainsi permettre une gestion plus efficace du stockage :

« L'existence de cette structure de gouvernance, ouverte à la société civile, assurera que l'ANDRA soit attentive à sa réputation ainsi qu'à sa capacité d'instaurer et de maintenir un climat de confiance autour du projet Cigéo. Elle permettra en outre de gérer avec encore plus d'efficacité les actions d'optimisation technico-économiques⁷⁵⁸ ».

Je voudrais commenter un tant soit peu ces recommandations du Coesdic et la gouvernance du projet Cigéo adaptée de celles-ci. Tout d'abord, il me semble important de souligner dans leurs grands traits les évolutions argumentatives autour de la notion de réversibilité. Dans les discussions autour de ce concept, au début des années 1990, c'est la possibilité de pouvoir éventuellement ressortir les déchets déposés en profondeur qui est en jeu. Il s'agit alors, pour les défenseurs de ce concept, de ménager une période de temps durant laquelle les déchets pourraient éventuellement être ressortis du stockage. Durant le débat parlementaire de 1991, la réversibilité du stockage est défendue par les parlementaires opposé.es à l'enfouissement comme une condition minimale d'acceptation d'un stockage : en substance, ces parlementaire défendent que tant que le stockage n'est pas scellé, il est possible de continuer à lutter pour que les déchets ne soient pas abandonnés en profondeur⁷⁵⁹. Ces parlementaires tiennent alors absolument à ce qu'aucune décision irréversible ne soit prise : le report de toute décision sur la gestion des déchets nucléaires au terme d'une période de quinze ans dévolue aux recherches, inscrit dans la loi de 1991, est censé leur apporter une garantie sur ce point.

⁷⁵⁷ *Ibid.*, p. 5.

⁷⁵⁸ *Ibid.*, pp. 5-8.

⁷⁵⁹ Commission Nationale d'Évaluation (ed.), *Rapport sur la réversibilité des stockages*, op. cit.

Cependant, le scellement du stockage étant particulièrement important pour la sûreté de l'ouvrage, des travaux sont menés à l'Andra, en lien avec l'Agence pour l'Énergie Nucléaire de l'OCDE, afin d'adjoindre un processus de décision à la possibilité technique de ressortir les colis stockés. Pour la direction de l'Andra comme pour les membres de la CNE appelés à donner un avis sur la réversibilité en 1998, le temps durant lequel le stockage est laissé ouvert et les colis peuvent être aisément repris ne peut être infini⁷⁶⁰. Dès lors, la fermeture du stockage est prévue par étapes : à chaque étape, les ouvrages sont de plus en plus comblés et scellés ; la reprise des déchets est de plus en plus difficile (cf. *Figure 23* ci-dessous). Ce processus permet théoriquement, à chaque étape, de pouvoir revenir à l'étape précédente. Dans la contribution du Coesdic aux réflexions sur la gouvernance de Cigéo destinée à la directrice de l'Agence, il n'est jamais évoqué la volonté ou le besoin éventuel de ressortir les colis du stockage – il en serait peut-être autrement dans un document public. La réversibilité politique du stockage y est avant tout considérée comme une

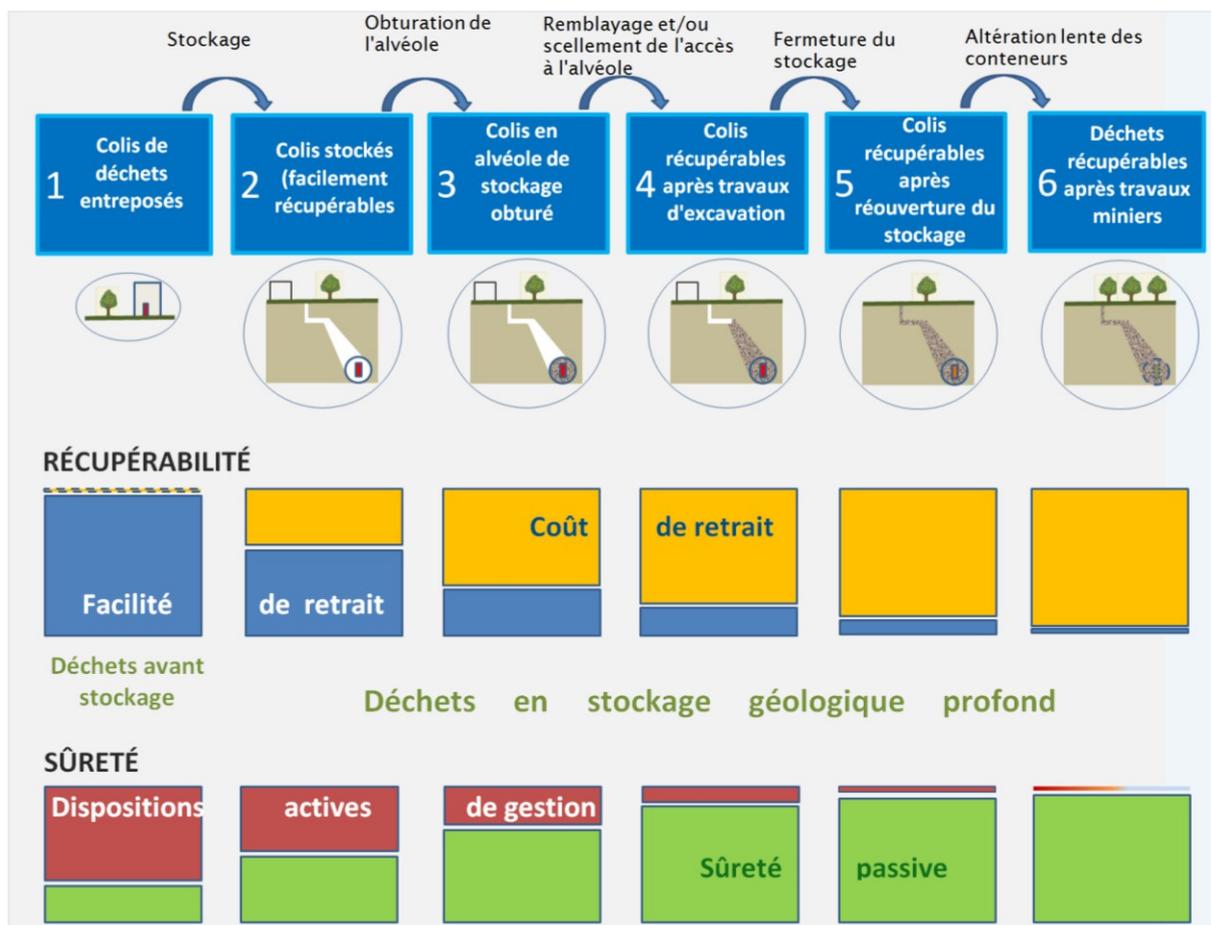


Figure 23. Étapes de fermeture d'un stockage réversible (ANDRA (ed.), *Stockage réversible profond. Option de réversibilité du stockage en géologie profonde*, 2009)

760 Ibid.

opportunité d'améliorer l'optimisation industrielle du projet de stockage au cours de son exploitation. D'une concession aux opposant.es à l'enfouissement des déchets nucléaires, la réversibilité est ainsi devenue en vingt ans une opportunité industrielle.

Dans un article publié en 2016, Martin Denoun suggère que l'évacuation géologique des déchets nucléaires témoigne d'une disjonction entre science et progrès⁷⁶¹. Historiquement, le recours à cette solution de gestion a pu être justifié par l'absence d'espoir que des recherches futures permettent une gestion autre des rebuts de l'industrie nucléaire. Lors de son intervention devant la CNE à la première audition de l'Andra en 1994, le président de l'Agence utilise cet argument pour justifier le besoin de recourir sans attendre à l'évacuation géologique (cf. chapitre 1). Toutefois, ce peu d'espoir dans les recherches futures vient masquer la volonté des acteurs industriels de recourir à la solution de gestion la moins chère. Il est difficile d'évaluer si l'espoir et les promesses placés dans des recherches sont justifiés ou non. Tout comme, il est délicat d'estimer si le peu de confiance de Maurice Allègre en 1994 dans les recherches à venir n'est que mauvaise foi ou non. Néanmoins, il me semble important de souligner qu'avec cet argument, celui-ci défend aussi la solution de gestion des déchets nucléaires considérée alors comme la moins chère.

À la fin des années 2000, la situation est différente. Attribuant une fonction globalement positive aux incertitudes, les membres du Coesdic donnent à la poursuite des recherches durant l'exploitation du stockage un rôle politique central. En effet, celles-ci entretiennent désormais l'espoir que le stockage soit plus sûr et moins cher que le projet établi lors de l'autorisation du creusement de celui-ci. De ce fait, le rapport du Coesdic largement repris dans la politique de l'Andra témoigne désormais d'une foi importante dans le progrès : la poursuite des recherches et de la concertation sur le stockage durant son exploitation permet d'envisager des améliorations du projet au cours de celle-ci. La réversibilité du stockage permet de réconcilier l'évacuation géologique et les espoirs portés par les recherches futures.

761 Martin Denoun, « La gestion des déchets nucléaires : un cas de disjonction entre science et progrès ? », *Mouvements*, 2016, vol. 87, n° 3, pp. 13-24.

III.2. RÉVERSIBILITÉ ET MATÉRIALITÉ DU STOCKAGE

Pour les membres du Coesdic, peu importe que les incertitudes qui existent sur la connaissance de l'évolution du stockage amènent éventuellement un jour à reconsidérer la sûreté de l'ouvrage et à ressortir les colis : le séquençage des décisions et la possibilité technique de ressortir les colis permettent d'engager la construction du stockage – qu'ils et elles considèrent comme urgente – malgré ces incertitudes. Néanmoins, une telle approche accorde peu d'intérêt à la difficulté matérielle de ressortir les colis descendus à 500 mètres de profondeur et placés au fond d'alvéoles de plusieurs dizaines de mètres de long : si technologiquement la récupérabilité des colis est prévue, il est possible de douter de l'enthousiasme des producteurs de déchets, qui restent propriétaires de ceux-ci, à mettre en œuvre une telle opération pour laquelle, par exemple, aucun financement n'est provisionné. La possibilité conceptuelle de pouvoir ressortir les déchets déposés dans le stockage ne doit pas masquer les difficultés politiques qu'une telle décision pourrait entraîner, et la difficulté notamment de prendre des décisions qui contrediraient les vues des dirigeants des producteurs de déchets dont, en France, le pouvoir sur les choses nucléaires est particulièrement important.

Un autre élément permet d'étayer le peu de considération des membres du Coesdic pour la différence matérielle qu'il existe entre une localisation des déchets en surface ou à 500 mètres sous terre. Lors du débat public sur le projet de stockage Cigéo en 2013, le président du Comité, Michel Callon, a proposé de considérer le stockage géologique comme un entreposage en profondeur. Par cette requalification, il entendait suggérer que l'accès aux déchets est identique qu'ils soient entreposés sur le site d'Areva de La Hague ou dans les alvéoles du sous-sol de Bure : peu importerait que les déchets soient en surface ou en profondeur, la possibilité de les déplacer serait identique.

Dans son rapport sur la réversibilité publié en 1998, les membres de la Commission Nationale d'Évaluation emploient quelques fois le qualificatif d'« *entreposage géologique convertible* » en stockage pour désigner le stockage géologique réversible⁷⁶². Le compte-rendu du débat public de 2005 sur la gestion des déchets nucléaires reprend également cette qualification du stockage réversible comme un entreposage⁷⁶³. Néanmoins, pour les acteurs de l'aval du cycle nucléaire, l'entreposage des déchets correspond à une gestion temporaire de ceux-ci : implicitement,

⁷⁶² Commission Nationale d'Évaluation (ed.), *Rapport sur la réversibilité des stockages*, op. cit.

⁷⁶³ G. Mercadal, *Compte-rendu du débat public sur les options générales en matière de gestion des déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue. Septembre 2005 - janvier 2006*, op. cit., p. 74.

l'entreposage désigne un dépôt provisoire des déchets dans un centre en surface. Le stockage, au contraire, désigne une solution de gestion définitive des déchets : pour les acteurs engagés dans la gestion des déchets nucléaires, le stockage ne peut être qu'en géologie profonde. Par ailleurs, l'entreposage pérennisé des déchets en surface est la solution de gestion préconisée par une partie des opposant.es à l'enfouissement des déchets nucléaires.

En 2014, les membres du Coesdic ont produit une note sur l'improductivité de la distinction entre stockage et entreposage⁷⁶⁴. Pour eux,

« c'est en se libérant de l'opposition stockage profond définitif/entreposage provisoire en surface ou subsurface, qu'on peut espérer rendre compatibles, au moins pendant un certain temps, des positions qui demeurent incompatibles si cette opposition est conservée⁷⁶⁵. »

Brouillant les cartes, la requalification du stockage comme un entreposage en profondeur, sous entendu un entreposage temporaire mais pouvant devenir définitif, n'accorde aucune importance à la manière dont les déchets pourraient être ressortis du sous-sol de Bure : les 500 mètres d'argile en dessous desquels Cigéo doit être construit n'importent pas. Pourtant, on peut noter que le schéma des différentes étapes de fermeture du stockage (*Figure 23*) distingue bien une différence dans la facilité de reprise des colis entre le moment où ceux-ci sont en surface (étape 1) et celui où ils sont déposés en profondeur (étape 2).

La traduction qu'opèrent Michel Callon et les membres du Coesdic en considérant le projet Cigéo comme un entreposage duquel il serait possible de ressortir les déchets doit, il me semble, être comprise comme une tentative de désinhibition du recours à l'évacuation géologique des déchets nucléaires⁷⁶⁶. En effet, la reprise du vocabulaire d'opposant.es au stockage, qui plébiscitent l'entreposage pérennisé en surface, pour désigner le projet qu'ils et elles refusent doit être envisagée comme une tentative de déconstruire l'antagonisme qui existe entre l'Andra et les opposant.es au projet de stockage et ainsi de tenter de construire un « *monde commun* » aux promoteurs de Cigéo et aux opposant.es à ce projet⁷⁶⁷. Cette tentative de réconcilier des positions antagonistes se fait toutefois au détriment des opposant.es au stockage puisque la requalification du stockage en entreposage ne change en rien le fait que les déchets soient déposés à 500 mètres sous terre pour y rester. La transformation sémantique de la qualification du projet Cigéo promue par les membres du Coesdic est une condition d'un dialogue large sur la manière de stocker géologiquement les déchets nucléaires. Toutefois, cette volonté de dialogue n'est pas partagée par certain.es opposant.es au

764 Coesdic, *Rapport d'activité 2014*, Andra, juin 2015.

765 *Ibid.*, p. 5.

766 Jean-Baptiste Fressoz, *L'apocalypse joyeuse. Une histoire du risque technologique*, Paris, Seuil, 2012.

767 Bruno Latour, *Politiques de la nature. Comment faire entrer les sciences en démocratie*, Paris, La Découverte, 2008.

stockage et les responsables de l'aval du cycle nucléaire sont peu enclin.es à soumettre au dialogue des choix stratégiques. Seules les modalités d'implantation d'un stockage (transport routier ou ferroviaire des déchets, inscription des installations de surface dans le paysage, gestion des déblais miniers...) sont discutables.

III.3. MANIFESTER TOUS LES DIX ANS CONTRE CIGÉO ?

Dans le rapport du Coesdic sur la gouvernance de Cigéo, la participation des différentes « *parties prenantes* » aux décisions est considérée comme un principe démocratique vertueux. Depuis le début des années 2000, de nombreux auteurs pointent les limites auxquelles se heurtent les dispositifs participatifs⁷⁶⁸. Que ces dispositifs pèsent rarement sur les décisions, qu'ils impactent peu sur les projets soumis au débat et qu'ils épargnent les intérêts des acteurs les plus puissants (les industriels par exemple) ne sont pas les moindres des critiques qu'il est possible de leur faire. Par exemple, lors du débat public sur la gestion des déchets nucléaires de 2005, de nombreuses voix se sont élevées contre l'évacuation géologique des déchets nucléaires. La loi de 2006 a tout de même entériné le choix de cette solution de gestion, considérée comme inéluctable au sein du monde du nucléaire.

Dans le rapport du Coesdic, la reconduite régulière de rendez-vous durant lesquels la poursuite de l'exploitation du stockage est questionnée publiquement justifie l'engagement rapide de son creusement. La succession d'épisodes de consultation doit pousser les directions successives de l'Andra à adopter une conduite exemplaire, transparente et conciliante. Les dispositifs participatifs sont considérés comme vertueux et l'engagement moral des dirigeant.es actuels à ce que leurs successeurs perpétuent ce mode de gouvernance du projet justifie pour les membres du Coesdic la possibilité d'engager sans attendre la construction du stockage.

D'une part, il est permis de douter qu'une fois le stockage creusé et rempli pour partie, ses gestionnaires s'encombreront de dispositifs participatifs. D'autre part, plus le projet est engagé, plus les producteurs de déchets dépensent d'argent pour celui-ci et plus son éventuelle remise en cause risque d'être difficile. Il faut également souligner ici que la proposition du Coesdic est une « *consultation* » des parties prenantes à chaque étape du projet. Si la crédibilité de l'institution est en jeu lorsque la décision est contraire aux recommandations issues de la consultation, l'avis des

768 L. Blondiaux et Y. Sintomer, « L'impératif délibératif », *op. cit.* ; D. Pestre, « Des sciences, des techniques et de l'ordre démocratique et participatif », *op. cit.* ; S. Topçu, *La France nucléaire, op. cit.*

contributeurs et contributrices consulté.es n'est qu'un élément pris en compte dans la décision⁷⁶⁹. À cet égard, la loi de 2006 votée après un débat public en 2005 est éclairante : alors que les conclusions du débat public soulignaient l'attachement d'un nombre important de participant.es à la poursuite des recherches sur le stockage en surface ou en subsurface, la loi entérina le choix de l'évacuation géologique des déchets nucléaires. À ce moment, la consultation entreprise eut un impact particulièrement limité sur la décision prise.

Par ailleurs, la considération par les membres du Coesdic qu'une gouvernance par étapes de Cigéo apporte assez de garanties pour engager sans attendre la construction du stockage est à mon avis révélatrice de la manière dont ces sociologues et un pan entier de la philosophie politique considèrent alors la discussion et le débat politique. En effet, la proposition de renouveler périodiquement ces consultations pourrait être considérée comme une invitation aux opposant.es à ce projet de revenir tous les dix ans réaffirmer leur opposition. Pour les membres du Coesdic, il importe que les décisions définitives et irréversibles soient évitées. Durant les années 2000, le maintien ouvert des décisions est alors un lieu commun pour un ensemble d'auteurs attachés à construire une nouvelle manière de gouverner, plus dialogique et fondée sur des procédures garantissant la participation.

En 2000, à l'Agence pour l'Énergie Nucléaire de l'OCDE, le *Forum for Stakeholder Confidence* est créé afin de coordonner les réflexions sur la participation des « *parties prenantes* » aux décisions sur l'aval du cycle nucléaire. En 2001, la Commission Européenne publie un *Livre Blanc* sur la « *gouvernance* » européenne⁷⁷⁰. En 2001 toujours, le président du Coesdic, Michel Callon, publie avec Pierre Lascoumes et Yannick Barthe, *Agir dans un monde incertain. Essai sur la démocratie technique*, dont l'audience est particulièrement importante⁷⁷¹.

Le *Livre Blanc* de la Commission Européenne et *Agir dans un monde incertain* partagent le constat que le vieux monde de la démocratie parlementaire appartient désormais au passé et qu'il est grand temps de refonder la légitimité des décisions sur la participation de tous et toutes à ces dernières⁷⁷². Afin de mieux comprendre les fondements des recommandations des membres du Coesdic sur la gouvernance de Cigéo et d'entrevoir en quoi celles-ci s'accordent avec les lieux

769 La littérature sur ce sujet distingue la participation des « *parties prenantes* » aux décisions de leur consultation. Cette distinction et le caractère plus ou moins contraignant des dispositifs mis en place n'est pas anecdotique. Néanmoins, dans le cas qui est le nôtre, cette discussion me semble quelle que peu marginale : la critique formulée ici ne veut pas rentrer dans un débat à la recherche de la meilleure manière de démocratiser la démocratie.

770 Emanuel Bertrand, « Le discours de la gouvernance participative européenne et l'idéologie néolibérale. Une analyse sémantique à la lumière des travaux de Marcel Gauchet sur le néolibéralisme », 2014.

771 M. Callon, P. Lascoumes et Y. Barthe, *Agir dans un monde incertain, op. cit.*

772 *Ibid.*

communs partagés à l'époque par un ensemble de sociologues et de politistes cherchant à démocratiser la démocratie, je propose de détailler quelque peu la thèse développée dans *Agir dans un monde incertain*.

Je voudrai ainsi défendre l'hypothèse qu'il pourrait s'avérer heuristique de considérer les recommandations du Coesdic comme une mise en pratique du programme établi dans *Agir dans un monde incertain*. Il s'agit ici de prendre le propos de ce livre comme le révélateur de la pensée d'une époque chez un certain nombre d'universitaires mais aussi d'acteurs associatifs, de dirigeant.es, d'élu.es... Mon propos n'est pas de dire que les trois autres membres du Coesdic pensent comme Michel Callon. *Agir dans un monde incertain* est un livre programmatique, extrêmement lu et cité, qui occupe une place singulière dans le champ de la sociologie des sciences et des techniques. La gestion des déchets nucléaires offre des exemples récurrents à ses auteurs tout le long du livre. Rappelons que Y. Barthe a soutenu sa thèse en 2000 sur ce sujet sous la direction de M. Callon. De plus, M. Callon est membre du Conseil scientifique de l'Andra depuis 2000. Il préside le Coesdic jusqu'en 2016 et y a une forte influence – ses collègues le décrivent comme « *l'âme du Coesdic* »⁷⁷³.

III.4. AGIR PRATIQUEMENT DANS UN MONDE INCERTAIN

Au cœur de *Agir dans un monde incertain*, se trouve un constat : « *Les sciences et les techniques ne sont plus gérables par les institutions politiques dont nous disposons*⁷⁷⁴. » Les OGM, les vaches folles, le sang contaminé, l'amiante... ont produit une série de crises faisant déborder les cadres existants de régulation des risques sanitaires et technologiques. Pour M. Callon et ses co-auteurs, ces débordements ne sont problématiques que si les institutions cherchent à les empêcher⁷⁷⁵. Transformer les manières de débattre de ces sujets peut, au contraire, permettre de révéler la « *fécondité* », le « *pouvoir fertilisant* » de ces débordements ; la démocratie s'en trouverait dès lors enrichie⁷⁷⁶. La fécondité de ces crises – pour certaines meurtrières – se retrouve dans le texte du Coesdic sous la forme d'incertitudes positives et productrices qui existeraient aux côtés des incertitudes négatives, nuisibles à la sûreté du stockage : dans *Agir dans un monde incertain*, comme pour les membres du Coesdic, les risques sont aussi porteurs de promesse et d'espoir car ils imposent une transformation des manières de prendre des décisions. Dès lors, ils doivent être acceptés et gérés mais il s'agit aucunement de chercher à les supprimer.

⁷⁷³ Coesdic, *Rapport d'activité 2016*, Andra, juin 2017.

⁷⁷⁴ M. Callon, P. Lascoumes et Y. Barthe, *Agir dans un monde incertain*, op. cit., p. 23.

⁷⁷⁵ *Ibid.*, p. 24.

⁷⁷⁶ *Ibid.*

Dans *Agir dans un monde incertain*, l'expérimentation de procédures dialogiques novatrices est au cœur de la nouvelle manière d'appréhender les questions soulevées par les développements scientifiques et techniques. Ce livre s'inscrit dans un ensemble de productions ayant analysé les transformations contemporaines du monde comme l'avènement d'une société postmoderne, d'une société du risque chez Ulrich Beck ou d'un mode 2 des productions de savoir en société chez Michael Gibbons et Helga Nowotny par exemple⁷⁷⁷. Si les thèses de ces auteurs diffèrent, tous et toutes s'accordent sur le constat du passage d'un monde stable, dans lequel les États sont les acteurs centraux des régulations du développement industriel, à un monde plus complexe et mouvant dans lequel de nombreux groupes prennent la parole pour défendre des causes diverses. Dans ce nouveau monde, les institutions étatiques et l'expertise sont fortement critiquées : la « double délégation » de l'autorité scientifique aux expert.es et de la décision politique aux élu.es est remise en cause par le surgissement de controverses sociotechniques⁷⁷⁸. Chez M. Callon, P. Lascoumes et Y. Barthe, ces controverses sont débattues dans des « forums hybrides » dans lesquels la parole des profanes et des simples citoyen.nes est autorisée⁷⁷⁹. Ces forums ne désignent pas des lieux physiques mais les espaces multiples de la discussion. Parce qu'ils mobilisent une multitude de porte-paroles légitimes pour gérer les débordements induits par les controverses, les « forums hybrides » constitueraient un enrichissement de la démocratie.

⁷⁷⁷ Ulrich Beck, *La société du risque. Sur la voie d'une autre modernité*, trad. Laure Bernardi, Paris, Flammarion, 2008 ; Michael Gibbons, Camille Limoges, Helga Nowotny, Simon Schwartzman et Peter Scott (ed.), *The New Production of Knowledge: The Dynamics of Science and Research in Contemporary Societies*, London, SAGE Publications, 1994 ; H. Nowotny, P. Scott et M. Gibbons, *Rethinking Science: Knowledge and the Public*, op. cit. ; Jean-Baptiste Fressoz et Dominique Pestre, « Critique historique du satisfecit postmoderne. Risque et "société du risque" depuis deux siècles », in *Du risque à la menace. Penser la catastrophe*, Paris, PUF, 2013, pp. 19-56 ; D. Pestre, « Des sciences, des techniques et de l'ordre démocratique et participatif », op. cit.

⁷⁷⁸ M. Callon, P. Lascoumes et Y. Barthe, *Agir dans un monde incertain*, op. cit., pp. 163-190.

⁷⁷⁹ *Ibid.*, pp. 29-60 ; Michel Callon et Arie Rip, « Humains, non-humains : morale d'une coexistence », in *La Terre outragée. Les experts sont formels !*, Paris, Autrement, 1992, pp. 140-156.

III.5. LÉGITIMITÉ, VOLONTÉ, POUVOIR ET CÉCITÉ

III.5.1. LA PARTICIPATION, SOURCE DE LÉGITIMITÉ DES DÉCISIONS

La crise qu'analysent M. Callon et ses co-auteurs, la Commission Européenne dans son *Livre Blanc* et un nombre important d'auteurs qui plébiscitent le dépassement des cadres de la démocratie parlementaire par des arrangements nouveaux ou des « *forums hybrides* » est une crise de la légitimité des décisions et des institutions qui les prennent. Alors que la capacité des États à gérer les débordements induits par le développement industriel est régulièrement critiquée, les « *forums hybrides* » sont perçus comme porteurs d'une légitimité nouvelle fondée sur la multiplication des porte-paroles. Dans son texte sur le *Livre Blanc*, Emanuel Bertrand insiste sur ce point : pour la Commission Européenne en 2001, la participation est nécessaire pour l'efficacité des politiques publiques et la légitimité est une condition de l'efficacité⁷⁸⁰. Pour la Commission, la légitimité s'acquiert par la participation et l'engagement (la responsabilité)⁷⁸¹. On retrouve cette même idée, que la légitimité des décisions repose dorénavant sur la participation, chez Albert O. Hirschmann par exemple.

Bien qu'Albert O. Hirschmann ne soit pas explicitement cité dans *Agir dans un monde incertain*, l'audience de son livre *Deux siècles de rhétorique réactionnaire* et la similarité entre les thèses défendues par ce dernier d'une part et M. Callon, P. Lascoumes et Y. Barthe d'autre part me semblent justifier le fait de rapprocher ces deux pensées⁷⁸². Par ailleurs, dans son livre et dans plusieurs autres textes, Y. Barthe cite abondamment A. Hirschmann⁷⁸³. Il n'est pas question ici de construire une filiation, mais plutôt d'entrevoir les fondements d'une pensée commune dans le monde académique des années 1990 et 2000, à partir de l'observation des similitudes entre les thèses défendues dans *Agir dans un monde incertain* d'une part et dans *Deux siècles de rhétorique réactionnaire* d'autre part. Dans ce livre, A. Hirschmann appuie ce fondement de la légitimité sur la participation en se basant sur un article de Bernard Manin publié en 1985 dans *Le Débat* dans lequel ce dernier entreprend de refonder la légitimité de la démocratie parlementaire sur la délibération⁷⁸⁴.

780 E. Bertrand, « Le discours de la gouvernance participative européenne et l'idéologie néolibérale. Une analyse sémantique à la lumière des travaux de Marcel Gauchet sur le néolibéralisme », *op. cit.*, p. 21.

781 *Ibid.*

782 Albert O. Hirschman, *Deux siècles de rhétorique réactionnaire*, Paris, Fayard, 1991.

783 Y. Barthe, *Le pouvoir d'indécision*, *op. cit.* ; Y. Barthe, « Mobilisations et choix techniques. Le cas des déchets nucléaires », *op. cit.* ; Y. Barthe, « *Mission impossible* » ?, *op. cit.*

784 Bernard Manin, « Volonté générale ou délibération ? Esquisse d'une théorie de la délibération politique », *Le Débat*, 1985, vol. 33, n° 1, pp. 72-93.

Écrire l'histoire de la philosophie politique ayant accompagné l'avènement de la démocratie participative comme forme vertueuse de décision, théorisée et expérimentée à la fin du XX^e siècle, dépasserait l'ambition de cette thèse. Cependant, il me semble important de pointer la place prépondérante accordée à la délibération dans la philosophie politique ayant accompagné les transformations des modes de gouvernement du développement capitaliste au tournant du XXI^e siècle⁷⁸⁵. La pensée de Jürgen Habermas est centrale dans ce mouvement. Un détour par l'article de B. Manin dans *Le Débat* cité par A. Hirschmann peut apporter un éclairage intéressant sur ce mouvement de grande ampleur qui traverse les sciences sociales.

Dans cet article, B. Manin débute en reprenant l'idée classique selon laquelle l'unanimité d'une décision est le fondement de sa légitimité. Cependant, lorsque le nombre d'individus augmente, la recherche de l'unanimité devient illusoire : pragmatiquement, la recherche d'une majorité remplace celle d'une unanimité⁷⁸⁶. De plus, suivant ici Jean-Jacques Rousseau, B. Manin attribue à la volonté des individus, supposés libres, la seule source de légitimité à l'obligation politique d'appliquer une décision⁷⁸⁷. Ainsi, c'est parce qu'elle serait fondée sur le choix libre des individus que ces derniers accepteraient de se plier à une décision. Chez J.J. Rousseau, la volonté générale correspond à la volonté de l'ensemble des membres de la société et les volontés minoritaires, opposées à la volonté générale, ne sont que des appréciations erronées de la volonté générale⁷⁸⁸.

Par ailleurs, B. Manin souligne que chez J.J. Rousseau, la volonté des individus est déterminée avant la délibération politique⁷⁸⁹. B. Manin, rejoignant ici les économistes tel Herbert Simon, qui considèrent que les individus ont une rationalité limitée, juge qu'une telle hypothèse est particulièrement déraisonnable : les individus ne disposent pas de l'ensemble des informations nécessaires à la prise de décision avant de délibérer⁷⁹⁰. Pour B. Manin, « *La décision politique est, par nature, un choix dans l'incertain* » : les individus ne délibèrent pas, comme J.J. Rousseau le suppose, une fois qu'ils sont suffisamment informés⁷⁹¹. Selon lui, les individus n'ont qu'une connaissance partielle de ce qu'ils souhaitent et la délibération est un moment d'information et de formation de la volonté des individus. Dès lors, ce n'est pas la volonté déjà déterminée des individus

785 L. Blondiaux et Y. Sintomer, « L'impératif délibératif », *op. cit.* ; Loïc Blondiaux, « La délibération, norme de l'action publique contemporaine ? », *Projet*, 2001, vol. 268, n° 4, p. 81.

786 B. Manin, « Volonté générale ou délibération ? », *op. cit.*, pp. 3-6 ; M. Callon, P. Lascoumes et Y. Barthe, *Agir dans un monde incertain*, *op. cit.*, pp. 163-164.

787 B. Manin, « Volonté générale ou délibération ? », *op. cit.*, p. 5.

788 *Ibid.* ; Jean-Jacques Rousseau, *Du contrat social. Écrits politiques*, Paris, Gallimard, 2003.

789 B. Manin, « Volonté générale ou délibération ? », *op. cit.*, p. 8 ; M. Callon, P. Lascoumes et Y. Barthe, *Agir dans un monde incertain*, *op. cit.*, p. 164.

790 B. Manin, « Volonté générale ou délibération ? », *op. cit.*, p. 9.

791 *Ibid.*

qui fonde la légitimité des décisions (comme chez J.J. Rousseau) mais ce serait la délibération elle-même, comme processus de formation de la volonté des individus, qui donnerait sa légitimité à la décision⁷⁹².

On retrouve la même idée chez les auteurs d'*Agir dans un monde incertain* : la participation à la décision permettrait ainsi l'émergence de compromis car la volonté des individus se forme dans la discussion et le choix de ses représentant.es :

« Il faut résister en effet à l'idée selon laquelle le peuple serait constitué de citoyens individuels, chacun sachant sur tout sujet ce qu'il veut exactement et étant doté de préférences fixées une bonne fois pour toutes. [...] Le représenté ne sait pas toujours ce qu'il veut ; c'est dans le débat qui précède le choix de son représentant, en discutant avec lui, qu'il apprend progressivement à savoir quelles sont ses préférences et que sa volonté se trouve progressivement formée. Sans représentation, envisagée comme le processus de formation des volontés, il n'y aurait ni volonté individuelle ni bien commun⁷⁹³. »

III.5.2. UNE DÉLIBÉRATION SOUS CONDITIONS

Chez A. Hirschmann et B. Manin, la participation aux décisions n'est possible que si deux hypothèses sont remplies : la délibération est guidée par la recherche du bien commun et les individus prenant part à la discussion sont prêts à faire évoluer leurs positions initiales. Il faut souligner ici que ni B. Manin, ni A. Hirschman ne s'intéressent à des décisions ou des conflits qui concernent des projets industriels. Le type de décisions et les réformes qu'ils étudient portent avant tout la manière de répartir les richesses (la forme de l'impôt et les mesures de protection sociale par exemple). Lorsque A. Hirschman identifie des conflits opposant des positions irréconciliables, il fait référence à des questions morales (le droit à l'avortement, la peine de mort par exemple). Les différentes décisions relatives à ces sujets ont peu de conséquences matérielles, à la différence des choix technoscientifiques. Un changement dans le calcul de l'impôt est en ce sens plus facile, matériellement, qu'un changement des modes d'approvisionnement énergétique. Alors qu'il est théoriquement envisageable de changer fréquemment les modes de répartition des richesses, le développement industriel a besoin de stabilité et la matérialité des systèmes techniques les rend résistants au changement⁷⁹⁴.

792 *Ibid.*, p. 11.

793 M. Callon, P. Lascoumes et Y. Barthe, *Agir dans un monde incertain*, *op. cit.*, pp. 163-164.

794 J.-B. Fressoz, *L'apocalypse joyeuse*, *op. cit.* ; Alain Gras et Sophie Poirot-Delpech, *Grandeur et dépendance. Sociologie des macro-systèmes techniques*, Paris, PUF, 1993.

Cette question de l'évolution des macro-systèmes techniques comme la distribution d'électricité et la gestion du « cycle » du combustible nucléaire est savamment esquivée par M. Callon et ses co-auteurs. Pourtant, dans ce cas, les hypothèses identifiées par B. Manin et A. Hirschman pour qu'une délibération soit possible (la recherche du bien commun et l'accord des participant.es à la discussion à faire évoluer leur opinion) semblent rarement réunies. Ainsi, les industriels et leurs représentant.es ne participent pas à des discussions dans lesquelles leur activité est mise en cause pour plaider leur vision du bien commun : avant tout, ils et elles cherchent à écarter les critiques auxquelles ils et elles se heurtent pour développer leur activité et accroître leur profit. De plus, il existe souvent de fortes asymétries de pouvoir entre les acteurs engagés dans une discussion autour du développement d'un projet industriel : par exemple, les industriels ont souvent des moyens financiers incomparablement plus importants et des réseaux d'influence bien plus puissants que les associations de protection de l'environnement.

III.5.3. QUELLE VOLONTÉ ?

L'accord entre les individus n'est théoriquement envisageable que si celles et ceux qui délibèrent acceptent que leurs positions évoluent pendant la discussion. Chez A. Hirschmann, s'appuyant ici sur l'article de B. Manin de 1985, tout comme chez M. Callon, P. Lascoumes et Y. Barthe, la discussion est un processus de formation de la volonté :

« une démocratie affirme sa légitimité dans la mesure où ses décisions sont déterminées par une discussion complète et publique entre ses principaux groupes, organes et représentants. Par discussion, il faut entendre dans ce contexte un processus de formation d'opinion : le principe est que les participants n'ont pas, au départ, de position définitive et qu'ils sont disposés à procéder à un échange de vues constructif, c'est-à-dire à modifier éventuellement leurs opinions initiales à la lumière des arguments des autres participants et aussi de tout élément d'appréciation nouveau apporté par le débat⁷⁹⁵. »

Il semble évident que les individus ne sont pas omniscients et que leur volonté peut changer, notamment dans la discussion et la participation à un processus décisionnel. Néanmoins, chez M. Callon, P. Lascoumes et Y. Barthe et plus généralement chez les promoteurs de dispositifs de participation ou de consultation, cette affirmation a des incidences particulièrement importantes qui me semblent quelque peu disproportionnées. Ainsi, souvent, le fait que la participation à l'exercice démocratique peut amener les individus à faire évoluer leurs idées induit que les individus qui débattent ne sont pas attachés à des valeurs, qu'ils n'ont pas d'intérêts et que chacun.e est prêt.e à

795 A. O. Hirschman, *Deux siècles de rhétorique réactionnaire*, op. cit., p. 268.

faire évoluer ses positions. Supposer la plasticité de la volonté des individus est une condition nécessaire pour pouvoir entrevoir la possibilité d'un accord. Cette plasticité de la volonté des individus est régulièrement exacerbée dans la littérature et elle masque souvent les résistances des acteurs, notamment les plus puissants, à faire évoluer leurs positions.

Dans son livre *Deux siècles de rhétorique réactionnaire*, A. Hirschmann s'attache à identifier les formes rhétoriques de l'intransigeance, nuisibles à la discussion et au débat⁷⁹⁶. Si l'existence de conflit est chez A. Hirschman un signe de la vitalité des sociétés de marchés, le bricolage d'arrangements par la négociation suppose une volonté des individus de ne pas envisager le conflit comme une opposition entre des positions irréconciliables⁷⁹⁷. Chez M. Callon et ses co-auteurs, l'existence d'intérêts antagonistes dans le monde social est également assez vite balayée :

« Comment imaginer une quelconque justice quand les attentes sont incommensurables, quand aucun espace n'existe dans lequel des équivalences peuvent être postulées ? Que les points de vue soient instables ou qu'ils soient au contraire considérés comme rigides et non négociables, c'est, dans ces deux cas, l'idée même d'un compromis équitable qui est rendue irréaliste.

Une telle vision est abusivement pessimiste. Dans les forums hybrides, la recherche d'un monde commun est rendue possible par le caractère instable des identités, par la flexibilité des positions et des représentations, la plasticité des connaissances. C'est parce qu'elles sont instables, transformables, que ces identités sont susceptibles d'être composées et d'être ajustées les unes aux autres. Le matériau sur lequel travaillent les forums hybrides a pour principale propriété de pouvoir être façonné. Il n'est ni définitivement volatile ni définitivement rigide⁷⁹⁸. »

Contre une vision « pessimiste » d'un monde social structuré par des antagonismes sociaux irréconciliables, M. Callon, P. Lascoumes et Y. Barthe défendent une lecture utopique dans laquelle les individus évoluent librement, partagent un même idéal et ajustent leurs vues les uns aux autres. L'instabilité des positions défendues est la condition de la possibilité d'une négociation vers un compromis. Seul le postulat d'une plasticité des savoirs, des identités et des arrangements sociaux permet d'octroyer une telle place à la discussion dans les « forums hybrides ». La requalification du stockage géologique réversible en entreposage en profondeur doit alors être lue comme une tentative de remodeler la qualification du projet pour permettre un dialogue. Si la direction de l'Andra affiche son attachement à la discussion, elle tient à garder la maîtrise sur ce qui est discuté,

796 A. O. Hirschman, *Deux siècles de rhétorique réactionnaire*, op. cit.

797 A. O. Hirschman, *Un certain penchant à l'autosubversion*, op. cit.

798 M. Callon, P. Lascoumes et Y. Barthe, *Agir dans un monde incertain*, op. cit., pp. 334-335.

sur le calendrier des discussions et sur leur formes. Lorsque le Clis s'est saisi des questions scientifiques posées par le stockage en commandant une analyse des recherches effectuées par l'Andra à l'IEER, le peu d'entrain des salarié.es de l'Andra à engager un dialogue constructif avec l'Institut états-unien en témoigne.

Pour M. Callon, P. Lascoumes et Y. Barthe, la démocratie est une affaire de procédures⁷⁹⁹. La discussion serait la condition de l'émergence de compromis car la volonté des individus est plastique. Pour cela, M. Callon, P. Lascoumes et Y. Barthe, comme B. Manin et A. Hirschmann, ont besoin de postuler que les individus qui participent aux « *forums hybrides* » consentent à faire évoluer leur positions. Néanmoins, dans la gestion des déchets nucléaires, seules les modalités de l'implantation du stockage sont réellement ouvertes à la discussion avec les acteurs locaux. La localisation des installations de surface ou le mode d'acheminement des déchets jusqu'au stockage peuvent être discutés mais jamais l'opportunité même de recourir à l'évacuation géologique.

Dans *Agir dans un monde incertain*, l'existence de comportements peu vertueux poussant les individus à privilégier leurs intérêts au lieu du bien commun est écartée rapidement :

« Oui, les acteurs sont calculateurs, cyniques, machiavéliens. Mais ils le sont tous. Et ils sont tous à égalité lorsque cette habilité est appliquée au calcul des procédures plutôt qu'au calcul des décisions et lorsque ce calcul se déroule dans un espace public ouvert aux groupes insatisfaits des procédures existantes. [...] »

Que les partisans du nucléaire cherchent à défendre le nucléaire et à le développer en profitant habilement des débats publics, sans doute. Mais le nucléaire qui en sortira sera socialement, politiquement, et même techniquement, complètement différent du nucléaire qui aurait été décidé en dehors des forums hybrides. Parler "du" nucléaire en général n'a aucun sens. Jouer au jeu de ceux qui sont pour et ceux qui sont contre est encore plus inepte. Les ingénieurs du CEA le savent bien, qui inventent de nouvelles options, de nouvelles configurations pour l'entreposage des déchets⁸⁰⁰. »

Ainsi, l'industrie nucléaire existe et la résignation promue par M. Callon, P. Lascoumes et Y. Barthe voudrait laisser à penser qu'une opposition à cette technologie (ou également un plébiscite) n'a aucun sens. C'est là une analyse bien curieuse du monde du nucléaire et des conflits autour du développement de cette industrie. Assurément, certains acteurs sont pleinement engagés

799 *Ibid.*, p. 163.

800 *Ibid.*, pp. 338-339.

au développement de cette industrie et d'autres s'y opposent farouchement⁸⁰¹. Seul.es quelques sociologues et politistes semblent réellement vouloir qu'une discussion ait lieu entre des parties en conflit dont les vues divergent.

Par ailleurs, les nouvelles configurations pour l'entreposage mentionnées en fin de la dernière citation et envisagées timidement au début des années 2000 n'ont jamais été considérées comme des alternatives crédibles à l'évacuation géologique : les ingénieur.es du CEA ont étudié la possibilité de tels ouvrages en réponse à des demandes politiques pressantes mais jamais ils n'ont envisagé que le stockage en subsurface puisse être une solution de gestion définitive pour les déchets nucléaires.

III.5.4. POURQUOI PARTICIPER ?

Afin d'illustrer ce que sont les « *forums hybrides* », M. Callon, P. Lascoumes et Y. Barthe présentent les discussions qui suivent le moratoire de 1990 sur les recherches d'un site où implanter un stockage géologique comme un exemple d'un tel forum⁸⁰². Reprenant la thèse défendue par Y. Barthe, ils analysent la distinction de trois voies de recherche dans la loi de 1991 comme une réouverture des discussions sur la gestion des déchets nucléaires⁸⁰³. Toutefois, ni au CEA, ni à l'Andra, ni à EDF, ni au ministère de l'Industrie, personne n'a jamais envisagé après 1991 qu'il puisse y avoir une alternative à l'évacuation géologique des déchets nucléaires (cf. chapitre 3). La présentation des trois voies de recherches inscrites dans la loi de 1991 comme une remise en cause de l'inévitabilité de l'évacuation géologique des déchets nucléaires, à laquelle certain.es élu.es ont pu croire, est une stratégie politique. Dans les arènes confinés du nucléaire, personne n'a jamais imaginé un instant qu'il puisse y avoir une alternative à l'enfouissement de ces déchets.

Le report de la décision sur la gestion des déchets nucléaires à 2006 est une manière de gérer le temps du projet dont l'urgence est toute relative puisque certains déchets doivent encore refroidir pendant plusieurs décennies avant de pouvoir être enfouis. En aucun cas, celles et ceux qui travaillent pratiquement à la gestion des déchets nucléaires n'ont envisagé qu'il puisse exister une alternative au stockage géologique. La discussion n'a aucunement influé sur leur volonté. De même, au moment de l'implantation des laboratoires souterrains comme lors des débats publics de 2005 et

801 S. Topçu, *La France nucléaire*, op. cit.

802 M. Callon, P. Lascoumes et Y. Barthe, *Agir dans un monde incertain*, op. cit., pp. 29-33.

803 Y. Barthe, *Le pouvoir d'indécision*, op. cit.

2013, un certain nombre d'individus et d'organisations sont toujours fermement opposés à l'enfouissement des déchets nucléaires. Le « *forum hybride* » postérieur au moratoire de 1990 entrevu par Y. Barthe n'a, pour l'instant, pas permis de transcender les oppositions existantes.

Décrire les forums hybrides comme des espaces où se construit un nucléaire « *socialement, politiquement et techniquement* » meilleur apporte une indication sur leur fonction : ils servent avant tout à gouverner. Tout comme la participation promue par la Commission Européenne dans son *Livre Blanc* de 2001, le dialogue est désormais une condition nécessaire de l'action efficace. Il en va de même des révisions régulières du projet de stockage géologique auxquelles les membres du Coesdic souhaitent que l'ensemble des parties prenantes soient invitées et qui doivent améliorer le projet et son acceptation. La technicisation des enjeux et l'existence de grand corps d'ingénieur.es influant au cœur de l'État constituent néanmoins deux obstacles majeurs que la « *démocratie technique* » peine à contourner. Les tentatives d'ouvrir les décisions sur l'avenir du nucléaire en France en sont des exemples significatifs⁸⁰⁴.

Ce détour par B. Manin, A. Hirschman et *Agir dans un mode incertain* permet d'explicitier pourquoi, pour les membres du Coesdic, la répétition de consultations sur la poursuite de l'exploitation du stockage constitue une garantie suffisante pour engager la construction de Cigéo. En effet, d'une part la possibilité pour tous et toutes de participer à la délibération est envisagée comme une condition suffisante pour que la décision soit légitime. D'autre part, cette participation doit amener chacun et chacune à faire évoluer ses positions. La formulation de positions tranchées et non-négociables ne constituent pas un mode d'expression vertueux.

CONCLUSION PARTIELLE

Les recommandations du Coesdic pour la gouvernance de Cigéo révèlent en quoi la proposition de prise en main, par les principaux producteurs de déchets, de la gestion industrielle du projet de stockage, gêne la direction de l'Andra. En effet, la volonté des producteurs de creuser l'ensemble des ouvrages souterrains avant le début de l'exploitation du stockage met à mal le modèle de gouvernance conseillé par le Coesdic et adopté par la direction de l'Agence : une fois la totalité des ouvrages creusés, la possibilité d'une évolution ultérieure du projet est fortement réduite. Or, le contrat social suggéré par les membres du Coesdic fait reposer l'acceptation du projet sur le besoin pour l'Agence d'entretenir la confiance de l'ensemble des parties prenantes dans son projet. La consultation régulière sur l'avenir du projet ainsi que l'adaptation du projet suscitée par la
804 S. Topçu, *La France nucléaire, op. cit.*

poursuite des recherches imposeraient à l'Andra d'être responsable, transparente sur ces activités et à l'écoute de l'ensemble des parties prenantes. La construction de l'ensemble des ouvrages souterrains avant l'exploitation du stockage réduit les garanties pouvant être accordées aux observateurs de l'Andra.

L'engagement de chercheurs et chercheuses en sciences sociales pour conseiller la direction de l'Andra sur la gouvernance de son projet s'inscrit dans un mouvement plus vaste qui n'est pas spécifique à la seule gestion des déchets nucléaires⁸⁰⁵. Néanmoins, la proposition de renouveler régulièrement, durant l'exploitation industrielle du stockage, des épisodes décisionnels, durant lesquels la participation de l'ensemble des parties prenantes est encouragée, est assez novatrice. Dans sa thèse effectuée sous la direction de M. Callon, Y. Barthe suggérait en 2000 que la loi de 1991 sur la gestion des déchets nucléaires constitue une réouverture des possibles après l'irréversibilisation technique ayant institué l'évacuation géologique des déchets nucléaires comme solution unique de gestion de ces rebuts⁸⁰⁶. Le renouvellement régulier des décisions sur la poursuite de l'exploitation du stockage promue par le Coesdic est assurément une manière de maintenir ouverte l'évolution de la gestion des déchets nucléaires tout en engageant sans attendre la construction d'un stockage profond. La segmentation de l'exploitation et de la fermeture du stockage et la répétition régulière de décisions publiques sur la poursuite du projet n'est pas une innovation spécifiquement française. Ainsi par exemple, le *Forum for Stakeholder Confidence* de l'AEN (OCDE) publie dès 2005 un rapport sur l'intérêt d'une approche par étapes des décisions pour l'acceptation d'une installation de stockage par les collectivités locales et les parties prenantes⁸⁰⁷.

Par ailleurs, en France, cette segmentation des décisions s'accompagne de l'écriture d'une histoire de la gestion des déchets nucléaires dans laquelle la loi de 1991, qui institue une période de quinze ans dévolue aux recherches, est considérée comme la première étape de cette segmentation des décisions. Il semble quelque peu artificiel de vouloir attribuer aux instigateurs de la loi de 1991 les prémices d'un mode de gouvernement de l'aval du cycle nucléaire fondé sur la succession de décisions. Néanmoins, ces quinze ans de recherches ont permis à l'Andra de s'implanter localement en Meuse et en Haute-Marne. Les oppositions qu'elle y rencontre – jusqu'au débat public de 2013 – semblent peu menaçantes. Ce succès du dispositif mis en place par le député C. Bataille, fondé sur

805 L. Blondiaux et Y. Sintomer, « *L'impératif délibératif* », *op. cit.* ; D. Pestre, « Des sciences, des techniques et de l'ordre démocratique et participatif », *op. cit.* ; C. Blatrix, « Des sciences de la participation », *op. cit.*

806 Y. Barthe, *La mise en politique des déchets nucléaires*, *op. cit.*

807 AEN/OCDE (ed.), *La prise de décision par étapes dans la gestion à long terme des déchets radioactifs. Expérience, résultats et principes directeurs*, 2005 ; AEN/OCDE (ed.), *Approche par étapes de la gestion à long terme des déchets radioactifs*, Forum for Stakeholder Confidence, 2008.

le report de la décision et l'attribution d'une place centrale à la recherche dans la gestion de l'aval du cycle nucléaire, pourrait avoir inspiré les instigateurs du schéma de gouvernance séquentiel de Cigéo.

Durant le débat parlementaire de 1991, le report de la décision et la possibilité de construire un stockage réversible ont constitué deux garanties concédées aux parlementaires opposés à l'enfouissement des déchets nucléaires (dont Ségolène Royal) qui bataillaient pour qu'aucune décision irréversible ne soit engagée. Dans leur livre *Le Nouvel Esprit du Capitalisme*, Luc Boltanski et Ève Chiapello soulignent que le capitalisme puise la capacité à se renouveler constamment dans les idées et les concepts développés par celles et ceux qui critiquent ce système⁸⁰⁸. La trajectoire du concept de réversibilité qui est au cœur du mode de gouvernance promu par la direction de l'Andra pour Cigéo a suivi un mouvement d'appropriation similaire à celui décrit par L. Boltanski et È. Chiapello. Il faut souligner ici que le travail de vampirisme de la notion de réversibilité a été en grande partie assumé par des sociologues se reconnaissant, au moins pour partie, dans le programme formulé dans *Agir dans un monde incertain*.

CONCLUSION. ENGAGER LE PROJET DE STOCKAGE MALGRÉ L'EXISTENCE INEXORABLE D'INCERTITUDES

Après 2006, l'industrialisation du projet de stockage et l'exploitation du laboratoire souterrain de Bure transforment les épreuves auxquelles la direction de l'Andra doit faire face. Alors que la loi votée en juin 2006 a entériné le choix de l'évacuation géologique des déchets nucléaires comme solution de gestion nationale pour ces déchets, le projet porté par l'Andra est toujours régulièrement menacé. Si l'exploitation exclusive du laboratoire souterrain donne à l'Agence un privilège certain dans la production de connaissances sur les mécanismes qui influenceront sur l'évolution d'un possible stockage et la migration des radionucléides, ces recherches produisent irrémédiablement des incertitudes nouvelles et de ce fait, elles sont toujours à la merci des critiques. Par ailleurs, la faisabilité technique de construire, d'exploiter et de sceller un stockage réversible dans l'argile du Callovo-Oxfordien n'est pas sans poser un certain nombre de difficultés nouvelles.

L'assise du projet de stockage est toujours fragile. Lors du débat public de 2013, le surgissement d'une opposition conséquente à l'enfouissement, issue d'un regain d'activité des luttes anti-nucléaires en France après la catastrophe de Fukushima, en est un signe. La remise en question,

808 Luc Boltanski et Ève Chiapello, *Le nouvel esprit du capitalisme*, Paris, Gallimard, 1999.

par les producteurs de déchets, de la capacité des salarié.es de l'Andra à concevoir et exploiter industriellement un stockage en est un autre. À la fin des années 2000, dans le monde incertain où évoluent les dirigeant.es de l'Agence, ces dernier.es, conseillé.es par quelques sociologues, perçoivent les dispositifs participatifs comme des instruments vertueux de gouvernement. La répétition régulière d'épisodes de concertation est dès lors promue comme une manière élégante de gouverner un projet de stockage dont l'exploitation doit durer un siècle. Toutefois, entre des producteurs de déchets pour lesquels la réversibilité du stockage représente avant tout un surcoût et une opposition à l'évacuation géologique des déchets nucléaires que l'engagement d'une réversibilité du stockage ne contente pas, la recherche d'un monde commun risque d'être difficile.

Par ailleurs, le plébiscite d'une gouvernance par étapes du projet Cigéo constitue un abandon de la prétention à montrer la sûreté du projet de stockage avant le début de son creusement. En effet, la poursuite des recherches sur le stockage et l'évolution des concepts de stockage durant son exploitation excluent de chercher à savoir à quoi celui-ci ressemblera au moment de sa fermeture. Ce saut dans l'incertain constitue une rupture.

Au milieu des années 1990, la conception d'un stockage modulaire dont la localisation précise des modules serait inconnue avant le creusement de l'ouvrage, et l'éventualité d'adapter l'architecture d'un stockage en fonction de la fracturation réelle du granite de la Vienne, avaient suscité des réticences chez certains membres du Groupe Permanent Déchets et de la CNE (cf. chapitre 2). La maturité du projet de stockage dans la Vienne au milieu des années 1990 et celui de Cigéo à la fin des années 2000 ne sont pas comparables. Néanmoins, il me semble intéressant de souligner que le rapport du Coesdic sur la gouvernance de Cigéo encourage l'engagement du creusement du stockage sans attendre que soient levées les incertitudes qui subsistent sur la phénoménologie du dépôt. Bien que l'évacuation de toutes les incertitudes sur l'évolution du stockage soit difficilement envisageable, la recommandation d'une gouvernance par étapes permet à la direction de l'Andra de contourner l'impossibilité de connaître exhaustivement l'évolution de l'ouvrage et d'engager la construction de Cigéo. Alors que cette impossibilité de connaître exhaustivement l'évolution d'un stockage pourrait constituer une raison de ne pas s'engager dans une telle solution de gestion, le saut dans l'incertain proposé par les sociologues du Coesdic est une poursuite du programme engagé par les nucléocrates des années 1980 par d'autres moyens. Toutefois, démontrer que les incertitudes qui existent inévitablement sont maîtrisées, et que la sûreté d'un stockage qui évoluera durant son exploitation est assurée, constitue encore un chantier délicat. Le chapitre suivant se penche sur ce travail.

CHAPITRE 7. « NE PAS TROP SE FAIRE PEUR ». SÉLECTIONNER DES HYPOTHÈSES POUR LES CALCULS D'IMPACT ET ANTICIPER LEURS CONSÉQUENCES

Suivant le calendrier établi par la loi de 2006, la demande d'autorisation de construction d'un stockage doit être déposée en 2015⁸⁰⁹. À cette occasion, les salarié.es de l'Andra doivent rendre un dossier montrant que le projet de stockage conçu à l'Agence est conforme avec la réglementation encadrant l'implantation de telles installations⁸¹⁰. La production d'une analyse de sûreté d'un projet de stockage est un événement rare. L'Andra en a publié une en 2005 précédée d'un rapport préparatoire en 2001 (cf. chapitre 5). Un dossier a été produit en 2009 pour justifier le choix d'une zone restreinte où implanter Cigéo (cf. chapitre 6). Étant donné que les concepts de stockage, les connaissances sur la physique du stockage et les outils numériques de calcul évoluent, la réalisation de chaque nouvelle analyse s'effectue à partir d'hypothèses quelque peu différentes des analyses antérieures. Bien que chaque analyse montrant la sûreté d'un projet de stockage enraine davantage la conviction de la possibilité de construire un stockage sûr, l'évolution des hypothèses sur lesquelles reposent les analyses de sûreté est toujours susceptible de déstabiliser les conclusions antérieures. Les conclusions des analyses de sûreté sont toujours assorties de la condition que la poursuite des recherches ne remette pas en cause les hypothèses considérées. De ce fait, l'accumulation d'analyses montrant la sûreté d'un hypothétique stockage ne garantit pas que l'analyse suivante permettra encore de montrer la sûreté du projet de stockage. La sûreté d'un projet de stockage n'est jamais totalement acquise.

Ce dernier chapitre est consacré à l'étude du processus de revue qui s'est tenu à l'Andra en 2013 avant la réalisation des calculs effectués pour la demande d'autorisation de Cigéo. Il s'agit d'étudier ici la manière dont sont sélectionnées les hypothèses qui permettent la réalisation de ces calculs. Alors qu'il existe encore des incertitudes sur la caractérisation du stockage et de son évolution et qu'il est admis, au sein de la direction de l'Andra, qu'inévitablement il en existera toujours, ce chapitre expose le travail effectué pour construire une représentation du stockage et de son évolution, pouvant être utilisée pour la réalisation des calculs d'impact radiologique.

809 Loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs, *Journal Officiel de la République Française*, 28 juin 2006, art. 3.

810 P. Bodenez, *Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde*, ASN, 12 février 2008.

Dans la réglementation, l'impact radiologique est toujours un critère central d'évaluation de la sûreté des projets de stockage⁸¹¹. Cependant, à lui seul, le calcul de cet impact radiologique dit peu de chose de la sûreté de l'ouvrage. La réalisation de ce calcul est une exigence réglementaire mais il importe que l'amoncellement des travaux nécessaires à sa réalisation soit convaincant. En effet, la démonstration de sûreté doit permettre de légitimer publiquement le recours à l'évacuation géologique. Plus que la réalisation du calcul en tant que telle, c'est désormais la complétude des études et la cohérence des hypothèses retenues qui justifient la qualité de l'analyse effectuée (cf. chapitre 5). Cependant, il importe tout de même que les hypothèses sélectionnées pour la réalisation des calculs permettent que l'impact radiologique calculé soit inférieur à la limite réglementaire.

Ce chapitre entreprend de montrer que la production d'une démonstration de sûreté est avant tout un exercice politique dans lequel la présentation finale de cette démonstration est prise en compte dès la sélection des hypothèses qui guideront la réalisation des calculs. Tout le long du processus de revue étudié dans ce chapitre, les différentes lectures et analyses du travail de démonstration effectué sont anticipées et différentes stratégies sont mises en œuvre pour produire une démonstration robuste, fidèle aux connaissances sur la physique du stockage et de son évolution, et qui satisfasse les critères réglementaires d'évaluation de sûreté. La détermination de marges, notamment, est à la fois, une reconnaissance de l'existence d'incertitudes, une manière de prendre en compte celles-ci et un travail d'anticipation des conséquences qu'aurait l'augmentation des valeurs retenues sur l'impact radiologique calculé.

La réalisation d'une Revue Finale des Modèles et des Données (RFMD) est décidée en septembre 2011 et mise en place en 2013. Cette revue constitue un préalable à l'écriture du dossier de demande de construction de Cigéo. De ce fait, l'analyse qui est effectuée à ce moment doit être la dernière avant le début de son creusement. Les réunions de revue regroupent une vingtaine de salarié.es de l'Andra appartenant à la Direction Maîtrise des Risques (DMR), à la Direction de la Recherche et Développement (DRD), à la Direction des Programmes (DP) et à la Direction de l'Ingénierie et du Projet Cigéo (DIP). La direction de l'ingénierie coordonne la conception de Cigéo. La direction de la R&D étudie les différents phénomènes qui influent sur l'évolution du stockage. Le service qui réalise les calculs d'impact radiologique (DRD/EAP, Évaluation et Analyse de Performance) est rattaché à cette direction. La direction de la maîtrise des risques est chargée du développement des outils d'analyse de sûreté. Ce sont les salarié.es de cette direction qui rassemblent l'ensemble des données caractéristiques du stockage utilisées dans les calculs d'impact.

811 *Ibid.*, pp. 6-8.

Ils et elles sont également chargé.es d'attribuer des marges d'incertitudes aux grandeurs caractérisant le stockage et son évolution. La revue RFMD est présidée par le directeur adjoint de la direction des programmes, salarié de l'Andra depuis la seconde moitié des années 1980. Elle est pilotée par un membre de cette même direction, ancien salarié de l'IRSN.

Le processus de revue RFMD est structuré en trois parties : RFMD-1, RFMD-2 et RFMD-3. J'ai assisté aux réunions de revue RFMD-1 en juillet 2013 et aux deux parties de la RFMD-2 (RFMD-2a et RFMD-2b) en septembre puis décembre 2013. J'ai également eu accès aux présentations projetées lors de ces réunions et à certains documents soumis à revue. À ces réunions de plusieurs heures étaient associées les deuxième, troisième et quatrième parties de la revue RC2 (Revue des Colis). La veille au soir de la réunion RFMD-3, le directeur de la Recherche et Développement de l'Andra m'a signifié par mail que ma présence à cette réunion n'était plus souhaitée. Celle du responsable à l'Andra des recherches en sciences humaines et sociales n'était également plus désirée. De ce fait, nous n'avons pas assisté à cette réunion et, après la réception du compte-rendu de celle-ci, j'ai cessé d'être informé de la suite de ce processus de revue. Par ailleurs, à ce moment, le dépôt de la demande d'autorisation du stockage est repoussé au-delà de 2015. Le retard dans le calendrier de la revue RFMD s'est également accentué.

Après une présentation générale du processus de revue, la deuxième partie de ce chapitre expose différentes manières dont les participant.es à la revue RFMD ont appréhendé les incertitudes sur les phénomènes qui influent sur le stockage. La troisième partie de ce chapitre porte sur la difficulté de produire des images de l'état du stockage au moment de sa fermeture ou bien après celle-ci. Il traite également de la construction du scénario décrivant l'évolution normale du stockage qui doit guider la réalisation des calculs d'impact. Enfin, dans la dernière partie de ce chapitre, j'étudie la difficulté des salarié.es de l'Andra à caractériser les déchets nucléaires destinés à être enfouis et notamment à déterminer l'inventaire radiologique du stockage.

I. OBJETS ET DÉROULEMENT DES REVUES

Prévue entre juin 2013 et février 2014, la revue RFMD se déroule en quatre parties : RC2, RFMD1, RFMD-2 et RFMD-3. La RC2 et la RFMD-1 sont consacrées à l'« *évaluation de l'état des connaissances* »⁸¹². La RC2 est dédiée à l'examen des connaissances sur les colis de déchets. La RFMD-1 se focalise sur les connaissances des conteneurs, de la géologie, de la biosphère et de leurs évolutions dans le temps. La RFMD-2 se concentre sur la description du Scénario d'Évolution Normale (SEN) de Cigéo. La RFMD-3 doit porter sur les Scénarios d'Évolution Altérée (SEA) et l'étude des cas conventionnels (scénarios « *What if* »). Suivant la procédure établie à l'Andra, les revues reposent sur un document qui est soumis aux questions de l'équipe de revue. Les réponses à ces questions sont discutées en réunion. La rédaction des notes supports à la revue RFMD-1 par des membres de différents services de la direction de la R&D, a représenté une charge de travail conséquente. De même, la RC2 et les RFMD-2 et RFMD-3 ont occupé pleinement, pendant plusieurs mois, les salarié.es de la direction de la maîtrise des risques engagé.es pour dresser l'état des connaissances sur les déchets et déterminer les modèles de l'évolution des différents composants du stockage.

1.1. LA RFMD-1, UNE REVUE SUR LES PHÉNOMÈNES ET LES CONNAISSANCES

Pour la réunion de la RFMD-1 du 9 juillet 2013, les salarié.es de la direction de la R&D de l'Andra ont préparé trois documents : un bilan des connaissances phénoménologiques et des incertitudes résiduelles sur Cigéo (269 pages, 32 auteurs)⁸¹³, un état des connaissances sur les valeurs des paramètres des composants et des processus guidant l'évolution du stockage et du milieu géologique (59 pages, 12 auteurs)⁸¹⁴, et un état des connaissances sur les valeurs des paramètres gouvernant le comportement du milieu géologique, des radionucléides et des toxiques chimiques dans les différents environnements du stockage (162 pages, 5 auteurs)⁸¹⁵. Ces documents ont été

812 Pascal C. Leverd, Frédéric Plas et Sylvie Voinis, « Cigéo - Revues de préparation à la DAC. RFMD-1. Questions DP/DMR/DIP et Réponses DRD », Andra, 2013, p. 3.

813 Collectif, *Revue Finale des Modèles et des Données première partie (RFMD-1) : bilan des connaissances phénoménologiques et incertitudes résiduelles*, Andra, juin 2013.

814 Collectif, *Revue Finale des Modèles et des Données première partie (RFMD-1) : état des connaissances sur les valeurs des paramètres des composants et des processus phénoménologiques du stockage et du milieu géologique*, Andra, 21 juin 2013.

815 Scott Altmann, Daniel Coelho, Éric Giffaut, E. Made et JC. Robinet, *Revue des Modèles et des Données n° 1 (RFMD-1) : état des connaissances sur les valeurs des paramètres gouvernant le comportement des radionucléides*

communiqués aux salarié.es de la direction des programmes, de la maîtrise des risques et de l'ingénierie, qui ont formulé plus de deux cents questions les 3 et 4 juillet. Celles-ci ont été regroupées par le coordinateur de la revue avant que les salarié.es de la direction de la R&D ne produisent des réponses aux questions. Ces réponses sont discutées lors de la réunion du 9 juillet. Auparavant, une réunion de préparation à la réunion de revue s'est tenue le 5 juillet en comité restreint. La réunion de revue a duré plus de cinq heures. Le compte rendu tient en deux pages et ne retient qu'une succession de brèves remarques ainsi que des réponses, très brèves elles aussi, aux « *questions clefs* » qui ont été formulées dans la lettre de cadrage de la revue. Lors de la réunion, la réponse à ces questions a occupé très peu de temps. La majeure partie des discussions ayant eu lieu durant cette réunion n'est pas consignée dans son compte-rendu. Le directeur adjoint de la R&D coordonne la RFMD-1.

La RFMD-1 a pour objectif d'établir un « *état des connaissances sur les valeurs des paramètres des composants et des processus phénoménologiques du stockage et du milieu géologique* »⁸¹⁶. Les salarié.es de la direction de la R&D distinguent deux catégories parmi les grandeurs soumises à revue. D'une part, celles qui caractérisent le milieu géologique, les « *données intrinsèques* »⁸¹⁷. D'autre part, celles qui caractérisent les composants ouvragés et qui résultent d'un processus itératif de choix qui doivent permettre d'assurer la sûreté du stockage. Ces valeurs caractérisant les ouvrages sont établies par un dialogue entre les salarié.es qui, à l'Andra, sont chargées de la conception de l'ouvrage, des études phénoménologiques et des études de sûreté. Cette deuxième catégorie de données correspond à un besoin exprimé par les salarié.es de l'Andra. Elles constituent des « *exigences* » pour la conception du stockage. Avant la construction du stockage, il est formellement impossible d'assurer que les caractéristiques des ouvrages correspondront exactement aux exigences fixées pour leur conception.

Les différentes valeurs proposées et soumises à revue sont accompagnées d'une analyse des incertitudes liées à leur détermination. Le document distingue trois types d'incertitudes. Premièrement, « *les incertitudes de type épistémique sur les techniques et les protocoles de mesure* »⁸¹⁸. Deuxièmement, « *les variabilités naturelles du milieu géologique ou celles industrielles de mise en forme et de mise en œuvre des matériaux ouvragés* »⁸¹⁹. Enfin, « *les incertitudes sur les processus régissant l'évolution du stockage, et leurs traductions en termes de*

et des toxiques chimiques dans les différents environnements du stockage et le milieu géologique, Andra, mai 2013.

816 *Ibid.*, p. 1.

817 Collectif, *Revue Finale des Modèles et des Données première partie (RFMD-1): état des connaissances sur les valeurs des paramètres des composants et des processus phénoménologiques du stockage et du milieu géologique*, *op. cit.*, p. 6.

818 *Ibid.*

819 *Ibid.*

temps caractéristiques ou d'intensité des phénomènes »⁸²⁰. Ces dernières incertitudes étant difficilement quantifiables, elles sont prises en compte sous forme d'incertitudes sur les paramètres et sur l'évolution phénoménologique. Afin d'organiser le travail à mener avant le lancement des calculs d'impact et le dépôt de la demande d'autorisation de Cigéo, les salarié.es de l'Andra distinguent les incertitudes qui influent potentiellement sur la démonstration de la sûreté du stockage de celles qui ne présentent pas cet enjeu⁸²¹. De plus, certaines incertitudes ne concernent pas les premières « tranches » de Cigéo et ne doivent donc pas être levées prioritairement.

La réunion du 9 juillet débute par une mise en garde à propos de la nature des documents soumis à revue et de l'importance de limiter leur diffusion. Au moment de la demande d'autorisation de Cigéo, les documents référencés dans le dossier soumis à l'évaluation de l'autorité de sûreté auront, du fait de cette référence, le statut de document public. Il est rappelé en réunion que leur écriture devra prendre en compte ce statut. Plusieurs participants à la revue remarquent que les documents soumis à revue doivent d'être « *highlightés* » et qu'un travail de « *wording* » est nécessaire avant de pouvoir les diffuser. Sur la présentation projetée lors de la réunion, il est écrit :

« *Il y a un travail de « toilette » du document [à faire] pour mieux expliciter certaines incertitudes, leur mettre un poids relatif et ainsi éviter toutes ambiguïtés d'interprétation*⁸²² ».

Ces documents faisant état des incertitudes de l'Andra, il est pointé qu'ils pourraient être « *mal interprétés* » et que, dans les mains d'un contre-expert comme Bertrand Thuillier, ils pourraient avoir un effet dévastateur⁸²³. Ainsi, au moment de préparer la demande d'autorisation de Cigéo, les responsables de la RFMD portent une attention importante à la publicisation des travaux de recherche effectués à l'Andra. Si celle-ci doit avoir lieu, il leur importe de rester maîtres de la manière dont seront présentés les connaissances et les doutes qui subsistent. Ainsi, les responsables de la revue anticipent la possibilité d'une controverse publique. Ils sont particulièrement vigilants aux mots utilisés et aux effets discursifs des formulations retenues dans les documents destinés à être publiés.

Les revues RFMD constituent un préalable à la réalisation des calculs d'impact. Cependant, la réalisation de ces calculs ne constitue plus, à ce moment, l'unique étalon de la sûreté du projet de l'Andra (cf. chapitre 5). L'adjoint au directeur de la R&D précise en préambule à la revue que la

820 *Ibid.*

821 P. C. Leverd, F. Plas et S. Voinis, « Cigéo - Revues de préparation à la DAC. RFMD-1. Questions DP/DMR/DIP et Réponses DRD », *op. cit.*, p. 7.

822 *Ibid.*

823 Bertrand Thuillier est ingénieur agronome et professeur associé à l'Université de Lille. Il s'est illustré en faisant une critique technique de la conception du stockage de l'Andra dans laquelle, à partir de documents publics de l'Agence, il a soulevé les risques que représentent le stockage durant son exploitation (incendie, chute d'un colis, effondrement...). Sa contre-expertise a eu une certaine audience au début des années 2010.

démonstration de sûreté ne sera « *jamais une démonstration de type mathématique* ». Celle-ci reposera sur un « *faisceau d'arguments* » qui devront garantir que tout a été fait pour que le stockage soit sûr. Cette précision sur la nature du travail de démonstration de sûreté dont cette revue constitue une étape importante est répétée à plusieurs reprises lors des réunions. La justification des hypothèses retenues pour la réalisation des calculs et la cohérence du dossier publié ont dès lors une importance stratégique accrue.

1.2. LES REVUES RFMD-2A ET RFMD-2B, DES REVUES SUR LA CARACTÉRISATION DU STOCKAGE

La première partie de la RFMD-2 se concentre sur l'examen d'un document de synthèse des données essentielles de l'Analyse Qualitative de Sûreté (AQS, cf. chapitre 4)⁸²⁴. Il regroupe des éléments sur l'architecture du stockage, sur son inventaire radiologique et en toxiques chimiques, sur les éléments assurant les différentes fonctions de sûreté et leur comportement dans le fonctionnement normal du stockage et enfin une liste de *Features, Events and Processes* (FEP's, cf. chapitre 4)⁸²⁵. La RFMD-1 porte sur la physique du stockage telle qu'elle est appréhendée par les salarié.es de la direction de la R&D. La RFMD-2 est dédiée aux caractéristiques du stockage telles qu'elles sont analysées par les salarié.es chargé.es de la maîtrise des risques. Si les éléments présentés lors de ces deux revues sont parfois similaires, les manières de les représenter diffèrent. Tout l'enjeu du processus de revue est d'assurer que les différentes représentations du stockage sont cohérentes entre elles.

Le document soumis à revue regroupe un tableau d'analyse fonctionnelle des composants du stockage, une méthode d'évaluation de l'inventaire radiologique « *enveloppe* » du stockage et une première synthèse des connaissances sur les différents composants du stockage établie à partir de la liste des FEP's⁸²⁶. Le travail fourni par les salarié.es de la direction de la maîtrise des risques pour produire ce document a été long et important. La méthodologie envisagée repose sur celle mise en œuvre à l'Agence pour le *Dossier 2005*⁸²⁷. Les salarié.es de l'Andra ont toutefois intégré les remarques qui leur ont été faites par les évaluateurs du *Dossier 2005*. Ils et elles ont par ailleurs

824 Collectif, *Données essentielles de l'AQS (version Revue RFMD2-a)*, Andra, 2013.

825 Pascal C. Leverd et Sylvie Voinis, « Cigéo - Revues de préparation à la DAC RFMD-2-a », Andra, 2013, p. 7.

826 *Ibid.*, p. 9.

827 *Ibid.*, p. 13.

veillé à ce que la méthode utilisée soit en accord avec les recommandations formulées par l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) dans le Guide de sûreté publié en 2008, ainsi qu'avec les pratiques internationales, discutées notamment à l'Agence pour l'Énergie Nucléaire de l'OCDE.

Il est souligné en réunion que le temps a manqué entre les réunions de la RFMD-1 et de la RFMD-2 pour que les salarié.es de la direction de la maîtrise des risques de l'Andra puissent prendre en compte les différents éléments issus des actions programmées au mois de juillet pour cette revue du 24 septembre. Le processus de revue s'en trouve altéré : le document soumis à revue a été mis à disposition de l'équipe de revue le 18 septembre et il n'a pas fait l'objet de questions-réponses par l'équipe de revue, comme le prévoit la procédure de l'Andra sur la manière dont doit se tenir une revue⁸²⁸.

La revue RFMD-2b se déroule à l'Andra le 12 décembre 2013. Comme pour la revue RFMD-2a, le temps a manqué pour que la RFMD-2b soit menée selon la procédure prévue : les documents soumis à revue ont été envoyés le 9 décembre et ce délais trop court (9 décembre – 12 décembre) n'a pas permis la mise en place de questions-réponses sur ce document avec l'ensemble de l'équipe de revue. La réunion de revue débute par un état des lieux du travail effectué depuis la réunion de la RFMD-2a, notamment sur la définition d'un inventaire pour le stockage et la répartition de celui-ci dans les ouvrages. Elle se poursuit par l'examen des « *principes directeurs* » de la construction du scénario normal et des « *choix structurants* » effectués. En particulier, la réunion se focalise sur les phénomènes pour lesquels différentes représentations sont possibles et la réalisation de calculs de sensibilité est donc rendue nécessaire.

Tout comme la RFMD-1, les revues RFMD-2a et RFMD-2b se concentrent sur les points pour lesquels les connaissances sont les plus fragiles. Néanmoins, les objectifs de ces revues sont différents. La RFMD-1 consistait à passer en revue un état des connaissances sur les phénomènes qui guident l'évolution stockage, établi par la direction de la R&D de l'Andra. La réunion de la RFMD-2 examine les doutes sur les capacités des composants du stockage à assurer les fonctions de sûreté qui leur ont été attribuées à partir d'un document produit par la direction de la maîtrise des risques de l'Agence. Certains éléments discutés durant la réunion de la RFMD-1 le sont toutefois de nouveau lors de la RFMD-2.

828 *Ibid.*, p. 8 ; J. Haas, *Procédure de revue*, Andra, 12 avril 2000.

II. FAIRE FACE AUX INCERTITUDES, FAIRE AVEC LES INCERTITUDES

La réunion de la RFMD-1 est consacrée à l'examen des différentes questions formulées sur le document préparé par les membres de la direction de la R&D. Plutôt que de revenir sur l'ensemble de ces questions – ce qui serait assez fastidieux et sans grand intérêt –, je ne vais détailler que quelques points qu'il me semble intéressant de commenter. De fait, un tel choix qui se focalise sur les questionnements soulevés lors de la revue peut donner l'impression que l'Andra maîtrise peu la conception du stockage qu'elle envisage. Là n'est pas mon propos : l'Andra a indiscutablement accumulé une grande quantité de savoirs sur l'évolution d'un projet de stockage et de nombreuses connaissances sont stabilisées. Me concentrer sur les points les plus fragiles me permet uniquement d'appréhender la manière dont les incertitudes qui subsistent au moment de la revue sont gérées pratiquement.

II.1. IGNORER LES INCERTITUDES SANS IMPORTANCE

Certaines sources d'incertitudes ne suscitent pas d'inquiétudes parmi les participant.es au processus de revue. Après une rapide discussion, les questions à leur propos sont rapidement évacuées. C'est le cas notamment de la longueur des alvéoles et de leur éventuelle inclinaison mais aussi de la position précise du stockage dans la formation géologique hôte.

L'épaisseur du Callovo-Oxfordien varie entre 142 et 162 mètres et les géologues de l'Andra estiment que la précision de cette grandeur est de plus ou moins 10 mètres⁸²⁹. Même dans la situation la plus défavorable, il est possible qu'il y ait une épaisseur de 60 mètres d'argile au-dessus des alvéoles les plus hautes (10 mètres), celles prévues pour les déchets MAVL⁸³⁰. De ce fait, la profondeur réelle à laquelle se situera le toit du Callovo-Oxfordien au dessus du stockage pourra être calée lors du creusement des puits d'accès aux installations souterraines⁸³¹. La possibilité qu'il y ait une épaisseur d'argile d'au moins 60 mètres au-dessus du stockage, même dans la situation hypothétique la plus défavorable, rend la question de la position réelle du toit du Callovo-Oxfordien non problématique pour les membres de la revue.

829 P. C. Leverd, F. Plas et S. Voinis, « Cigéo - Revues de préparation à la DAC. RFMD-1. Questions DP/DMR/DIP et Réponses DRD », *op. cit.*, p. 9.

830 *Ibid.*

831 *Ibid.*

La variabilité de la longueur des alvéoles n'a pas été étudiée en tant que telle. Pourtant, les producteurs de déchets qui financent Cigéo poussent les ingénier.es de l'Andra à augmenter leurs longueurs afin de diminuer le coût global du stockage (cf. chapitre 6). Lors de la revue, un participant demande si l'augmentation de la longueur des alvéoles modifierait l'écoulement des gaz à l'intérieur de celles-ci. L'ingénieur qui pilote la revue questionne également la direction de la R&D pour savoir si une inclinaison des alvéoles due à une imprécision lors de leur creusement pourrait avoir une influence sur les circulations gazeuses. Ni la longueur des alvéoles ni leur inclinaison n'ont fait l'objet d'études paramétriques, mais les membres de la direction de la R&D ne semblent pas particulièrement inquiété.es par les conséquences potentielles d'une variation de ces paramètres. Le consensus des chercheurs et chercheuses sur ce point suffit à dissiper les interrogations des autres membres de la revue.

Par ailleurs, on peut noter que ces deux questions sont induites par le passage du projet Cigéo dans une phase industrielle. Tant que la réalisation du stockage ne se pose pas concrètement, il n'y a aucune raison pour que des alvéoles conçues pour être horizontales ne le soient pas tout à fait une fois creusées. De même, tant que la question du financement du stockage ne devient pas une question centrale, et reste indépendante de la conception de l'ouvrage, il n'y a pas de raison d'étudier l'influence de la variabilité de la longueur des alvéoles sur la sûreté du stockage. L'optimisation financière amène la direction de la R&D à étudier l'influence de certains paramètres qui n'avaient, jusqu'alors, aucune raison de varier.

II.2. MAJORER LES CONSÉQUENCES POTENTIELLES D'UN PHÉNOMÈNE MAL COMPRIS, LA SURPRESSION DANS LE CALLOVO-OXFORDIEN

Dans l'argile du Callovo-Oxfordien (Cox), l'eau circule par diffusion. Cette argile étant très peu perméable, les mouvements d'eau y sont très faibles. La connaissance de la pression hydrostatique dans la roche doit permettre de caractériser la vitesse des circulations hydrauliques. Alors que la pression hydrostatique augmente généralement en fonction de la profondeur, une anomalie a été mise à jour au niveau du Callovo-Oxfordien. Sur le graphique ci-dessous (*Figure 24*), on peut ainsi voir que plusieurs mesures en forage (les croix de couleur) et au laboratoire souterrain (le point marron) indiquent une charge hydraulique (axe des abscisses) plus importante dans le Cox (en bleu sur la coupe géologique à gauche) que dans les formations géologiques situées de part et d'autre de celui-ci. Au moment de la revue, les causes de cette surpression sont encore sujettes à débat.

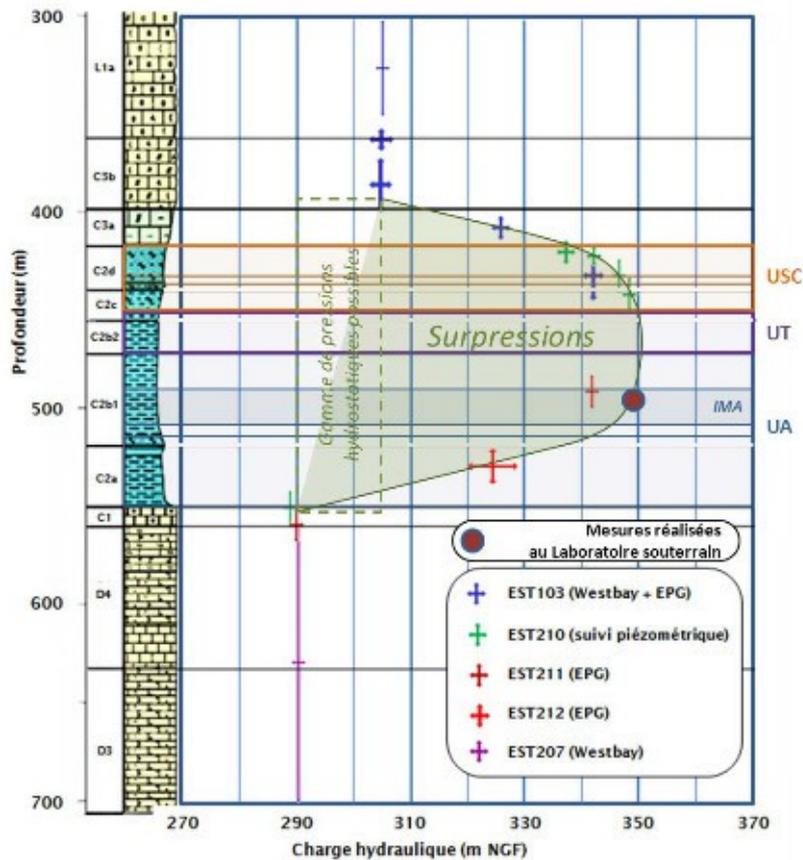


Figure 24. Profil de pressions hydrostatiques mesurées dans le Callovo-Oxfordien et les formations aquifères sus- et sous-jacentes, au droit du Laboratoire de Meuse/Haute-Marne (COLLECTIF, *Revue Finale des Modèles et des Données première partie (RFMD-1) : bilan des connaissances phénoménologiques et incertitudes résiduelles*, Andra, juin 2013)

La très faible perméabilité de l'argile est importante pour la sûreté du stockage mais elle rend son étude expérimentale délicate. Ainsi le document soumis à revue précise :

« la mesure de la perméabilité dans une roche très imperméable mais déformable et relativement fragile comporte de fortes incertitudes, en raison de l'endommagement de l'argilite autour des forages et des scellements et de son comportement visco-élasto-plastique lors des tests⁸³². »

La très faible perméabilité de l'argile induit qu'une circulation hydraulique minimale peut témoigner d'une pression hydrostatique importante⁸³³. Plusieurs phénomènes pourraient expliquer l'observation d'une surpression dans le Callovo-Oxfordien. Cependant, la difficulté expérimentale à mesurer cette surpression particulièrement ténue est une des raisons des difficultés à en saisir les causes. Dans le *Dossier 2005*, l'Andra avait attribué l'origine de la surpression à l'osmose chimique.

832 Collectif, *Revue Finale des Modèles et des Données première partie (RFMD-1) : bilan des connaissances phénoménologiques et incertitudes résiduelles*, op. cit., p. 45.

833 Ibid.

L'osmose est un mécanisme de transfert diffusif susceptible de se produire lorsqu'il existe un déséquilibre ionique entre des eaux présentes dans des formations géologiques contiguës. Toutefois, les travaux effectués depuis 2005 ont montré que ce phénomène ne peut pas être l'unique cause de la surpression observée dans le Cox.

Un gradient de température entre deux formations géologiques (thermo-osmose) pourrait également être une des causes de la surpression⁸³⁴. Des travaux issus d'une thèse soutenue en 2010 ont permis de concevoir un modèle conceptuel à même d'appréhender l'effet de la thermo-osmose sur une formation argileuse. Appliqué au Callovo-Oxfordien, ce modèle « *présente l'avantage d'aboutir à une estimation des surpressions du même ordre de grandeur que les mesures in-situ*⁸³⁵. » Les hypothèses sur lesquelles repose ce modèle sont contestées mais aucun autre modèle ne permet d'expliquer l'existence d'une surpression dans le Cox⁸³⁶.

Ici, les salarié.es de l'Andra se heurtent à une incertitude épistémique : aucune explication de la surpression n'est alors entièrement satisfaisante⁸³⁷. Comme dans le *Dossier 2005*, les salarié.es de l'Andra s'appêtent à présenter, lors de la demande d'autorisation de Cigéo, le profil de pression dont ils et elles disposent, sans pouvoir apporter une explication formelle de ce phénomène. Cette situation est perçue comme problématique. Toutefois, les chercheurs et chercheuses de l'Andra considèrent qu'il est peu probable que les recherches en cours permettent d'apporter prochainement une meilleure explication.

Au moment de débiter les calculs d'impact, les chercheurs et chercheuses de l'Andra n'ont pas d'explication consensuelle à l'existence d'une anomalie dans le profil de pression hydrostatique observée au niveau du Cox. L'Andra risque donc de devoir soumettre un dossier dans lequel subsiste cette incertitude sur le ou les mécanismes physico-chimiques à l'origine du phénomène. Pour la réalisation des calculs d'impact, la solution proposée lors de la revue est d'envisager les pires conséquences que pourrait avoir la surpression sur le transfert des radionucléides. Alors qu'ici les salarié.es de l'Andra sont confronté.es à une incertitude épistémique sur l'origine d'un phénomène, elles et ils doivent se contenter pour la réalisation des calculs d'impact d'une estimation majorée des conséquences potentielles du phénomène sur le transfert des radionucléides. La majoration des

834 *Ibid.*, pp. 47-48.

835 *Ibid.*, p. 48.

836 P. C. Leverd, F. Plas et S. Voinis, « Cigéo - Revues de préparation à la DAC. RFMD-1. Questions DP/DMR/DIP et Réponses DRD », *op. cit.*, p. 11.

837 J'utilise ici l'expression « *incertitude épistémique* » dans un sens différent que celui défini dans la typologie des incertitudes présentée ci-dessus. Ainsi, j'utilise cette expression pour désigner ce que les salarié.es de l'Andra qualifient d'incertitude sur la nature d'un phénomène.

conséquences d'un phénomène mal compris est une des manières de faire face à une incertitude sur ses causes. Cependant, une telle solution n'est pas pleinement satisfaisante notamment pour envisager les couplages entre différents phénomènes.

II.3. PRENDRE EN COMPTE LES ÉVOLUTIONS DE LA COMPRÉHENSION DU COMPORTEMENT DE LA ZONE ENDOMMAGÉE

Le creusement du stockage ainsi que la présence des ouvrages souterrains et des déchets altèrent les propriétés mécaniques, hydrogéologiques et géochimiques d'une certaine épaisseur de roche autour des installations souterraines. Cette épaisseur de roche est appelée EDZ pour *Excavated Damaged Zone* (cf. chapitre 6). L'étude de cette couche d'argile dont les propriétés diffèrent du reste de la formation géologique a constitué un chantier important parmi les recherches effectuées dans le laboratoire souterrain. En effet, la perturbation des propriétés du Callovo-Oxfordien et la création de fractures connectées dans l'EDZ sont susceptibles de créer, autour des ouvrages, des voies de circulations hydrauliques et gazeuses privilégiées. En particulier, la circulation d'oxygène qui, court-circuitant le scellement des alvéoles, se trouverait au contact des colis, pourrait accélérer leur corrosion et de ce fait diminuer leur capacité de confinement des radionucléides.

Les ingénieurs.es de l'Andra prévoient de construire les galeries du stockage à la même profondeur que celles du laboratoire souterrain. Au cœur du Callovo-Oxfordien, la composition minéralogique de la roche est considérée comme homogène : la couche centrale et la plus épaisse du Cox est dite Unité Argileuse (UA). Dans la partie supérieure du Cox, la composition minéralogique diffère légèrement. La couche de roche d'une trentaine de mètres au toit du Cox est dite Unité Silto Carbonatée (USC). Les ouvrages d'accès depuis la surface jusqu'aux installations souterraines et les puits d'aération traverseront inévitablement cette zone. Pour la sûreté du stockage, il importe que l'EDZ formée autour de ces ouvrages de liaison fond-surface ne constitue pas une zone privilégiée pour le transfert de radionucléides vers la biosphère. Lors de la revue RFMD-1, plusieurs questions concernent le comportement de l'EDZ, notamment dans l'USC, et l'évolution au cours du temps de ses propriétés⁸³⁸. L'USC est plus résistante mécaniquement que l'UA. De ce fait, l'impact du

838 P. C. Leverd, F. Plas et S. Voinis, « Cigéo - Revues de préparation à la DAC. RFMD-1. Questions DP/DMR/DIP et Réponses DRD », *op. cit.*, p. 7.

creusement y est moins important. Cependant, alors que les travaux de l'Andra montrent que la resaturation en eau du stockage après sa fermeture colmatara les fissures formées dans l'EDZ de l'UA, le comportement de l'EDZ de l'USC après fermeture est moins bien connu⁸³⁹.

Par ailleurs, la compréhension de la formation et du comportement de l'EDZ a beaucoup évolué entre le *Dossier 2005* et la revue RFMD. Une des notes établies pour la revue précise :

« En 2005, la vision de la zone endommagée était principalement basée sur le modèle de zone endommagée observé au Mont Terri où on n'observe pas de fracture en cisaillement (ou très peu) et plutôt une micro fissuration. Les données acquises [depuis 2005] montrent que les fractures en cisaillement représentent environ 75 % de la fracturation induite par le creusement dans l'UA⁸⁴⁰ ».

Ainsi, la géométrie de la fracturation dans l'EDZ est différente entre l'argile suisse de Mont Terri et le Callovo-Oxfordien de l'Est de la France. En 2005, les géologues de l'Andra avaient considéré qu'il était possible d'assimiler le comportement de l'EDZ à Bure avec celui du laboratoire suisse. Les recherches effectuées à Bure depuis 2005 ont remis en cause cette hypothèse.

L'étude de l'EDZ est une question spécifique au stockage géologique des déchets nucléaires. Elle est également très dépendante de la formation géologique dans laquelle le stockage est envisagé. Avant 2005, alors que le creusement du laboratoire souterrain de Bure prenait du retard, les géologues de l'Andra ont principalement travaillé dans le laboratoire suisse de Mont Terri, implanté lui-aussi dans une formation argileuse (cf. chapitre 5). Les expérimentations effectuées après 2005 dans le Callovo-Oxfordien ont toutefois amené les géologues de l'Agence à revoir leur représentation de l'EDZ au regard de la spécificité de cette roche. En effet, à Bure, 75 % des fractures dues au creusement des ouvrages dans l'UA sont des fractures en cisaillement alors qu'à Mont Terri, les géologues de l'Andra n'avaient observé que très peu de fractures en cisaillement. Le creusement des ouvrages produit des perturbations différentes en fonction des roches, de leur localisation et de l'orientation des ouvrages.

839 Collectif, *Revue Finale des Modèles et des Données première partie (RFMD-1) : bilan des connaissances phénoménologiques et incertitudes résiduelles*, op. cit., p. 58.

840 *Ibid.*

II.3.1. REPRÉSENTATIVITÉ DES OBSERVATIONS DANS LA NICHE

Les géologues de l'Andra ont effectué relativement peu d'expérimentations dans l'USC à partir du laboratoire souterrain de Bure. Une niche a bien été construite à 445 mètres de profondeur, au dessus des galeries principales du laboratoire souterrain situées à moins 490 mètres. Néanmoins, cette niche a été implantée précipitamment afin de mener quelques expérimentations dans le laboratoire souterrain de Bure avant la publication du *Dossier 2005*. Pour cela, elle a été creusée à l'explosif (« *C'était un peu violent*⁸⁴¹ »). La méthode de creusement prévue pour le stockage devrait entraîner une moins grande perturbation de la roche. De plus, la section de la niche a une forme de fer à cheval. Les ouvrages de stockage auront quant à eux des sections circulaires. Dans le document soumis à revue, les membres de la direction de la R&D de l'Andra suggèrent que la fissuration observée dans la niche pourrait être due à la géométrie de cette galerie⁸⁴².

L'EDZ évolue avec le temps. Son comportement dépend également du revêtement et du soutènement des ouvrages. Pour les géologues de l'Andra, la méthode de creusement et le revêtement des ouvrages restreindra les phénomènes de fissuration observés dans le laboratoire souterrain⁸⁴³. L'augmentation de la fissuration de l'EDZ au cours du temps, qui est observée dans la niche, n'est pas donc considérée comme représentative de ce qui adviendra dans le stockage. La question soulevée à ce propos est écartée : pour les salarié.es de la direction de la R&D présent.es à la réunion, l'EDZ autour des ouvrages de liaison entre le stockage et la surface n'aura pas le même comportement que celui qui a été observé dans la niche, et il n'est pas susceptible d'être problématique pour la sûreté de l'ouvrage.

D'autre part, les ouvrages de liaison fond-surface du stockage doivent avoir des diamètres supérieurs à ceux du laboratoire. L'effet de la variation du diamètre de l'ouvrage sur les propriétés de l'EDZ fait également l'objet de questions lors de la revue. Aucun effet de seuil n'a été observé dans l'Unité Argileuse et, pour le directeur de la R&D, il n'y a pas de raison qu'il y en ait un dans l'USC⁸⁴⁴. Pourtant, le modèle alors utilisé pour représenter l'évolution mécanique de la roche après creusement indique une relation non-linéaire entre le diamètre de l'ouvrage et l'endommagement de la roche⁸⁴⁵. Il existe sur ce point une inadéquation entre la modélisation de la formation de l'EDZ et

841 Commentaire en réunion d'un des participants à la revue à l'évocation du creusement de la niche.

842 Collectif, *Revue Finale des Modèles et des Données première partie (RFMD-1) : bilan des connaissances phénoménologiques et incertitudes résiduelles*, op. cit., pp. 52, 53.

843 P. C. Leverd, F. Plas et S. Voinis, « Cigéo - Revues de préparation à la DAC. RFMD-1. Questions DP/DMR/DIP et Réponses DRD », op. cit., p. 13.

844 Propos tenus lors de la revue.

845 Collectif, *Revue Finale des Modèles et des Données première partie (RFMD-1) : bilan des connaissances phénoménologiques et incertitudes résiduelles*, op. cit., p. 57.

les observations réalisées par l'Andra à Bure. Cependant, les membres de la direction de la R&D soutiennent qu'il est possible d'extrapoler à partir des observations réalisées dans l'UA, en considérant que le taux de fracturation de l'EDZ dans l'USC est indépendant du diamètre de l'ouvrage⁸⁴⁶. Ils et elles soulignent également que la « *construction des premiers ouvrages permettra de vérifier que ceci [la faible épaisseur de l'EDZ lors de leur creusement] est aussi le cas pour des ouvrages de plus grands diamètres*⁸⁴⁷. »

Lors de la RFMD, le comportement de l'EDZ de l'USC est une question nouvelle à laquelle les membres de la direction R&D de l'Andra n'ont pas consacré un effort de recherche important. En réponse aux questions qui leur sont posées, elles et ils soutiennent d'une part que rien n'indique que le comportement de cette zone puisse être problématique, et d'autre part que le début de la construction du stockage permettra de vérifier leurs hypothèses.

II.3.2. COMPORTEMENT DE L'EDZ APRÈS FERMETURE

À propos de l'EDZ, la dernière question posée lors de la RFMD-1 concerne le scellement des ouvrages. Afin que la zone endommagée cesse d'évoluer, la construction d'une « *saignée* » longitudinale dans la roche, remplie d'un matériau expansif, a été envisagée puis abandonnée⁸⁴⁸. Le recours à une telle technique lors du scellement des ouvrages est toutefois questionné pendant la revue. Le maintien en place du revêtement de la descenderie au moment de son scellement si l'endommagement de l'argile complexifie son retrait est également suggéré. Toutefois, les conséquences d'une telle option n'ont pas encore été évaluées.

L'exploitation de Cigéo est prévue pour durer un siècle : le développement industriel d'une technique de scellement du stockage n'est donc pas urgente. Néanmoins, il est nécessaire au moment de la demande d'autorisation de Cigéo que l'Agence apporte une démonstration de sa capacité industrielle à sceller les ouvrages. Les scellements jouent un rôle dans la sûreté du stockage et les calculs d'impact tiennent compte de leur présence. Il est néanmoins fort probable que la poursuite des recherches durant le prochain siècle amène à concevoir des scellements différents de ceux envisagés en 2013. Lors de la revue, un membre de la direction de la R&D indique que des expériences sont en cours et qu'il n'est *a priori* pas nécessaire de considérer la réalisation de

846 P. C. Leverd, F. Plas et S. Voinis, « Cigéo - Revues de préparation à la DAC. RFMD-1. Questions DP/DMR/DIP et Réponses DRD », *op. cit.*, p. 13. ; propos tenus lors de la revue

847 *Ibid.*

848 *Ibid.*, p. 14.

saignées dans l'EDZ au moment du scellement des ouvrages⁸⁴⁹. Un participant à la revue soulève toutefois qu'il est possible que l'Autorité de Sûreté Nucléaire ne soit pas convaincue des arguments de l'Andra sur le comportement de l'EDZ après le scellement des ouvrages.

L'abandon de la prétention à produire une démonstration formelle, de type mathématique, de la sûreté de Cigéo a amené l'Agence à capitaliser des savoirs qui, organisés de manière cohérente, doivent permettre de convaincre ses évaluateurs. Dès lors, la démonstration de sûreté de Cigéo ne s'apprécie pas en fonction de sa justesse mais en fonction de sa capacité à convaincre ses évaluateurs. L'appréciation de la qualité d'une démonstration de ce type dépend des attentes de ses destinataires. De ce fait, les salarié.es de l'Andra ne sont pas entièrement à même d'évaluer la qualité de la démonstration produite. Il importe pour la direction de l'Agence que les salarié.es de l'Autorité de Sûreté Nucléaire mais aussi les membres du Conseil scientifique de l'Agence, de la Commission Nationale d'Évaluation et, plus largement, des différentes communautés scientifiques dont les savoirs sont mobilisés pour étudier l'évolution du projet de stockage « *suivent* » l'Andra sur les hypothèses et les solutions techniques retenues, notamment lorsque des doutes existent sur la caractérisation de tel ou tel phénomène. Les échanges entre les salarié.es de l'Agence et leurs évaluateurs, avant la publication des dossiers, doivent permettre d'anticiper leurs attentes (cf. chapitre 6).

Au moment de la revue RFMD, les connaissances acquises par les géologues de l'Andra sur le comportement de l'EDZ ne sont pas toutes stabilisées. Pour étayer la demande d'autorisation de Cigéo, les salarié.es de l'Agence doivent se contenter de résultats de recherches qui n'ont pas toujours permis, depuis 2005, d'apporter des conclusions tranchées. Le comportement de l'EDZ est une question spécifique au stockage et dépendante de la formation géologique étudiée. Le travail expérimental dans le laboratoire souterrain de Bure est la principale source de connaissances sur le comportement de l'EDZ. Cependant, le nombre d'expérimentations et la variabilité des paramètres sont limités par les conditions dans lesquels les expériences sont effectuées (cf. chapitre 6). Ainsi par exemple, l'ensemble des galeries ont le même diamètre ; elles ont été creusées à des vitesses similaires et recouvertes du même revêtement : autant de paramètres dont l'influence sur l'EDZ est difficile à évaluer⁸⁵⁰. De plus, l'urgence avec laquelle a été creusée la niche dans l'USC pèse sur la représentativité des observations qui y sont faites.

849 *Ibid.* ; propos tenus lors de la revue.

850 Collectif, *Revue Finale des Modèles et des Données première partie (RFMD-1) : bilan des connaissances phénoménologiques et incertitudes résiduelles*, op. cit., p. 5.

II.3.3. CIRCULATIONS GAZEUSES DANS LA ZONE ENDOMMAGÉE

La présence d'oxygène au contact des colis métalliques influe sur leur corrosion et donc sur leur capacité de confinement. Au moment de la fermeture des alvéoles, de l'oxygène sera présent dans l'espace compris entre la paroi de l'alvéole et les colis. Technologiquement, le positionnement des colis dans les alvéoles et la nécessité de pouvoir éventuellement les reprendre excluent d'éliminer totalement cet espace entre l'alvéole et les colis, nécessaire aux mouvements de ces derniers. Cet espace restreint étant *a priori* clos, il est envisageable de connaître la quantité d'oxygène qui s'y trouve piégé lors de la fermeture des alvéoles, et d'en déduire la corrosion des colis. Toutefois, une expérimentation effectuée au laboratoire souterrain laisse supposer que l'oxygène au contact des colis se renouvelle après la fermeture des alvéoles⁸⁵¹. Le document soumis à revue précise : « *L'EDZ devrait [...] constituer le long des ouvrages une voie de transfert préférentielle pour le gaz*⁸⁵² ». L'oxygène circulerait ainsi depuis les galeries jusqu'au contact des colis. Lors de la revue, un des participants rappelle qu'une des exigences fixée, pour la conception de Cigéo, est que les alvéoles doivent être étanches à l'oxygène. Toutefois, aucune solution technique connue ne permet de satisfaire cette exigence. Le directeur adjoint de la R&D précise qu'aucun moyen de contrôler les flux gazeux à travers l'EDZ n'existe alors.

Par ailleurs, les circulations gazeuses à travers l'EDZ ne sont pas toujours problématiques. Certains déchets et la corrosion des colis métalliques produisent du dihydrogène gazeux. Que ce gaz explosif s'évacue des alvéoles est plutôt considéré comme une bonne chose pour la sûreté du stockage. La conception d'un scellement qui permettrait d'évacuer le dihydrogène et de bloquer la venue de dioxygène est jugée difficile. Lors de la deuxième réunion de la revue RFMD-2, un.e membre de la direction de la R&D résume : « *au niveau des scellements et du gaz, on peut mettre toutes les exigences que l'on veut, on ne sera pas capable de garantir quoi que ce soit*⁸⁵³. » De fait, les scellements des alvéoles de stockage seront donc considérés comme perméables aux gaz.

Lors de la revue RFMD-1, la discussion sur ce point s'oriente vers la prise en compte du renouvellement de l'oxygène au contact des colis dans les calculs. Voici donc une autre manière de gérer une incertitude sur la maîtrise d'un phénomène : faire avec celle-ci. Au moment de la revue RFMD, les participant.es jugent qu'il n'est pas possible technologiquement de bloquer les circulations gazeuses à travers l'EDZ, comme cela avait pu être envisagé. Dorénavant, ces

851 P. C. Leverd, F. Plas et S. Voinis, « Cigéo - Revues de préparation à la DAC. RFMD-1. Questions DP/DMR/DIP et Réponses DRD », *op. cit.*, p. 20.

852 Collectif, *Revue Finale des Modèles et des Données première partie (RFMD-1) : bilan des connaissances phénoménologiques et incertitudes résiduelles*, *op. cit.*, p. 56.

853 Propos tenus en réunion.

circulations seront intégrées comme des éléments de l'évolution normale du stockage. L'étude de la capacité à empêcher les circulations gazeuses dans l'EDZ a donc abouti à une intégration de ces circulations parmi les phénomènes qui auront lieu durant l'évolution du stockage : il n'y a donc plus d'incertitude sur la possibilité technologique de bloquer les circulations gazeuses dans l'EDZ puisque celles-ci font désormais partie de l'évolution normale du stockage.

Par ailleurs, en fonction des ouvrages qu'ils obstruent, l'ensemble des scellements du stockage ne sont pas conçus de la même manière et ils n'ont donc pas tous les mêmes performances. Lors de la réunion de la RFMD-2a, l'ingénieur qui pilote la revue signale le fait que certains scellements sont imperméables aux gaz et d'autres non. Il est donc possible que des ouvrages se retrouvent sous pression. La nécessité de bloquer les gaz radioactifs amène les ingénieurs de l'Andra à ne pas envisager l'évacuation de tout le dihydrogène produit par les déchets. Le chef du service Évaluation et analyse de performance (DRD/EAP) rapporte que des simulations numériques montrent que dans les alvéoles MAVL, la pression générée par la production gazeuse atteint au maximum 7 mégapascals (MPa). Cette pression reste donc toujours bien inférieure à la pression de fracturation de l'argile (12 MPa)⁸⁵⁴. Le directeur adjoint de la R&D ajoute toutefois que la pression calculée à l'intérieure des alvéoles HAVL se rapproche parfois dangereusement de la pression de fracturation du Callovo-Oxfordien et la dépasse dans l'hypothèse de l'utilisation d'un scellement fortement imperméable⁸⁵⁵.

À la fin de la discussion sur ce point, un.e membre de la direction de la maîtrise des risques précise : « *on a été un peu light dans les docs, volontairement. Si l'IRSN est tatillon là dessus sur leur instruction, on est limite*⁸⁵⁶. » Comme je l'ai souligné précédemment, l'évaluation de la démonstration de sûreté n'a de sens qu'au regard des exigences des institutions évaluatrices du travail de l'Andra. Ici, la discrétion est envisagée comme solution pour gérer l'incertitude. Pour la directrice adjointe de la maîtrise des risques, si les salarié.es de l'IRSN ne se montrent pas trop curieux et curieuses lors de l'examen du dossier produit par l'Andra, omettre la présentation des calculs effectués doit permettre d'éviter de montrer que les salarié.es de l'Agence n'ont pas une connaissance très fine de l'évolution de la pression dans les ouvrages de stockage.

854 Propos tenus en réunion.

855 Propos tenus en réunion.

856 Propos tenus en réunion.

CONCLUSION PARTIELLE

Le passage en revue des connaissances sur le stockage et son évolution a mis à jour plusieurs incertitudes sur le comportement de ses différents composants. Étant donné les échelles de temps mobilisées ainsi que la nouveauté et la complexité des questions qui se posent à l'Andra, il n'y a rien de surprenant à ce que de nouvelles interrogations surgissent, alors même que les salarié.es de l'Agence préparent la demande d'autorisation du stockage. Les questions et les doutes présentés dans cette partie ne doivent pas faire oublier que l'Andra a capitalisé un nombre important de connaissances. Il ne s'agirait pas non plus de penser que toutes les connaissances sur le stockage font l'objet d'incertitudes aussi fortes que certaines de celles qui ont été détaillées ci-dessus.

Les exemples présentés dans cette partie appellent un commentaire sur les manières dont les salarié.es de l'Andra gèrent pratiquement les incertitudes auxquelles ils et elles font face et répondent aux questions soulevées sur leurs travaux. En effet, ces exemples montrent différentes manières d'appréhender les incertitudes. Dans le cas de la surpression dans le Callovo-Oxfordien, les doutes sur les causes de cette observation conduisent l'Andra à envisager les conséquences les plus défavorables de ce phénomène. Devant l'incapacité d'assurer une imperméabilité aux gaz des scellements, les membres de l'équipe de revue prennent en compte le renouvellement de l'oxygène dans les alvéoles. Ainsi, devant la méconnaissance des causes d'un phénomène ou l'impossibilité de le maîtriser, les salarié.es de l'Andra font avec l'existence d'une surpression et les circulations gazeuses dans l'EDZ. Dès lors, ils et elles considèrent notamment les circulations gazeuses dans l'EDZ comme un élément du fonctionnement normal du stockage.

Si le comportement de l'EDZ de l'USC a fait l'objet de peu d'études, les membres de la direction de la R&D de l'Agence se montrent relativement confiant.es sur l'absence de difficulté à sceller cette zone. La construction de Cigéo devrait également apporter des connaissances qui permettront d'étayer les hypothèses de l'Andra et notamment de préciser l'influence de certains paramètres. Si cette question n'inquiète pas outre mesure les participant.es à la RFMD-1, la confiance des salarié.es de l'IRSN dans les conclusions de l'Agence à ce propos n'est en revanche pas tout à fait acquise.

Il n'y a pas d'urgence à apporter une solution technique au scellement de l'EDZ de l'USC et il est fort probable que la poursuite des recherches durant l'exploitation de Cigéo conduira à faire évoluer les technologies développées. Néanmoins, cette question nous rappelle que l'appréciation de la qualité de la démonstration de sûreté dépend de la confiance des évaluateurs de l'Andra dans les

hypothèses retenues par l'Agence. Il ne s'agit pas uniquement que les salarié.es de l'Andra soient convaincu.es de la faisabilité du scellement de l'EDZ de l'USC. Encore faut-il également que les expert.es de l'IRSN y croient.

La conviction des membres de la direction de la R&D de l'Andra est parfois suffisante pour dissiper les interrogations des salarié.es d'autres directions sur certains points n'ayant pas fait l'objet d'études spécifiques. Néanmoins, une telle justification est difficilement présentable dans une publication destinée à montrer la sûreté d'un projet de stockage. Dès lors, l'omission de la mention de certains aspects de l'évolution du stockage peut parfois être une solution suggérée pour gérer ces incertitudes.

III. ÉTATS ET ÉVOLUTIONS DU STOCKAGE

III.1. LA DIFFICILE DÉTERMINATION DES ÉTATS SUCCESSIFS DU STOCKAGE

L'exploitation de Cigéo est prévue pour durer cent ans. Durant une telle période, la conception du stockage va évoluer. Les recherches sur le stockage vont se poursuivre et elles pourraient entraîner l'évolution des concepts de stockage (cf. chapitre 6). Toutefois, afin d'appréhender l'évolution à long terme du stockage, les salarié.es de l'Andra s'attachent, lors de la RFMD, à déterminer les états successifs du stockage lors de sa fermeture et bien après celle-ci. La construction de telles représentations artificielles du stockage n'est toutefois pas évidente : il s'agit notamment de fixer certaines hypothèses sur l'exploitation et la fermeture du stockage alors qu'il est entendu qu'elles risquent fortement d'être remises en cause durant son exploitation. L'évolution du stockage durant son exploitation est désormais au cœur de la gouvernance de Cigéo (cf. chapitre 6). Il n'en demeure pas moins que la détermination d'un état du stockage lors de sa fermeture est nécessaire pour appréhender son évolution. Par ailleurs, l'enchaînement temporel des phénomènes sur de longues périodes de temps pose toujours des questions redoutables.

III.1.1. LA VITESSE DE DÉGRADATION DU VERRE NUCLÉAIRE

Au moment où les hypothèses retenues pour le scénario normal sont passées en revue, la représentation de la dégradation des verres nucléaires est encore sujette à discussions. Au contact de l'eau présente dans le Callovo-Oxfordien, le verre dans lequel les radionucléides sont piégés commence à se dégrader et les radionucléides à se diluer dans l'eau. Cependant, ce phénomène se produira bien après la fermeture du stockage, une fois que les colis en acier dans lesquels est coulé ce verre seront corrodés, à un moment qu'il est difficile à évaluer précisément et qui différera en fonction de chaque famille de déchets et même de chaque colis. Dès lors, la composition de l'eau qui entrera en contact du verre à ce moment n'est pas connue précisément : cette eau contiendra en solution des éléments issus de la dégradation des ouvrages mais leur concentration dépendra des interactions géochimiques ayant eu lieu précédemment. De plus, la dissolution du verre est un phénomène particulièrement lent dont la vitesse n'est pas régulière. Bien que ce phénomène soit étudié depuis les années 1980, la modélisation de celui-ci n'est pas encore tout à fait stabilisée. Une partie importante de la RFMD-3, qui se déroule le 1^{er} avril 2014, est consacrée au passage en revue des différents modèles de dégradation des verres associés à chaque famille de déchets⁸⁵⁷.

La question des temps associés à la dissolution des verres nucléaires suscite quelques remarques lors de la réunion de la RFMD-2b : « *Dans les passages d'un état à un autre où on doit donner un temps, c'est là que les emmerdes commencent.* » ; « *Est-ce qu'on a donné des temps à l'ASN ?* »⁸⁵⁸ Sur ce point notamment, il est souligné que la démonstration de sûreté ne sera pas une démonstration mathématique mais davantage la production d'un « *faisceau d'arguments* » qui doit permettre de justifier que le stockage se comportera bien comme prévu. Plus les phénomènes sont lents et plus ils débutent tardivement après la fermeture du stockage, plus la possibilité d'être précis s'éloigne. La dégradation des verres ne peut ainsi pas être appréhendée à l'échelle du colis mais à celle de la famille de déchets. Cette difficulté à prévoir précisément le moment où débute le relâchement des radionucléides s'avère gênante lorsqu'il s'agit de coupler ce phénomène avec d'autres et notamment de prévoir les conditions géochimiques dans lesquelles la dégradation du verre aura lieu. Ainsi, l'appréhension de l'évolution à long terme du stockage est toujours problématique : à long terme, l'évolution du stockage est toujours représentée plus grossièrement qu'à court terme.

857 Andra (ed.), « RFMD-3 », 2014.

858 Propos tenus en réunion.

III.1.2. COMPOSITION DES BÉTONS DANS TRENTE ANS ET ROBUSTESSE DE LA CONCEPTION DU STOCKAGE

La robustesse du stockage est un élément central d'évaluation de la sûreté d'un stockage : il s'agit de faire en sorte que le stockage soit sûr même si son évolution dévie quelque peu de celle prévue⁸⁵⁹. Un stockage robuste est un stockage sûr malgré l'existence d'incertitudes sur son évolution. Différents éléments permettent d'assurer la robustesse du stockage, dont la simplicité des solutions techniques retenues. Toutefois, les solutions techniques ayant les meilleures performances en termes de sûreté ne sont pas toujours les solutions les plus robustes. La question du béton employé pour la construction des alvéoles permet d'illustrer ce point.

L'Andra envisage d'utiliser un béton dit « *bas pH* » pour la construction de ces ouvrages. Ce choix est guidé par la volonté que les colis soient placés dans un environnement aussi acide que possible afin de limiter l'altération chimique des matériaux⁸⁶⁰. Néanmoins, les connaissances sur l'utilisation et la dégradation de ce béton « *bas pH* » sont moindres que pour les bétons classiques⁸⁶¹. De ce fait, la pertinence de l'utilisation de ce béton est questionnée. Les recherches effectuées par les salarié.es de l'Andra, ou auxquelles ils et elles participent, leur permettent d'être confiant.es sur la possibilité d'utiliser ce béton et de connaître son évolution⁸⁶². Finalement, le choix d'utiliser ce matériau n'est pas remis en cause : les résultats des premiers essais sur celui-ci montrent que les qualités du béton « *bas-pH* » sont satisfaisantes et d'autres études en cours devraient permettre de compléter les connaissances sur les propriétés de ce béton⁸⁶³. Néanmoins, le choix de ce béton « *bas-pH* » illustre qu'en terme de sûreté, il y a parfois des arbitrages à effectuer entre des solutions novatrices, meilleures pour le confinement des radionucléides, et d'autres, moins performantes mais sur lesquelles les connaissances sont plus nombreuses. La performance et la robustesse sont deux critères d'évaluation d'une solution technique mais ils ne sont pas toujours compatibles.

Par ailleurs, pour établir l'inventaire en toxiques chimiques du stockage, les membres de la direction de la maîtrise des risques ont besoin de connaître la présence de ces éléments dans l'ensemble des composants ouvragés, et non uniquement dans les déchets. Cette question devient épineuse lorsqu'il s'agit de connaître la composition des bétons qui seront fabriqués dans plusieurs décennies. En effet, l'utilisation de calcinât de résidus d'origines diverses (carcasses d'animaux,

859 Léna Soler, Emiliano Trizio, Thomas Nickles et William Wimsatt, *Characterizing the Robustness of Science: After the Practice Turn in Philosophy of Science*, Springer Science & Business Media, 2012.

860 Collectif, *Revue Finale des Modèles et des Données première partie (RFMD-1): bilan des connaissances phénoménologiques et incertitudes résiduelles*, *op. cit.*, p. 81.

861 P. C. Leverd, F. Plas et S. Voinis, « Cigéo - Revues de préparation à la DAC. RFMD-1. Questions DP/DMR/DIP et Réponses DRD », *op. cit.*, p. 19.

862 *Ibid.*

863 *Ibid.*

pneus...) pour leur fabrication induit qu'il est possible de trouver « *tout Mendeleïev* » dans les bétons⁸⁶⁴. Les participant.es à la revue estiment délicat de fixer des exigences sur la composition des bétons tant l'engagement du moindre fabricant sur la composition du béton qu'il pourrait produire dans plusieurs décennies est considéré comme irréaliste. Une telle exigence pourrait ainsi se révéler bloquante et intenable. De ce fait, les salarié.es de l'Agence n'auront qu'une connaissance hypothétique de la composition des bétons qui seront utilisés pour la construction de Cigéo et ils et elles devront s'en contenter pour établir l'inventaire en toxiques chimiques du stockage.

III.1.3. DES ÉVOLUTIONS POSSIBLES DE L'INVENTAIRE ET DE L'ARCHITECTURE DU STOCKAGE

Lors de la revue RFMD, la faisabilité de certaines options de conception n'est pas encore établie. C'est notamment le cas du comblement des vides dans les alvéoles de déchets MAVL et de la présence d'un matériau entre la roche et le chemisage des alvéoles de stockage des déchets HAVL⁸⁶⁵. Des études de faisabilité du comblement des alvéoles MAVL sont alors en cours et plusieurs membres de l'équipe de revue se montrent optimistes sur leurs conclusions. Toutefois, en l'absence d'assurance de la faisabilité technique de ce comblement, les salarié.es de l'Andra prévoient d'étudier l'influence qu'aurait un vide sur la sûreté du stockage. Ces incertitudes sur la faisabilité technique de ces options de conception multiplient le nombre de calculs à réaliser puisque, sans certitude sur ces points, la réalisation de calculs prenant en compte l'existence ou l'absence de ces matériaux de remplissage est envisagée.

Un des objectifs de la RFMD est de fixer une représentation du stockage partagée entre les salarié.es travaillant dans les différentes directions de l'Andra. Toutefois, la stabilisation d'une représentation du stockage interrompt le processus d'établissement progressif des exigences en termes de sûreté, en fonction des études phénoménologiques et des essais technologiques. Dans certains cas, il subsiste encore des doutes sur les exigences à fixer pour la conception du stockage. La détermination d'une représentation du stockage comme hypothèse pour les calculs d'impact radiologique exige de fixer des exigences pour certains composants avant de savoir si ces exigences permettront que l'impact radiologique calculé soit inférieur à la limite réglementaire.

864 Propos tenus en réunion par un chef de service de la direction de la R&D de l'Andra. Allusion à la classification périodique des éléments chimiques établie par Dmitri Mendeleïev en 1869. Par cette formule, ce salarié de l'Andra signifie qu'il est possible de trouver l'ensemble des éléments chimiques connus dans les bétons.

865 P. C. Leverd et S. Voinis, « Cigéo - Revues de préparation à la DAC RFMD-2-a », *op. cit.*, p. 21 ; Collectif, Données essentielles de l'AQS, *op. cit.*, p. 11.

Parmi les éléments toujours en suspens, certains sont susceptibles de modifier l'architecture du stockage, comme l'introduction de « réserves », prévues pour éventuellement accueillir des déchets FAVL dont l'évacuation géologique n'est pas encore certaine. L'intégration de ce quartier de réserve est prévue dans la demande d'autorisation de Cigéo. Néanmoins, les esquisses de l'architecture du stockage proposées jusqu'alors n'ont pas intégré ce nouveau quartier. Pour le représentant de la direction de l'ingénierie, l'absence de connaissances sur les déchets qui pourraient être stockés dans cette réserve est bloquante pour sa conception. Ainsi, dit-il, « *tant que je ne sais pas ce qu'il y a dedans, je ne fais rien. Je ne ferai pas de quartier là-dessus*⁸⁶⁶. » Il suggère néanmoins que la taille et la localisation de cette réserve soit fixée dans le cahier des charges de la conception de Cigéo.

Ce travail de revue met à jour la dépendance entre les travaux d'analyse de sûreté, d'ingénierie et d'acquisition de connaissances sur le comportement du stockage. Interruption du dialogue continu permettant d'ajuster les exigences en termes de sûreté aux évolutions des connaissances, l'ingénierie du stockage à l'évolution des exigences et l'étude de l'évolution du stockage aux évolutions de l'ingénierie, la production d'une représentation figée du stockage est un exercice formel délicat. Il est certain que la conception du stockage évoluera après la revue. Cependant, la représentation produite lors de cette revue est nécessaire pour la réalisation des calculs d'impact.

Suite à la question de la réserve, le directeur adjoint de la R&D demande s'il y a un risque que du combustible usé, non retraité, soit intégré à l'inventaire des déchets à stocker. Il lui est alors répondu que l'inventaire des déchets à stocker dans Cigéo peut être imposé par décret : l'Andra n'est pas entièrement maîtresse du choix des déchets qui seront stockés à Bure et les participant.es à la revue RFMD ne connaissent pas avec certitude l'inventaire des déchets destinés au stockage. Le directeur de la maîtrise des risques exprime son doute quant à la volonté du CEA de retraiter une partie des déchets destinés au stockage, les combustibles usés dits CU3. La direction du Commissariat s'est engagée à les retraiter avant 2100 mais rien n'a encore été entrepris en ce sens. Le directeur adjoint de la direction des projets rappelle aussi que des dispositions sont prévues pour l'évolution du projet Cigéo après l'autorisation de sa construction. Un participant de la revue s'inquiète : « *il y a tout de même des trucs merdiques là-dedans*⁸⁶⁷... »

Alors que les salarié.es de l'Andra cherchent à déterminer l'inventaire des déchets que contiendra le stockage, ils et elles ont peu de maîtrise sur ce point : cette question doit être négociée et le stockage de certains déchets que les salarié.es de l'Agence estiment trop mal conditionnés pour

866 Propos tenus en réunion.

867 Propos tenus en réunion.

être stockés en l'état peut être imposé par décret. Par ailleurs, le projet de stockage pourra évoluer au cours de son exploitation. Ces deux éléments exacerbent la dimension artificielle de cet exercice de démonstration de sûreté. Non seulement, durant les cent ans d'exploitation, les concepts de stockage sont susceptibles d'évoluer, mais de plus, lors de sa fermeture, le stockage sera sans doute bien différent de celui dont les salarié.es de l'Andra s'échinent en 2013 à en montrer la sûreté. De plus, les ingénieur.es de l'Andra ne sont pas entièrement maître.sses du cahier des charges du stockage : des impératifs économiques guident sa conception (cf. chapitre 6) et l'inventaire des déchets destinés à être enfouis peut leur être imposé.

Au moment d'identifier les hypothèses à prendre en compte dans la construction du scénario normal, il n'y a pas que sur la physique de certains phénomènes que les salarié.es de l'Andra ont des incertitudes. Plusieurs options de conception ne sont pas encore fixées et font encore l'objet de discussions entre les membres des différentes directions de l'Agence. De plus, l'inventaire des déchets destinés au stockage est lui aussi susceptible d'évoluer.

III.2. SCÉNARIOS ET ÉVOLUTIONS DU STOCKAGE

III.2.1. CONSTRUIRE UN SCÉNARIO COMME ON RACONTE UNE HISTOIRE

La construction du scénario normal d'évolution de Cigéo consiste à sélectionner, pour chaque composant du stockage ayant un rôle dans sa sûreté, et aux différents moments de l'évolution de l'ouvrage, une situation de référence, parfois une situation alternative et quelques cas pessimistes ou au contraire particulièrement optimistes afin de réaliser des études de sensibilité⁸⁶⁸. Ainsi par exemple, le scénario normal prend en compte deux états initiaux à la fermeture du stockage : un état saturé, dans lequel l'eau du Callovo-Oxfordien pénètre dans les ouvrages de stockage dès sa fermeture et l'arrêt de la ventilation ; et un état dans lequel la production de gaz par les déchets réduit la re-saturation du stockage pendant un certain temps⁸⁶⁹. Les salarié.es de l'Andra n'ont pas réussi à déterminer si la re-saturation du stockage sera immédiate ou non lors de sa fermeture : des calculs d'impact seront réalisés avec ces deux hypothèses.

868 Sylvie Voinis, Jean De Mèredieu, Florence Liebard, Lise Griffault et Guillaume Pépin, « RFMD2-b », Andra, 2013, p. 38.

869 *Ibid.*, p. 39.

Lors de la réunion de la RFMD-2b, le directeur de R&D rappelle que construire un scénario, c'est raconter une histoire. Il peut y avoir quelques bifurcations⁸⁷⁰. Le choix entre les bifurcations qui donneront le scénario normal se fera quasiment à la fin de l'analyse, une fois les calculs effectués⁸⁷¹. Sans surprise, l'ensemble des incertitudes identifiées lors de la RFMD-1 n'ont pas été levées en quelques mois et elles sont encore présentes alors que l'Agence s'engage, avec la RFMD-2, dans la construction du scénario normal. Si la revue RFMD-2 a pour objectif de définir des hypothèses pour ce scénario normal, le récit de l'évolution normale du stockage ne sera quant à lui écrit qu'une fois les calculs effectués, lorsqu'il sera possible de choisir une histoire parmi les quelques options retenues à l'issue de la RFMD-2. Cette revue RFMD-2 est ainsi destinée à limiter le nombre d'hypothèses et de bifurcations à envisager dans les calculs d'impact, afin de restreindre le nombre d'évaluations paramétriques – et donc le nombre de calculs – aux seules incertitudes que les études phénoménologiques n'ont pas permis de lever. Il n'y a pas un seul scénario normal retenu à l'issue de la RFMD-2 mais une sélection de quelques hypothèses de calcul. Les hypothèses sélectionnées pour constituer le scénario normal ne seront choisies qu'à l'issue des calculs.

III.2.2. RÉPARTITION DES COLIS DANS CIGÉO

Déterminer l'inventaire des radionucléides présents dans les déchets destinés à être stockés est l'objet de la revue des colis RC2. Toutefois, lorsqu'il est question durant la RFMD de produire une représentation du stockage lors de sa fermeture, se pose alors la question de la répartition des colis dans le stockage⁸⁷². Cette répartition dépend notamment des chroniques de livraison des déchets. Celles-ci pourraient éventuellement évoluer durant l'exploitation du stockage. Trois répartitions des colis sont envisagées : une répartition prévisionnelle, une répartition homogène et une répartition « *enveloppe* » qui peut éventuellement varier suivant les scénarios. Une telle répartition « *enveloppe* » des colis dans les ouvrages désigne une répartition hypothétique conçue pour que ses conséquences radiologiques potentielles soient toujours plus importantes que n'importe quelle autre répartition possible. Alors que l'hypothèse d'une répartition homogène des colis dans les ouvrages a été utilisée en 2005 et en 2009, les salarié.es de l'Andra n'étudieront pas une telle option pour la demande d'autorisation de Cigéo : celle-ci n'est pas possible physiquement et elle n'est pas non plus « *enveloppe* »⁸⁷³. Si la répartition prévisionnelle semble adaptée à l'évaluation des conséquences radiologiques du scénario d'évolution normale, elle ne permet pas de prendre en

870 Propos tenus en réunion.

871 Propos tenus en réunion.

872 P. C. Leverd et S. Voinis, « Cigéo - Revues de préparation à la DAC RFMD-2-a », *op. cit.*, p. 35 ; Collectif, Données essentielles de l'AQS, *op. cit.*, pp. 18-19.

873 Collectif, Données essentielles de l'AQS, *op. cit.*, p. 19.

compte une évolution potentielle des chroniques de livraison des déchets. Dès lors, l'établissement d'une répartition « *enveloppe* » permet d'effectuer une analyse dont les conséquences sont majorantes par rapport à différentes évolutions possibles des chroniques de livraison.

À la fin de la réunion de la RFMD-2a, le directeur adjoint de la R&D rappelle que dans le « *worst case* » étudié en 2005, l'impact radiologique calculé du stockage était proche de la limite réglementaire. Il craint qu'avec les hypothèses fixées lors de la RFMD, les impacts calculés dépassent la dose maximale autorisée. La directrice adjointe de maîtrise des risques lui répond : « *Oh non ! Ça se négocie ce worst case*⁸⁷⁴. » Si l'écriture du scénario normal et le choix des hypothèses sélectionnées dans celui-ci interviennent après les calculs d'impact, il en va de même pour le choix des hypothèses pénalisantes retenues dans les scénarios altérés. Dès lors, ainsi que le rappelle un.e membre de la direction de la maîtrise des risques, il n'y a pas lieu de s'inquiéter outre mesure que l'impact radiologique du stockage dépasse la limite autorisée : les hypothèses retenues dans la pire des évolutions possibles envisagées pour le stockage relèvent d'un choix et de ce fait, elles peuvent être négociées.

La démonstration de sûreté et le choix des scénarios ont avant tout une fonction politique : la sûreté du projet de stockage est une condition de son acceptation. La définition d'un « *worst case* » parmi les évolutions possibles de Cigéo est un exercice qui permet de montrer la robustesse du stockage. Les hypothèses envisagées dans celui-ci dépendent des attentes des évaluateurs de l'Agence et de ce fait, elles sont négociables. Le stockage est prévu pour résister à différents événements accidentels. Néanmoins, certaines situations particulièrement dégradées mais très peu probables dans lesquelles, par exemple, plusieurs accidents surviendraient simultanément, pourraient induire un impact radiologique calculé supérieur à la limite autorisée. De telles situations peuvent être éventuellement écartées de l'analyse.

La réunion RFMD-2b aborde également la question des différentes répartitions possibles des déchets dans Cigéo. L'ensemble des participant.es à cette réunion s'accordent à considérer que la répartition des déchets n'aura que peu de conséquences sur l'impact radiologique calculé suivant le scénario normal. Néanmoins, un des participants souligne qu'il n'en est potentiellement pas de même pour l'étude des conséquences radiologiques des scénarios d'évolution altérée : il se pourrait éventuellement que l'étude de l'un d'entre eux amène à exclure de stocker telle ou telle famille de déchets dans des zones précises du stockage. Étant donné que l'étude des conséquences des scénarios altérés est prévue après celle du scénario normal, il importe d'anticiper la localisation des familles de déchets qui potentiellement poseront le plus de problèmes.

874 Propos tenus en réunion.

Les scénarios d'évolution altérée sont construits à partir du scénario normal. Dès lors, une des difficultés dans la définition des hypothèses pour le scénario normal est qu'il est nécessaire d'anticiper un tant soit peu les incidences qu'auraient des hypothèses retenues lors de la construction du scénario normal sur l'impact radiologique calculé des scénarios d'évolution altérée. Que l'étude d'un scénario altéré amène à fixer des exigences sur la répartition des familles de colis perturberait le déroulement de l'analyse de sûreté. L'étude des conséquences du scénario normal est prévue avant celle des scénarios altérés et une modification de la répartition de l'inventaire, suite à l'étude des scénarios altérés, amènerait à revoir l'étude du scénario normal. Étant donné que le calendrier de l'Andra est particulièrement serré, les membres de l'équipe de revue cherchent à éviter une telle éventualité. La définition d'une répartition « *enveloppe* » de l'inventaire dans le stockage est une manière de ne pas avoir à refaire des calculs si une répartition particulière des colis dans l'architecture du stockage s'avérerait inopportune.

III.3. CHOIX DES EXUTOIRES ET CAPACITÉ TECHNIQUE DU GROUPE CRITIQUE

Le dernier point sur les hypothèses choisies pour le scénario normal suscitant une discussion lors de la revue RFMD-2b est le choix des exutoires du stockage. Dans ce scénario, les salarié.es de l'Andra considèrent qu'il n'existe pas d'exutoire naturel pour les radionucléides issus du stockage. Elles et ils prennent en compte comme exutoire un forage et le captage d'eau dans la couche de l'Oxfordien calcaire qui surplombe le Callovo-Oxfordien. Conventionnellement, dans le scénario normal, ce forage est localisé au dessus du stockage, au nord de la zone sur laquelle des reconnaissances géologiques approfondies ont été effectuées. Les salarié.es de l'Andra considèrent comme hypothèse que le débit de captage dans le forage dans l'Oxfordien est de 10 litres par minute soit 14 m³ par jour⁸⁷⁵. Afin de faire un calcul de sensibilité pour ce scénario normal, ils et elles envisagent également de prendre comme hypothèse un forage dont le débit serait de 100 litres par minute (140 m³ par jour). Ce choix d'un exutoire artificiel pour les analyses de sûreté est potentiellement problématique en fonction de l'évolution du climat. En effet, l'hypothèse d'une glaciation qui gelant le sol bloquerait la migration des radionucléides, puis les relâcherait rapidement lorsque la température augmenterait, pourrait éventuellement entraîner une contamination supérieure à la limite autorisée de la population revenant vivre dans cette zone après la période glaciaire.

875 S. Voinis, J. De Mèrédiéu, F. Liebard, L. Griffault et G. Pépin, « RFMD2-b », *op. cit.*, p. 46.

Par ailleurs, la production hydraulique de l'Oxfordien n'est pas très élevée. Elle ne peut pas permettre seule d'alimenter un village en eau. Néanmoins, elle pourrait suffire à une petite cellule familiale isolée. Pendant la discussion, le directeur de la R&D et son adjoint font un petit calcul sur un morceau de papier et soutiennent qu'il faut 200 ans pour qu'un forage dans l'Oxfordien avec un débit de 10 m³ par an épuise l'aquifère. Un « *groupe critique* » autarcique pourrait ainsi vivre assez longtemps en exploitant l'eau de l'Oxfordien avant d'épuiser la ressource en eau existante. Alors qu'un membre de la revue suggère d'abandonner ce scénario hypothétique s'il s'avère trop critique (« *Si c'est limite dans les arguments, on fait qu'il saute*⁸⁷⁶. »), il lui est rappelé que cette situation a déjà été soulevée par l'*Institute for Energy and Environmental Research* (IEER) lors d'une de ses contre-expertises du travail de l'Andra (cf. chapitre 6) et qu'il est probable que l'Agence soit à nouveau questionnée sur une situation de ce type.

La 1^{er} avril 2014 a lieu la troisième partie de la revue RFMD. Sans détailler le contenu de cette revue à laquelle je n'ai pas pu assister, je voudrais toutefois montrer ici les évolutions subies par la question du choix des exutoires entre la RFMD-2b et la RFMD-3.

Pour le *Dossier 2005*, les exutoires du stockage avaient été choisis au plus près du site, à un endroit où le débit d'eau est suffisant pour envisager un captage d'eau. Les salarié.es de l'Andra avaient retenu le fait que le forage permettait de prélever de l'eau dans l'aquifère le moins profond, plus facilement accessible⁸⁷⁷. Dans le *Dossier 2005*, ses auteur.es avaient également postulé que la vallée de l'Ornain, située à 10 kilomètres au nord-ouest de la zone où ont été focalisées les études des possibilités de stockage, puisse constituer un exutoire naturel pour les radionucléides issus du stockage. Dans le cas d'une évolution non perturbée du climat, les salarié.es de l'Agence envisageaient que des radionucléides issus du stockage atteignent cet exutoire d'ici 750 000 ans. Depuis 2005, la poursuite des travaux de recherche a amené à écarter l'hypothèse que l'Ornain puisse constituer un exutoire pour le stockage à l'échelle du million d'années⁸⁷⁸. Dès lors, les salarié.es de l'Andra n'envisagent plus d'exutoire naturel pour le stockage dans le scénario normal. Suite aux échanges avec les salarié.es de l'IRSN à ce sujet, seul un exutoire artificiel est pris en compte dans le scénario normal d'évolution du stockage⁸⁷⁹.

L'érosion dépend de l'évolution du climat. À l'échelle d'un million d'années, le climat évoluera naturellement (glaciation puis réchauffement). En outre, d'après les calculs effectués par les numéricien.nes de l'Andra en mars 2014, le Barrois, formation géologique affleurante en

876 Propos tenus en réunion.

877 Andra (ed.), « RFMD-3 », *op. cit.*, p. 32.

878 *Ibid.*, p. 35.

879 *Ibid.*, p. 36.

surface, reste l'aquifère le plus productif et le plus accessible. Les géologues de l'Agence envisagent également que le climat subisse des perturbations d'origine anthropique. Il se pourrait alors que celles-ci favorisent l'érosion et entraînent des variations fortes dans la productivité hydraulique de l'aquifère du Barrois⁸⁸⁰. Dans ce cas, une exploitation potentielle de l'aquifère de l'Oxfordien, plus profond, est envisagée. Toutefois, la quantité d'eau disponible dans cette formation calcaire est trop faible pour pouvoir envisager que des pratiques agricoles conséquentes puissent perdurer uniquement avec ce seul approvisionnement en eau. Seul un groupe d'individus restreint pourrait éventuellement survivre avec les quantités d'eau disponibles dans cet aquifère. Ainsi, quatre personnes pompant 10 litres d'eau par minute mettraient 100 ans pour épuiser les réserves hydrauliques de l'Oxfordien. Les salarié.es de l'Andra estiment néanmoins qu'il est peu probable qu'un groupe de personnes aussi restreint ait la capacité technique d'effectuer un forage de plusieurs centaines de mètres de profondeur pour prélever de l'eau. De plus, la faible circulation de l'eau dans cette formation rendra sa qualité médiocre. Durant la réunion de la revue RFMD-3, les salarié.es de l'Agence ont donc abandonné l'hypothèse d'une exploitation de l'aquifère de l'Oxfordien calcaire, qui avait été retenue lors de la réunion de la RFMD-2b⁸⁸¹. Pour le scénario normal, ils et elles envisagent trois exutoires possibles : l'aquifère du Barrois, un exutoire naturel dans la faille de la Marne à une trentaine de kilomètres du stockage, et le pompage dans une zone de fracturation diffuse du Dogger (formation située sous le Callovo-Oxfordien) à quelques kilomètres du stockage⁸⁸².

La détermination des exutoires du stockage amène à considérer des échelles de temps de l'ordre du million d'années, durant lesquelles la géologie et le climat évolueront. Cette question pousse également à construire des hypothèses sur la vie, l'alimentation et les capacités techniques de populations qui pourraient vivre dans l'Est de la France dans des temps aussi lointains. Par défaut, ces populations sont considérées comme semblables à celles que l'histoire connaît : aucun récit de science-fiction n'est étudié.

Étant donné que le stockage est prévu sur une zone choisie notamment pour ces qualités hydrogéologiques, les exutoires naturels sont éloignés du stockage et les radionucléides ne devrait pas les atteindre durant le prochain million d'années. Cependant, les analyses de sûreté évaluent les conséquences d'un forage qui alimenterait en eau un groupe critique autarcique composé d'une petite cellule familiale. L'existence d'un tel groupe critique est un cas classique, une situation limite, que les études sur la sûreté des projets de stockage se doivent d'étudier. Dans le cas où ce groupe

880 *Ibid.*, pp. 38-39.

881 *Ibid.*, p. 40.

882 *Ibid.*, p. 42.

critique, pouvant survivre un siècle avec très peu d'eau, risquerait d'absorber une dose radioactive supérieure à la limite réglementaire, les salarié.es de la direction de la maîtrise des risques de l'Andra font l'hypothèse que ses capacités techniques ne lui permettraient pas d'effectuer un forage dans un aquifère aussi profond que l'Oxfordien. Devant l'impossibilité de connaître la vie de populations vivant au dessus du stockage dans plusieurs centaines de milliers d'années, l'analyse de risques recourt à l'étude de situations limites classiques. Néanmoins, alors que l'impact radiologique sur le groupe critique risque d'être supérieur à la limite réglementaire, une nouvelle hypothèse sur ses capacités matérielles vient anéantir les chances de survie de cette population. Le groupe critique a le bon goût d'être assez arrangeant avec les salarié.es de l'Andra.

CONCLUSION PARTIELLE

Au moment de déterminer les hypothèses à prendre en compte dans le scénario d'évolution normale de Cigéo, il existe des incertitudes de différentes natures : des incertitudes sur la compréhension et la maîtrise des phénomènes physiques qui guident l'évolution du stockage, des incertitudes sur la conception du stockage et sur les déchets. De ce fait, un certain nombre de paramètres devront faire l'objet d'études de sensibilité afin d'évaluer quelle importance a leur variation sur la sûreté du stockage. La conception du stockage n'est pas totalement stabilisée au moment de la revue RFMD. De plus, étant donné que la construction et l'exploitation de Cigéo sont prévues pour durer un siècle, il est fort probable que la conception du stockage continue d'évoluer durant ce temps. Comprendre exhaustivement les phénomènes qui guident l'évolution du stockage est un objectif irréaliste : sur des échelles de temps de l'ordre du million d'années, il serait illusoire de vouloir connaître le comportement d'un ouvrage tel qu'un stockage géologique dans sa globalité. Dès lors, la construction d'une représentation du stockage lors de sa fermeture et bien après celle-ci est un exercice formel. Si des évolutions de la conception et de l'inventaire radiologique durant l'exploitation du stockage sont envisagées, il est difficile d'anticiper ce qu'elles seront. En 2013, les salarié.es de l'Andra travaillent donc à démontrer la sûreté d'un projet de stockage dont ils et elles savent qu'il ne correspondra pas exactement à celui qui sera construit.

La construction de scénarios doit toutefois se baser sur une connaissance du stockage au plus près de ce qu'il pourra être au moment de sa fermeture. Un certain nombre d'éléments (composition des bétons, chroniques de livraison des colis...) font l'objet d'une représentation « *enveloppe* », c'est-à-dire d'une représentation dont les conséquences potentielles doivent être plus importantes que

celles des différentes situations hypothétiques, non accidentelles. L'analyse de sûreté du stockage doit donc prendre en compte une représentation du stockage la plus réaliste possible, tout en majorant les conséquences des incertitudes sur la caractérisation et l'évolution de l'ouvrage.

Les résultats des calculs effectués avant les études d'impact à proprement parler permettent d'orienter le choix des hypothèses, et notamment la sélection des exutoires artificiels – les salarié.es de l'Andra ont établi qu'il n'y a pas d'exutoire naturel si le stockage suit une évolution normale. Par ailleurs, les histoires de l'évolution du stockage que racontent les scénarios ne seront écrites qu'une fois qu'auront été effectués les calculs de leurs conséquences radiologiques. Alors que s'engage l'analyse de sûreté de Cigéo, le choix des hypothèses doit permettre qu'en aucun cas l'impact radiologique calculé soit supérieur à la limite réglementaire. Une part importante des discussions sur l'appréhension des incertitudes consiste à anticiper l'impact d'hypothèses envisagées sur la dose calculée et à justifier l'abandon d'hypothèses qui pourraient potentiellement s'avérer problématiques. L'étude de la revue RFMD montre ainsi que la démonstration de sûreté est avant tout un exercice dont la conclusion est connue et détermine en partie le choix des hypothèses retenues.

IV. CARACTÉRISATION DES COLIS ET INVENTAIRE RADIOLOGIQUE DU STOCKAGE

IV.1. DRESSER UN ÉTAT DES LIEUX DES CONNAISSANCES SUR LES COLIS

IV.1.1. DES COLIS PARFAITS POUR LA PREMIÈRE TRANCHE DE CIGÉO

Conjointement à la Revue Finale des Modèles et des Données, une seconde revue consacrée aux connaissances sur les colis de déchets destinés à être stockés est organisée à l'Andra. Celle-ci débute le 26 novembre 2012 (RC1). Elle se poursuit le 11 juin 2013 (RC2) avant d'être accolée aux revues RFMD. La revue RC1 avait pour objectif « *de valider que l'état de connaissance de l'Andra sur les colis dont la réception était prévue en T1 [première tranche de l'exploitation de Cigéo] dans le PIGD [Plan Industriel de Gestion des Déchets] était suffisant [et] d'identifier les colis dits « sensibles » pour lesquels les manques de connaissance étaient significatifs et constituaient un risque au regard de la conception du stockage et de la démonstration de sûreté*⁸⁸³ ».

883 Fabrice Boissier, Thibaud Labalette et Patrick Lebon, *Cadrage de la seconde revue relative à l'état de*

L'exploitation de Cigéo est découpée en différentes « tranches » dont la première est alors prévue entre 2025 et 2030. La direction de l'Andra souhaite que les colis sélectionnés pour être stockés durant la première tranche de Cigéo représentent le moins de risque possible lors de leur manutention et que leur « récupérabilité » soit assurée⁸⁸⁴. Le Groupe Permanent Déchets (GPD) réuni le 5 février 2013 a formulé une recommandation en accord avec ce choix : il recommande que « les colis placés dans la première tranche [d'exploitation de Cigéo soient] aussi passifs que possible, c'est-à-dire que leurs caractéristiques [soient] très peu sensibles aux agressions qu'ils pourraient subir, afin de minimiser les conséquences des incidents qui pourraient survenir durant cette phase et de pouvoir retirer ces colis de manière aisée et sûre en cas de nécessité d'intervenir dans les alvéoles⁸⁸⁵. » Ainsi, suivant ce principe, le Groupe Permanent recommande notamment de ne pas choisir de déchets bitumés dans la première tranche de Cigéo. Au contact d'eau, ces déchets dégagent du dihydrogène qui produit un gonflement de l'enrobé. Ces déchets ne sont donc pas particulièrement stables.

Tous les déchets destinés à être stockés n'ont pas tous les mêmes caractéristiques : ils sont plus ou moins faciles à manipuler, plus ou moins radioactifs, plus ou moins exothermiques, plus ou moins bien conditionnés et la connaissance de leurs propriétés est plus ou moins bien établie. Pour les déchets dont le stockage est prévu après la première tranche de Cigéo, les responsables de la maîtrise des risques estiment qu'un « niveau de connaissances non nécessairement équivalent à celui associé aux colis de la T1 » peut être suffisant au moment de la demande d'autorisation de Cigéo⁸⁸⁶. D'une part, il y a moins d'urgence à disposer d'une caractérisation fine de ces déchets. D'autre part, il importe que tout soit fait pour que la première tranche de Cigéo soit aussi peu problématique que possible, mais de nombreux déchets doivent être stockés et il existe des incertitudes importantes dans la caractérisation de certaines familles de déchets.

Les producteurs de déchets en sont propriétaires et ils le restent lorsque les déchets sont confiés à l'Andra. Pour l'instant, les déchets destinés au stockage sont entreposés sur des sites du CEA, d'EDF et d'Areva. Les chroniques de livraison pour le stockage sont établies par les producteurs de déchets et validées (ou non) par les salarié.es de l'Andra. Avant que les déchets ne leur soient amenés pour être stockés, les salarié.es de l'Andra n'y ont pas accès. Ils et elles ne

connaissance des colis de l'inventaire de Cigéo dénommée « RC2 », Andra, 5 avril 2013, p. 2.

884 Pascal C. Leverd et Florence Liebard, « Seconde revue relative à l'état de connaissance des colis de l'inventaire de Cigéo », Andra, 2013, p. 3.

885 Recommandation du Groupe Permanent Déchets formulée lors de la réunion du 5 février 2013. Cité dans F. Boissier, T. Labalette et P. Lebon, *Cadrage de la seconde revue relative à l'état de connaissance des colis de l'inventaire de Cigéo dénommée « RC2 »*, op. cit., p. 7 Annexe 2.

886 P. C. Leverd et F. Liebard, « Seconde revue relative à l'état de connaissance des colis de l'inventaire de Cigéo », op. cit., p. 3.

peuvent donc pas effectuer de mesures ni d'essais sur les colis. De ce fait, les salarié.es de l'Andra doivent se contenter des informations que les producteurs de déchets consentent à leur délivrer. Les déchets radioactifs sont regroupés par familles. Une famille correspond à un ensemble de déchets d'origine similaire, conditionnés suivant le même procédé. Les déchets d'une même famille ont ainsi des propriétés physiques relativement homogènes, à quelques variations près.

La revue RC2 se poursuit le 9 juillet 2013 suite à la réunion de la RFMD-1. Les connaissances sur les familles de colis proposées par les producteurs de déchets pour la première tranche d'exploitation de Cigéo sont présentées en réunion. L'équipe de revue estime que ces déchets « *ne présentent pas les caractéristiques des colis inertes attendus pour le démarrage de l'exploitation de Cigéo, à l'exception toutefois des colis CSD-U (verres UMo, COG-150) les moins actifs*⁸⁸⁷ ». Une des familles de déchets en provenance du CEA contient un fut percé et un autre dont le fond est dessoudé : « *ce ne sont pas des cadeaux*⁸⁸⁸ ». Il est décidé en réunion de demander aux producteurs de faire d'autres propositions de familles de déchets à stocker dans la première tranche de Cigéo. Alors que tous les yeux seront tournés vers l'Andra et que l'exploitation du stockage ne sera pas encore rodée, il importe aux salarié.es de l'Andra de faire en sorte que la première tranche de Cigéo soit la moins problématique possible.

IV.1.2. ÉTABLIR UN ÉTAT DES CONNAISSANCES SUR LES COLIS

La revue RC2 débute le 11 juin 2013. Elle a pour objectif de « *présenter l'état des connaissances à la disposition de l'Andra portant sur les colis de déchets en identifiant l'origine des données présentées, leur statut (min, max, moyen...), leur variabilité, les incertitudes associées et le niveau de confiance à leur accorder*⁸⁸⁹ ».

Au moment de la réunion de juin 2013, l'équipe de revue regroupe des salarié.es de la direction de la maîtrise des risques et de celle de la R&D appartenant au service Inventaire et planification (DMR/IP), au service Surveillance de la qualité des colis (DMR/SQC) et au service Colis et matériaux (DRD/CM). Cette revue est coordonnée par la cheffe du service Inventaire et planification. Les ingénieur.es du service Inventaire et planification ont rédigé 52 fiches à propos de 53 familles de déchets⁸⁹⁰. Le Plan Industriel de Gestion des Déchets (PIGD) en compte 93. Les colis

887 Pascal C. Leverd, *Compte-rendu. Revue finale des modèles et des données - première partie (RFMD-I) et seconde revue colis - deuxième partie (RC2)*, Andra, 11 septembre 2013, p. 4.

888 Propos tenus en réunion.

889 F. Boissier, T. Labalette et P. Lebon, *Cadrage de la seconde revue relative à l'état de connaissance des colis de l'inventaire de Cigéo dénommée « RC2 »*, *op. cit.*, p. 2.

890 P. C. Leverd et F. Liebard, « Seconde revue relative à l'état de connaissance des colis de l'inventaire de Cigéo », *op. cit.*, p. 9.

de déchets pour lesquels des fiches ont été réalisées représentent 60 % des 233 675 colis que recense le PIGD⁸⁹¹. L'équipe de revue s'est attachée prioritairement à traiter les familles de déchets dont le stockage en première tranche de Cigéo a été envisagé, les familles qui regroupent un nombre important de colis et celles qui présentent un intérêt particulier parce qu'elles sont spécifiques ou, au contraire, sont représentatives d'un ensemble de familles⁸⁹².

Une longue partie de la réunion du 11 juin est consacrée à répondre à une série de questions émises par le groupe de revue. Ces questions portent sur le format des fiches, l'inventaire radiologique du stockage, ses évolutions depuis 2005 et les incertitudes qui pèsent sur celui-ci, la caractérisation des colis (leur résistance matérielle à la chute ou au feu...) ou encore la composition chimique des déchets⁸⁹³.

Quatre *slides* sont consacrés au niveau de confiance que les salarié.es de l'Andra peuvent avoir dans les données fournies par les producteurs⁸⁹⁴. Comment prendre en compte l'évolution des hypothèses utilisées pour déterminer certaines caractéristiques des colis ? Que faire des données qui n'ont pas été produites sous un processus d'assurance qualité ? Comment exprimer un « *niveau de confiance* » sur les données produites par les producteurs de déchets afin d'introduire des marges d'incertitudes sur ces connaissances ? Quelle valeur choisir lorsque des écarts, potentiellement importants, existent entre le calcul d'un même paramètre par l'Andra et par les producteurs ? Faut-il considérer que l'activité associée à un radionucléide est nulle lorsque les producteurs n'ont déclaré aucune activité pour ce radionucléide alors qu'il est présent dans les déchets d'une famille mais à des doses minimales ?

Mis à part consigner les informations disponibles sur les données sur les fiches dédiées, la première réunion de cette revue RC2 apporte peu de réponses pratiques à ces questions. La détermination de la confiance que les salarié.es de l'Andra peuvent avoir dans les données fournies par les producteurs est envisagée comme un travail collégial qui doit être mené en collaboration entre les salarié.es des directions de la maîtrise des risques, de l'ingénierie et de la R&D⁸⁹⁵. Cette question occupe largement la suite des réunions de la revue RC2.

Suite à l'examen des qualités de plusieurs familles de déchets qui pourraient éventuellement être stockés durant la première tranche de Cigéo, la réponse à une série de questions posées dans la lettre de cadrage de la revue occupe la dernière partie de la réunion du 11 juin. Parmi ces questions, figure l'identification des absences d'information sur les colis qui pourraient s'avérer bloquantes

891 *Ibid.*

892 *Ibid.*

893 *Ibid.*, pp. 16-27.

894 *Ibid.*, pp. 24-27.

895 *Ibid.*, p. 25.

pour la demande d'autorisation de Cigéo et la détermination d'un plan d'action pour combler les manques de connaissance. La réalisation de fiches systématiques sur toutes les familles de déchets met en évidence que les connaissances sur les déchets sont très variables d'une famille à l'autre⁸⁹⁶.

IV.1.3. IDENTIFIER LES DONNÉES BLOQUANTES PARMİ CELLES DONT L'ABSENCE EST PRÉJUDICIABLE

Entre les deux réunions du 11 juin et du 9 juillet 2013, l'équipe de la revue RC2 a sélectionné une liste de 23 grandeurs caractéristiques des colis de déchets dont l'absence serait préjudiciable, pour la conception du stockage ou la démonstration de sûreté⁸⁹⁷. Parmi ces grandeurs, on trouve les dimensions des déchets, leur procédé de fabrication, l'activité des radionucléides contenus, la puissance thermique, la production de gaz, l'inventaire des toxiques chimiques...

L'équipe de revue a également déterminé un ensemble de paramètres qui sont considérés comme toujours bloquants parmi les 23 grandeurs sélectionnées⁸⁹⁸. Pour toutes les familles, l'absence d'information sur la typologie de déchet, le procédé de conditionnement, l'inventaire radiologique et la présence de matière inflammable ou réactive est considérée comme toujours bloquante⁸⁹⁹. Pour les déchets MAVL, le manque de connaissance sur la présence de complexants chimiques dans les colis est toujours bloquant. Pour les déchets HAVL dont un reconditionnement avant le stockage est nécessaire, l'absence d'information sur la puissance thermique des colis est toujours bloquante.

Par ailleurs, dans un certain nombre de cas, l'absence d'éléments identifiés dans la liste des 23 grandeurs, dont l'absence est préjudiciable pour l'établissement de la demande d'autorisation de Cigéo, n'est pas bloquante. Ainsi, un certain nombre de données sur les familles de déchets dont la production n'a pas encore débuté ne sont pas bloquantes. L'absence de données sur la production de radionucléides sous forme gazeuse et sur la présence de toxiques chimiques n'est pas bloquante non plus pour les familles de déchets qui comportent moins de 1500 colis, sauf si cette famille fait partie de celles qui ont été sélectionnées pour la première tranche de Cigéo⁹⁰⁰. Au final, sur les 2 139 données à recueillir sur l'ensemble des familles de déchets, 40 % d'entre elles sont considérées comme bloquantes pour la constitution du dossier de demande d'autorisation de Cigéo⁹⁰¹.

896 Pascal C. Leverd, *Compte rendu de la seconde revue colis RC2*, Andra, 21 juin 2013, p. 5.

897 Pascal C. Leverd et Marie-Ange Roméro, « Seconde revue relative à l'état de connaissance des colis de l'inventaire de Cigéo – seconde partie », Andra, 2013, p. 12.

898 *Ibid.*, p. 14.

899 *Ibid.*

900 *Ibid.*, p. 15.

901 *Ibid.*, p. 16.

La sélection des 23 critères doit faire l'objet d'une validation avant la fin du mois de juillet 2013⁹⁰². Suite à cela, l'équipe de revue a pour mission de vérifier que les données identifiées comme bloquantes sont disponibles, d'informer les producteurs de déchets de l'avancée de ce travail et de définir un plan d'action pour l'acquisition des données bloquantes dont les salarié.es de l'Andra ne disposent pas⁹⁰³.

IV.2. DÉFINIR UN INVENTAIRE RADIOLOGIQUE POUR CIGÉO

Dans le cadre de la revue RFMD-2a, les ingénieur.es de la direction de la maîtrise des risques ont entrepris de collecter, composant du stockage par composant, les données qui les caractérisent, et qui sont disponibles. Ce travail n'a pas pu être terminé à temps pour la réunion de la revue en particulier parce qu'il manquait un certain nombre de données sur les colis de déchets, notamment sur l'inventaire des radionucléides qu'ils contiennent. La plupart des manques d'information sur les colis ne peuvent être levés que si les producteurs de déchets consentent à apporter aux salarié.es de l'Agence les connaissances sur les colis qu'ils et elles souhaitent. Pour ne pas être bloqué.es dans l'attente de connaissances que seuls les producteurs de déchets peuvent produire, les ingénieur.es de l'Andra ont proposé la constitution d'inventaires de référence⁹⁰⁴. Ces inventaires de référence sont conçus pour être « *enveloppes* » c'est-à-dire qu'à n'importe quel niveau d'analyse, l'activité radiologique contenue réellement dans les déchets doit toujours être inférieure à celle de ces inventaires de référence.

IV.2.1. CONSTRUCTION DES INVENTAIRES DE RÉFÉRENCE

Pour chaque famille de déchets, les incertitudes sur les données qui les caractérisent sont évaluées en fonction du « *degré de confiance* » que les salarié.es de l'Andra associent aux valeurs communiquées par les producteurs de déchets :

902 P. C. Leverd, *Compte-rendu. Revue finale des modèles et des données - première partie (RFMD-I) et seconde revue colis - deuxième partie (RC2)*, *op. cit.*, p. 4.

903 P. C. Leverd et M.-A. Roméro, « Seconde revue relative à l'état de connaissance des colis de l'inventaire de Cigéo – seconde partie », *op. cit.*, p. 17.

904 P. C. Leverd et S. Voinis, « Cigéo - Revues de préparation à la DAC RFMD-2-a », *op. cit.*, p. 28.

- si les salarié.es de l'Andra disposent des données qu'elles et ils souhaitent et d'un bon niveau de confiance dans celles-ci, alors l'inventaire de référence est calculé, pour chaque radionucléide, en faisant le produit de l'activité moyenne par colis, pour le colis moyen, par le nombre de colis, en prenant en compte les marges sur le nombre de colis identifiés dans l'inventaire⁹⁰⁵ ;
- si le niveau de confiance que les salarié.es de l'Andra attribuent aux données fournies par le producteur est faible, alors « *l'inventaire de référence au niveau de la famille sera évalué de manière prudente au cas par cas, en tenant notamment compte de la confiance que l'on a sur les activités moyennes déclarées, la variabilité des colis et les activités massiques maximales par déchet*⁹⁰⁶ » ;
- si la confiance des salarié.es de l'Andra dans les données fournies par les producteurs est faible mais que la famille de déchets comporte peu de colis ou que ces déchets ont une activité globale faible, alors l'inventaire de référence peut être calculé en multipliant l'activité maximale par radionucléide par la masse moyenne des colis et par le nombre de colis dans la famille⁹⁰⁷ ;
- enfin, si aucune connaissance sur les déchets n'est disponible, les salarié.es de l'Andra prévoient de demander aux producteurs d'indiquer eux-même une analogie avec une famille de déchets pour laquelle il existe des données.

Cette méthode basée sur la définition d'un degré de confiance dans les valeurs fournies à l'Andra témoigne d'une certaine méfiance envers les informations communiquées par les producteurs. Ainsi, les salarié.es de l'Andra estiment parfois que les données fournies par les producteurs sont trop grossières, erronées ou incohérentes vis-à-vis du procédé de fabrication connu. D'après l'expérience des salarié.es de l'Andra travaillant à l'entreposage de déchets faiblement radioactifs dans les centres de surface gérés par l'Agence, il est fréquent que les colis confiés à l'Andra ne correspondent pas aux spécifications annoncées. Dans de telles situations, les salarié.es de l'Andra peuvent difficilement refuser de gérer ces déchets et ils et elles choisissent plutôt d'adapter les conditions de stockage des déchets en réduisant la densité du dépôt ou en adaptant le conditionnement des colis.

905 *Ibid.*, p. 31.

906 Collectif, *Données essentielles de l'AQS*, *op. cit.*, p. 16.

907 P. C. Leverd et S. Voinis, « Cigéo - Revues de préparation à la DAC RFMD-2-a », *op. cit.*, p. 31.

À propos de la méthode suggérée, le directeur adjoint de la R&D soulève en réunion le fait que, si la confiance dans les données fournies par le producteur est faible, elle l'est également dans la valeur de l'activité maximale par colis indiquée par le producteur. Le choix d'utiliser cette grandeur est donc discutable. La directrice adjointe de la maîtrise des risques lui répond alors que dans cette situation, elle ne sait pas quelle grandeur utiliser pour construire l'inventaire de référence. Par défaut, elle utilise donc cette valeur.

Un membre de l'équipe de revue souligne que la situation où les salarié.es de l'Andra ont peu de données sur une famille de déchets et celle où il existe des données dont la qualité est douteuse sont différentes et peuvent donc être traitées différemment. Le directeur de la maîtrise des risques précise également qu'il existe des situations intermédiaires entre une confiance totale dans les données fournies et un doute si fort sur les données qu'aucune connaissance ne puisse être acquise à partir d'elles. Il existe des familles de déchets pour lesquelles les salarié.es de l'Andra disposent de quelques valeurs et pour lesquelles il est possible de déterminer une marge.

De plus, la méthode proposée permet d'éviter aux producteurs d'effectuer des mesures pour caractériser des familles de déchets qu'ils n'ont alors pas envie de manipuler. En effet, proposer aux producteurs de définir eux-même une analogie entre l'inventaire radiologique d'une famille de déchets pour laquelle aucune connaissance n'a été communiquée, et l'inventaire radiologique de familles de déchets correctement caractérisées, est une manière d'éviter aux producteurs la manipulation de déchets. De ce fait, cette proposition est considérée comme une main tendue aux producteurs pour que ceux-ci fournissent des informations sans engager des mesures sur des déchets entreposés depuis longtemps dans différentes installations.

Pour le coordinateur de la revue, la constitution d'inventaires « *enveloppes* » est une « *porte de sortie* » pour que l'absence d'un certain nombre de données ne devienne pas bloquante lors de la demande d'autorisation du stockage. Pour le directeur et la directrice adjointe de la maîtrise des risques, cette proposition est une manière de mettre les producteurs de déchets devant leur responsabilité. Si les producteurs refusent la proposition de l'Andra, le directeur de la maîtrise des risques suggère en réunion de ne pas intégrer les familles de déchets sur lesquelles l'Andra a trop peu d'information dans la liste de celles qui sont destinées au stockage :

« Cette démarche est pour leur proposer des portes de sortie. Si ils refusent, les familles ne sont pas dans le stockage [...] Sinon, le cahier des charges, c'est faire un stockage pour stocker n'importe quoi⁹⁰⁸. »

908 Propos tenus en réunion.

La constitution de ces inventaires « *enveloppes* » représente un déplacement par rapport à la manière dont la connaissance sur les familles de déchets était envisagée jusqu'alors. Ainsi, après avoir identifié la liste des données bloquantes, la direction de la maîtrise des risques envisage désormais une solution pour palier l'absence de ces données que seuls les producteurs peuvent fournir. Par ailleurs, dans la méthode proposée pour construire cet inventaire « *enveloppe* », les ingénieur.es de la direction de la maîtrise des risques cherchent encore à être les plus systématiques possibles. Cette systématisation est par ailleurs un objet de débat : le directeur de la maîtrise des risques suggère ainsi d'avoir un peu de souplesse dans la construction des inventaires « *enveloppes* » et d'appréhender le cas de chaque famille de déchets au cas par cas – ce à quoi rechigne son adjointe chargée de coordonner l'analyse de sûreté.

IV.2.2. QUELLE CONFIANCE ATTRIBUER AUX DONNÉES FOURNIES PAR LES PRODUCTEURS DE DÉCHETS ?

La discussion sur l'absence d'un certain nombre de données, et la confiance dans les données fournies par les producteurs, se poursuit lors de la troisième partie de la revue RC2 qui se déroule dans la continuité de la réunion de la RFMD-2a. Cette suite de la revue RC2 débute par un point sur l'avancée du remplissage des fiches caractérisant chaque famille de déchets⁹⁰⁹. Elle se poursuit par une présentation de la méthode envisagée pour traiter les données potentiellement bloquantes (les cases rouges du tableau de la *Figure 25* ci-dessus). Lors de cette nouvelle réunion, les dirigeant.es de la maîtrise des risques proposent d'attribuer un « *score* » à chacune des données bloquantes :

- 0 lorsque aucune donnée n'est disponible ou lorsque la donnée est totalement inexploitable ;
- 1 pour les « *données partielles* », difficilement exploitables ou dans lesquelles les salarié.es de l'Andra ont une confiance faible ;
- 2 pour les données « *globalement suffisante[s], avec un assez bon niveau de confiance (mais des échanges avec les producteurs peuvent tout de même s'avérer nécessaires)*⁹¹⁰ ».

En fonction, du score attribué à une donnée, celle-ci sera pondérée par un facteur de marge différent. Au moment de la revue, des scores ont été attribués à 65 % des données bloquantes. Un score de 0 a été attribué à 25,6 % des cases rouges remplies. Un score de 1 a été attribué à 38,5 % des cases rouges remplies. Et enfin, un score de 2 a été attribué à 35,9 % des cases rouges

909 Pascal C. Leverd et Florence Liebard, « Seconde revue relative à l'état de connaissance des colis de l'inventaire de Cigéo – Troisième partie », Andra, 2013, p. 3.

910 *Ibid.*, p. 9.

remplies⁹¹¹. Un membre de la revue souligne en réunion qu'en ce qui concerne l'inventaire radiologique, il y a peu de données bloquantes qui ne se sont pas vu attribuer un score de 0. Par ailleurs, une autre membre de la revue souligne qu'elle ne considère pas possible d'attribuer un score de 2 pour des déchets qui n'ont pas encore été produits, mais elle estime qu'il ne faut pas pour autant que cette situation soit bloquante⁹¹². Un participant de la revue demande si proposer aux producteurs de fournir des analogies pour les familles dont les salarié.es de l'Andra ont une mauvaise connaissance de l'inventaire ne va pas les pousser à fournir des données majorantes. Il lui est alors répondu qu'un stockage conçu à partir de données majorantes sera plus cher et que les producteurs, financeurs de Cigéo, ont peu intérêt à opter pour une telle stratégie. Le directeur de la maîtrise des risques résume :

« Soit on fait un stockage low cost, mais alors il y a des trucs [des déchets] qui restent à la porte. Soit on fait un truc [un stockage] plus cher et on met tous les déchets. Il faut savoir⁹¹³. »

Après avoir identifié les grandeurs dont l'absence est préjudiciable au travail de démonstration de sûreté, les ingénieur.es en charge de la maîtrise des risques ont déterminé, parmi ces grandeurs, quelles sont celles dont l'absence s'avérerait bloquante pour la réalisation d'un calcul d'impact. Au regard des données disponibles, ces ingénieur.es leur ont ensuite attribué un score en fonction de leur qualité. En fonction de ces scores, des méthodes différentes sont envisagées pour produire des caractérisations des déchets malgré le manque de données fournies par les producteurs. Le développement d'une telle méthode est dû d'une part à la mauvaise caractérisation de nombreuses familles de déchets et d'autre part au manque de confiance des salarié.es de l'Andra dans les données fournies par les producteurs.

Le protocole proposé en septembre 2013 est construit en fonction des efforts que les producteurs de déchets pourraient consentir à fournir, pour permettre aux salarié.es de l'Andra d'effectuer une démonstration à partir d'une connaissance optimale de l'inventaire radiologique du stockage. Sachant que les producteurs de déchets n'ont pas l'intention de manipuler certains déchets avant de les acheminer jusqu'à Bure, les salarié.es de l'Andra leur suggèrent de fournir un inventaire par analogie avec des familles de déchets correctement caractérisées. Lors de la revue, il n'est pas encore certain que les producteurs acceptent cette proposition. Cependant, les salarié.es de l'Agence estiment que les producteurs ont intérêt à collaborer avec elles et eux : le recours à des hypothèses majorantes nuirait à son optimisation économique. Par exemple, l'ouvrage perdrait en densité et les

911 *Ibid.*

912 Propos tenus en réunion.

913 Propos tenus en réunion.

longueurs des galeries et des alvéoles augmenteraient en même temps que leur coût. Les barrières artificielles seraient également amenées à jouer un plus grand rôle dans la sûreté du stockage et de ce fait leur épaisseur pourrait augmenter.

Toutefois, l'Andra n'est pas en position de force dans la négociation avec les producteurs de déchets qui sont aussi les financeurs de Cigéo. En effet, les producteurs n'accepteront pas de payer un stockage qu'ils estiment trop cher. Ils refuseront sans doute également de financer un stockage dans lequel ils ne peuvent déposer l'ensemble de leur déchets. À la fin des années 2000, puis en 2015, les conflits entre les producteurs de déchets et l'Andra relatifs au coût du stockage illustrent assez bien la difficulté de la direction de l'Agence à imposer à ses financeurs la construction d'un stockage au prix qu'elle envisage (cf. chapitre 6).

IV.3. DÉFINIR DES MARGES SUR LES INVENTAIRES RADIOLOGIQUES

La question de l'inventaire radiologique occupe une place particulièrement importante lors de la réunion de la revue RFMD-2b. Les salarié.es de la direction de la maîtrise des risques distinguent l'« *inventaire de référence* » de l'« *inventaire de base* ». Ce dernier désigne l'inventaire « *best-estimate* », construit pour être au plus près de ce que devrait être l'inventaire réel des déchets stockés. L'inventaire de référence désigne lui l'inventaire margé, « *enveloppe* », qui sera utilisé dans les calculs d'impact suivant le scénario normal⁹¹⁴. L'étude des scénarios altérés pourra être effectuée à partir d'autres inventaires. La construction des inventaires repose sur les connaissances dont disposent les salarié.es de l'Andra. En décembre 2013, les ingénieur.es de la direction de la maîtrise des risques ont identifié que sur les 93 familles de déchets de l'inventaire national, les dossiers de connaissances manquent pour 27 d'entre elles, le conditionnement de 11 familles de déchets doit encore évoluer et pour 5 familles, l'inventaire radiologique transmis par les producteurs est difficilement exploitable⁹¹⁵.

Un courrier a été envoyé à Areva, à EDF et au CEA pour les informer de ce manque de connaissances et leur demander des compléments d'information. L'Agence a reçu des réponses de EDF et du CEA. Un d'eux leur a signifié que « *Le travail technique à mettre en œuvre en amont*

914 S. Voinis, J. De Mèrédiéu, F. Liebard, L. Griffault et G. Pépin, « RFMD2-b », *op. cit.*, p. 8.

915 *Ibid.*, p. 10.

pour répondre à cette demande est matériellement incompatible avec le délai exigé. »⁹¹⁶ L'autre a renvoyé l'Agence vers le comité technique chargé de l'établissement de l'inventaire national pour toute question relative aux déchets destinés à être stockés.

IV.3.1. DIFFÉRENTES MARGES EN FONCTION DES NIVEAUX DE CONNAISSANCE

Lors de la RFMD-2b, les ingénieur.es du service Inventaire et planification (DMR/IP) ont établi quatre niveaux pour apprécier les connaissances dont l'Agence dispose sur les différentes familles de déchets :

- le niveau 3 correspond à un bon niveau de connaissance ;
- le niveau 2, à un niveau de connaissance moyen ;
- le niveau 1, à un niveau de connaissance mauvais ;
- le niveau 0, à l'absence de connaissance⁹¹⁷.

Afin de constituer l'inventaire de base pour chaque famille de déchets, il est proposé, lors de la revue RFMD-2b, de choisir l'activité moyenne déclarée par le producteur lorsque le niveau de connaissance sur la famille est de 2 ou de 3. Si le niveau de connaissance est de 1, l'activité maximale déclarée par le producteur est prise comme l'inventaire de base. Ou, si l'activité maximale par colis est inconnue, l'inventaire de base sera calculé en multipliant l'activité moyenne par dix. Enfin, lorsque le niveau de connaissance est 0, l'inventaire de base est établi à partir d'une analogie avec une autre famille de déchets effectuée par les salarié.es de l'Andra⁹¹⁸. Lors de la discussion de ce point en réunion, le directeur du service Colis et matériaux (DRD/CM) souligne que pour certaines familles, l'activité maximale par colis associée à un radionucléide peut être dix mille fois supérieure à l'activité moyenne. Si appliquer un tel facteur de marge systématiquement risquerait de « *faire peur* », il suggère néanmoins de vérifier, lorsque cela est possible, que considérer un facteur 10 entre l'activité moyenne et l'activité maximale soit cohérent avec les données disponibles⁹¹⁹.

L'inventaire de référence est calculé à partir de l'inventaire de base. Lors de la réunion de la RFMD-2b, il est suggéré que l'inventaire de référence soit égal à deux fois l'inventaire de base : cette multiplication par deux de l'inventaire de base doit permettre que l'inventaire de référence soit « *enveloppe* ». Toutefois, le choix de ce facteur de marge semble assez arbitraire. Lors de la

916 *Ibid.*, p. 11.

917 *Ibid.*, p. 12.

918 *Ibid.*, p. 15.

919 Propos tenus en réunion.

réunion, le directeur de la maîtrise des risques demande si la multiplication par deux de l'inventaire de base pour obtenir l'inventaire de référence ne pourrait pas être ajustée en fonction des familles de colis. Son adjointe lui répond que le choix d'un facteur 10 a été envisagé mais que pour certains radionucléides comme l'iode, la multiplication par un tel facteur commence à produire des activités cumulées importantes. Le directeur de la maîtrise des risques recommande alors de se permettre de faire des exceptions pour certaines familles de déchets ou pour certains radionucléides. Il importe que la marge choisie ne s'avère pas bloquante et que les calculs effectués n'aboutissent pas à des impacts radiologiques supérieurs à la limite réglementaire. Une attention particulière sur les familles de déchets qui contribuent le plus à l'impact radiologique calculé est nécessaire.

Pour le directeur de la maîtrise des risques, la prise en compte de marge est nécessaire mais il importe de ne pas choisir des hypothèses trop pénalisantes pour « *ne pas se faire trop peur* »⁹²⁰. Il recommande également, pour les familles de déchets pour lesquelles les salarié.es de l'Andra ont peu d'informations, de revenir aux analyses phénoménologiques et notamment de s'appuyer sur la connaissance du procédé de production des déchets et de leur origine afin de ne pas prendre des facteurs de marge qui n'ont aucun sens physique (« *C'est bien d'avoir des méthodes mais revenir à la réalité, parfois ça sert*⁹²¹ »). Ainsi, il souligne que les salarié.es de l'Andra connaissent notamment quels radionucléides sont contenus dans les déchets produits à partir d'anciens paratonnerres au radium. Il serait inutile d'appliquer à ces déchets des marges de sûreté pour l'ensemble des 144 radionucléides pris en compte dans l'analyse, sans exclure ceux dont l'absence est certaine.

L'attribution d'une marge sur l'inventaire radiologique ne repose pas directement sur une connaissance des variations de la composition des déchets d'une même famille. Cette marge doit permettre d'assurer que ces variations et les incertitudes sur la connaissance des colis n'affectent pas la sûreté. Cependant, l'établissement de cette marge et le choix du facteur multiplicatif sont également guidés par une anticipation de l'impact radiologique calculé du stockage. En effet, il importe que les hypothèses retenues dans les calculs ne provoquent pas un dépassement de la limite d'impact réglementaire une fois les calculs effectués. Le choix de ce facteur doit ainsi permettre de produire une démonstration robuste de la sûreté du stockage, qui prenne en compte les incertitudes sur la caractérisation des déchets, sans toutefois « *se faire trop peur* » en amenant les calculs d'impact radiologique à s'approcher de la limite autorisée. La détermination du facteur de marge demande d'anticiper l'impact de celui-ci sur l'impact radiologique calculé.

920 Propos tenus en réunion.

921 Propos tenus en réunion.

IV.3.2. ÉVOLUTION DES FACTEURS DE MARGE

Le tableau ci-dessous (*Figure 26*) issu du compte-rendu de la revue RFMD-3 présente l'évolution des facteurs de marge associés aux données sur l'inventaire radiologique des différentes familles de déchets en fonction du niveau de connaissance que leur ont attribué les salarié.es de l'Andra. Entre la revue RFMD-2b et la revue RFMD-3, les facteurs de marge ont été divisés par deux : le facteur de marge général par lequel l'ensemble des facteurs de marge par niveau de connaissance est multiplié a été réduit de deux à un. Seul pour les familles de déchets pour lesquelles les salarié.es de l'Andra disposent de très peu de connaissances (niveau de connaissance fixé à 0), l'inventaire établi par une analogie avec une autre famille de déchets se voit multiplié par dix : le facteur global pour ces déchets a donc été multiplié par cinq entre les revues RFMD-2b et RFMD-3. Pour les familles dont le niveau de connaissance attribué est de 1 (mauvais), le facteur de marge a déjà été divisé par deux durant la RFMD-2b et est ainsi réduit de dix fois à cinq fois l'activité moyenne. Enfin, pendant la réunion de la RFMD-3, le facteur de marge pour les déchets dont l'Andra a une bonne connaissance (niveau 3) est augmenté de 1 à 1,5 – un facteur multiplicatif égal à 1 équivaut à une absence de marge⁹²².

Facteurs pour l'établissement de l'inventaire radiologique de référence Cigéo						
Niveau de connaissance des familles		RFMD2b décembre 2013	Après Rewe décembre 2013	Présentation revue Avril 2014	Décision revue Avril 2014	
Bon	3	1 x moy	1 x moy	1 x moy	1.5 x moy	Facteur de marge par niveau de connaissance
Moyen	2	1 x moy	2 x moy	2 x moy	2 x moy	
Mauvais	1	1 max ou 10 x moy	5 x moy	5 x moy	5 x moy	
Périmètres d'analogie	0	*	périmètre	10 x périmètre	10 x périmètre	
		2	2	1	1	Facteurs de marge général

Figure 25. Évolution des marges envisagées pour l'inventaire radiologique de Cigéo en fonction de la connaissance de l'Andra sur les familles de déchets (ANDRA (ed.), « RFMD-3 », 2014, p.2)

L'évolution de ces facteurs de marge entre décembre 2013 et avril 2014 indique une certaine hésitation des salarié.es de l'Andra. Ainsi, la détermination des facteurs de marge en fonction de la confiance que ces salarié.es attribuent aux données fournies par les producteurs ne suit pas un protocole stabilisé et fait l'objet d'un certain tâtonnement. Il s'agit que les facteurs de marge soient suffisamment élevés pour que l'inventaire de référence soit « enveloppe », et la démonstration de sûreté robuste, sans que ces facteurs ne soient trop importants pour ne pas risquer que l'impact

922 Pascal C. Leverd, *Compte-rendu. Revue finale des modèles et données RFMD-3 et point sur le processus RC2*, Andra, 30 juillet 2014, p. 2.

radiologique calculé dépasse la dose maximale réglementaire. De plus, la détermination de ces facteurs doit être effectuée avant les calculs d'impact : étant donné le temps nécessaire à la réalisation de ces calculs (plusieurs mois), il s'avérerait problématique de devoir refaire des calculs si ces facteurs de marge impliquaient un dépassement de l'impact radiologique calculé par rapport à la limite d'impact réglementaire.

Lors de la réunion de la RFMD-3, un état des lieux des connaissances disponibles sur les différentes familles de déchets est présenté⁹²³. Globalement, les ingénieur.es de l'Andra ont attribué un niveau de connaissance de 3 (bon niveau de connaissance) à 5,5 % des déchets, un niveau 2 (niveau moyen) à 43,6 % d'entre eux, un niveau 1 (mauvais niveau de connaissance) à 43,5 % des déchets, et elles et ils n'ont pas de dossier de connaissance (niveau 0) pour 7,5 % des déchets⁹²⁴. Ces pourcentages varient en fonction des catégories de déchets. Néanmoins, ils révèlent que pour plus de la moitié des déchets destinés au stockage, les salarié.es de l'Agence estiment que les connaissances dont elles et ils disposent sont mauvaises ou nulles. Malgré la diminution globale des marges envisagées entre la RFMD-2b et la RFMD-3, il faut souligner l'importance des facteurs de marge attribués à la plupart des familles de déchets. Multiplier l'inventaire moyen déclaré par les producteurs de déchets par deux ou par cinq n'a rien d'anodin et influe fortement sur l'impact radiologique calculé du projet de stockage.

923 *Ibid.*, p. 11.

924 *Ibid.*

IV.3.3. CONSTRUCTION DES INVENTAIRES PAR ANALOGIE

Pour les familles de déchets dont les salarié.es de l'Andra disposent de peu de connaissances, deux options sont présentées lors de la RFMD-3 afin de leur construire un inventaire radiologique par analogie. Celles-ci sont représentées sur les schémas ci-dessous (Figure 27).

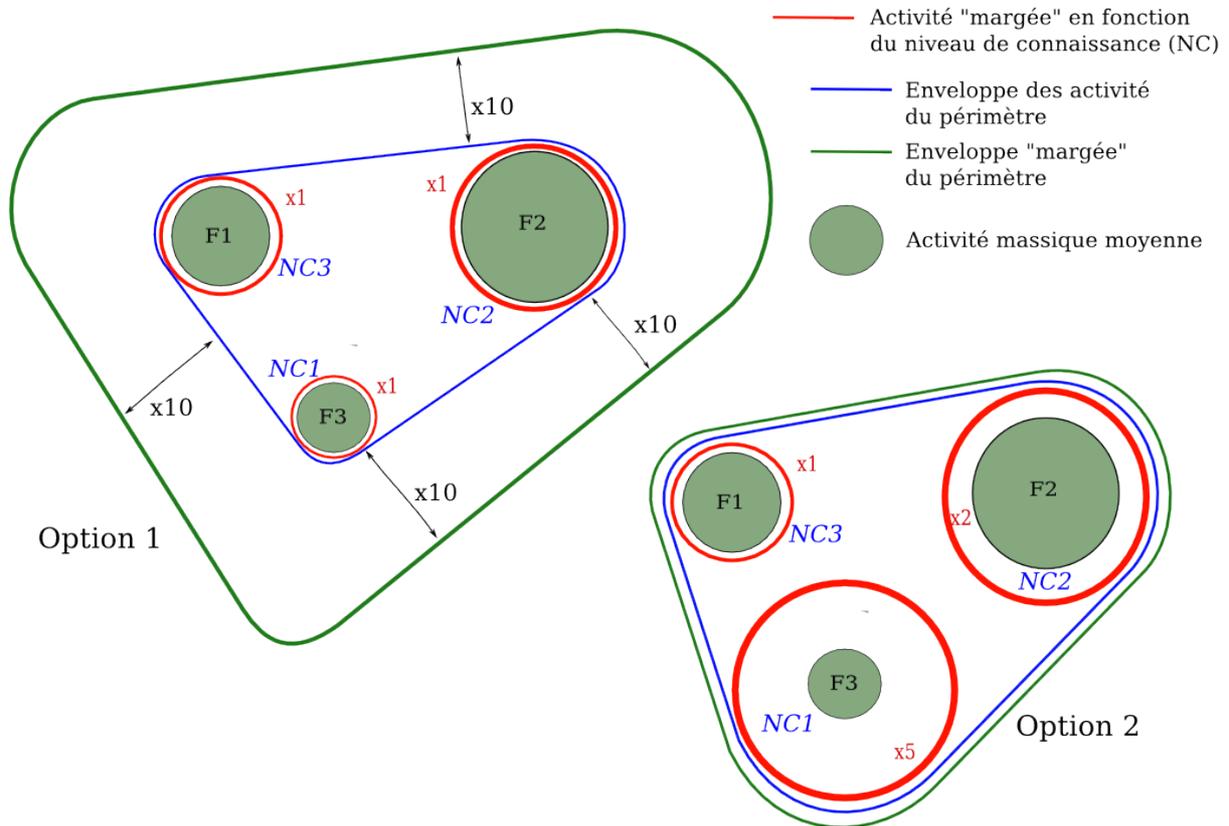


Figure 26. Schéma des deux méthodes de construction de l'inventaire par analogie proposées durant la RFMD-3

(D'après ANDRA (ed.), « RFMD-3 », 2014, p.14)

Dans cet exemple, la constitution d'un inventaire, pour une famille et pour un radionucléide donné, est envisagée par analogie avec les familles de déchets F1, F2 et F3. Sur le schéma de gauche, il est proposé de prendre les activités massiques de ce radionucléide pour les trois familles F1, F2 et F3 et d'appliquer, au périmètre établi par cette analogie, un facteur de marge de dix pour aboutir à l'inventaire « *enveloppe* ».

Toutefois, les niveaux de connaissance attribués par l'Andra aux familles F1, F2 et F3 ne sont pas identiques. La méthode proposée sur le schéma de droite propose de prendre en compte cette différence dans la construction de l'inventaire « *enveloppe* » par analogie. Ainsi, une marge est appliquée aux activités massiques moyennes en fonction du niveau de connaissance (NC1, NC2 ou

NC3) attribué aux familles F1, F2 et F3. Dans cet exemple, un niveau de connaissance NC3 (facteur de marge : 1) a été attribué à la famille F1, un niveau NC2 (facteur de marge : 2) à la famille F2 et un niveau NC1 (facteur de marge : 5) à la famille F3. L'inventaire « *enveloppe* » recherché est défini sur le schéma de droite par le périmètre des inventaires margés des trois familles F1, F2 et F3.

À l'issue de la réunion de revue, la méthode présentée à gauche est retenue pour la construction des inventaires par analogie des familles de déchets pour lesquelles les salarié.es de l'Andra disposent de peu de connaissances⁹²⁵. Il est également décidé lors de la réunion de produire une justification du choix de prendre dix comme facteur de marge dans ce cas.

La présentation faite durant la RFMD-3 éclaire assez peu sur la manière dont sont pratiquement construits ces inventaires par analogie. De plus, les raisons du choix de l'une des deux méthodes suggérées nous sont également inconnues. Toutefois, l'existence de ces deux méthodes, tout comme les hésitations des salarié.es de l'Andra sur la grandeur des facteurs de marge, indiquent que le travail de construction d'un inventaire de référence entrepris à l'Agence ne repose pas sur une méthode stabilisée. Mis à part le retour d'expérience de l'écriture du *Dossier 2005*, les participant.es aux revues RC2 et RFMD disposent de peu d'éléments sur lesquels s'appuyer et justifier le choix des marges retenues.

CONCLUSION PARTIELLE

La question de l'inventaire radiologique et en toxiques chimiques de Cigéo occupe une place importante dans les revues RFMD et RC2. Cette importance est notamment due au fait que l'inventaire radiologique du stockage est une donnée d'entrée des calculs d'impact dont l'influence est particulièrement importante sur l'impact radiologique calculé du stockage. Au moment des revues RFMD et RC2, les salarié.es de l'Andra disposent de caractérisations des colis de déchets variables d'une famille à l'autre. Néanmoins, pour un nombre important de familles de déchets, les ingénieur.es de l'Andra disposent de connaissances incomplètes par rapport aux grandeurs dont ils et elles estiment que l'absence est préjudiciable à la démonstration de sûreté.

A priori, la caractérisation des familles de déchets et la détermination de l'inventaire radiologique du stockage ne posent pas de problème technique particulier. Les mesures qui permettraient aux producteurs de déchets de fournir les informations nécessaires à la réalisation des

⁹²⁵ *Ibid.*, p. 2.

calculs d'impact demandent du temps et la manipulation des colis de déchets mais, pour la plupart, ces mesures ne sont pas particulièrement difficiles à réaliser. L'exercice de gestion des incertitudes auquel se livrent les ingénieur.es chargé.es de la maîtrise des risques est uniquement dû à l'absence de volonté de la part des producteurs de fournir les données dont les salarié.es de l'Andra estiment avoir besoin pour démontrer la sûreté de Cigéo. Dans le bras de fer avec les producteurs de déchets que l'Andra engage avec eux pour obtenir des données, l'Agence n'est pas en position de force : les producteurs de déchets qui financent Cigéo veillent sur l'évolution du coût du stockage et jouissent d'une influence importante lors des arbitrages ministériels sur ce point (cf. chapitre 6). Malgré la menace proférée par le directeur de la maîtrise des risques, il semble également peu probable que les producteurs acceptent de financer un stockage dans lequel il n'est pas possible de déposer la totalité des déchets dont ils souhaitent se débarrasser.

Par ailleurs, la question de l'inventaire de Cigéo montre à quel point les ingénieur.es de la direction de la maîtrise des risques sont attaché.es à avoir une gestion systématique des incertitudes. Si à plusieurs reprises, la gestion de certaines incertitudes au cas par cas est suggérée, la quantification de la confiance que l'Andra accorde aux données fournies par les producteurs traduit, il me semble, une volonté importante de gérer les connaissances et les incertitudes en se référant constamment à une méthode établie préalablement. La méthodologie est envisagée comme une garantie de la rigueur et de la robustesse de la démonstration de sûreté. Toutefois, l'établissement des facteurs de marge pour la constitution de l'inventaire de référence du stockage montre un certain tâtonnement. Les doutes qui existent encore sur la caractérisation des déchets – mais aussi sur les autres composants du stockage – imposent une certaine flexibilité dans l'analyse.

L'assignation de marges à des valeurs est une démarche classique pour les ingénieur.es chargé.es de la maîtrise des risques à l'Andra. Par contre, elle est quelque peu étrangère à la culture des salarié.es de la direction de la R&D de l'Andra. Ainsi par exemple, l'attribution systématique de marges sur l'inventaire radiologique ne prend pas en compte le mode de fabrication des colis. L'attribution de marges produit parfois des inventaires radiologiques assez peu réalistes.

L'utilisation de cette méthodologie pour palier le manque de données devrait permettre de réaliser des calculs d'impact malgré la mauvaise volonté des producteurs à fournir des données caractéristiques des déchets qu'ils souhaitent enfouir. Néanmoins, les salarié.es de l'Andra se montrent particulièrement vigilant.es à ce que les familles de déchets dont le stockage est prévu durant la première tranche de Cigéo soient bien caractérisées. Il s'agit au moins que les premiers temps de l'exploitation de Cigéo se déroulent le mieux possible.

Enfin, de manière plus générale, les salarié.es de l'Andra oscillent dans leur appréhension des incertitudes entre la volonté de rester le plus près possible d'une description réaliste du stockage et de son évolution, et la prise en compte d'hypothèses pessimistes qui majorent les conséquences radiologiques potentielles d'une incertitude. En effet, il s'agit que la démonstration de sûreté garde comme assise les connaissances phénoménologiques qui constituent une source de légitimité importante. Toutefois, la démonstration de sûreté n'est pertinente que si aucune des évolutions possibles et non accidentelles du stockage n'entraîne un relâchement radiologique supérieur à l'impact calculé. La robustesse et la précision de l'analyse sont deux exigences contradictoires et la sélection d'hypothèses pour le calcul d'impact montre la difficulté de les concilier.

CONCLUSION. UN EXERCICE RÉALISTE POUR UNE DÉMONSTRATION ROBUSTE ?

Au fur et à mesure de l'avancée de la revue RFMD, l'Andra accumule du retard. Seule la RFMD-1 s'est tenue selon la procédure établie préalablement. Par ailleurs, durant les années 2013 et 2014, le calendrier du projet Cigéo est retardé et la demande d'autorisation du stockage reportée. Les revues RC2 et RFMD ont été mises en place pour un dépôt de la demande d'autorisation de Cigéo en 2015, comme la loi de 2006 l'exigeait. Cependant, cette loi stipule également que cette demande doit être précédée d'une nouvelle loi définissant les conditions de réversibilité du stockage. Après que les articles sur ce point soient retirés de la loi sur la transition énergétique en 2014 puis que le Conseil constitutionnel retoque définitivement les références à Cigéo de la loi pour la croissance, l'activité et l'égalité des chances économiques dite « *loi Macron* » durant l'été 2015, le dépôt de la demande d'autorisation de Cigéo est repoussé à 2017, après le vote d'une loi spécifiquement dédiée à définir les conditions de réversibilité du stockage⁹²⁶. L'urgence à résoudre les questions qui ont été soulevées durant les revues RFMD et RC2 s'est de ce fait amenuisée avec la révision du calendrier politique du stockage.

Les revues RFMD et RC2 ont demandé un travail commun de membres de plusieurs directions de l'Andra qui appréhendent le stockage et son évolution de manières différentes. L'attribution systématique de marges est une démarche employée par les salarié.es de la direction de

926 Cette loi a été votée le 25 juillet 2016. La demande d'autorisation de Cigéo a depuis été reportée à 2018.

Loi n° 2016-1015 du 25 juillet 2016 précisant les modalités de création d'une installation de stockage réversible en couche géologique profonde des déchets radioactifs de haute et moyenne activité à vie longue, Journal Officiel de la République Française n° 0172, 26 juillet 2016.

la maîtrise des risques à l'Andra. Les salarié.es de la direction de la R&D évaluent l'impact d'une incertitude sur l'évolution du stockage, majorent ces conséquences ou les négligent en fonction des cas.

La RFMD-1 a consisté à dresser l'état des connaissances capitalisées par la direction de la R&D de l'Andra sur le stockage et les phénomènes qui guideront son évolution. Inévitablement, des incertitudes subsistent sur certains phénomènes. Les conséquences de certaines peuvent être estimées et majorées. D'autres incertitudes n'inquiètent pas outre mesure les membres de la direction de la R&D et leur étude peut être laissée à plus tard. Pour des incertitudes sur la maîtrise de certains phénomènes comme les circulations gazeuses à travers l'EDZ, la démonstration de sûreté du stockage devra faire avec celles-ci. Sur un certain nombre de paramètres pour lesquels il subsiste des incertitudes, le travail effectué pour la RFMD n'a pas permis de fixer une valeur pour le scénario normal. Dès lors, des études paramétriques seront nécessaires. L'écriture du récit de l'évolution du stockage que raconte le scénario ne sera écrit qu'après les calculs d'impact.

Comme le directeur adjoint de la R&D l'a répété plusieurs fois durant les réunions de la revue RFMD, la démonstration de la sûreté n'est pas une démonstration mathématique mais elle consiste davantage à produire un agencement cohérent de savoirs, un « *faisceau d'arguments* » concourants vers une représentation rassurante de l'évolution du stockage. Dès lors, la démonstration de sûreté ne peut s'évaluer dans l'absolu mais dépend des attentes des évaluateurs du travail de l'Andra et notamment de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). De ce fait, lorsqu'un calcul montre que dans certains ouvrages souterrains, la pression s'approche dangereusement de la pression de fracturation du Callovo-Oxfordien, la tentation est grande de taire ce résultat en espérant ne pas avoir à répondre à des questions sur ce point. L'omission peut être un mode de gestion des incertitudes alors même que la légitimité du projet de stockage repose sur la transparence de la démonstration de sa sûreté. De manière plus générale, les salarié.es de l'Andra sont vigilant.es à la manière dont sont exposées les incertitudes qui existent encore au moment de la demande d'autorisation de Cigéo. Il s'agit de garder la maîtrise sur la publication des connaissances que les salarié.s de l'Agence ont produit, notamment dans le laboratoire souterrain.

La démonstration de sûreté prévue pour la demande d'autorisation de Cigéo est un exercice. Il est impossible de prévoir quelles seront réellement les caractéristiques précises du stockage dont la construction et l'exploitation sont prévues pour durer un siècle : les chroniques de livraison des colis, la composition des bétons ou la nature des scellements évolueront inévitablement au cours des cent prochaines années. Il est également impossible de garantir l'exhaustivité de la prise en compte des phénomènes qui guideront l'évolution du stockage. Ainsi notamment, l'appréhension de la vie

des populations qui vivront potentiellement au dessus du stockage dans plusieurs centaines de milliers d'années et qui pourraient être impactées par les radionucléides issus du stockage ne peut être qu'hypothétique. Les salarié.es de l'Andra ont montré l'absence d'exutoire naturel pour le stockage. Depuis, seul un forage pourrait permettre à des individus d'atteindre un aquifère contaminé par le stockage. Heureusement, le groupe critique envisagé par les salarié.es de l'Andra qui seul pourrait survivre avec la faible quantité d'eau disponible dans cet aquifère, et être contaminé par les radionucléides issus du stockage, est assez arrangeant : il n'a pas les capacités techniques d'atteindre cette nappe phréatique.

La difficulté à établir un inventaire radiologique de référence pour Cigéo est la cause principale du retard accumulé entre la RFMD-1 et la RFMD-3. Sur ce point, les incertitudes sont en grande partie dues aux difficultés d'obtenir des producteurs une caractérisation satisfaisante des colis qu'ils destinent au stockage. Devant la mauvaise volonté des producteurs de déchets à fournir des données sur leurs déchets et le peu de poids de l'Andra dans la négociation pour obtenir les données manquantes, la direction de la maîtrise des risques a bâti un édifice procédurier complexe afin de construire, pour chaque famille de déchets, un inventaire radiologique. Depuis la sélection des données bloquantes pour l'analyse de sûreté parmi les grandeurs dont l'absence serait préjudiciable à l'analyse jusqu'à l'attribution d'un facteur de marge en fonction de la quantification de la confiance attribuée aux valeurs fournies, l'ensemble de ce protocole traduit le besoin d'établir à tout prix une méthode pour constituer un inventaire de référence pour Cigéo. Au côté du crédit qu'apporte l'assise scientifique de l'analyse de sûreté, la rigueur méthodologique est un autre garant de la robustesse de la démonstration de sûreté (cf. chapitres 1, 4 et 5). Néanmoins, les salarié.es en charge de la maîtrise des risques avancent à tâtons pour déterminer les facteurs de marge à envisager pour la construction d'un inventaire de référence pour Cigéo.

Les revues RFMD-2 et RFMD-3 étaient destinées à sélectionner les hypothèses à prendre en compte dans les scénarios qui guident les calculs d'impact. Celles-ci se doivent d'être « *enveloppe* » c'est-à-dire de majorer les conséquences potentielles sur la sûreté du stockage tout en restant « *best-estimate* » c'est-à-dire le plus proche possible de l'évolution attendue du stockage. La tension entre ces deux objectifs témoigne de la difficulté de concilier les deux fondements de la qualité de la démonstration de sûreté. En effet, cette démonstration doit être basée sur la science et, de ce fait, la représentation de l'évolution du stockage utilisée doit être au plus près de l'évolution du stockage attendue par les études phénoménologiques. Toutefois, cette démonstration doit également être robuste c'est-à-dire que le stockage ne doit en aucun cas avoir un impact radiologique supérieur à l'impact calculé.

CONCLUSION

Le temps de la décroissance radioactive de certains radionucléides destinés à être enfouis jusqu'en dessous d'une limite considérée comme acceptable se compte en centaines de milliers d'années. Une telle temporalité empêche de concevoir la démonstration de sûreté d'un projet de stockage à la manière d'une démonstration mathématique. De nombreux éléments accidentels peuvent impacter le stockage. Le nombre de phénomènes qui influent sur l'évolution de l'ouvrage est trop important, et leur couplage trop difficile à effectuer, pour qu'une mise en équation soit possible : la modélisation de l'évolution d'un stockage sur des temps aussi longs est toujours une réduction importante de la complexité des phénomènes. Prévoir précisément l'état du stockage dans plusieurs milliers d'années est épistémologiquement impossible

Ainsi par exemple, lorsque durant la revue RFMD de 2013, les ingénieur.es de l'Andra sélectionnent des hypothèses pour les calculs d'impact, ils et elles envisagent de réaliser des calculs en considérant deux états du stockage lors de sa fermeture : un état saturé dans lequel l'eau de la roche pénètre dans les ouvrages dès l'arrêt de la ventilation et la fermeture des ouvrages et un état désaturé dans lequel la saturation ne se produit qu'après la fermeture (cf. chapitre 7). Si des doutes persistent sur l'état du stockage lors de sa fermeture, la connaissance précise de l'état du stockage bien après le scellement des ouvrages ne peut qu'être entachée d'incertitudes bien plus grandes. Plus les modèles représentent l'état du stockage dans des temps lointains, plus ils sont grossiers. Ainsi notamment, les modèles utilisés pour calculer le transfert des radionucléides dans la roche après la dégradation des ouvrages et la corrosion des colis ne prennent pas en compte chaque colis indépendamment les uns des autres mais des zones de stockage entières : le moment où débutera la lixiviation du verre nucléaire ne sera pas identique pour chaque colis mais, pour les calculs d'impact, ce phénomène n'est appréhendé que de manière statistique.

Le temps long de la décroissance radioactive de certains radionucléides limite l'usage d'expériences pour évaluer les conséquences à long terme d'un stockage et met à mal les techniques classiques des ingénieur.es. Ainsi, ce temps long empêche de bénéficier d'un retour d'expérience de projets de stockage plus anciens que celui de l'Andra et rend caduque l'idée de construire un « *prototype* » de stockage. Les effets radiologiques du stockage à long terme ne peuvent être observés en quelques décennies.

Avant que l'Andra ait à montrer publiquement sa capacité à construire un stockage sûr en 2005, la conception d'un outil de calcul à même de modéliser exhaustivement l'évolution du stockage reste un objectif. Durant les années 1980, l'ensemble des activités contribuant à l'analyse de sûreté (construction des scénarios, modélisation, acquisition de connaissances sur les barrières) est orienté vers la réalisation d'un calcul d'impact. Jusqu'au début des années 2000, l'Andra affiche son ambition de rationaliser le choix de l'évacuation géologique par un calcul fondé sur une modélisation exhaustive des phénomènes guidant le transfert des radionucléides jusqu'à la biosphère. Cependant, dès le début des années 1990, certain.es de ses salarié.es remettent en cause la capacité de convaincre publiquement de la sûreté d'un stockage à l'aide d'un calcul d'impact (cf. chapitre 4).

Lorsque l'échéance de 2005 approche, il devient évident que l'Agence ne disposera pas d'une représentation stabilisée de l'évolution d'un stockage et qu'il sera impossible de concevoir un outil de calcul intégrant des modélisations de l'ensemble des phénomènes qui influent sur le transfert des radionucléides. Dès lors, la manière de montrer la sûreté d'un stockage se transforme. Le calcul d'impact n'est plus qu'un élément parmi un « *faisceau d'arguments* » qui, chacun, apportent un gage d'une certaine maîtrise de l'évolution du stockage (cf. chapitre 5).

À partir de 1991, l'effort de recherche fourni par l'Andra, notamment pour répondre aux recommandations de la CNE, a profondément complexifié les représentations de l'évolution du stockage. La question des couplages entre les différents phénomènes mécaniques, chimiques, thermiques et hydrauliques est devenue capitale. Tout comme les circulations gazeuses dans les ouvrages et dans la roche. L'étude des interfaces entre les matériaux et des perturbations des qualités de la roche induites par la présence des déchets et des ouvrages, a également pris une place prépondérante. Alors que les stockages étaient conçus comme une succession de barrières entre les radionucléides et l'humanité, ces nouvelles recherches transforment les représentations du stockage, de son évolution et de ce qui constitue une garantie de sa sûreté.

Bien sûr, les salarié.s de l'Andra étudient toujours les propriétés des barrières. De plus, les questions posées par la présence de gaz et les interactions entre les matériaux sont déjà soulevées durant les années 1980 (cf. chapitre 1). Néanmoins, sous l'influence de la CNE, l'étude du stockage se déplace vers une prise en compte dynamique des phénomènes. Lorsque la simplicité d'une représentation d'entités considérées isolément est critiquée, il est un schéma classique du développement scientifique que leurs interactions dynamiques soient ensuite étudiées. Dans un registre différent, on le retrouve notamment dans la description par l'anthropologue Emily Martin de

l'évolution des représentations de la fécondation dans les manuels universitaires⁹²⁷. D'une première description dans laquelle un vaillant spermatozoïde vient féconder un ovule passif, la dénonciation de cette vision genrée des gamètes mâles et femelles amène les biologistes à une représentation plus complexe de la fécondation, dans laquelle les enzymes à la surface des spermatozoïdes et de l'ovule jouent désormais un rôle central dans la fusion des deux gamètes.

Durant les années 1990, la stratégie de développement de la modélisation de l'Andra repose sur la convergence des modèles phénoménologiques et de ceux utilisés pour les calculs d'impact. Alors que l'effort de recherche consenti après 1991 a complexifié les représentations phénoménologiques des sous-systèmes du stockage, l'Andra a en revanche peu développé ses outils numériques dédiés au calcul d'impact radiologique global – et l'écart de complexité entre les deux types de modèles amenuise le crédit accordé au calcul d'impact. L'imminence de montrer publiquement la sûreté d'un stockage à Bure en 2005 entraîne un déplacement de ce que signifie démontrer la sûreté d'un stockage. Pour apporter des garanties qu'elle maîtrise l'évolution du stockage, l'Agence mobilise désormais différentes formes de savoirs et de pratiques – j'y reviens par la suite.

L'évolution prévue des concepts de stockage durant le siècle d'exploitation de Cigéo complexifie la construction d'une image stabilisée de l'ouvrage tel qu'il sera lors de sa fermeture. Ces difficultés constituent des gênes pour la sélection des données permettant de réaliser les calculs d'impact. Toutefois, la flexibilité induite par l'instabilité de la représentation du stockage permet également de sélectionner des données de telle manière que l'impact calculé du stockage soit toujours inférieur à la limite réglementaire. Bien sûr, avant la réalisation des calculs, il est difficile de prévoir avec précision l'impact de la variation des données sélectionnées sur la dose calculée. Toutefois, l'anticipation des conséquences du choix des valeurs, sur le résultat du calcul, guide en partie la sélection des données caractérisant le stockage et l'attribution de marges de sûreté à celles-ci.

Enfin, la dose radiologique émise par le stockage et arrivant au contact de l'humanité reste l'unique critère quantitatif d'évaluation de sa sûreté dans la réglementation française. De ce fait, la réalisation d'un calcul d'impact a toujours une grande importance pour l'Andra, qui ne peut l'éviter.

927 Emily Martin, « The egg and the sperm: How science has constructed a romance based on stereotypical male-female roles », *Signs: Journal of Women in Culture and Society*, 1991, vol. 16, n° 3, p. 485-501.

I. DES OUTILS POUR APPRÉHENDER L'ÉVOLUTION DU STOCKAGE

Il n'y aura jamais de démonstration de la sûreté d'un projet de stockage et, à partir des années 2000, l'impossibilité épistémique d'apporter une preuve de la sûreté d'un stockage est reconnue par l'Andra. Comment s'attelle-t-elle dès lors à apporter des garanties que les risques induits par la présence d'un stockage à Bure sont maîtrisés ? Avant tout en montrant qu'elle a entrepris tout ce qu'il était possible d'attendre d'elle. Assurer la maîtrise de la sûreté d'un stockage, c'est d'abord montrer sa capacité à appréhender les différentes questions posées par la construction d'un stockage et, pour cela, disposer d'une gamme d'outils la plus complète possible. Ces outils sont conçus pour apporter des garanties concordantes que l'évolution du stockage est maîtrisée et convaincre que la réalisation d'un stockage sûr est possible.

En France, les projets de stockage accordent un rôle important aux qualités géologiques des sites où ils sont susceptibles d'être implantés. La roche constitue une barrière de rétention des radionucléides. L'étude de la géologie est donc nécessaire pour déterminer les capacités de confinement des radionucléides. Plus les qualités de rétention de la roche sont bonnes, plus il est possible de réduire l'épaisseur – et donc le coût – des barrières ouvragées. En 1993, avec l'aide du BRGM, Christian Bataille a sélectionné quatre départements où les géologues de l'Andra ont pu effectuer, entre 1994 et 1996, des reconnaissances géologiques depuis la surface (cf. chapitre 2). Ils ont étudié la minéralogie et l'homogénéité des formations géologiques à partir de mesures géophysiques et du prélèvement de carottes rocheuses. Ils ont également inventorié les séismes ayant affecté ces départements durant l'histoire récente. L'étude des circulations hydrogéologiques a constitué un chantier important : l'eau est le principal vecteur potentiel des radionucléides vers la surface.

L'étude *in situ* des formations géologiques dans un laboratoire souterrain est considérée comme indispensable depuis les années 1980, et imposée par la loi de 1991 (cf. chapitre 1). Avant la construction d'un laboratoire à Bure, les géologues de l'Andra ont travaillé dans le laboratoire suisse de Mont Terri où ils ont pu étudier l'argile et tester l'instrumentation possible d'essais dans une installation souterraine (cf. chapitre 5). À partir de 2004, l'Andra effectue dans le laboratoire souterrain de Bure des essais longs sur d'importants volumes rocheux afin d'évaluer la faisabilité technique des options de conception du stockage et d'étudier expérimentalement les perturbations induites par les ouvrages sur la roche (cf. chapitre 6). L'étude de la zone de roche autour des ouvrages, endommagée par le creusement et dont la ventilation perturbe les qualités

hydrogéologiques, est l'objet de différentes expérimentations dans le laboratoire souterrain. Ces travaux ont notamment perturbé la compréhension des circulations gazeuses dans les ouvrages, et remis en cause l'objectif antérieur d'éviter l'apport d'oxygène au contact des colis après fermeture des alvéoles de stockage.

L'étude de la géologie doit aussi permettre de sélectionner une zone précise où implanter un stockage et de s'assurer que des observations locales puissent être extrapolées à l'échelle d'un stockage. Dans les quatre départements retenus par C. Bataille en 1993, les géologues de l'Andra ont sélectionné des zones où l'implantation d'un laboratoire souterrain semblait la plus pertinente. La confrontation des observations de la roche sur les carottes prélevées avec les mesures géophysiques ont été nécessaires pour obtenir une représentation de la géologie à une large échelle spatiale (cf. chapitre 2). En 2009, l'Agence a rendu un rapport dans lequel elle définit une Zone d'Intérêt pour la Reconnaissance Approfondie (Zira) à la limite entre la Meuse et la Haute-Marne où pourrait être implanté un stockage (cf. chapitre 6). Elle montre notamment que l'homogénéité du Callovo-Oxfordien est telle que les connaissances acquises dans le laboratoire souterrain de Bure peuvent être transposées à l'échelle de la Zira.

La roche n'assure pas seule la rétention des radionucléides. Depuis la fin des années 1970, la réalisation d'un stockage dit « *multi-barrières* » est consensuelle internationalement. Les colis et les ouvrages jouent un rôle dans la sûreté du stockage. L'Andra étudie donc les matériaux et notamment leur dégradation dans les conditions du stockage. À partir des années 2000, l'Andra réalise ce travail en collaboration avec des chercheurs et chercheuses extérieurs.es à l'Agence dans le cadre de Groupements de Laboratoires. La structuration de communautés savantes autour des problématiques de l'Andra lui permet de bénéficier des meilleures connaissances disponibles sur chaque problématique particulière.

Durant les années 1990, l'Andra envisage que les barrières soient redondantes, c'est-à-dire que la défaillance totale de l'une d'elle ne remette pas en cause la sûreté du stockage. La simplicité des options de conception est également un gage de robustesse du stockage. Ainsi, les ingénieurs.es de l'Andra privilégient des matériaux classiques dont le comportement est bien connu. De même, l'architecture est simple : les déchets d'une même famille sont regroupés et les différentes zones de stockage sont séparées les unes des autres. Par ailleurs, la prise en compte de marges apporte également des garanties en termes de robustesse. Ainsi, en 2013, avant la réalisation de calculs d'impact, la multiplication de l'inventaire par un facteur de marge, parfois important (jusqu'à 10)

pour les familles de colis dont l'Andra n'a qu'une connaissance partielle de l'inventaire radiologique, doit permettre de garantir que le stockage est sûr malgré le manque d'informations fournies par les producteurs de déchets.

Une autre manière d'étudier l'évolution d'un stockage est de chercher ce qui pourrait entraîner une contamination de la biosphère par les radionucléides contenus dans le stockage. Ainsi, l'identification de tous les éléments qui pourraient influencer sur l'évolution du dépôt doit permettre d'évaluer leurs conséquences. Elle repose avant tout sur l'imagination du groupe d'expert.es qui se charge de ce travail et sur la prise en compte de situations accidentelles classiques (défaillance d'un colis ou d'un scellement, forage prospectif dans le stockage...) Sur de longues temporalités, des événements particulièrement ténus peuvent avoir de grandes conséquences. De plus, l'impossibilité de connaître l'évolution humaine, et notamment l'évolution des capacités techniques de l'humanité, ouvre le champ à différents scénarios de science-fiction. Sur une période d'un million d'années, il est impossible d'assurer l'exhaustivité des éléments qui peuvent influencer sur la migration des radionucléides. La sélection d'événements aux conséquences particulièrement importantes et la répétition successive d'analyses de sûreté permettent malgré tout de faire avec cette spécificité temporelle des stockages.

Durant les années 1990, des ingénieur.es de l'Andra participent à un groupe de travail de l'AEN afin d'harmoniser internationalement la liste des éléments à prendre en compte dans une analyse de la sûreté et de leur donner une base commune. Devant l'impossibilité d'assurer une prise en compte exhaustive de ce qui pourrait influencer sur l'évolution d'un stockage durant le prochain million d'années, la coopération internationale pour l'identification des FEP's, les *Features, Events & Processes*, doit permettre de mutualiser les travaux – et également d'éviter que des études entreprises par une institution ne remettent en cause la qualité d'analyses effectuées dans un autre pays (cf. chapitre 4). Ces FEP's regroupent une grande variété d'éléments : des phénomènes physiques influant sur le stockage et le transfert des radionucléides, et des causes d'accidents potentiels, qu'ils soient d'origine naturelle ou anthropique. Inévitablement, la construction d'une telle liste est un chantier sans fin. Néanmoins, elle permet de dépasser les débats sur la meilleure manière de montrer la sûreté d'un stockage en apportant un socle commun à ces analyses.

En effet, au niveau international, il existe différentes manières d'évaluer la sûreté de projets de stockage. L'utilisation de scénarios est classique mais leur construction et l'analyse de leurs conséquences varient. Construits comme autant de récits possibles de l'évolution d'un stockage, les scénarios constituent les trames suivant lesquelles les calculs d'impact sont réalisés. Leur nombre est nécessairement limité et une sélection est nécessaire afin de déterminer quels sont les scénarios

dont la probabilité et l'impact sont potentiellement importants. Pour le *Dossier 2001* comme pour le *Dossier 2005*, l'Andra n'a étudié les conséquences que de deux scénarios : un scénario décrivant l'évolution la plus probable d'un stockage et un scénario décrivant une évolution accidentelle (cf. chapitre 4). Les FEP's peuvent éventuellement servir à construire les scénarios mais l'Andra les utilise pour vérifier qu'elle n'a pas oublié de prendre en compte un élément important dans la conception du stockage et l'analyse de sûreté. L'Analyse Phénoménologique des Situations de Stockage (APSS) permet un découpage spatio-temporel du stockage et de son évolution. Elle permet de garantir que l'ensemble des phénomènes influant sur le stockage à différentes échelles soient pris en compte : cet outil permet d'intégrer les connaissances phénoménologiques dans la construction des scénarios.

Par ailleurs, montrer la sûreté d'un stockage, c'est aussi chercher à en convaincre le plus grand nombre. L'évaluation du travail de l'Andra par des institutions extérieures lui apporte du crédit et stimule le développement de recherches nouvelles. Instituée par la loi de 1991, la Commission Nationale d'Évaluation joue depuis un rôle central dans le gouvernement de l'aval du cycle nucléaire. En remettant en cause la pertinence de poursuivre les recherches dans le granite de la Vienne durant les années 1990, la Commission a montré son sérieux et apporté des gages de son indépendance. Son avis favorable à la construction d'un stockage à Bure – à condition que dix ans de recherches supplémentaires ne remettent pas en cause ce projet – a sans aucun doute encouragé les parlementaires à entériner ce choix en 2006.

La CNE n'est pas la seule institution évaluatrice du travail de l'Agence. L'Andra s'est dotée d'un Conseil scientifique en 1994, garant de la qualité des recherches effectuées. De plus, le *Dossier 2001*, rapport préparatoire au bilan des recherches rendu en 2005, a fait l'objet d'une évaluation par l'AEN révélant que les pratiques de l'Agence sont souvent à la pointe de ce qui se fait alors dans les pays de l'OCDE (cf. chapitre 5). Par ailleurs, l'IPSN puis l'IRSN correspondent de manière régulière avec l'Andra. Ces instituts rendent régulièrement des avis sur le travail de l'Andra après audition des salarié.es de l'Agence par le Groupe Permanent Déchets. Enfin, en 2009, l'Andra sollicite l'AERES afin que celle-ci évalue la structuration de la recherche à l'Agence et lui apporte une reconnaissance en tant qu'organisme de recherche.

Étudier l'évolution d'un stockage et évaluer sa sûreté consistent à réaliser un grand nombre de travaux. Ceux-ci sont effectués simultanément par des équipes de cultures épistémiques différentes. Lorsque l'Andra publie un rapport afin d'engager une nouvelle étape du projet de stockage, un important travail d'harmonisation est nécessaire pour construire ce rapport sur une représentation du stockage partagée par les différents salarié.es de l'Agence (cf. chapitre 7). Pour

cela, la formalisation d'une méthode est nécessaire : l'édition de normes encadrant le travail est considérée comme une manière de garantir sa qualité. L'imperfection inévitable de la caractérisation du stockage demande toutefois une certaine souplesse : la rigidité des procédures les rend peu opérationnelles.

Les conclusions des rapports produits par l'Andra en 1996, 2001, 2005 et 2009 sont toujours doubles. D'une part, un stockage est faisable car aucun élément rédhibitoire n'a été identifié. D'autre part, il ne cachent pas que subsistent des incertitudes sur la sûreté du stockage et que la poursuite des recherches est nécessaire. La réitération régulière d'analyses de sûreté imparfaites mais rassurantes ancre le projet de stockage. La recherche accompagne ainsi le développement du projet de stockage et l'implantation locale de l'Andra. Depuis les années 2010, la réversibilité justifie d'engager la construction de Cigéo : au cas où la poursuite des recherches mettrait à jour un élément rédhibitoire à l'implantation d'un stockage, sa réversibilité permettrait d'envisager de ressortir les déchets déposés en profondeur – je développe ce point plus loin dans cette conclusion.

Finalement, l'ensemble de ces éléments apporte des garanties que l'Andra a fait tout ce qu'elle a pu pour concevoir un stockage sûr et évaluer la sûreté de l'ouvrage. Il n'y a pas de preuve ni de démonstration de la sûreté d'un stockage mais l'Andra a développé, en relation avec d'autres institutions, tout un ensemble de pratiques qui l'informent sur l'évolution de l'ouvrage et doivent lui permettre de convaincre (et de se convaincre) qu'elle maîtrise le projet qu'elle conçoit. Lorsque l'Agence doit produire une analyse de sûreté globale, l'arrangement des savoirs produits en un ensemble cohérent montre néanmoins un certain bricolage.

II. GÉRER DES DÉCHETS POUR STABILISER L'INDUSTRIE ÉLECTRO-NUCLÉAIRE

La nécessité d'enfouir les déchets nucléaires est avant tout dictée par le besoin de poursuivre leur production. En effet, pour continuer à se développer, l'industrie électro-nucléaire a besoin d'une solution de gestion pour les déchets qu'elle produit. Or, l'entreposage des déchets en surface les rend vulnérables. Le contact des déchets nucléaires est dangereux et il le sera encore pendant des milliers d'années. Un oubli de la présence de déchets nucléaires en surface expose à des accidents les populations qui vivront à proximité. Si l'entreposage des déchets en surface présente des garanties de sûreté acceptables à court terme, l'ensemble des acteurs du monde du nucléaire s'accordent pour considérer qu'une telle solution ne peut être acceptable pour une gestion à long terme.

L'évacuation géologique apporte une certaine stabilité. Les temps quasi-infinis de la décroissance des radionucléides destinés à être enfouis n'effraient pas les géologues : manipuler les millions d'années est pour elles et eux relativement banal. Si certaines formations géologiques sont stables depuis des dizaines de millions d'années, postuler leur stabilité durant le prochain million d'années ne semble pas particulièrement incongru. Toutefois, passer d'une connaissance de l'histoire géologique à une prédiction de l'avenir n'est pas anodin. Il existe toujours des possibilités d'accidents d'origines naturelles ou humaines. De plus, la présence d'un stockage perturbe la géologie. Le creusement d'ouvrages d'accès en profondeur notamment, crée une voie de transfert privilégiée pour des radionucléides et confère aux scellements des ouvrages un rôle capital en termes de sûreté.

Après l'abandon progressif de l'immersion, l'évacuation géologique devient la solution de référence pour la gestion des déchets nucléaires à un moment où le recours à l'énergie atomique, et donc la production de déchets, semblent immuables. Dans l'hypothèse d'un arrêt de la production d'énergie d'origine nucléaire, il est possible de douter de l'engouement des producteurs de déchets à engager des sommes importantes pour la construction d'un stockage géologique. Il est probable qu'ils puissent alors se contenter d'une solution de gestion considérée comme moins sûre mais également moins chère, comme l'entreposage en surface. Le recours à l'évacuation géologique est avant tout nécessaire pour assurer une stabilité à la poursuite des investissements dans l'industrie électro-nucléaire.

Il n'y a pas non plus de réelle urgence à engager la construction d'un stockage géologique. Certains déchets, fortement calorifiques, doivent encore refroidir en piscine pendant plusieurs décennies avant de pouvoir être manipulés et déposés en profondeur. Cependant, pour la pérennité du nucléaire, il importe qu'une stratégie de gestion crédible soit engagée. Le temps des recherches peut se prolonger car il témoigne d'une préoccupation pour le devenir des résidus de l'industrie nucléaire. Le temps des recherches peut permettre le développement de nouvelles solutions techniques tout comme il peut laisser advenir de nouveaux arrangements politiques.

Pour les producteurs de déchets qui financent leur gestion, les coûts de celle-ci doivent être maîtrisés. Si les déchets nucléaires doivent être gérés de manière pérenne, cette gestion ne doit pas s'effectuer à n'importe quel prix. Or, l'augmentation des garanties en termes de sûreté se traduit souvent par une augmentation des coûts du stockage. Ainsi par exemple, l'augmentation de l'épaisseur des barrières ouvragées semble accroître la sûreté du stockage, mais, en augmentant la quantité de matériaux utilisée, le coût de l'ouvrage augmente proportionnellement

Depuis l'énonciation du principe Alara en 1977, l'optimisation économique de la gestion des déchets nucléaires est un objectif (cf. chapitre 1). Néanmoins, une optimisation économique globale de la gestion des déchets nucléaires est impossible. De plus, l'implantation d'un stockage est possible à peu près n'importe où – à condition d'y mettre le prix. En Suède et en Finlande, des stockages sont en construction dans des formations granitiques qui ne jouent quasiment aucun rôle de rétention des radionucléides. Les ouvrages de stockage, et notamment les colis, assurent quasiment à eux seuls la sûreté de ces stockages. Cependant, leur coût par colis est bien plus important que celui du projet français.

La difficulté de définir ce qu'est un stockage sûr nuit à la production de normes qui permettraient de stabiliser des critères d'évaluation de la sûreté d'un stockage. L'absence de critères quantifiés d'évaluation de sûreté, autre que l'impact radiologique global, évite que l'encadrement réglementaire ne constitue une gêne à l'implantation d'un stockage. La controverse autour de la pertinence d'implanter un laboratoire souterrain dans la Vienne a montré que peu d'éléments sont *a priori* rédhibitoires à l'implantation d'un stockage. La nécessité d'évaluer globalement la sûreté rend quasiment impossible de montrer l'inadéquation d'un site géologique à l'accueil d'un stockage – tout comme, symétriquement, la démonstration de la sûreté d'un stockage est épistémologiquement impossible. Étant donné la difficulté de trouver un site où l'implantation d'un stockage est acceptée, l'absence de critères quantifiés d'évaluation de sûreté permet une certaine souplesse dans la sélection d'un site.

Toutefois, cette quasi absence de critères et la difficulté d'accorder un grand crédit à un calcul d'impact global rendent infinies les négociations pour définir ce qui constitue un stockage suffisamment sûr : il est toujours possible de proposer des solutions techniques qui permettraient de rendre le stockage potentiellement plus sûr. De ce fait, les tractations entre augmentation du coût et augmentation de la sûreté sont omniprésentes. L'arbitrage ministériel de janvier 2016 lors duquel Ségolène Royal a fixé le coût du stockage bien en deçà du chiffre annoncé par l'Andra constitue le dernier exemple en date (cf. chapitre 6).

Dans le travail de l'Andra, le choix entre des hypothèses « *best-estimate* » ou pénalisantes pour réaliser les calculs d'impact traduit la tension entre optimisation économique et sûreté. En effet, la sélection d'hypothèses au plus près des représentations les plus fines de l'évolution du stockage permet de concevoir un stockage le moins cher possible dont l'impact radiologique est inférieur à la limite réglementaire. Cependant, le choix de telles hypothèses est particulièrement sensible à une déviation de l'évolution du stockage par rapport à l'évolution prévue et à une évolution de la compréhension de la physique du transfert des radionucléides. Dans l'analyse de

sûreté d'un stockage, le choix d'une représentation la plus fidèle possible n'est pas robuste. Au contraire, le choix d'hypothèses pénalisantes apporte plus de garanties pour la sûreté du stockage : la sélection de telles hypothèses permet que des variations des paramètres caractéristiques du stockage, accidentelles ou dues à l'évolution des connaissances, aient des conséquences maîtrisées. Il est toutefois toujours difficile de déterminer si des hypothèses sont suffisamment pénalisantes ou non : un concept de stockage peut toujours être plus sûr et donc plus cher.

III. UNE HISTOIRE CONFLICTUELLE

Dans toute l'histoire de la gestion des déchets nucléaires, la présence d'opposant.es aux solutions plébiscitées par les représentants de l'industrie nucléaire est capitale. Constamment, l'Andra anticipe les conséquences potentielles de ses actes et la manière dont ils vont être interprétés par les opposant.es aux projets qu'elle défend.

L'abandon de l'immersion est due à la mobilisation, dans différentes arènes, d'océanologues, d'habitant.es de zones côtières, du prince de Monaco, d'ambassadeurs soviétiques (cf. introduction)... La remise en cause par les océanologues de l'absence d'impact sanitaire d'une telle pratique a ainsi trouvé un écho en dehors du monde savant. Dans le contexte de la Guerre Froide et de la montée en puissance des mouvements écologistes, la critique formulée par les océanologues est reprise par différents acteurs. L'abandon du recours à l'immersion, entériné par la Convention de Londres de 1972, fait de l'évacuation géologique l'unique solution de gestion des déchets nucléaires.

Au début des années 1980, l'Andra doit renoncer à enfouir des déchets de faible activité dans une ancienne mine d'uranium, à Saint-Priest-la-Prugne, car plusieurs géologues estiment que les qualités du site ne permettent pas d'assurer la sûreté d'un tel stockage. À la fin des années 1980, l'Andra engage les premières recherches géologiques sur des sites où pourrait être implanté un stockage. Elle se heurte alors à une opposition particulièrement importante des élu.es et des habitant.es des zones sélectionnées : des manifestations rassemblent plusieurs milliers de personnes, des engins de chantier sont incendiés, les locaux de l'Andra sont attaqués, les prospections géologiques se déroulent sous protection policière et des affrontements éclatent régulièrement entre manifestant.es et force de l'ordre... Cette mobilisation aboutit au moratoire de février de 1990 dont la loi de 1991 est une conséquence (cf. chapitre 1).

En repoussant de quinze ans toute décision sur la gestion des déchets nucléaires, cette loi permet un certain apaisement. En maintenant l'ambiguïté sur la nécessité du recours à l'évacuation géologique, que l'Andra et ses alliés entretiennent jusqu'en 2005, elle donne peu de prises aux opposants à l'enfouissement. La transformation de la gestion des déchets nucléaires en un objet de recherche doit permettre d'approfondir les connaissances et d'accroître la maîtrise des solutions techniques avant toute décision. Elle a aussi pour but de dépolitiser cette question, devenue dangereusement politique à la fin des années 1980. De plus, cet appel à la science fait du stockage un projet national et non plus le projet de l'industrie nucléaire.

Le renvoi à 2006 de toute décision sur la gestion des déchets nucléaires et l'« *esprit de la loi* » de 1991 séparent les recherches effectuées par l'Andra entre 1991 et 2005 de leur finalité. En particulier, l'Agence s'implante dans quatre départements durant les années 1990 pour y effectuer les recherches prévues par une loi. L'éventualité qu'un stockage puisse être implanté sur les zones étudiées dépend des qualités de la roche et une telle décision ne peut avoir lieu avant 2006. Le projet de construire deux laboratoires doit permettre de maintenir l'espoir, sur chacun des sites choisis, que la construction d'un laboratoire souterrain ne débouchera pas nécessairement sur la construction d'un stockage.

De plus, la communication de l'Andra autour de ses recherches, l'ouverture au public du laboratoire souterrain, et l'association de chercheurs et chercheuses du monde académique aux recherches, produit une rupture avec la vieille culture du nucléaire basée sur le secret et tenue pour responsable de l'échec des reconnaissances géologiques entreprises à la fin des années 1980. Les quinze années de recherche entre 1991 et 2006 permettent l'acquisition de connaissances sur l'évolution d'un stockage. Ils permettent également à l'Andra de s'implanter à Bure. En Meuse et en Haute-Marne, l'Andra n'est pas qu'un organisme de recherche : l'accompagnement économique octroyé à ces départements a rendu l'économie locale dépendante de la présence de l'Agence.

L'existence d'évaluateurs des recherches effectuées par l'Andra, et notamment de la CNE, lui apporte un crédit important et se révèle déterminante dans le succès du dispositif mis en place par C. Bataille. Le désenclavement des recherches sur l'évacuation géologique du monde du nucléaire apporte des garanties publiques sur leur qualité. Toutefois, en complexifiant la compréhension des phénomènes guidant l'évolution du stockage, ces évaluations nuisent à stabiliser leur représentation. Cependant, l'usage exclusif du laboratoire souterrain par l'Andra, et sa capitalisation de plus de vingt ans de recherche, rendent aujourd'hui de plus en plus difficile une évaluation de son travail par des institutions aux moyens bien moins importants.

Entre 1991 et 2013, les opposant.es à l'évacuation géologique se sont montré.es relativement discret.es. La mobilisation des vigneron.s des Côtes du Rhône a mis à mal le projet de laboratoire dans le Gard et la Mission Granite de 2000 a été perturbée par la présence d'opposant.es. Cependant, il n'y a pas de mobilisation massive et durable contre l'enfouissement entre 1991 et 2013. Il n'en demeure pas moins que l'Andra continue d'anticiper les conséquences possibles de ses actes sur ses opposant.es.

À partir de 2013, l'opposition à l'implantation d'un stockage à la limite entre la Meuse et la Haute-Marne prend de l'ampleur et perturbe l'activité de l'Agence. Cette mobilisation nouvelle a plusieurs causes. D'une part, le creusement d'un stockage devient imminent. Cette concrétisation du projet donne une prise aux opposant.es. D'autre part, l'accident de Fukushima a ravivé la lutte contre le nucléaire en France. Enfin, le renouveau de la lutte contre l'enfouissement a pris corps dans le sabotage du débat public sur le projet de stockage organisé en 2013. Le renouveau de l'opposition au stockage s'inscrit ainsi dans une remise en cause plus large du gouvernement des projets technoscientifiques par des dispositifs participatifs.

La période d'accalmie de l'opposition à l'enfouissement correspond à celle de la montée en puissance de la participation comme mode vertueux de gouvernement et de sa remise en cause par des acteurs critiques. Le dialogue avec les élu.es et l'ensemble des « *parties prenantes* », l'ouverture du laboratoire souterrain et l'organisation de débats publics n'ont toutefois pas permis de dissiper la conflictualité autour de l'évacuation géologique. Il faut ici souligner que ces dispositifs ont eu peu d'impact sur la gestion des déchets nucléaires. La seule concession faite par l'Andra est l'acceptation de construire un stockage réversible. D'une revendication des opposant.es à l'enfouissement définitif durant le débat parlementaire de 1991, la réversibilité est devenue la clé du mode de gouvernance de Cigéo promu durant les années 2010.

Durant les années 1990, les ingénieur.es de l'Andra voyaient dans la demande sociale de laisser ouvert le stockage un handicap pour la sûreté d'un stockage. Aujourd'hui, la flexibilité politique et technique qu'induit la réversibilité permet d'envisager des évolutions de la gestion des déchets nucléaires et des concepts de stockage. Il est difficilement envisageable de stopper les recherches qui accompagnent l'avancée du projet de stockage et celles-ci sont amenées à se poursuivre durant l'exploitation du stockage. Alors qu'il est épistémologiquement impossible d'apporter une preuve de la sûreté du stockage, la réversibilité et la poursuite des recherches justifient désormais d'engager sa construction malgré l'existence d'incertitudes sur son évolution.

La recherche de stabilité est centrale dans le gouvernement de l'aval du cycle. La roche et sa pérennité sur des millions d'années doivent apporter un confinement à des radionucléides que la présence en surface expose aux accidents. La technostrucure, comme l'appelaient certains parlementaires durant le débat sur la loi de 1991, a exercé constamment son influence au plus haut niveau de l'État pour défendre l'enfouissement contre vents et marées et ainsi permettre la perpétuation des investissements dans l'industrie nucléaire. L'appel à la science de 1991 a un temps permis de rendre les déchets nucléaires gouvernables en dépolitisant leur gestion. Toutefois, les recherches ont également produit une instabilité nouvelle, due à l'impossibilité épistémique de connaître exhaustivement l'évolution d'un stockage. Si celle-ci a toujours existé, elle était beaucoup plus facile à maîtriser lorsque la sûreté d'un projet de stockage n'importait qu'aux salarié.es de l'Andra et de l'IPSN, que lorsque les recherches sont discutées publiquement. De plus, la gestion des déchets nucléaires est sensible aux contingences, aux changements de gouvernement par exemple, comme à l'évolution du marché de la production électro-nucléaire. Les études de l'évolution du stockage n'ont pas permis de stabiliser le projet de stockage. Néanmoins l'accent récent mis sur la réversibilité permet de relativiser l'importance de cette instabilité due à l'impossibilité épistémique de montrer la sûreté d'un stockage : cette désinhibition, promue par des chercheurs et chercheuses en sciences sociales (cf. chapitre 6), permet aujourd'hui à l'Andra de justifier l'engagement du creusement de Cigéo malgré l'existence d'incertitudes sur son évolution et sa sûreté.

BIBLIOGRAPHIE

AGAR Jon, « What Difference Did Computers Make? », *Social Studies of Science*, 2006, vol. 36, n° 6, pp. 869-907.

ALEXIEVITCH Svetlana, *La Supplication. Tchernobyl, chroniques du monde après l'apocalypse*, Paris, JC Lattès, 1998.

ALMKLOV Petter G. et HEPSØ Vidar, « Between and Beyond Data: How Analogue Field Experience Informs the Interpretation of Remote Data Sources in Petroleum Reservoir Geology », *Social Studies of Science*, 2011, vol. 41, n° 4, pp. 539-561.

ANDERS Günther, *L'Obsolescence de l'homme. Sur l'âme à l'époque de la deuxième révolution industrielle*, trad. Christophe DAVID, Paris, Éditions Ivrea/Éditions de l'Encyclopédie des nuisances, 2002.

ANDERS Günther, *La Menace nucléaire. Considérations radicales sur l'âge atomique*, trad. Christophe DAVID, Le Serpent à Plumes, Monaco, 2006.

ANDERSSON Jenny, « The Great Future Debate and the Struggle for the World », *The American Historical Review*, 2012, vol. 117, n° 5, pp. 1411-1430.

ANDERSSON, Jenny et PRAT Pauline, « Gouverner le «long terme» », *Gouvernement et action publique*, 2015, n° 3, pp. 9-29.

ANDERSSON Jenny et RINDZEVICIUTE Egle, « The Political Life of Prediction. The Future as a Space of Scientific World Governance in the Cold War Era », Manchester, The University of Manchester, 2012.

ANGELI AGUITON Sara, « De la quête d'efficacité en contexte participatif. La démocratie technique et ses contestations », *Hermès, La Revue*, 2015, vol. 3, n° 73, pp. 90-97.

ANSHELM Jonas et GALIS Vasilis, « (Re-) Constructing Nuclear Waste Management in Sweden: The Involvement of Concerned Groups, 1970-2010 », *Integrated Waste Management*, 2011, vol. 2, pp. 401-430.

ANSHELM Jonas et GALIS Vasilis, « The Politics of High-Level Nuclear Waste Management in Sweden: Confined Research Versus Research in the Wild », *Environmental Policy and Governance*, 2009, vol. 19, n° 4, pp. 269-280.

ARMATTE Michel et DAHAN-DALMEDICO Amy, « Modèles et modélisations, 1950-2000. Nouvelles pratiques, nouveaux enjeux », *Revue d'histoire des sciences*, 2004, vol. 57, n° 2, pp. 243-303.

ASSOCIATION CONTRE LE NUCLÉAIRE ET SON MONDE (ed.), *Histoire lacunaire de l'opposition à l'énergie nucléaire en France*, Paris, La Lenteur, 2007.

ATTEN Michel et PESTRE Dominique, *Heinrich Hertz: l'administration de la preuve*, Paris, PUF, 2002.

AUBIN David et DAHAN-DALMEDICO Amy, « Writing the History of Dynamical Systems and Chaos: Longue Durée and Revolution, Disciplines and Cultures », *Historia Mathematica*, 2002, vol. 29, n° 3, pp. 273-339.

AYONG LE KAMA Alain et FODHA Mouez, « Stockage des déchets radioactifs et incertitude », *Economie & prévision*, 2009, n° 4, pp. 39-52.

BARBEROUSSE Anouk, « Les Modèles comme fictions », *Philosophie*, 2000, vol. 68, pp. 16-43.

BARTHE Yannick, « Les Déchets radioactifs à vie longue sont-ils gouvernables? », *Annales des Mines*, 1998, pp. 63-70.

BARTHE Yannick, « La Mise en politique des déchets nucléaires. L'action publique aux prises avec les irréversibilités techniques », Thèse de doctorat, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, Paris, 2000.

BARTHE Yannick, « *Mission impossible* » ? *Retour sur la mission collégiale de concertation Granite*, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2002.

BARTHE Yannick, « Rendre discutable. Le traitement politique d'un héritage technologique », *Politix*, 2002, vol. 15, n° 57, pp. 57-78.

BARTHE Yannick, « Mobilisations et choix techniques. Le cas des déchets nucléaires », *Congrès de l'Association Française de Sciences Politiques*, Lyon, 2005.

BARTHE Yannick, *Le Pouvoir d'indécision. La Mise en politique des déchets nucléaires*, Paris, Economica, 2006.

BARTHE Yannick, « Les Qualités politiques des technologies. Irréversibilité et réversibilité dans la gestion des déchets nucléaires », *Tracés*, 2009, vol. 1, n° 16, pp. 119-137.

BARTHE Yannick, CALLON Michel et LASCOUMES Pierre, « De la décision politique réversible. Histoire d'une contribution inattendue de l'industrie nucléaire (française) à l'instauration de la démocratie dialogique », *Revista Brasileira de Gest o Urbana (Brazilian Journal of Urban Management)*, 2010, vol. 2, n° 1, pp. 57-70.

BARTHE Yannick et GILBERT Claude, *Recherche et déchets nucléaires. Une réflexion interdisciplinaire*, Grenoble, Maison des Sciences de l'Homme-Alpes, 2006.

BAUDRIN Mathieu, DAUGUET Benoît, DEIAS Dalia et RAIMBAULT Benjamin, « « On n'est pas des cow-boys ». Controverse sur l'exploitation des gaz de schiste et stratégie de l'industrie pétrolière », *Revue d'anthropologie des connaissances*, 2014, vol. 8, n° 2, pp. 451-478

BECK Ulrich, *La Société du risque. Sur la voie d'une autre modernité*, trad. Laure BERNARDI, Paris, Flammarion, 2008.

BECKER Howard, *Les Ficelles du métier. Comment conduire sa recherche en sciences sociales*, trad. Henri PERETZ et Jacques MAILHOS, Paris, La Découverte, 2002.

BECKER Howard, « Ecrire une thèse, enjeu collectif et malaise personnel », in *Devenir chercheur*, Editions de l'EHESS, Paris, 2013, pp. 9-16.

BEDSWORTH Louise W., LOWENTHAL Micah D. et KASTENBERG William E., « Uncertainty and Regulation: The Rhetoric of Risk in the California Low-Level Radioactive Waste Debate », *Science, Technology, & Human Values*, 2004, vol. 29, n° 3, pp. 406-427.

BERGMANS Anne, SUNDQVIST Göran, KOS Drago et SIMMONS Peter, « The Participatory Turn in Radioactive Waste Management: Deliberation and the Social-Technical Divide », *Journal of Risk Research*, 2015, vol. 18, n° 3, pp. 347-363.

BERKHOUT Frans, *Radioactive Waste: Politics and Technology*, London ; New York, Routledge, 1991.

BERTRAND Emanuel, « Le discours de la gouvernance participative européenne et l'idéologie néolibérale. Une analyse sémantique à la lumière des travaux de Marcel Gauchet sur le néolibéralisme », 2014. [<https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01140205>]

BERTRAND Emanuel, « Un discours européen de la gouvernance participative : le Livre blanc de 2001 », *Encyclopédie pour une histoire de l'Europe*, 2015.

BISSELL Christopher C., « Models and « black boxes » : Mathematics as an Enabling Technology in the History of Communications and Control Engineering / Modèles et « boîtes noires » : Les mathématiques comme technologie constitutive dans l'histoire des télécommunications et de l'ingénierie de contrôle », *Revue d'histoire des sciences*, 2004, vol. 57, n° 2, pp. 305-338.

BLANCK Julie, « Gouverner par le temps. Cadrages temporels du problème des déchets radioactifs et construction d'une irréversibilité technique », *Gouvernement et action publique*, 2016, vol. 1, n° 1, pp. 91-116.

BLANCK Julie, « 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, Institut d'études politiques de Paris, octobre 2017.

BLATRIX Cécile, « Des sciences de la participation. Paysage participatif et marché des biens savants en France », *Quaderni*, 2012, vol. 79, n° 3, pp. 59-80.

BLONDIAUX Loïc, « La Délibération, norme de l'action publique contemporaine ? », *Projet*, 2001, vol. 268, n° 4, pp. 81-90.

BLONDIAUX Loïc et SINTOMER Yves, « L'impératif délibératif », *Politix*, 2002, vol. 15, n° 57, pp. 17-35.

BOLTANSKI Luc et CHIAPELLO Ève, *Le nouvel esprit du capitalisme*, Paris, Gallimard, 1999.

BOLTANSKI Luc et THÉVENOT Laurent, *De la justification: les économies de la grandeur*, Paris, Gallimard, 1991.

BOON Mieke, « Understanding Scientific Practices: The Role of Robustness Notions », in *Characterizing the Robustness of Science*, Springer, 2012, pp. 289-315.

BOON Mieke et KNUUTTILA Tarja, « Breaking up with the epochal break. The case of engineering sciences. », in *Science Transformed? Debating Claims of an Epochal Break*, Pittsburgh, University of Pittsburgh Press, 2011, pp. 66-79.

- BOUDIA Soraya, « The Curie Laboratory: Radioactivity and Metrology », *History and Technology*, 1997, vol. 13, n° 4, pp. 249-265.
- BOUDIA Soraya, « Global Regulation: Controlling and Accepting Radioactivity Risks », *History and Technology*, 2007, vol. 23, n° 4, pp. 389-406.
- BOUDIA Soraya, « Naissance, extinction et rebonds d'une controverse scientifique. Les dangers de la radioactivité pendant la guerre froide », *Mil neuf cent. Revue d'histoire intellectuelle*, 2007, vol. 25, n° 1, pp. 157-170.
- BOUDIA Soraya, « Sur les dynamiques de constitution des systèmes d'expertise scientifique. Le cas des rayonnements ionisants », *Genèses*, 2008, vol. 70, n° 1, pp. 26-44.
- BOUDIA Soraya, « Les Problèmes de santé publique de longue durée. Les effets des faibles doses de radioactivité », in *Comment se construisent les problèmes de santé publique*, Paris, La Découverte, 2009, pp. 35-53.
- BOUDIA Soraya, « La Genèse d'un gouvernement par le risque », in *Du risque à la menace. Penser la catastrophe*, PUF, 2013, pp. 57-76.
- BOUDIA Soraya, « Gouverner par les instruments économiques. La Trajectoire de l'analyse coût-bénéfice dans l'action publique », in *Le Gouvernement des technosciences. Gouverner le progrès et ses dégâts depuis 1945*, La Découverte, 2014, pp. 231-259.
- BOUDIA Soraya, « Des instruments pour mettre en économie l'environnement », *Ecologie & politique*, 2016, n° 1, pp. 45-61.
- BOUDIA Soraya et DEMORTAIN David, « La Production d'un instrument générique de gouvernement. Le « livre rouge » de l'analyse des risques », *Gouvernement et action publique*, 2014, vol. 3, n° 3, p. 33.
- BOWKER Geoffroy C., « A Well Ordered Reality: Aspects of the Development of Schlumberger, 1920-39 », *Social Studies of Science*, 1987, vol. 17, n° 4, pp. 611-655.
- BOWKER Geoffroy C., « Science on the Run: Information Management and Industrial Geophysics at Schlumberger (1920-1940) », *Bulletin de la Sabix. Société des amis de la Bibliothèque et de l'Histoire de l'École polytechnique*, 2003, n° 34, pp. 28-46.
- CALBERG-CHALLOT Marie, CANDEL Danielle et FLEURY Serge, « "Nucléaire" et 'Atomique', deux formes concurrentielles dans le domaine du nucléaire », *JADT 2006 : 8^e journées internationales d'Analyse statistique des données textuelles*, 2006, pp. 223-234.
- CALLON Michel, « Éléments pour une sociologie de la traduction. La domestication des coquilles Saint-Jacques et des marins-pêcheurs dans la baie de Saint-Brieuc », *L'Année sociologique*, 1986, vol. 36, pp. 169-208.
- CALLON Michel et BARTHE Yannick, « Décider sans trancher. Négociations et délibérations à l'heure de la démocratie dialogique », *Négociations*, 2005, vol. 4, n° 2, pp. 115-129
- CALLON Michel, LASCOUMES Pierre et BARTHE Yannick, *Agir dans un monde incertain. Essai sur la démocratie technique*, Paris, Seuil, 2001.

- CALLON Michel et RIP Arie, « Humains, non-humains : morale d'une coexistence », in *La Terre outragée. Les experts sont formels !*, Paris, Autrement, 1992, pp. 140-156.
- CARRUTHERS Bruce G. et ESPELAND Wendy N., « Accounting for Rationality. Double-Entry Bookkeeping and the Rhetoric of Economic Rationality », *American Journal of Sociology*, 1991, vol. 97, n° 1, pp. 31-69.
- CÉZANNE-BERT Pierrick et CHATEAURAYNAUD Francis, *Les Formes d'argumentation autour de la notion de réversibilité dans la gestion des déchets radioactifs*, Rapport final pour l'ANDRA, GSPR EHESS, 15 décembre 2009.
- CHAMBRU Mikaël, « L'Évolution des dissonances du syndicalisme français aux prises avec l'énergie électronucléaire et sa critique sociale », *Mouvements*, 2014, vol. 80, n° 4, p. 67.
- CHATEAURAYNAUD Francis, « La Sociologie pragmatique à l'épreuve des risques. Exercice de crise sur le dossier nucléaire », *Politix*, 1998, vol. 11, n° 44, pp. 76-108.
- CHATEAURAYNAUD Francis et TORNÉY Didier, *Les Sombres précurseurs. Une sociologie pragmatique de l'alerte et du risque*, Paris, EHESS, 1999.
- CHATEAURAYNAUD FRANCIS, *De la formation des publics à la rébellion des milieux*, <http://concertation.hypotheses.org/911>, consulté le 21 octobre 2017.
- CHILVERS Jason et BURGESS Jacquelin, « Power Relations: the Politics of Risk and Procedure in Nuclear Waste Governance », *Environment and Planning A*, 2008, vol. 40, n° 8, pp. 1881-1900.
- CIRAC CLAVERAS Gemma et GOSSART Cédric, « Enjeux et perspectives des données environnementales massives », *Terminal*, 2015, n° 117.
- CLARK Claudia, *Radium Girls: Women and Industrial Health Reform. 1910-1935*, Chapel Hill, University of North Carolina Press, 1997.
- COLLECTIF, *Tchernobyl, anatomie d'un nuage. Inventaire provisoire des dégâts physiques et moraux consécutifs à la catastrophe du 26 avril 1986*, Paris, Gérard Lebovici, 1987.
- COLLECTIF, *Le Gouvernement par la peur au temps des catastrophes. Réflexions anti-industrielles sur les possibilités de résistance*, Villasavary, Éditions de la Roue, 2013.
- COLLIER Stephen J. et LAKOFF Andrew, « Distributed Preparedness: the Spatial Logic of Domestic Security in the United States », *Environment and planning, Society and space*, 2008, vol. 26, n° 1, pp. 7-28.
- COLLINS Harry M., *Changing Order: Replication and Induction in Scientific Practice*, Chicago, University of Chicago Press, 1992.
- D'AGATA John, *Yucca Mountain*, Bruxelles, Zones Sensibles Editions, 2012.
- DAHAN-DALMÉDICO Amy, « History and Epistemology of Models: Meteorology (1946-1963) as a Case Study », *Archive for history of exact sciences*, 2001, vol. 55, n° 5, pp. 395-422.
- DAHAN-DALMÉDICO Amy, *Les Modèles du futur. Changement climatique et scénarios économiques : enjeux scientifiques et politiques*, Paris, La Découverte, 2007.

DAHAN Amy et GUILLEMOT Hélène, « Les relations entre science et politique dans le régime climatique : à la recherche d'un nouveau modèle d'expertise ? », *Natures Sciences Sociétés*, 2015, vol. 23, pp. S6-S18.

DAHAN-DALMÉDICO Amy et PESTRE Dominique, *Les Sciences pour la guerre : 1940-1960*, Paris, Éditions de l'EHESS, 2004.

DASTON Lorraine J. et GALISON Peter L., *Objectivité*, trad. Sophie RENAUT et Hélène QUINIOU, Dijon, Les Presses du réel, 2012.

DASTON Lorraine J., *L'Économie morale des sciences modernes. Jugements, émotions et valeurs*, trad. Samuel LÉZÉ, Paris, La Découverte, 2014.

DENOUN Martin, « La Gestion des déchets nucléaires : un cas de disjonction entre science et progrès ? », *Mouvements*, 2016, vol. 87, n° 3, pp. 13-24.

DESROSIÈRES Alain, « Measurement and Its Uses. Harmonization and Quality in Social Statistics », *International Statistical Review / Revue Internationale de Statistique*, 2000, vol. 68, n° 2, pp. 173-187.

DESROSIÈRES Alain, *La Politique des grand nombres. Histoire de la raison statistique*, Paris, La Découverte, 1993.

DORLIN Elsa et RODRIGUEZ Eva (ed.), *Penser avec Donna Haraway*, Paris, PUF, 2012.

DURANT Darrin, « Responsible Action and Nuclear Waste Disposal », *Technology in Society*, 2009, vol. 31, n° 2, pp. 150-157.

DURANT Darrin, « Burying Globally, Acting Locally: Control and Co-Option in Nuclear Waste Management », *Science and Public Policy*, 2007, vol. 34, n° 7, pp. 515-528.

EDGERTON David, *Quoi de neuf ? Du rôle des techniques dans l'histoire globale*, trad. Christian JEANMOUGIN, Paris, Seuil, 2013.

EDWARDS Paul N., « A Brief History of Atmospheric General Circulation Modeling », *International Geophysics*, 2001, vol. 70, pp. 67-90.

EDWARDS Paul N., « Infrastructure and Modernity: Force, Time, and Social Organization in the History of Sociotechnical Systems », *Modernity and technology*, 2003, pp. 185-225.

EDWARDS Paul N., « Meteorology as Infrastructural Globalism », *Osiris*, 2006, vol. 21, n° 1, pp. 229-250.

EDWARDS Paul N., *A Vast Machine: Computer Models, Climate Data, and the Politics of Global Warming*, Cambridge, 2010.

ELAM Mark, LIDBERG Maria, SONERYD Linda et SUNDQVIST Göran, *Demonstration and Dialogue: Mediation in Swedish Nuclear Waste Management*, Stockholm, 2009.

ELAM Mark, SONERYD Linda et SUNDQVIST Göran, « Demonstrating Nuclear Fuel Safety-Validating New Build: the Enduring Template of Swedish Nuclear Waste Management », *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 2010, vol. 7, n° 3, pp. 197-210.

- ELAM Mark et SUNDQVIST Göran, *Stakeholder Involvement in Swedish Nuclear Waste Management*, Stockholm, Swedish Nuclear Power Inspectorate, 2006.
- ELAM Mark et SUNDQVIST Göran, « Meddling in Swedish Success in Nuclear Waste Management », *Environmental Politics*, 2011, vol. 20, pp. 246-263.
- ESPELAND Wendy N. et STEVENS Mitchell L., « Commensuration as a Social Process », *Annual review of sociology*, 1998, Vol. 24, pp. 313-343.
- ESPELAND Wendy N. et STEVENS Mitchell L., « A Sociology of Quantification », *European Journal of Sociology*, 2008, vol. 49, n° 3, pp. 401-436.
- EWING Rodney C. et MACFARLANE Allison, « Yucca Mountain », *Science*, 2002, vol. 296, n° 5568, pp. 659-660.
- FAGES Volny, LAMY Jérôme et SAINT-MARTIN Arnaud, *Newton, les Sex Pistols et la pompe à air : l'histoire des sciences généraliste de Simon Schaffer*, <http://zilsel.hypotheses.org/706>.
- FASSIN Didier, « Les Économies morales revisitées », *Annales. Histoire, Sciences Sociales*, 2009, vol. 64, n° 6, pp. 1237-1266.
- FAVRET-SAADA Jeanne, *Les Mots, la mort, les sorts*, Paris, Gallimard, 1985.
- FILINE Arkadi, *Oublier Fukushima. Textes et documents*, Le Mas d'Azil, Les éditions du bout de la ville, 2012.
- FOASSO Cyrille, « Histoire de la sûreté de l'énergie nucléaire civile en France (1945-2000) : technique d'ingénieur, processus d'expertise, question de société », Thèse de doctorat, Université Lumière, Lyon, 2003.
- FRESSOZ Jean-Baptiste, « Beck Back in the 19th Century: Towards a Genealogy of Risk Society », *History and Technology*, 2007, vol. 23, n° 4, pp. 333-350.
- FRESSOZ Jean-Baptiste, *L'Apocalypse joyeuse. Une histoire du risque technologique*, Paris, Seuil, 2012.
- FRESSOZ Jean-Baptiste et PESTRE Dominique, « Critique historique du satisfecit postmoderne. Risque et "société du risque" depuis deux siècles », in *Du risque à la menace. Penser la catastrophe*, Paris, PUF, 2013, pp. 19-56.
- FRICKEL Scott et MOORE Kelly (ed.), *The New Political Sociology of Science: Institutions, Networks, and Power*, Madison, University of Wisconsin Press, 2006.
- GALISON Peter, « Computer Simulations and the Trading Zone », in *The disunity of science: Boundaries, contexts, and power*, 1996, pp. 118-157.
- GARCIA Renaud, *Le Désert de la critique. Déconstruction et politique*, Montreuil, L'Echappée, 2015.
- GARCIER Romain, « Disperser, confiner ou recycler ? », *L'Espace géographique*, 2014, vol. 43, n° 3, pp. 265-283.

GAYON Vincent, « Un atelier d'écriture internationale : l'OCDE au travail. Éléments de sociologie de la forme "rapport" », *Sociologie du Travail*, 2009, vol. 51, n° 3, pp. 324-342.

GHAMARI-TABRIZI Sharon, « Simulating the Unthinkable: Gaming Future War in the 1950s and 1960s », *Social Studies of Science*, 2000, vol. 30, n° 2, pp. 163-223.

GHIS MALFILATRE Marie, « L'impossible confinement du travail nucléaire. Expérience professionnelle et familiale de salariés sous-traitants exposés à la radioactivité », *Travail et emploi*, 2016, n° 147, pp. 101-124.

GIBBONS Michael, LIMOGES Camille, NOWOTNY Helga, SCHWARTZMAN Simon et SCOTT Peter (ed.), *The New Production of Knowledge: The Dynamics of Science and Research in Contemporary Societies*, London, SAGE Publications, 1994.

GILBERT Claude, « La fabrique des risques », *Cahiers internationaux de sociologie*, 2003, vol. 114, n° 1, pp. 55-72.

GILBERT Claude et HENRY Emmanuel, « La définition des problèmes publics : entre publicité et discrétion », *Revue française de sociologie*, 2012, vol. 53, n° 1, p. 35.

GOURGUES Guillaume, « Avant-propos: penser la participation publique comme une politique de l'offre, une hypothèse heuristique », *Quaderni. Communication, technologies, pouvoir*, 2012, vol. 79, n° 3, pp. 5-12.

GRABER Frédéric, « Une histoire pragmatique des formes projet », in *Histoires pragmatiques*, Paris, Éditions de l'EHESS, 2016, pp. 201-223.

GRAMBOW Bernd et BRETESCHÉ Sophie, « Geological Disposal of Nuclear Waste: II. From Laboratory Data to the Safety Analysis - Addressing Societal Concerns », *Applied Geochemistry*, 2014, vol. 49, pp. 247-258.

GRAS Alain et POIROT-DELPECH Sophie, *Grandeur et dépendance. Sociologie des macro-systèmes techniques*, Paris, PUF, 1993.

GROSSMAN Peter Z. et CASSEDY Edward S., « Cost-Benefit Analysis of Nuclear Waste Disposal. Accounting for Safeguards », *Science, Technology & Human Values*, 1985, vol. 10, n° 4, pp. 47-51.

GUILLEMOT Hélène, « La Modélisation du climat en France des années 1970 aux années 2000. Histoire, pratiques, enjeux politiques », Thèse de doctorat, École des Hautes Études en Sciences Sociales, Paris, 2007.

GUSTERSON Hugh, « How Not to Construct a Radioactive Waste Incinerator », *Science, Technology, & Human Values*, 2000, vol. 25, n° 3, pp. 332-351.

HAMBLIN Jacob D., « Visions of International Scientific Cooperation: The Case of Oceanic Science, 1920-1955 », *Minerva*, 2000, vol. 38, n° 4, pp. 393-423.

HAMBLIN Jacob D., « Environmental Diplomacy in the Cold War: The Disposal of Radioactive Waste at Sea during the 1960s », *The International History Review*, 2002, vol. 24, n° 2, pp. 348-375.

HAMBLIN Jacob D., « Exorcising Ghosts in the Age of Automation: United Nations Experts and Atoms for Peace », *Technology and culture*, 2006, vol. 47, n° 4, pp. 734-756.

- HAMBLIN Jacob D., « Hallowed Lords of the Sea », *Osiris*, 2006, vol. 21, n° 1, pp. 209-228.
- HAMBLIN Jacob D., « ‘A Dispassionate and Objective Effort:’ Negotiating the First Study on the Biological Effects of Atomic Radiation », *Journal of the History of Biology*, 2007, vol. 40, n° 1, pp. 147-177.
- HAMBLIN JACOB D., « Gods and Devils in the Details: Marine Pollution, Radioactive Waste, and an Environmental Regime circa 1972 », *Diplomatic History*, 2008, vol. 32, n° 4, pp. 539-560.
- HAMBLIN Jacob D., *Poison in the Well. Radioactive Waste in the Oceans at the Dawn of the Nuclear Age*, New Brunswick, Rutgers University Press, 2008.
- HAMBLIN Jacob D., « The Nuclear Promise: Global Consequences of an American Dream », Florida Atlantic University, 2011.
- HARAWAY Donna J., *Manifeste cyborg et autres essais : sciences, fictions, féminismes*, Paris, Exils Editions, 2007.
- HARAWAY Donna J., « Situated Knowledges: The Science Question in Feminism and the Privilege of Partial Perspective », *Feminist Studies*, 1988, vol. 14, n° 3, pp. 575-599.
- HAYS Samuel P., *A History of Environmental Politics Since 1945*, Pittsburgh, University of Pittsburgh Press, 2000.
- HECHT Gabrielle, « Rebels and Pioneers: Technocratic Ideologies and Social Identities in the French Nuclear Workplace, 1955-69 », *Social Studies of Science*, 1996, vol. 26, n° 3, pp. 483-530.
- HECHT Gabrielle, « Enacting Cultural Identity: Risk and Ritual in the French Nuclear Workplace », *Journal of Contemporary History*, 1997, vol. 32, n° 4, pp. 483-507.
- HECHT Gabrielle, « Rupture-Talk in the Nuclear Age: Conjugating Colonial Power in Africa », *Social Studies of Science*, 2002, vol. 32, n° 5-6, pp. 691-727.
- HECHT Gabrielle, *Le Rayonnement de la France. Énergie nucléaire et identité nationale après la Seconde guerre mondiale*, trad. Guenièvre CALLON, Paris, La Découverte, 2004.
- HECHT Gabrielle, « Negotiating Global Nuclearities », *Osiris*, 2006, vol. 21, n° 1, pp. 25-48.
- HECHT Gabrielle, « A Cosmogram for Nuclear Things », *Isis*, 2007, vol. 98, n° 1, pp. 100-108.
- HECHT Gabrielle, *Being Nuclear: Africans and the Global Uranium Trade*, Cambridge, The MIT Press, 2012.
- HERRAN Néstor, « Spreading Nucleonics: The Isotope School at the Atomic Energy Research Establishment, 1951-67 », *British journal for the history of science*, 2006, vol. 39, n° 143, pp. 569-587.
- HIRSCH Jean-Pierre et MINARD Philippe, « “Laissez-nous faire et protégez-nous beaucoup” : pour une histoire des pratiques institutionnelles dans l’industrie française (XVIIIe-XIXe siècle) », in *La France n’est-elle pas douée pour l’industrie ?*, Paris, Belin, 1998, pp. 135-158.
- HIRSCHMAN Albert O., *Deux siècles de rhétorique réactionnaire*, Paris, Fayard, 1991.

- HIRSCHMAN Albert O., *Un certain penchant à l'autosubversion*, Paris, Fayard, 1995.
- HÖGSELIUS Per, « Spent Nuclear Fuel Policies in Historical Perspective: An International Comparison », *Energy Policy*, 2009, vol. 37, n° 1, pp. 254-263.
- HÖGSELIUS Per, « The Decay of Communism: Managing Spent Nuclear Fuel in the Soviet Union, 1937-1991 », *Risk, Hazards & Crisis in Public Policy*, 2010, vol. 1, n° 4, pp. 81-107.
- HOOFT Evelyn, BERGMANS Anne, DERVEAUX Katleen et VANHOOF Liesbet, « Local Partnerships: Achieving Stakeholder Consensus on Low-Level Waste Disposal », *Waste Management 2002 Symposium*, Tucson, 2002.
- IALENTI Vincent F., « Adjudicating Deep Time: Revisiting the United States' High-Level Nuclear Waste Repository Project at Yucca Mountain », *Science and Technology Studies*, 2014, vol. 27, n° 2, pp. 27-48.
- IONESCU Oana, « Réversibilité du stockage géologique des déchets radioactifs : la théorie des options réelles dans l'aide à la décision », Thèse de doctorat, Université de Nancy 2, 2011.
- JARRY Grégory et OTTO T., *Village toxique*, Poitier, FLBLB éditions, 2010.
- JASANOFF Sheila S., « Contested Boundaries in Policy-Relevant Science », *Social Studies of Science*, 1987, vol. 17, n° 2, pp. 195-230.
- JASANOFF Sheila S., « Beyond Epistemology: Relativism and Engagement in the Politics of Science », *Social Studies of Science*, 1996, vol. 26, n° 2, pp. 393-418.
- JASANOFF Sheila S., « Ordering Knowledge, Ordering Society », in *States of Knowledge: The Co-Production of Science and the Social Order*, 2004, pp. 43-68.
- JASANOFF Sheila S. et KIM Sang-Hyun, « Containing the Atom: Sociotechnical Imaginaries and Nuclear Power in the United States and South Korea », *Minerva*, 2009, vol. 47, n° 2, pp. 119-146.
- JENKINS-SMITH Hank C., « Alternative Theories of the Policy Process: Reflections on Research Strategy for the Study of Nuclear Waste Policy », *PS: Political Science and Politics*, 1991, vol. 24, n° 2, pp. 157-166.
- JENKINS-SMITH Hank C., SILVA Carol L., NOWLIN Matthew C. et DELOZIER Grant, « Reversing Nuclear Opposition: Evolving Public Acceptance of a Permanent Nuclear Waste Disposal Facility », *Risk Analysis*, 2011, vol. 31, n° 4, pp. 629-644.
- JENSEN-RYAN Danielle, « New Technologies. Old Stories: The Forgotten Voices of Uranium Mining in Rural Wyoming », *The Extractive Industries and Society*, 2014, vol. 1, n° 2, pp. 321-328.
- JOLY Pierre-Benoit et KAUFMANN Alain, « Lost in Translation? The Need for 'Upstream Engagement' with Nanotechnology on Trial », *Science as Culture*, 2008, vol. 17, n° 3, pp. 225-247.
- JOLY Pierre-Benoit et MARRIS Claire, « La participation contre la mobilisation? Une analyse comparée du débat sur les OGM en France et au Royaume-Uni », *Revue internationale de politique comparée*, 2003, vol. 10, n° 2, pp. 195-206.

JOLY Pierre-Benoit, MARRIS Claire et HERMITTE Maris-Angèle, « À la recherche d'une « démocratie technique ». Enseignements de la conférence citoyenne sur les OGM en France / In Search of "Technological Democracy". Lessons from the Consensus Conference on GMO's in France », *Nature Sciences Sociétés*, 2003, vol. 11, n° 1, pp. 3-15.

JUVEN Pierre-André, « Codage de la performance ou performance du codage : Mise en chiffre et optimisation de l'information médicale », *Journal de gestion et d'économie médicales*, 2013, vol. 31, n° 2, pp. 75-91.

KALMBACH Karena et RÖHLIG Klaus-Jürgen, « Interdisciplinary Perspectives on Dose Limits in Radioactive Waste Management. A Research Paper Developed within the ENTRIA Project », *Journal of Radiological Protection*, 2016, vol. 36, n° 2, pp. 8-22.

KASPERSKI Tatiana, « Chernobyl's Aftermath in Political Symbols, Monuments and Rituals: Remembering the Disaster in Belarus », *Anthropology of East Europe Review*, 2012, vol. 30, n° 1, pp. 82-99.

KATZ Jonathan L., « A Web of Interests: Stalemate on the Disposal of Spent Nuclear Fuel », *Policy Studies Journal*, 2001, vol. 29, n° 3, pp. 456-477.

KEEPIN Bill et WYNNE Brian, « Technical Analysis of IASA Energy Scenarios », *Nature*, 1984, vol. 312, n° 5996, pp. 691-695.

KLEIN Judy L., LEMOV Rebecca, GORDIN Michael D., DASTON Lorraine, ERICKSON Paul et STURM Thomas, *Quand la raison faillit perdre l'esprit. La rationalité mise à l'épreuve de la Guerre froide*, Bruxelles, Zones Sensibles, 2015.

KNORR-CETINA Karin, *Epistemic Cultures: How the Sciences Make Knowledge*, Cambridge, Harvard University Press, 1999.

KNUUTTILA Tarja, « Models as Epistemic Artefacts : Toward a Non-Representationalist Account of Scientific Representation », Thèse de doctorat, University of Helsinki 8, 2005.

KNUUTTILA Tarja et BOON Mieke, « How do Models Give us Knowledge ? The Case of Carnot's Ideal Heat Engine », *European Journal of Philosophy of science*, 2011, vol. 309, n° 1, pp. 309-334.

KRIGE John, « The Peaceful Atom as Political Weapon: Euratom as an Instrument of U.S. Foreign Policy in the 1950s », *Historical Studies in the Physical and the Biological Sciences*, 2008, vol. 38, n° 1, pp. 5-44.

KRIGE John, « Hybrid Knowledge: the Transnational Co-Production of the Gas Centrifuge for Uranium Enrichment in the 1960s », *The British Journal for the History of Science*, 2012, vol. 45, n° 3, pp. 337-357.

KRIGE John, « Maintaining America's Competitive Technological Advantage: Cold War Leadership and the Transnational Co-production of Knowledge », *Humana Mente Journal of Philosophical Studie*, 2011, Vol. 13, p. 33-51.

KRUPAR Shiloh R., « Transnatural Ethics: Revisiting the Nuclear Cleanup of Rocky Flats, CO, Through the Queer Ecology of Nuclia Waste », *Cultural Geographies*, 2012, vol. 19, n° 3, pp. 303-327.

- KUHN Thomas S., *La Structure des révolutions scientifiques*, trad. Laure MEYER, Paris, Flammarion, 2008.
- LAHSEN Myanna, « Seductive simulations? Uncertainty Distribution Around Climate Models », *Social Studies of Science*, 2005, vol. 35, n° 6, pp. 895-922.
- LAKOFF Andrew, « Preparing for the Next Emergency », *Public Culture*, 2007, vol. 19, n° 2, pp. 247-271.
- LANDA Edward R., *Buried Treasure to Buried Waste: the Rise and Fall of the Radium Industry*, Golden, Colorado School of Mines Press, 1987.
- LANDA Edward R., « A Brief History of the American Radium Industry and its Ties to the Scientific Community of its Early Twentieth Century », *Environment International*, 1993, vol. 19, n° 5, pp. 503-508.
- LANDA Edward R. et GRAY John R., « US Geological Survey Research on the Environmental Fate of Uranium Mining and Milling Wastes », *Environmental Geology*, 1995, vol. 26, n° 1, pp. 19-31.
- LATOUR Bruno, *Nous n'avons jamais été modernes. Essai d'anthropologie symétrique*, Paris, La Découverte, 1991.
- LATOUR Bruno, *Aramis ou L'amour des techniques*, Paris, La Découverte, 1992.
- LATOUR Bruno, *La Science en action. Introduction à la sociologie des sciences*, trad. Michel BIEZUNSKI, Paris, La Découverte, 2005.
- LATOUR Bruno, *Politiques de la nature. Comment faire entrer les sciences en démocratie*, Paris, La Découverte, 2008.
- LATOUR Bruno et WOOLGAR Steve, *La Vie de laboratoire. La production de faits scientifiques*, trad. Michel BIEZUNSKI, Paris, La Découverte, 1988.
- LE ROUX Thomas, *Le Laboratoire des pollutions industrielles: Paris, 1770-1830*, Paris, Albin Michel, 2011.
- LÉCUYER Christophe, BROCK David C. et LAST Jay T., *Makers of the Microchip : a Documentary History of Fairchild Semiconductor*, Cambridge, MIT Press, 2010.
- LEHTONEN Markku, « Deliberative Decision-Making on Radioactive Waste Management in Finland, France and the UK: Influence of Mixed Forms of Deliberation in the Macro Discursive Context », *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 2010, vol. 7, n° 3, pp. 175-196.
- LEHTONEN Markku, *La Mémoire plurimillénaire associée au stockage des déchets radioactifs : analyse des travaux pionniers et étude de la littérature en sciences humaines et sociales*, Andra, 2011.
- LEHTONEN Markku, *Le Raisonnement par analogie à l'échelle anthropique dans l'analyse de performance et dans la communication publique concernant le stockage géologique des déchets radioactifs*, Andra, 2011.
- LEHTONEN Markku, « Le « tournant participatif » dans la gouvernance nucléaire en Finlande, en France et au Royaume-Uni : des antécédents historiques aux enjeux actuels », Paris, 2011.

- LEPETIT Bernard, « Histoire des pratiques, pratique de l'histoire », in *Les Formes de l'expérience : une autre histoire sociale*, Albin Michel, Paris, 1995, pp. 9-22.
- LITS Grégoire, « Déconstruire la politique européenne de gestion des déchets nucléaires. Une stratégie critique ? », *Émulations*, 2010, n° 8.
- LITS Grégoire, « Analyse du rôle des chercheurs en sciences sociales dans la gestion des déchets radioactifs », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, 2013, vol. 13, n° 2.
- LITS Grégoire, « Curiosité ou engagement ? Panorama historique du rôle des chercheurs en sciences sociales dans la gestion des « aspects sociaux » du nucléaire », in *Être curieux en sociologie*, Presses universitaires de Louvain, Louvain-la-Neuve, 2014, pp. 99-124.
- LITS Grégoire, « La Gestion des déchets hautement radioactifs belges à l'épreuve de la démocratie. Contribution à une sociologie des activités décisionnelles », Thèse de doctorat, Université catholique de Louvain, 2015.
- LOPEZ Fanny, « Les Touristes du nucléaire : l'enjeu de l'accessibilité des sites de production EDF, 1974-1991 », *Annales historiques de l'électricité*, 2014, vol. 12, n° 1, pp. 65-75.
- LORDON Frédéric, *La Société des affects. Pour un structuralisme des passions*, Paris, Seuil, 2013.
- LÖWY Ilana, « Universalité de la science et connaissances situées », in *L'Invention du naturel: Les sciences et la fabrication du masculin et du féminin*, Éditions des archives contemporaines, Paris, 2000, pp. 137-150.
- MACFARLANE Allison, « Underlying Yucca Mountain: The Interplay of Geology and Policy in Nuclear Waste Disposal », *Social Studies of Science*, 2003, vol. 33, n° 5, pp. 783-807.
- MACFARLANE Allison, *Uncertainty Underground: Yucca Mountain and the Nation's High-Level Nuclear Waste*, Cambridge, MIT Press, 2006.
- MACFARLANE Allison, « It's 2050: Do You Know Where Your Nuclear Waste is? », *Bulletin of the Atomic Scientists*, 2011, vol. 67, n° 4, pp. 30-36.
- MACKENZIE Donald, « Models of Markets: Finance Theory and the Historical Sociology of Arbitrage / Les Modèles de marché : La théorie financière et l'histoire sociologique de l'arbitrage », *Revue d'histoire des sciences*, 2004, vol. 57, n° 2, pp. 407-431.
- MACKENZIE Donald, « A Sociology of Algorithms: High-Frequency Trading and the Shaping of Markets », *preprint*, 2014.
- MADSEN Michael, *Into Eternity*, Chrysalis Films, 2010.
- MANIN Bernard, « Volonté générale ou délibération ? Esquisse d'une théorie de la délibération politique », *Le Débat*, 1985, vol. 33, n° 1, pp. 72-93.
- MARTIN Emily, « The Egg and the Sperm: How Science Has Constructed a Romance Based on Stereotypical Male-Female Roles », *Signs: Journal of Women in Culture and Society*, 1991, vol. 16, n° 3, pp. 485-501.
- MAZUR Allan et CONANT Beverlie, « Controversy over a Local Nuclear Waste Repository », *Social Studies of Science*, 1978, vol. 8, n° 2, pp. 235-243.

MEYER Teva, « L'industrie électronucléaire française : dynamiques géographiques d'un système productif privilégié », *Revue Géographique de l'Est*, 2014, vol. 54, n° 1-2.

MIROWSKI Philip et SENT Esther-Mirjam, « The Commercialization of Science and the Response of STS », *The handbook of science and technology studies*, 2008, pp. 635-689.

MITCHELL Timothy, *Carbon democracy. Le pouvoir politique à l'ère du pétrole*, trad. Christophe JAQUET, Paris, La Découverte, 2013.

MONSAINGEON Baptiste, *Homo detritus. Critique de la société du déchet*, Paris, Seuil, 2017.

MURPHY William M., « Regulating the Geologic Disposal of High-Level Nuclear Waste at Yucca Mountain », in *Uncertainty Underground: Yucca Mountain and the Nation's High-level Nuclear Waste*, Cambridge, MIT Press, 2006, pp. 45-56.

NEWMAN Andrew, « "An Area Previously Determined to be the Best Adapted for Such Purposes": Nevada, Nuclear Waste, and Assembly Joint Resolution 15 of 1975 », *Journal of Policy History*, 2012, vol. 24, n° 3, pp. 432-465.

NOWOTNY Helga, SCOTT Peter et GIBBONS Michael, *Rethinking Science: Knowledge and the Public*, Oxford, Polity Press, 2001.

O'REILLY Jessica, BRYSE Keynyn, OPPENHEIMER Michael et ORESKES Naomi, « Characterizing Uncertainty in Expert Assessments: Ozone Depletion and the West Antarctic Ice Sheet: Characterizing Uncertainty in Expert Assessments », *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2011, vol. 2, n° 5, pp. 728-743.

ORESKE Naomi, SHRADER-FRECHETTE Kristin S. et BELITZ Kenneth, « Verification, Validation, and Confirmation of Numerical Models in the Earth Sciences », *Science*, 1994, vol. 263, pp. 641-646.

ORESKE Naomi, « The Scientific Consensus on Climate Change: How Do We Know We're Not Wrong? », in *Climate Change: What it Means for Us, Our Children, and Our Grandchildren*, 2007.

ORESKE Naomi et CONWAY Erik M., *Merchants of Doubt*, New York, Bloomsbury Press, 2010.

PAROTTE Céline, « L'art de gouverner les déchets hautement radioactifs. Analyse comparée de la Belgique, la France et le Canada », Thèse de doctorat, Université de Liège, Liège, 2016.

PAROTTE Céline et LITS Grégoire, « Quel sort pour les déchets moyennement et hautement radioactifs belges? Controverses et traitements médiatiques entourant le choix de l'option », in *L'insécurité en question. Définitions, enjeux et perspectives*, Liège, Presses Universitaires de Liège, 2015, pp. 158-175.

PASQUALETTI Martin J., « Landscape Permanence and Nuclear Warnings », *Geographical Review*, 1997, vol. 87, n° 1, pp. 73-91.

PERIN Constance, « Operating as Experimenting: Synthesizing Engineering and Scientific Values in Nuclear Power Production », *Science, Technology, & Human Values*, 1998, vol. 23, n° 1, pp. 98-128.

PERSICO Simon, « Un clivage, des enjeux. Une étude comparée de la réaction des grands partis de gouvernement face à l'écologie », Thèse de doctorat, Institut d'Études Politiques de Paris, 2014.

- PESSIS Céline, *Survivre et vivre. Critique de la science, naissance de l'écologie*, Montreuil, L'Échappée, 2014.
- PESSIS Céline, TOPÇU Sezin et BONNEUIL Christophe, *Une autre histoire des « trente glorieuses ». Modernisation, contestations et pollutions dans la France d'après-guerre*, Paris, La Découverte, 2012.
- PESTRE Dominique, « Pour une histoire sociale et culturelle des sciences. Nouvelles définitions, nouveaux objets, nouvelles pratiques », *Annales. Histoire, Sciences Sociales*, 1995, vol. 3, pp. 487-522.
- PESTRE Dominique, *Science, argent et politique. Un essai d'interprétation*, Paris, Institut national de la recherche agronomique, 2003.
- PESTRE Dominique, « L'Analyse de controverses dans l'étude des sciences depuis trente ans », *Mil neuf cent. Revue d'histoire intellectuelle*, 2007, n° 1, pp. 29-43.
- PESTRE Dominique, *Introduction aux Science Studies*, Paris, La Découverte, 2010.
- PESTRE Dominique, « Des Sciences et des productions techniques depuis trente ans. Chronique d'une mutation », *Le Débat*, 2010, vol. 3, n° 160, pp. 115-131.
- PESTRE Dominique, « Des sciences, des techniques et de l'ordre démocratique et participatif », *Participations*, 2011, n° 1, pp. 210-238.
- PESTRE Dominique (ed.), *Le Gouvernement des technosciences. Gouverner le progrès et ses dégâts depuis 1945*, Paris, La Découverte, 2014.
- PESTRE Dominique, « Le nouvel univers des sciences et des techniques : une proposition générale », in *Les Sciences pour la guerre*, Paris, Éditions de l'EHESS, 2004, pp. 11-47.
- PORTER Theodore M., *Trust in Numbers: the Pursuit of Objectivity in Science and Public Life*, Princeton, Princeton University Press, 1995.
- PRIEUR Michel, « Les Déchets radioactifs, une loi de circonstance pour un problème de société », *Revue Juridique de l'Environnement*, 1992, vol. 17, n° 1, pp. 19-47.
- RENTETZI Maria, « The Women Radium Dial Painters as Experimental Subjects (1920-1990) or What Counts as Human Experimentation », *NTM International Journal of History and Ethics of Natural Sciences, Technology and Medicine*, 2004, vol. 12, n° 4, pp. 233-248.
- RENTETZI Maria, « The U.S. Radium Industry: Industrial In-house Research and the Commercialization of Science », *Minerva*, 2008, vol. 46, n° 4, pp. 437-462.
- ROQUÉ Xavier, « Marie Curie and the Radium Industry: A Preliminary Sketch », *History and Technology*, 1997, vol. 13, n° 4, pp. 267-291.
- ROSE Nikolas et MILLER Peter, « Political Power beyond the State: Problematics of Government », *The British Journal of Sociology*, 1992, vol. 43, n° 2, pp. 173-205.
- ROUSSEAU Jean-Jacques, *Du contrat social. Écrits politiques*, Paris, Gallimard, 2003.

SARAÇ-LESAVRE Basak, « Formuler les valeurs du nucléaire : Communautés, équations, budgets et débats autour des déchets nucléaires », Thèse de doctorat, Paris, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2015.

SARAÇ-LESAVRE Basak, « In Search of an Assessment of the Future. The Case of the US Nuclear Waste Programme », in Markku LEHTONEN, Luis APARICIO et Pierre-Benoit JOLY (ed.), *Socioeconomic Evaluation of Megaprojects. Dealing with uncertainties*, Routledge, London, 2016, pp. 25-43.

SCHAFFER Simon, *La Fabrique des sciences modernes: XVIIe-XIX siècle*, trad. Frédérique AÏT-TOUATI, Loïc MARCOU et Stéphane VAN DAMME, Paris, Seuil, 2014.

SCOTT Joan W., « Gender: A Useful Category of Historical Analysis », *The American Historical Review*, 1986, vol. 91, n° 5, p. 1053.

SEMPRUN Jaime, *Dialogues sur l'achèvement des temps modernes*, Paris, Éditions de l'Encyclopédie des Nuisances, 1993.

SHAPIN Steven et SCHAFFER Simon, *Leviathan and the Air-Pump: Hobbes, Boyle, and the Experimental Life*, Princeton, Princeton University Press, 1985.

SHRADER-FRECHETTE, Kristin S., « Idealized Laws, Antirealism, and Applied Science: a Case in Hydrogeology », *Synthese*, 1989, vol. 81, n° 3, pp. 329-352.

SHRADER-FRECHETTE Kristin S., *Burying Uncertainty: Risk and the Case against Geological Disposal of Nuclear Waste*, Berkeley, University of California Press, 1993.

SHRADER-FRECHETTE Kristin S., « Equity and Nuclear Waste Disposal », *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 1994, vol. 7, n° 2, pp. 133-156.

SHRADER-FRECHETTE Kristin S., « Hydrogeology and Framing Questions Having Policy Consequences », *Philosophy of Science*, 1997, vol. 64, pp. 149-160.

SJÖBERG Lennart et DROTTZ-SJÖBERG Britt-Marie, « Attitudes Toward Nuclear Waste and Siting Policy: Experts and the Public », in *Nuclear Waste Research: Siting, Technology and Treatment*, New York, Nova Science Publishers, 2008, pp. 47-74.

SJÖBERG Lennart et DROTTZ-SJÖBERG Britt-Marie, « Fairness, Risk and Risk Tolerance in the Siting of a Nuclear Waste Repository », *Journal of risk research*, 2001, vol. 4, n° 1, pp. 75-101.

SLAUGHTER Sheila et RHOADES Gary, « The Emergence of a Competitiveness Research and Development Policy Coalition and Commercialization of Academic Science and Technology », *Science, Technology, & Human Values*, 1996, vol. 21, n° 3, pp. 303-339.

SOLER Léna, TRIZIO Emiliano, NICKLES Thomas et WIMSATT William, *Characterizing the Robustness of Science: After the Practice Turn in Philosophy of Science*, Berlin, Springer Science & Business Media, 2012.

STANLEY Anna, « Risk, Scale and Exclusion in Canadian Nuclear Fuel Waste Management », *ACME: An International E-journal for Critical Geographies*, 2006, vol. 4, n° 2, pp. 194-227.

STIRLING Andy, « “Opening Up” and “Closing Down” Power, Participation, and Pluralism in the Social Appraisal of Technology », *Science, Technology & Human Values*, 2008, vol. 33, n° 2, pp. 262-294.

STOFFLE Richard, TRAUOGOTT Michael, STONE John, MCINTYRE Paula, JENSEN Florence et DAVIDSON Carla, « Risk Perception Mapping: Using Ethnography to Define the Locally Affected Population for a Low-Level Radioactive Waste Storage Facility in Michigan », *American Anthropologist*, 1991, vol. 93, n° 3, pp. 611-635.

STULBERG Adam N., « The Federal Politics of Importing Spent Nuclear Fuel: Inter-branch Bargaining and Oversight in the New Russia », *Europe-Asia Studies*, 2004, vol. 56, n° 4, pp. 491-520.

SUNDBERG Mikaela, « Parameterizations as Boundary Objects on the Climate Arena », *Social Studies of Science*, 2007, vol. 37, n° 3, pp. 473-488.

SUNDBERG Mikaela, « The Everyday World of Simulation Modeling: The Development of Parameterizations in Meteorology », *Science, Technology, & Human Values*, 2008, Vol. 34, no 2, pp. 162-181.

SUNDBERG Mikaela, « Organizing Simulation Code Collectives », *Science studies: an interdisciplinary journal for science and technology studies*, 2010, vol. 23, n° 1, pp. 37-57.

SUNDBERG Mikaela, « Credulous Modellers and Suspicious Experimentalist? Comparison of Model Output and Data in meteorological Simulation Modelling », *Science Studies*, 2006, vol. 19, n° 1, pp. 52-68.

SUNDQVIST Göran, « Constrained Deliberation: Public Involvement in Swedish Nuclear Waste Management », *Case study report, STAGE Science, Technology and Governance in Europe*, 2004.

TASKAEV Anatoly I., LANDA Edward R., GURYEV Denis V., GOLOVKO BUTLER Natalia et KRAEMER Thomas F., « Vodnyi: a Long-term, Low-level Radiation Exposure Field Site in Russia », *Journal of Health Physics*, 2003, vol. 38, n° 4, pp. 332-343.

THOMPSON Edward P., *Temps, discipline du travail et capitalisme industriel*, trad. Isabelle TAUDIÈRE, La Fabrique, 2004.

THOMPSON Gordon R., « The US Effort to Dispose of High-Level Radioactive Waste », *Energy & environment*, 2008, vol. 19, n° 3, pp. 391-412.

TOON Adam, « The Ontology of Theoretical Modelling: Models as Make-Believe », *Synthese*, 2010, vol. 172, n° 2, pp. 301-315.

TOPÇU Sezin, « Nucléaire : de l'engagement «savant» aux contre-expertises associatives », *Natures Sciences Sociétés*, 2006, vol. 14, n° 3, pp. 249-256.

TOPÇU Sezin, « Les Physiciens dans le mouvement antinucléaire : entre science, expertise et politique », *Cahiers d'histoire. Revue d'histoire critique*, 2007, n° 102, pp. 89-108.

TOPÇU Sezin, *La France nucléaire. L'art de gouverner une technologie contestée*, Paris, Seuil, 2013.

- TRAVERSO Enzo, *Le Passé, modes d'emploi. Histoire, mémoire, politique*, Paris, La Fabrique, 2005.
- VARENNE Franck et SILBERSTEIN Marc, *Modéliser & simuler. Épistémologies et pratiques de la modélisation et de la simulation. Tome 1*, Paris, Matériologiques, 2013.
- VARENNE Franck, SILBERSTEIN Marc, DUTREUIL Sébastien et HUNEMAN Philippe, *Modéliser et simuler. Épistémologies et pratiques de la modélisation et de la simulation. Tome 2*, Paris, Matériologiques, 2014.
- VIALLET-THÉVENIN Scott, « État et secteur énergétique en France : quels dirigeants pour quelles relations ? », *Revue française de sociologie*, 2015, vol. 56, n° 3, pp. 469-499.
- VIALLET-THÉVENIN Scott, « Restructurer le secteur de l'énergie: Le contrôle des concentrations entre Paris et Bruxelles », *Gouvernement et action publique*, 2016, vol. 4, n° 4, pp. 93-118.
- WALD Matthew L., « Is There a Place for Nuclear Waste? », *Scientific American*, 2009, vol. 3.
- WALSH Edward J., « New Dimensions of Social Movements: The High-Level Waste-Siting Controversy », *Sociological Forum*, 1988, vol. 3, n° 4, pp. 586-605.
- WEISSERT, Carol S. et HILL, Jeffrey S., « Low-Level Radioactive Waste Compacts: Lessons Learned from Theory and Practice », *Publius*, 1994, vol. 24, n° 4, pp. 27-43.
- WINNER Langdon, « Upon Opening the Black Box and Finding It Empty: Social Constructivism and the Philosophy of Technology », *Science, Technology, & Human Values*, 1993, vol. 18, n° 3, pp. 362-378.
- WINSBERG ERIC, « Sanctioning Models: The Epistemology of Simulation », *Science in Context*, 1999, vol. 12, n° 2.
- WINSBERG Eric, « Simulated Experiments: Methodology for a Virtual World », *Philosophy of Science*, 2003, vol. 70, n° 1, pp. 105-125.
- WOLFF Jean-Marc, « Histoire de la Société Eurochemic (1956-1990) », Thèse de doctorat, Paris, EHESS, 1994.
- WYNNE Brian, *Risk Management and Hazardous Waste: Implementation and the Dialectics of Credibility*, Berlin, Springer, 1987.
- WYNNE Brian, WATERTON Claire et GROVE-WHITE Robin, *Public Perceptions and the Nuclear Industry in West Cumbria*, Lancaster, Centre for the Study of Environmental Change, 2007.
- ZONABEND Françoise, *La Presqu'île au nucléaire Three Mile Island, Tchernobyl, Fukushima... et après ?*, Paris, Odile Jacob, 2014.

LISTE DES SOURCES

« Appel de scientifiques pour la réalisation des trois laboratoires souterrains de recherche », 1997.

« Avis de la Région Poitou-Charentes sur l'implantation d'un laboratoire de recherches souterrain dans le sud de la Vienne », 1997.

« Avis du Conseil Municipal sur la demande d'autorisation et d'exploitation d'un laboratoire souterrain à La Chapelle-Bâton », 1997.

« CNE du 22/02/2000 - Modélisation », *Andra*, 2000.

« Communiqué de presse commun du ministre d'État, ministre de l'Intérieur et de l'Aménagement du territoire, du ministre de l'Industrie, des Postes et Télécommunications et du Commerce extérieur, et du ministre de l'Environnement. Laboratoires souterrains de recherche pour la gestion des déchets radioactifs : quatre départements retenus pour les travaux de reconnaissance », 1994.

Contrat entre la Communauté Européenne de l'Énergie Atomique et Le Commissariat à l'Énergie Atomique - Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs, 29 novembre 1982.

Contrat quadriennal Etat/Andra 2001-2004, Ministère de la Recherche, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, Secrétariat d'État à l'Industrie, Secrétariat d'État au Budget, *Andra*, 6 juillet 2001.

Débats parlementaires. Assemblée Nationale. Seconde session ordinaire de 1990-1991 (102e séance). Compte rendu intégral. 2e séance du mardi 25 juin 1991, Journal Officiel de la République Française, 28 juin 1991.

Débats parlementaires. Assemblée Nationale. Seconde session ordinaire de 1990-1991 (107e séance). Compte rendu intégral. 1re séance du jeudi 27 juin 1991, Journal Officiel de la République française, 28 juin 1991.

Débats parlementaires. Sénat. Première session ordinaire de 1991-1992 (19e séance). Compte rendu intégral. Séance du mercredi 6 novembre 1991, Journal Officiel de la République Française, 7 novembre 1991.

« L'Enfouissement profond des déchets nucléaires ne serait plus privilégié », *Le Monde*, 18/11/1997

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.

Loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs, Journal Officiel de la République Française, 28 juin 2006.

Loi n° 2016-1015 du 25 juillet 2016 précisant les modalités de création d'une installation de stockage réversible en couche géologique profonde des déchets radioactifs de haute et moyenne activité à vie longue, Journal Officiel de la République Française n° 0172, 26 juillet 2016.

« Motion des représentants élus du personnel au Comité d'Entreprise de l'Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs votée en séance du 24 septembre 1998 », 1998.

Règle Fondamentale de Sûreté relative aux installations nucléaires de base autre que réacteurs III.2.f, 10 juin 1991.

Salome7. *The Open Source Integration Platform for Numerical Simulation*, CEA/EDF/OpenCascade, 2013.

Un projet flexible et réversible, <http://www.cigéo.com/un-projet-flexible-et-reversible>, consulté le 15 mai 2017.

AEN/OCDE (ed.), *Systematic Approaches to Scenario Development*, Paris, 1992.

AEN/OCDE (ed.), *Features, Events and Processes (FEPs) for Geologic Disposal of Radioactive Waste. An International Database*, 2000.

AEN/OCDE (ed.), « Stakeholder Confidence and Radioactive Waste Disposal. Inauguration, First Workshop and Meeting of the NEA Forum on Stakeholder Confidence in the Area of Radioactive Waste Management », Paris, août 2000.

AEN/OCDE (ed.), *Programme français de R-D sur le stockage géologique de déchets radioactifs. Revue internationale par des pairs du Dossier 2001 Argile*, 2003.

AEN/OCDE (ed.), *La Prise de décision par étapes dans la gestion à long terme des déchets radioactifs. Expérience, résultats et principes directeurs*, 2005.

AEN/OCDE (ed.), *Approche par étapes de la gestion à long terme des déchets radioactifs*, Forum for Stakeholder Confidence, 2008.

AERES (ed.), *Rapport d'évaluation de l'Agence nationale de gestion des déchets radioactifs (Andra)*, septembre 2012.

ALLÈGRE Claude, STRAUSS-KAHN Dominique, VOYNET Dominique et PIERRET Christian, *Lettre de mission d'Yves Le Bars*, 6 mai 1999.

ALLÈGRE Maurice, *Présentation du rapport CNE aux acteurs de la loi le 29 juin 1995*, 5 juillet 1995.

ALLÈGRE Maurice, *Notes de Maurice Allègre pour son intervention introductive lors de la première audition de l'Andra par la CNE*, 8 septembre 1994.

ALTMANN Scott, COELHO Daniel, GIFFAUT Éric, MADE E. et ROBINET JC., *Revue des Modèles et des Données n° 1 (RFDM-1) : état des connaissances sur les valeurs des paramètres gouvernant le comportement des radionucléides et des toxiques chimiques dans les différents environnements du stockage et le milieu géologique*, Andra, mai 2013.

ANDRA (ed.), *Pagis tâche 7. Corrosion des conteneurs*, CEA, décembre 1984.

ANDRA (ed.), *Recherches de sites pour l'implantation de laboratoires souterrains d'études géologiques. Résultats des travaux réalisés en 1994*, 6 février 1995.

ANDRA (ed.), *Correspondance technique Andra/producteurs, Compte-rendu de la réunion n° 19 du 29 mars 1996*, 1996.

- ANDRA (ed.), *Laboratoires souterrains d'études géologiques. Résultats des travaux de reconnaissance géologique. Janvier 1994 - mars 1996, 9 avril 1996.*
- ANDRA (ed.), *Inventaire national des déchets radioactifs*, 1997.
- ANDRA (ed.), « Décision relative aux laboratoires de recherches de l'Andra », 1998.
- ANDRA (ed.), *Dossier 2001 argile sur l'avancement des études & recherches relatives à la faisabilité d'un stockage de déchets à haute activité et à vie longue. Rapport de synthèse*, décembre 2001.
- ANDRA (ed.), *Dossier 2005 Argile*, juin 2005.
- ANDRA (ed.), *Dossier 2005 Argile. Tome Évaluation de sûreté du stockage géologique*, juin 2005.
- ANDRA (ed.), *Dossier 2005. Argile. Tome Évolution phénoménologique du stockage géologique*, juin 2005.
- ANDRA (ed.), « Audition CNE – Andra du 14 novembre 2007 : Programme scientifique & Programme observation / surveillance », 2007.
- ANDRA (ed.), « Audition CNE – Andra du 15 janvier 2009 : Projet HAVL », 2009.
- ANDRA (ed.), *Stockage réversible profond. Option de réversibilité du stockage en géologie profonde*, 2009.
- ANDRA (ed.), « Audition CNE – Andra du 7 janvier 2010 Alvéoles HA et MAVL », 2010.
- ANDRA (ed.), « Audition restreinte CNE – Andra des 25 et 26 mars 2010. Programme expérimental et démonstrateurs en laboratoire souterrain, Ete et ZIRA », 2010.
- ANDRA (ed.), « Implantation du stockage profond : choix d'une zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie (ZIRA) », 2010.
- ANDRA (ed.), *Compte-rendu interne de la réunion du 6 janvier 2011, préparatoire à la réunion DG ASN et Andra du 12 janvier 2011*, janvier 2011.
- ANDRA (ed.), *Réponse technique de l'Andra au rapport de l'IEER*, 25 novembre 2011.
- ANDRA (ed.), « RFMD-3 », 2014.
- ANDRA (ed.), *Inventaire nationale des matières et déchets radioactif. Rapport de synthèse 2015*, juin 2015.
- ARANYOSSY Jean François, [Note4], Andra, 1 septembre 1997.
- ARANYOSSY Jean François, *Remarques sur le rapport d'évaluation CNE N°3 sur la géochimie de la Vienne*, Andra, 16 septembre 1997.
- ASSOCIATION CONTRE LE NUCLÉAIRE ET SON MONDE (ed.), *Histoire lacunaire de l'opposition à l'énergie nucléaire en France*, Paris, France, La Lenteur, 2007.
- ASSOCIATION CONTRE LE NUCLÉAIRE ET SON MONDE (ed.), *Le Temps des déchets*, mars 1991.

AUVERLOT Dominique, *Rencontre avec M. Paul Mourier, Directeur de Cabinet du CG Charente*, Andra, 11 avril 1997.

AUVERLOT Dominique, *Compte-rendu succinct de la réunion du 26 janvier 1998. Questions nucléaires*, Andra, 27 janvier 1998.

AUVERLOT Dominique, *Réunion au Secrétariat d'État à l'Industrie du 14 décembre 1998*, Andra, 16 décembre 1998.

BATAILLE Christian, *Rapport sur la gestion des déchets nucléaires à haute activité*, Office Parlementaire d'Évaluation des Choix Scientifiques et Technologiques, décembre 1990.

BATAILLE Christian et BIRRAUX Claude, *Rapport sur l'évaluation du plan national triennale de gestion des matières et déchets radioactives*, Office Parlementaire d'Évaluation des Choix Scientifiques et Techniques, 2011.

BERTRAND R., *Relevé des discussions de la réunion du GPD du 09/10/2003. Information du GPD et de la CNE sur les résultats de l'audit de l'OCDE/AEN sur le dossier 2001 de l'ANDRA*, Groupe Permanent Déchets, 22 février 2006.

BIENVENU Hervé, *Commentaires du rapport CNE numéro 3 concernant la simulation numérique*, Andra, 23 septembre 1997.

BODENEZ P., *Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde*, ASN, 12 février 2008.

BOILLEY David, *Lettre au Premier ministre*, Caen, Association pour le Contrôle de la Radioactivité dans l'Ouest, 29 janvier 1997.

BOISSIER Fabrice, LABALETTE Thibaud et LEBON Patrick, *Cadrage de la seconde revue relative à l'état de connaissance des colis de l'inventaire de Cigéo dénommée « RC2 »*, Andra, 5 avril 2013.

BOISSON Pierre, HUET Philippe et MINGASSON Jean, *Mission collégiale de concertation Granite. Rapport à Madame la ministre de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, à Monsieur le ministre de la Recherche, à Monsieur le secrétaire d'Etat auprès du ministre de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, chargé de l'industrie*, juin 2000.

BOSCO F., JOUSSELIN D., TROUILLER A. et VERVIALE J.P., *Lettre des administrateurs élus de la CGC aux Ministres de l'industrie, de la recherche et de l'environnement*, 11 septembre 1998.

BOSGIRAUD J.M., *Conversation T. Merceron avec Préfet Le Pavéc (cf. classement E.R.P. Laboratoire)*, Andra, 24 février 1997.

BOURGEAT Alain, « Groupement de Recherches MOMAS (MODélisation MATHématique et Simulations numériques liées aux études d'entreposage souterrain de déchets radioactifs). Modélisation, simulation numérique », 2003.

BOURGEAT Alain, KERN Michel, SCHUMACHER Stephan et TALANDIER Jean, « The Couplex test cases: models and lessons », 2003.

BOURGEAT Alain, KERN Michel, SCHUMACHER Stephan et TALANDIER Jean, *The COUPLEX Test Cases : Nuclear Waste Disposal Simulation*, février 2002.

CAGNON J., *Compte rendu. Réunion du 21 janvier 1997. Sous-Commission de sécurité incendie pour les établissements recevant du public*, Andra, 23 janvier 1997.

CALLON Michel, BERGMANS Anne, JOLY Pierre-Benoit et LAÂROUCHI-ENGSTRÖM Saïda, « Contribution du COESDIC aux réflexions sur la gouvernance du projet Cigéo de l'ANDRA ».

CARTRAUD Raoul, *Lettre à Yves Kaluzny*, 11 avril 1997.

CARTRAUD Raoul, *Lettre à Lionel Jospin*, 26 mai 1998.

CASTAING Raymond, *Rapport du groupe de travail sur la gestion des combustibles irradiés*, Conseil supérieur de la sûreté nucléaire, novembre 1982.

CEA (ed.), *PAGIS. Tâche 4. Méthodologie*, novembre 1984.

CEA (ed.), *P.A.G.I.S. Tâche 8. Champ proche*, novembre 1984.

CEA (ed.), *Chapitre XI. Conclusions générales de l'option granite*, 1988.

CIDN (ed.), *Mini dossier. Le rapport Goguel. Stockage des déchets radioactifs en formations géologiques. Critères techniques du choix de site*, CEN Cadarache, septembre 1988.

COESDIC, *Rapport d'activités 2011*, Andra, juin 2012.

COESDIC, *Rapport d'activité 2014*, Andra, juin 2015.

COESDIC, *Rapport d'activité 2016*, Andra, juin 2017.

COLLECTIF, *Revue Finale des Modèles et des Données première partie (RFMD-1): état des connaissances sur les valeurs des paramètres des composants et des processus phénoménologiques du stockage et du milieu géologique*, Andra, 21 juin 2013.

COLLECTIF, *Revue Finale des Modèles et des Données première partie (RFMD-1): bilan des connaissances phénoménologiques et incertitudes résiduelles*, Andra, juin 2013.

COLLECTIF, *Données essentielles de l'AQS (version Revue RFMD2-a)*, Andra, 2013.

COMMISSION NATIONALE D'ÉVALUATION (ed.), *Rapport d'évaluation n° 1*, juin 1995.

COMMISSION NATIONALE D'ÉVALUATION (ed.), *Rapport d'évaluation n° 2*, juin 1996.

COMMISSION NATIONALE D'ÉVALUATION (ed.), *Rapport d'évaluation n° 3*, septembre 1997.

COMMISSION NATIONALE D'ÉVALUATION (ed.), *Rapport sur la réversibilité des stockages*, juin 1998.

COMMISSION NATIONALE D'ÉVALUATION (ed.), *Rapport d'évaluation n° 4*, octobre 1998.

COMMISSION NATIONALE D'ÉVALUATION (ed.), *Rapport d'évaluation n° 5*, juin 1999.

COMMISSION NATIONALE D'ÉVALUATION (ed.), *Rapport d'évaluation n° 6*, juin 2000.

COMMISSION NATIONALE D'ÉVALUATION (ed.), *Rapport d'évaluation n° 8*, juin 2002.

COMMISSION NATIONALE D'ÉVALUATION (ed.), *Rapport global d'évaluation des recherches conduites dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991*, janvier 2006.

CONSEIL SCIENTIFIQUE DE L'ANDRA (ed.), *Avis sur le Dossier 2005 Argile et Granite*, 13 décembre 2005.

COURNUT A., *Lettre à Yves Kaluzny*, 14 octobre 1998.

CUISIAT F., LEMEILLE F., BLANC P.L., GRANIER P. et GROS J.C., *Avis de l'Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire sur le bilan des travaux de reconnaissance à mi-1995 en vue de l'implantation de laboratoires souterrains dans les départements de la Haute-Marne et de la Meuse, du Gard et de la Vienne. Document présenté devant le groupe permanent chargé des installations destinées au stockage à long terme des déchets radioactifs les 26 et 27 février 1996*, CEA/IPSN, Département d'Évaluation de Sûreté, 1996.

DE FRANCO M., « La Gestion des déchets radioactifs. Éléments d'une démonstration de sûreté », *Andra*, 2000.

DELAY Jacques, *Commentaire sur le rapport de la CNE*, Andra, 18 septembre 1997.

DEVILLERS C., « Démarche de sûreté pour les stockages de déchets radioactifs en formation géologique profonde », 1995.

D'IRIBARNE PHILIPPE, *Les Français et les déchets nucléaires*, Rapport au ministre délégué à l'Industrie, avril 2005.

DOSÉ François, *Lettre à Lionel Jospin*, 18 novembre 1997.

ESCOIFFIER Mathieu, « Zizanie sur les déchets nucléaires. Des députés PS mènent la fronde. », *Libération*, 20/11/1997

EYMARD Jacqueline, *Synthèse entretien avec Mme Raymonde André-Jehan*, Andra, 31 juillet 2007.

FAUCHEUX Jacques, *Le Laboratoire*, Coop Breizh, 2013.

FÉRUDI Laurent, *Vote du Conseil Général de la Vienne. 24 février 1997*, Andra, 25 février 1997.

GOGUEL Jean, *Stockage des déchets radioactifs en formations géologiques. Critères techniques de choix de site. Rapport du groupe de travail présidé par le Professeur Goguel*, Ministère de l'Industrie, des P.&T. et du Tourisme, mai 1987.

GRIT Stéphane, *Aspects juridiques de la recherche de sites granitiques*, 4 janvier 1999.

GROUPE PERMANENT DÉCHETS (ed.), *Compte rendu de la réunion du 3 octobre 1994*, Ministère de l'Industrie, 21 août 1995.

GROUPE PERMANENT DÉCHETS (ed.), *Compte rendu des réunions des 26, 27 et 28 février 1996*, Ministère de l'Industrie, de la Poste et des Télécommunications, 7 février 1997.

GROUPE PERMANENT DÉCHETS (ed.), *Projet de compte rendu de la réunion du 24 mars 1997*, Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, 27 mai 1998.

GUELPA Jean-Paul, *Compte-rendu de l'Assemblée générale ordinaire du Syndicat général des Vignerons des Côtes du Rhône et de la Vallée du Rhône tenue à Nîmes le 28 août 1998*, Andra, 1 septembre 1998.

GUILLON Théophile, « Comportement hydromécanique des argilites du Callovo-Oxfordien lors de cycles de désaturation-resaturation » Thèse de doctorat, Nancy-Université, Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy, 2011.

GURI Gérard, *Granite. Conductivité hydraulique - Volume élémentaire représentatif. Quelques réflexions*, Andra, 5 décembre 1995.

HAAS J., *Procédure de revue*, Andra, 12 avril 2000.

HAUTEFORT Matthias, *Questions nucléaires. Relevé de conclusions*, 10 décembre 1998.

HOORELBEKE Jean-Michel, « Le concept de stockage. Présentation à l'audition CNE du 8 septembre 1994 », 1994.

IZABEL C. et LEWI J., « Conclusions : leçons tirées de cet exercice », 1988.

JACQ François, « Pratiques scientifiques, formes d'organisation et représentations politiques de la science dans la France de l'après-guerre. La "politique de la science" comme énoncé collectif (1944-1962) », Thèse de doctorat, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, Paris, 1996.

JAQUET Benoît, *Réunion du 18 avril 2011*, Comité Local d'Information et de Suivi, juillet 2011.

KAHN Philippe, *Relevé de conclusions de la réunion tenue à Bercy le 15/12/98*, Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, Secrétariat d'État à l'Industrie, Direction Générale de l'Énergie et des Matières Premières. Service des affaires nucléaires, 18 janvier 1999.

KAHN Philippe et OUIN Xavier, *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.

KALUZNY Yves, *Notes manuscrites*, Boite 2001 0561.

KALUZNY Yves, *Construction des laboratoires souterrains de recherche. Quel processus de décision ?*, Andra, 5 juillet 1994.

KALUZNY Yves, *Note à l'attention de M. le Directeur du Cabinet du Ministre de l'Industrie, des Postes et Télécommunications et du Commerce extérieur. Laboratoire Souterrain. Situation dans la Meuse*, Andra, 2 septembre 1994.

KALUZNY Yves, *Observations sur le projet de note sur le processus de décision*, Andra, 7 septembre 1994.

KALUZNY Yves, *Demande de permis de construire*, Andra, 25 novembre 1996.

KALUZNY Yves, *Lettre à Pierre Radanne. Projet de laboratoire souterrain de La Chapelle-Bâton. Loi du 30 décembre 1991*, Andra, 30 juillet 1997.

KALUZNY Yves, *Le temps de la décision*, Andra, 1998.

KALUZNY Yves, *Lettre à Bernard Tissot, Annexe 3 : Justification extrapolation L.S. - stockage :argumentaire Vienne*, Andra, 26 janvier 1998.

KALUZNY Yves, *Lettre à Matthias Hautefort*, 7 décembre 1998.

KERBOUL Claire, *Compte-rendu définitif audition restreinte Andra du 6 octobre 2010. Point de vue de l'Andra sur le rapport n° 4 de la CNE2 & enjeux de la stratégie d'industrialisation du projet HA-MAVL*, CNE2, 12 juin 2010.

LACOSTE André-Claude, *Rapport à Madame la Ministre de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement et à Monsieur le Secrétaire d'État à l'Industrie. Demande d'autorisation pour l'installation et l'exploitation de laboratoires souterrains de recherche sur les déchets radioactifs à haute activité et à vie longue*, ASN, 10 décembre 1997.

LANDAIS Patrick, « La Gestion des déchets radioactifs en France », *Andra*, 2010.

LAWSON G. et SMITH G.M., *Bios. A Model to Predict Radionuclide Transfer and Doses to Man Following Releases from Geological Repositories*, National Radiological Protection Board, avril 1984.

LEBON Patrick, *Rencontre du 16 février 2011. Réponses Andra aux questions IEER*, Andra, 28 février 2011.

LEDAC P., *Manuel utilisateur des maquettes Andra du logiciel Oasis*, Andra, 28 avril 1995.

LEVERD Pascal C., *Compte-rendu. Revue finale des modèles et des données RFMD-2 (première partie) et revue colis RC-2 (troisième partie)*, Andra, 11 mai 2013.

LEVERD Pascal C., *Compte rendu de la seconde revue colis RC2*, Andra, 21 juin 2013.

LEVERD Pascal C., *Compte-rendu. Revue finale des modèles et des données - première partie (RFMD-I) et seconde revue colis - deuxième partie (RC2)*, Andra, 11 septembre 2013.

LEVERD Pascal C., *Compte-rendu. Revue finale des modèles et données RFMD-2 (seconde partie) et revue colis RC-2 (quatrième partie)*, Andra, 14 février 2014.

LEVERD Pascal C., *Compte-rendu. Revue finale des modèles et données RFMD-3 et point sur le processus RC2*, Andra, 30 juillet 2014.

LEVERD PASCAL C. et LIEBARD Florence, « Seconde revue relative à l'état de connaissance des colis de l'inventaire de Cigéo – Troisième partie », *Andra*, 2013.

LEVERD PASCAL C. et LIEBARD Florence, « Seconde revue relative à l'état de connaissance des colis de l'inventaire de Cigéo », *Andra*, 2013.

LEVERD Pascal C., PLAS Frédéric et VOINIS Sylvie, « Cigéo - Revues de préparation à la DAC. RFMD-1. Questions DP/DMR/DIP et Réponses DRD », *Andra*, 2013.

LEVERD Pascal C. et ROMÉRO Marie-Ange, « Seconde revue relative à l'état de connaissance des colis de l'inventaire de Cigéo – seconde partie », *Andra*, 2013.

LEVERD Pascal C. et VOINIS Sylvie, « Cigéo - Revues de préparation à la DAC RFMD-2-a », *Andra*, 2013.

LEWI J., PERES J.M., CERNES A., MÉJON-GOULA M.J. et IZABEL C. « Réunion d'information sur les résultats du projet Pagis », IPSN/CEA, 1988.

LOMBARD Jacques, HUBERT Philippe et PAGÈS Pierre, *Étude de l'applicabilité des principes de la CIPR à l'analyse de sûreté du stockage géologique des déchets radioactifs*, Centre d'étude sur l'évaluation de la protection dans le domaine nucléaire, juillet 1987.

MADELIN Thibaut, « Déchets nucléaires : EDF inquiet de la dérive des coûts », *Les Échos*, 06/10/2010

MAKHJANI Arjun, DAEMEN Jaak, DANKO George, JENTZSCH Gerhard, KALININA Elena et WAHI Krishan, *Examen critique du programme de l'Andra sur les recherches effectuées dans le laboratoire souterrain de Bure et sur la zone de transposition pour définir une ZIRA. Rapport final*, Institute for Energy and Environmental Research, 9 mars 2011.

MAKHJANI Arjun et MAKHJANI Annie, *Examen critique du programme de recherche de l'ANDRA pour déterminer l'aptitude du site de Bure au confinement géologique des déchets à haute activité et à vie longue*, Institute for Energy and Environmental Research, 2004.

MANSILLON Yves, *Procédures d'autorisation administratives concernant le projet de laboratoire souterrain de l'Andra en Sud-Vienne*, Préfecture de la Région Poitou-Charentes, Préfecture de la Vienne, 29 mai 1996.

MAZUREK M, Joe PEARSON F., VOLCKAERT G. et BOCK H., *Features, Events and Processes Evaluation. Catalogue for Argillaceous Media*, AEN/OCDE, 2003.

MERCADAL Georges, *Compte-rendu du débat public sur les options générales en matière de gestion des déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue. Septembre 2005 - janvier 2006*, Commission nationale du débat public, 27 janvier 2006.

MERCERON Thierry, *Compte-rendu d'entretien avec Henri Bouchaert, SGAR (Secrétaire Général aux Affaires Régionales), Préfecture de la Vienne. Préparation de l'audit Andra en vue du vote CESR + Région Poitou-Charentes du 25/4/97*, 19 février 1997.

MONESTIER Jacques, *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.

MURE J.M., *Note de synthèse sur l'applicabilité des indicateurs de sûreté à l'évaluation de sûreté du stockage géologique de déchets HAVL*, Andra, 1 septembre 2000.

MURPHY, William M., TURNERDAVID R. et PICKETT David A., *Rapport d'expert sur les études géochimiques du site de Vienne. Projet du 8 septembre 1997*, San Antonio, Center for Nuclear Waste Regulatory Analyses Southwest Research Institute, 1997.

NODÉ-LANGLOIS Fabrice, « Le Stockage souterrain des déchets nucléaires en question. L'argile a aussi ses failles », *Le Figaro*, 24/06/1998

OUZOUNIAN Gérald, *40^{ème} réunion du Conseil Scientifique de l'Andra du 30 avril 2002. Compte rendu de la réunion générale*, Andra, 2002.

OUZOUNIAN Gérald, *Conseil Scientifique de l'Andra. Compte rendu de la réunion du 16 octobre 2001*, Andra, 2001.

OUZOUNIAN Gérald, *Modélisation - Expertise M. Bourgeat*, Andra, 30 décembre 1999.

OUZOUNIAN Gérald, *CNE - Présentation du rapport n°2. 1er juillet 1996*, Andra, 8 juillet 1996.

PERES Jean-Marc, *Importance des voies de transfert dans différentes biosphères (formation granitique)*, Andra, juin 1986.

PIQUARD JP., *Compte-rendu. Réunion Antenne du 10 janvier 1997*, Andra, 14 janvier 1997.

PLAS Frédéric, *Andra. Projet d'entreprise. Thème n° 2. L'Andra au coeur d'enjeux d'environnement, de société et de technique. Apports des travaux des commissions « Castaing » et « Goguel »*, Andra, 18 juin 1992.

PONSOT-JACQUIN Catherine, *Compte rendu définitif de l'audition de l'Andra par la CNE du 9 novembre 2005. Dossier 2005 - Argile*, CNE, 6 janvier 2006.

PORTAL Rémi, *Compte rendu définitif de la préparation & de l'audition du 8 mars 2000, et des actions consécutives. Révision annuelle du document « Stratégie et programme de recherche » - Simulation numérique - Présentation des résultats de l'exercice européen SPA de calcul d'impact du stockage de combustible usé*, CNE, 2000.

PORTAL Rémi, *Compte rendu rapide de la réunion du 19 décembre 2000 entre l'Andra et la Commission Nationale d'Évaluation « Modélisation et simulation numérique »*, CNE, 8 janvier 2001.

PORTAL Rémi, *Compte rendu définitif de la préparation et de l'audition du 28 février 2001. Document « Stratégie et programmes de recherches » : révision annuelle*, CNE, 2001.

PORTAL Rémi, *Compte-rendu définitif de la préparation & de l'audition du 15 mars 2001. Analyse Phénoménologique des Situations de Stockage (APSS)*, CNE, 2001.

PORTAL Rémi, *Compte rendu définitif de l'audition du 21 mars 2002. Modélisation et simulation numérique - Bases de calculs de vérification de sûreté (Dossier 2001) - Simulation opérées et enseignements scientifiques tirés de ces simulations*, CNE, 2002.

PORTAL Rémi, *Mémoire de la réunion CNE-Andra du 7 février 2002*, CNE, 2002.

PORTAL Rémi, *Compte-rendu de l'audition du 8 janvier 2003. Laboratoire souterrain*, CNE, 2003.

PORTAL Rémi, *Compte-rendu de l'audition du 5 mars 2003*, CNE, 2003.

PORTAL Rémi, *Compte-rendu de l'audition du 6 mars 2003. Stratégie et programmes de recherches*, CNE, 2003.

PORTAL Rémi, *Compte rendu de l'audition du 21 janvier 2004. Laboratoires souterrains*, CNE, 18 février 2004.

RAIMBAULT Philippe, *Le Rôle de la modélisation dans la démonstration de sûreté d'un stockage*, Andra, juillet 1992.

- RAIMBAULT Philippe, *Brouillon d'un transparent pour l'audition de la CNE du 8 septembre 1994*, Andra, 1994.
- RAIMBAULT Philippe, « Exposé à la Commission Nationale d'Évaluation. La démarche de sûreté: la RFS III.2.f et son application aux études Andra », 1994.
- RAIMBAULT Philippe, « Les Objectifs et la méthodologie des analyses de sûreté », *Andra*, 1995.
- RAIMBAULT Philippe, ESCALIER DES ORRES P., LIDOVE S., MARIVOET J., MARTENS K.H. et PRIJ J., *Everest Project. Working group n°2. Scenario selection*, Commission des Communautés Européennes, novembre 1994.
- RAIMBAULT Philippe, et GOBLET P., *Results from the Metis Code Participation to the Hydrocoin Exercice*, IPSN/CEA, avril 1987.
- RAIMBAULT Philippe, THORNER Pablo, DALLIAS, PERRAUD et HOORELBEKE Jean-Michel, « Audition de l'Andra sur la démarche de sûreté », *Andra*, 1995.
- ROUSSELY François, *Avenir de la filière nucléaire française. Synthèse du rapport*, 16 juin 2010.
- SAAS Arsène, *Compte-rendu de la réunion du 31 mai 1994 (1ère réunion)*, CNE, juin 1994.
- SAAS Arsène, *Compte-rendu de l'audition de la Commission Nationale d'Évaluation du 12 octobre 1994*, CNE, 1994.
- SAAS Arsène, *Compte rendu définitif de la préparation, de l'audition et du suivi de la réunion CNE du 8 janvier 1998*, CNE, 4 mars 1998.
- SECRETARIAT GÉNÉRAL DU GOUVERNEMENT (ed.), *Compte rendu de la réunion interministérielle tenue le lundi 26 janvier 1998 à 17h sous la présidence de Mme Bettina Laville, conseiller pour l'aménagement du territoire et l'environnement, de M. Bertrand Mabile et M. Olivier Coste, conseillers techniques au cabinet du Premier ministre. Questions nucléaires*, 29 janvier 1998.
- SOUSSELIER Yves et VAN KOTE Francis, « Critères d'acceptation pour le stockage définitif souterrain des déchets nucléaires », in *Radioactive Waste Management vol. 3*, Vienne, International Atomic Energy Agency, 1984, p.3-28
- STOHR Philippe, *35ème réunion du Conseil Scientifique du mercredi 16 mai 2001. Compte rendu de la réunion générale*, Andra, 21 mai 2001.
- STOHR Philippe, *36ème réunion du Conseil Scientifique du mardi 26 juin 2001. Compte rendu de la réunion générale*, Andra, 2001.
- TEVISSSEN E., *Remarques sur le rapport d'évaluation CNE n°3*, Andra, 22 septembre 1997.
- THORNER Pablo, *Compte-rendu de la réunion OCDE/AEN sur la constitution d'une base de données de FEPs.*, Andra, 9 décembre 1993.
- THORNER Pablo, *Troisième réunion OCDE/AEN sur la constitution d'une base de données de FEPs*, Andra, 23 mars 1994.
- THORNER Pablo, *Quatrième réunion FEPs OCDE/AEN.*, Andra, 21 novembre 1994.

THORNER Pablo, *Analyse et choix de méthodes d'établissement des scénarios de sûreté pour la post-fermeture*, Andra, 13 décembre 1995.

THORNER Pablo, « Outils de calcul Oasis », *Andra*, 1995.

THORNER Pablo, *Compte-rendu de la première réunion de préparation au GP*, Andra, 5 février 1996.

THORNER Pablo, *Sûreté des stockages profonds. Identification des scénarios pour l'analyse de sûreté post-fermeture. Document récapitulatif*, Andra, 28 mars 1996.

TROUILLER Alain, *45e réunion du Conseil Scientifique de l'Andra du lundi 30 juin 2003. Compte rendu de la réunion générale*, Andra, 7 août 2003.

TROUILLER Alain, *46e réunion du Conseil Scientifique de l'Andra du vendredi 24 octobre 2003. Compte rendu de la réunion générale*, Andra, 2003.

TROUILLER Alain, *Compte rendu. 50e réunion du Conseil Scientifique de l'Andra du 09 mars 2005*, Andra, 12 mai 2005.

VAN KOTE Francis, *Action communautaire PAGIS. Évaluation des performances d'un stockage de déchets de haute activité vitrifiés dans le granite. Situation et bilan des études effectuées par l'Andra*, Andra/CEA, 1985.

VAN KOTE Francis et PERES Jean-Marc, *Lettre à J. Lewi. Action PAGIS. Option Granite. Calculs « Best Estimate »*, Andra, 11 mars 1986.

VOINIS Sylvie, *Données actuelles sur les caractéristiques physico chimiques des radioéléments*, Andra, mai 1991.

VOINIS Sylvie, DE MÉRÉDIEU Jean, LIEBARD Florence, GRIFFAULT Lise et PÉPIN Guillaume, « RFMD2-b », *Andra*, 2013.

ANNEXE 1. COMMENTAIRE SUR LES SOURCES UTILISÉES

Cette recherche s'appuie sur différents types de sources, écrites et orales : des archives, de la littérature grise, la bibliographie sur l'histoire de la gestion des déchets nucléaires ainsi que des observations et une série limitée d'entretiens. Les documents écrits constituent la source d'information principale sur les pratiques et les événements discutés dans ce travail. Les sources orales n'ont été utilisées que pour compléter le récit et lui donner un peu plus corps.

I. LES ARCHIVES

La plupart des documents cités dans cette thèse ont été consultés dans les archives de l'Andra. Salarié de l'Agence entre novembre 2012 et octobre 2015, j'ai pu avoir accès à ce fond. Ces archives sont constituées de documents de travail (notes techniques), de correspondances, de compte-rendus de réunion et de rapports produits par les salarié.es de l'Andra, leurs correspondant.es et leurs sous-traitants depuis 1979. Les versements diffèrent en fonction des époques, des politiques d'archivage et de l'identité du versataire. Un incendie chez la société gestionnaire de ces archives en a détruit une partie. Mon accès à ces archives a été quasi-total : à part certaines archives de la direction générale de l'Andra, j'ai eu accès à l'ensemble des boîtes que j'ai demandé. J'ai consulté plusieurs dizaines de boîtes d'archives (cf. Annexe 2 pour la liste des boîtes dont sont extraites les sources citées). Celles-ci ne constituent qu'une infime quantité des quelques kilomètres linéaires d'archives de l'Andra. De plus, j'ai pu consulter certains documents récents, déposés par les salarié.es de l'Agence sur un serveur interne.

À partir de rapports et de notes techniques, il est difficile d'avoir accès aux pratiques des chercheurs et chercheuses qui les produisent. La publication d'un travail scientifique, même lorsqu'elle décrit techniquement un protocole expérimental, est toujours une réécriture *a posteriori* de l'activité effectuée et du cheminement ayant abouti aux conclusions présentées⁹²⁸. De ce fait, les documents les moins formels, écrits pour un petit nombre de destinataires, sont souvent plus intéressants que les rapports sur les pratiques et les difficultés rencontrées.

928 Bruno Latour et Steve Woolgar, *La Vie de laboratoire. La production de faits scientifiques*, trad. Michel Biezunski, Paris, France, La Découverte, 1988 ; Bruno Latour, *La Science en action. Introduction à la sociologie des sciences*, trad. Michel Biezunski, Paris, France, La Découverte, 2005.

Les compte-rendus des auditions de la Commission Nationale d'Évaluation ont constitué une source majeure pour cette thèse. Ceux-ci sont réalisés par le ou la secrétaire de la Commission et ils retranscrivent les propos tenus lors des discussions. Les auditions de la CNE durent une demi-journée ou une journée entière. Elles portent sur un thème précis, défini par la Commission. L'Andra ou le CEA proposent une série d'exposés sur le thème choisi. Parfois des salarié.es d'autres institutions sont invités à s'exprimer (sous-traitants, chercheurs ou chercheuses confronté.es à des problématiques rencontrées dans la gestion des déchets nucléaires, employé.es des ministères...) Les exposés sont suivis d'une discussion avec les membres de la CNE. Les exposés effectués ne sont pas retranscrits dans les compte-rendus : seuls des résumés rédigés par les auteur.es des exposés, accompagnés parfois des transparents projetés, sont insérés dans les comptes-rendus. La CNE organise une dizaine d'auditions par an dont la moitié environ est consacrée aux activités de l'Andra.

La CNE occupe une place stratégique après 1991. De plus, elle constitue un groupe stable, de petite taille (douze membres), dont la composition évolue peu. Les auditions de la Commission sont des arènes fermées et les comptes-rendus des auditions ne sont pas destinés à circuler largement. Pour ses différentes raisons, les compte-rendus m'ont permis de suivre l'évolution des questionnements qui se posent à l'Agence depuis la mise en place de la Commission en 1994. Ils m'ont aussi permis de comprendre ce qui importe à différents moments (l'implantation des laboratoires souterrains, le développement de la simulation numérique, la préparation du *Dossier 2005...*) Ses comptes-rendus permettent également d'entrevoir l'évolution des relations entre les membres de la CNE et les salarié.es de l'Andra.

Les compte-rendus des réunions du Groupe Permanent Déchets et du Conseil Scientifique de l'Andra ont également constitué des séries de documents particulièrement intéressantes pour mon travail. Toutefois, le Groupe Permanent est une assemblée bien plus large que la CNE et il se réunit plus rarement. Ses membres appartiennent à différentes institutions dont l'Andra, le CEA et les producteurs de déchets. De ce fait, il m'a été plus difficile de saisir les enjeux des discussions durant les réunions du Groupe Permanent. Quant aux compte-rendus des réunions du Conseil Scientifique de l'Andra, ils ne retranscrivent pas les discussions mais les résument.

Quelques chapitres sont écrits à partir d'ensembles documentaires particuliers. Le chapitre 1 mobilise un ensemble de documents produits dans le cadre du programme Pagis de la Commission des Communautés Européennes. Tous n'ont pas été écrits par des salarié.es de l'Andra mais ils ont été compilés dans le cadre de la participation de l'Andra à ce projet européen. Les chapitres 2 et 3 reposent sur un ensemble de correspondances échangées à propos de l'implantation d'un laboratoire souterrain dans la Vienne. Cette correspondance est échangée par le directeur général de l'Andra ou

d'autres salarié.es de l'Agence avec des élus locaux, des sous-traitants de l'Agence, des membres de cabinets ministériels, des membres de la CNE ou du Groupe Permanents Déchets ou encore avec d'autres salarié.es de l'Andra. Enfin, le dernier chapitre repose sur les documents soumis à revue lors de la RFMD et les documents auxquels ils réfèrent. Ceux-ci m'ont été communiqués par des salarié.es de l'Andra.

II. LA LITTÉRATURE GRISE

Un certain nombre de documents utilisés dans cette thèse sont librement accessibles sur Internet. Tout d'abord, l'Andra met à disposition sur son site Internet (www.andra.fr) les rapports qu'elle a produit depuis 2000 : le *Dossier 2001*, le *Dossier 2005* et le *Dossier 2009*. L'Agence a également publié plusieurs documents explicitant différentes facettes du projet de stockage qu'elle porte. Elle met à disposition sur Internet son journal (*Le Journal de l'Andra*), ses communiqués de presse ainsi que ses rapports d'activité annuels et l'inventaire national des matières et déchets nucléaires.

L'AIEA a mis en ligne une série de documents issus de ces archives. Ceux-ci ne sont pas tous édités par l'AIEA. On y trouve notamment un ensemble de recueils des présentations effectuées lors de conférences internationales. Les rapports de la CNE sont sur Internet ainsi que les rapports de l'AEN. Les rapports parlementaires également. Les compte-rendus des débats parlementaires des lois de 1991 et 2006 sont publiés au *Journal Officiel* et disponibles sur Internet. L'IEER a également publié sur Internet les rapports d'évaluation des recherches de l'Andra que l'Institut a produit en 2005 et 2011 ; les réponses de l'Andra à ses rapports sont également disponibles en ligne. Enfin, j'ai aussi utilisé quelques articles de la presse nationale (*Le Monde*, *Le Figaro*, *Les Échos...*), notamment pour éclairer les débats politiques autour de l'activité de l'Andra.

III. LA BIBLIOGRAPHIE SECONDAIRE

Plusieurs travaux en sciences sociales, commentés dans l'introduction de cette thèse, traitent de l'histoire de la gestion des déchets nucléaires. L'histoire des controverses autour de l'immersion des déchets nucléaires s'appuie principalement sur le travail de l'historien Jacob D. Hamblin⁹²⁹. Les thèses de Jean-Claude Petit et de Yannick Barthe ont constitué des sources d'information importantes, notamment sur la période antérieure à 1991⁹³⁰. Soulignons notamment que Y. Barthe a reproduit un nombre important de documents d'archive en annexe de sa thèse.

En 2013, Jacques Faucheux, ancien maire (PS) de Falaise, a publié une fiction librement inspirée de ses souvenirs de la proposition faite en 1993 par Christian Bataille d'étudier l'opportunité d'implanter un laboratoire souterrain sur la commune qu'il administrait⁹³¹. Il y raconte les débats et l'opposition que ce projet a vite suscité. Si sa forme romancée impose de considérer ce témoignage avec précaution, le récit de J. Faucheux permet d'appréhender la teneur des débats suscités par l'implantation des laboratoires souterrains au début des années 1990.

Plusieurs récits, documents et analyses des luttes contre les recherches géologiques entreprises par l'Andra à la fin des années 1980 ont été publiés par des collectifs antinucléaires⁹³². Ces publications permettent d'apprécier l'ampleur et l'intensité de la mobilisation contre le projet de l'Andra à la fin des années 1980. Pour la période récente, le site <https://vmc.camp> publie des communiqués des opposant.es à Cigéo mobilisé.es à Bure suite au débat public de 2013 et des récits des manifestations contre le début du chantier qui donnent un aperçu du renouveau de la conflictualité autour du stockage.

929 J. Hamblin, *Poison in the Well*. *op.cit.* ; Jacob Darwin Hamblin, « Visions of International Scientific Cooperation: The Case of Oceanic Science, 1920–1955 », *Minerva*, 2000, vol. 38, n° 4, pp. 393-423 ; Jacob Darwin Hamblin, « Environmental Diplomacy in the Cold War: The Disposal of Radioactive Waste at Sea during the 1960s », *The International History Review*, 2002, vol. 24, n° 2, pp. 348-375 ; Jacob Darwin Hamblin, « Hallowed Lords of the Sea », *Osiris*, 2006, vol. 21, n° 1, pp. 209-228 ; Jacob Darwin Hamblin, « Gods and Devils in the Details: Marine Pollution, Radioactive Waste, and an Environmental Regime circa 1972 », *Diplomatic History*, 2008, vol. 32, n° 4, pp. 539-560.

930 J.-C. Petit, « Le stockage des déchets radioactifs : perspective historique et analyse sociotechnique » *op.cit.* ; Yannick Barthe, « La mise en politique des déchets nucléaires. L'action publique aux prises avec les irréversibilités techniques » *op.cit.*

931 J. Faucheux, *Le Laboratoire*, *op.cit.*

932 Association contre le nucléaire et son monde (ed.), *Le Temps des déchets*, *op.cit.* ; Association contre le nucléaire et son monde (ed.), *Histoire lacunaire de l'opposition à l'énergie nucléaire en France*, *op.cit.* ; G. Jarry et Otto T., *Village toxique*, *op.cit.* ; Collectif, *Le gouvernement par la peur au temps des catastrophes. Réflexions anti-industrielles sur les possibilités de résistance*, *op.cit.*

IV. LES SOURCES ORALES

Quelques sources orales ont également été utilisées pour l'écriture de cette thèse. Entre le printemps 2014 et le printemps 2015, j'ai réalisé six longs entretiens semi-directifs. J'ai rencontré :

- un géochimiste de l'Andra travaillant sur les mécanismes de diffusion dans l'argile (avril 2014)
- un géologue travaillant à l'Andra depuis les années 1990 et coordinateurs des recherches dans le laboratoires souterrain de Bure durant les années 2000 (décembre 2014)
- une géochimiste de l'Andra, travaillant à Bure depuis la fin des années 1990 (décembre 2014)
- un géologue responsable des reconnaissances géologiques dans le granite de la Vienne (janvier 2015)
- un membre de la CNE entre 1994 et 2006 et du Groupe Permanent Déchets, participant à la Commission Castaing durant les années 1980 (février 2015)
- un membre d'un cabinet ministériel entre 1997 et 2000 (mai 2015)

Mon statut de salarié de l'Andra entre 2012 et 2015 m'a facilité le contact avec ces personnes. Toutefois, plusieurs de mes demandes d'entretien avec d'anciens salariés de l'Andra ou des membres de cabinets ministériels sont restées sans réponse, malgré quelques relances. Par ailleurs, en tant que salarié de l'Andra entre 2012 et 2015, j'ai assisté à différentes réunions au sein de l'Agence. J'ai eu également de nombreuses discussions informelles avec des salarié.es de l'Agence. J'ai aussi pu visiter le laboratoire souterrain de Bure et l'usine Areva de La Hague.

L'argument de cette thèse s'appuie peu sur les sources orales ainsi collectées. Celles-ci ont principalement été utilisées pour confirmer certaines de mes interprétations des archives et pour donner un peu plus corps au récit. Dans le chapitre 7 uniquement, j'accorde une grande place aux propos tenus en réunion lors de la Revue Finale des Modèles et des Données (RFMD). En effet, j'ai assisté à trois réunions de ce processus de revue en juillet, septembre et décembre 2013 durant lesquelles j'ai pu prendre des notes. Celles-ci ont duré plusieurs heures chacune. Les comptes-rendus de ces réunions sont très succincts et ils ne relatent pas la teneur des discussions ayant eu lieu durant ces réunions.

J'ai anonymisé les noms des personnes uniquement lorsqu'ils proviennent de sources orales.

Pour réaliser cette thèse, j'ai donc eu accès à un important fond d'archives, très peu exploité par des historien.nes jusqu'alors. Seule Julie Blanck a également travaillé sur ces archives. La quantité d'archives disponibles a nécessité de faire des choix sur les périodes et les sujets traités : une étude exhaustive de ce fond était matériellement impossible. Suivant la méthode chère aux études sociales des sciences d'approcher les pratiques savantes par l'étude des controverses, j'ai choisi de focaliser mon travail sur certains moments et certains débats qui sont relatés dans les différents chapitres de cette thèse. L'opportunité rare d'étudier les archives de l'Andra explique ma focalisation quasi-exclusive sur ce fond et sur le travail de cette Agence. L'importance de ce fond explique également pourquoi j'ai privilégié les sources écrites et assez peu cherché à interviewer les acteurs de l'histoire détaillée dans cette thèse.

ANNEXE 2. RÉFÉRENCES ANDRA DES BOITES DONT SONT EXTRAITES LES SOURCES CITÉES DANS CETTE THÈSE

98 0307_145	2001 0992_2
98 0648_16	2002 0328_2
98 0808_1	2002 0328_3
99 0540_1	2002 0328_4
2000 0014_1	2002 0383_2
2000 0107_2	2002 0387_2
2000 1136_1	2002 0387_3
2000 1307_2	2003 0002_3
2000 1324_1	2003 0107_1
2001 0065_6	2003 0449_20
2001 0069_1	2004 0134_2
2001 1120_1	2004 0146_1
2001 0162_1	2005 0002_8
2001 0162_2	2006 0182_1
2001 0162_3	2009 0051_2
2001 0162_4	2010 0028_53
2001 0179_1	2010 0028_54
2001 0184_1	2010 0046_1
2001 0561	2010 0046_2
2001 0932_1	2010 0046_4
2001 0992_1	2011 0085_7

III.2. Un débat parlementaire sur le nucléaire.....	76
III.3. Une loi et quinze ans de recherche.....	79
III.4. Centralité de la recherche et gouvernement de l'aval du cycle.....	81
III.4.1. À la recherche de sites où implanter des laboratoires souterrains.....	81
III.4.2. L'impératif politique de mener des recherches de qualité.....	82
III.4.3. Autonomie et contrôle de l'expertise.....	83
III.4.4. Éviter toute remise en cause de l'inévitabilité du stockage.....	86
Conclusion partielle.....	88
Conclusion. Démontrer la sûreté est possible, à condition de trouver un site.....	89
Chapitre 2. Y a-t-il des éléments rédhibitoires à l'implantation d'un stockage ? Controverses autour de la géologie d'une formation granitique.....	93
I. La difficile étude du granite de la Vienne.....	95
I.1. Arrivée de l'Andra dans la Vienne.....	96
I.2. Un premier bilan des reconnaissances géologiques.....	99
I.2.1. Caractérisation de la couverture sédimentaire.....	100
I.2.2. Une surprise et différents types de granite.....	101
I.2.3. Fracturation du granite.....	102
I.3. Choisir un secteur où implanter un laboratoire.....	103
I.4. Modélisation hydrogéologique et représentativité des observations.....	104
I.4.1. Fracturation et circulations hydrogéologiques.....	104
I.4.2. Évaluer la perméabilité d'un granite.....	105
Conclusion partielle.....	110
II. Première évaluation du travail de l'Andra et premières critiques.....	111
II.1. Importance de l'évaluation.....	111
II.1.1. La Préparation de la réunion du Groupe Permanent.....	112
II.1.2. Prudence sur la caractérisation de l'hydrogéologie de la Vienne.....	114
II.1.3. Optimiser le programme de recherche dans le laboratoire souterrain.....	115
II.2. Un désaccord sur les qualités du granite de la Vienne.....	116
II.2.1. La perméabilité du granite est-elle faible ?.....	116
II.2.2. Rupture du cadre de la discussion.....	118
II.2.3. Des incertitudes qui ne sont pas rédhibitoires.....	121
II.2.4. Un avis général du Groupe Permanent partagé.....	122
Conclusion partielle.....	124
III. Une accumulation de critiques.....	125

III.1. Le rapport n° 2 de la CNE.....	125
III.2. Quelle est la faisabilité d'un stockage modulaire dans des blocs de granite « sains » ?	126
III.2.1. Représentativité des observations dans le laboratoire souterrain.....	127
III.2.2. Un concept de stockage modulaire dans un réseau hypothétique de fractures.....	128
III.2.3. Sceller des ouvrages dans le granite.....	131
III.3. Le rapport n° 3 de la CNE et la qualité des prélèvements hydrogéologiques.....	133
Conclusion partielle.....	137
Conclusion. Règle de sûreté, éléments rédhitoires et analyse globale.....	139
Chapitre 3. « Occuper utilement le terrain » puis attendre. Tractations politiques autour l'implantation des laboratoires souterrains.....	143
Prologue.....	143
Introduction.....	144
I. Prendre une décision au bon moment.....	146
I.1. Décider rapidement ou attendre un peu.....	149
I.1.1. Les élections et le climat politique.....	150
I.1.2. La frustration des élu.es et les ressources imprévues de l'attente.....	151
I.1.3. Le temps des recherches et celui de la décision.....	152
I.1.4. Attendre les avis de la CNE et de la DSIN.....	153
I.1.5. La difficulté d'« occuper le terrain ».....	154
I.2. Vers une décision progressive.....	155
I.2.1. Quatre départements, quatre situations.....	155
I.2.2. Une décision progressive et différentes options.....	156
I.2.3. Deux ou trois laboratoires.....	157
Conclusion partielle.....	158
II. Défendre l' « esprit de la loi » par une décision rapide.....	159
II.1. L'Instruction administrative des dossiers de demande d'autorisation des laboratoires... ..	160
II.1.1. L'Exclusion des laboratoires souterrains du monde du nucléaire.....	160
II.1.2. Vigilance lors de l'instruction des demandes de construction des laboratoires souterrains.....	161
II.1.3. Le Vote des collectivités territoriales.....	162
II.2. Les Conséquences collatérales d'une erreur politique.....	166
II.2.1. La Dissolution de l'Assemblée Nationale et la nomination d'un gouvernement de « gauche plurielle ».....	166
II.2.2. Les Tractations dans les cabinets ministériels.....	168

II.3. Une accumulation des critiques.....	170
II.3.1. Les Critiques de la CNE sur les qualités du granite.....	170
II.3.2. L'Andra attend, les ennuis s'accroissent.....	172
II.4. Des mobilisations pour une décision.....	174
II.4.1. Chercheurs et élu.es pour la construction d'un laboratoire dans la Vienne.....	174
II.4.2. La direction et les salarié.es au secours de l'Agence pour l'intérêt national.....	176
Conclusion partielle.....	180
III. Deux laboratoires mais un seul site.....	182
III.1. Une recommandation et un ultime appel.....	182
III.2. Une demi-décision qui enterre les recherches sur le granite.....	183
Conclusion.....	186
Des laboratoires pour la recherche et pour le spectacle.....	187
Gérer la temporalité et veiller sur l'« esprit de la loi ».....	188
Quelle analyse faire de cette décision ?.....	189
Chapitre 4. Des outils pour analyser la sûreté. Scénarios, simulation numérique et représentations de l'évolution d'un stockage.....	193
I. Analyser la sûreté avec méthode.....	195
I.1. Définir des fonctions pour chaque barrière.....	196
I.2. Lister exhaustivement ce qui impacte le stockage.....	198
I.2.1. Donner une base commune aux analyses de sûreté.....	199
I.2.2. Une liste d'objets hétéroclites comme base commune.....	201
I.2.3. Construction des scénarios et utilisation des FEP's à l'Andra.....	203
I.3. L'Analyse de sûreté dans le Dossier 2001.....	206
Conclusion partielle.....	209
II. Calculer l'impact radiologique d'un projet de stockage.....	211
II.1. Développer un outil de simulation total : espoirs et limites.....	213
II.2. Se préparer à démontrer la sûreté d'un stockage en 2005.....	215
II.3. Calculer les échanges radiologiques entre mailles.....	217
II.3.1. Calculer le transfert de radionucléides d'une maille à l'autre.....	219
II.3.2. Que mangeront les populations de la Manche dans un million d'années ?.....	221
II.4. Des exercices pour tester les outils de calcul.....	222
II.4.1. Représentation du stockage et structure de l'outil numérique.....	223
II.4.2. Sensibilité des calculs et représentativité des modèles.....	227
Conclusion partielle.....	229

III. Vers une transformation des usages et des pratiques de simulation numérique.....	230
III.1. Un état des lieux des outils de calcul	231
III.2. Développer une plate-forme numérique et fédérer des équipes de recherche.....	233
III.3. Déplacement du rôle de la simulation numérique dans l'analyse de sûreté.....	235
Conclusion partielle.....	238
Conclusion. Une analyse globale indispensable et impossible.....	239
Chapitre 5. Le Dossier 2005, un rapport massif aux conclusions modestes pour une politique mesurée.....	243
I. Préparer l'échéance de 2005 dès le début des années 2000.....	246
I.1. Un contrat pour structurer la recherche.....	246
I.2. Le Dossier 2001, un dossier test.....	247
I.3. L'Évaluation par la CNE des calculs effectués.....	249
I.4. Une revue internationale sur le Dossier 2001.....	252
I.5. La Réception des conclusions de la revue AEN par la CNE.....	254
I.6. Ne pas arriver sur un constat d'échec en 2005.....	256
Conclusion partielle.....	257
II. Montrer la faisabilité d'un stockage et construire l'adhésion du public.....	258
II.1. Adapter le programme expérimental au retard dans le creusement du laboratoire.....	260
II.2. L'importance relative des essais dans le laboratoire souterrain.....	261
II.3. Anticiper l'après 2006 sans court-circuiter le débat parlementaire.....	262
II.4. Un apprentissage commun de la manière de démontrer la sûreté et de l'évaluer.....	264
II.5. Apprécier les termes du débat public.....	267
Conclusion partielle.....	269
III. Le Dossier 2005 : un rapport massif et modeste.....	270
III.1. Organisation de la recherche à l'Andra.....	270
III.1.1. Le Conseil scientifique, conseiller et garant.....	270
III.1.2. Une politique scientifique tournée vers le monde académique.....	273
III.2. Des conclusions mesurées pour un dossier convaincant.....	275
III.2.1. L'avis du Conseil scientifique sur le Dossier 2005.....	275
III.2.2. Structure et conclusions du Dossier 2005.....	276
III.2.3. Calculs et données dans le Dossier 2005.....	279
III.2.4. La méthode comme garante de la confiance.....	280
III.2.5. L'action mesurée, un engagement vertueux.....	284
Conclusion partielle.....	287

Épilogue : Un débat public et une loi.....	288
Conclusion. Obligation de produire un rapport convaincant et poursuite des recherches.....	290
Chapitre 6. Vers le creusement du stockage. Expérimentations dans le laboratoire souterrain, implantation locale et recherches en sciences sociales.....	295
I. Multiplication des essais dans le laboratoire souterrain.....	296
I.1. Étudier le couplage des phénomènes aux interfaces entre les matériaux.....	297
I.2. Mise en place d'une expérience dans le laboratoire souterrain.....	301
I.3. Démontrer la faisabilité technique du stockage.....	305
Conclusion partielle.....	308
II. Implantation locale, gestion de la critique et financement du stockage.....	309
II.1. Où implanter le stockage ?.....	309
II.2. L'évaluation difficile des recherches effectuées par l'Andra.....	312
II.2.1. Les experts de l'IEER submergés par la documentation de l'Andra.....	312
II.2.2. Des critiques discréditées.....	314
II.3. Un stockage trop cher.....	317
Conclusion partielle.....	321
III. Sciences sociales et gouvernance de Cigéo.....	323
III.1. Quelle gouvernance pour Cigéo ?.....	324
III.2. Réversibilité et matérialité du stockage.....	330
III.3. Manifester tous les dix ans contre Cigéo ?.....	332
III.4. Agir pratiquement dans un monde incertain.....	334
III.5. Légitimité, volonté, pouvoir et cécité.....	336
III.5.1. La participation, source de légitimité des décisions.....	336
III.5.2. Une délibération sous conditions.....	338
III.5.3. Quelle volonté ?.....	339
III.5.4. Pourquoi participer ?.....	342
Conclusion partielle.....	343
Conclusion. Engager le projet de stockage malgré l'existence inexorable d'incertitudes.....	345
Chapitre 7. « Ne pas trop se faire peur ». Sélectionner des hypothèses pour les calculs d'impact et anticiper leurs conséquences.....	349
I. Objets et déroulement des revues.....	352
I.1. La RFMD-1, une revue sur les phénomènes et les connaissances.....	352
I.2. Les revues RFMD-2a et RFMD-2b, des revues sur la caractérisation du stockage.....	355
II. Faire face aux incertitudes, faire avec les incertitudes	357

II.1. Ignorer les incertitudes sans importance.....	357
II.2. Majorer les conséquences potentielles d'un phénomène mal compris, la surpression dans le Callovo-Oxfordien.....	358
II.3. Prendre en compte les évolutions de la compréhension du comportement de la zone endommagée.....	361
II.3.1. Représentativité des observations dans la niche.....	363
II.3.2. Comportement de l'EDZ après fermeture.....	364
II.3.3. Circulations gazeuses dans la zone endommagée.....	366
Conclusion partielle.....	368
III. États et évolutions du stockage.....	369
III.1. La difficile détermination des états successifs du stockage.....	369
III.1.1. La vitesse de dégradation du verre nucléaire.....	370
III.1.2. Composition des bétons dans trente ans et robustesse de la conception du stockage	371
III.1.3. Des évolutions possibles de l'inventaire et de l'architecture du stockage.....	372
III.2. Scénarios et évolutions du stockage.....	374
III.2.1. Construire un scénario comme on raconte une histoire.....	374
III.2.2. Répartition des colis dans Cigéo.....	375
III.3. Choix des exutoires et capacité technique du groupe critique.....	377
Conclusion partielle.....	380
IV. Caractérisation des colis et inventaire radiologique du stockage.....	381
IV.1. Dresser un état des lieux des connaissances sur les colis.....	381
IV.1.1. Des colis parfaits pour la première tranche de Cigéo.....	381
IV.1.2. Établir un état des connaissances sur les colis.....	383
IV.1.3. Identifier les données bloquantes parmi celles dont l'absence est préjudiciable....	385
IV.2. Définir un inventaire radiologique pour Cigéo.....	386
IV.2.1. Construction des inventaires de référence.....	386
IV.2.2. Quelle confiance attribuer aux données fournies par les producteurs de déchets ?	389
IV.3. Définir des marges sur les inventaires radiologiques.....	391
IV.3.1. Différentes marges en fonction des niveaux de connaissance.....	392
IV.3.2. Évolution des facteurs de marge.....	394
IV.3.3. Construction des inventaires par analogie.....	396
Conclusion partielle.....	397
Conclusion. Un exercice réaliste pour une démonstration robuste ?.....	399

Conclusion.....	404
I. Des outils pour appréhender l'évolution du stockage.....	407
II. Gérer des déchets pour stabiliser l'industrie électro-nucléaire.....	411
III. Une histoire conflictuelle.....	414
Bibliographie.....	420
Liste des sources.....	440
Annexe 1. Commentaire sur les sources utilisées.....	454
I. Les archives.....	454
II. La littérature grise.....	456
III. La bibliographie secondaire.....	457
IV. Les sources orales.....	458
Annexe 2. Références Andra des boîtes dont sont extraites les sources citées dans cette thèse.....	462
Table des matières.....	464