

Stockage des déchets radioactifs en formations géologiques : archives, marqueurs et populations

Un défi d'intégration plurimillénaire

C. Pescatore, C. Mays*

Les spécialistes de la gestion des déchets radioactifs réfléchissent depuis longtemps au moyen de repérer durablement l'emplacement des centres de stockage, de sorte que les générations futures puissent en comprendre l'utilité et les dangers même si les archives écrites ont été perdues.

Pendant des années, on a considéré que le but de cette démarche était essentiellement de prévenir toute intrusion humaine involontaire dans un centre de stockage et donc l'exposition d'une personne aux rayonnements, l'intrusion pouvant également causer l'endommagement du système de dépôt et mettre en danger la population actuelle et les générations futures¹. Plus récemment, d'autres objectifs ont été évoqués, parmi lesquels le souhait de laisser aux générations futures une certaine latitude, au cas où elles décideraient de récupérer les déchets pour des raisons dépassant éventuellement le seul cadre de la sûreté, par exemple l'exploitation rentable du potentiel énergétique encore présent dans les déchets.

Au cours de leurs travaux de conceptualisation et de conception de marqueurs et d'archives, les scientifiques se sont jusqu'à présent surtout

concentrés sur la durabilité, en supposant que les centres de stockage seraient – et resteraient – totalement isolés de leur environnement culturel. Cependant, une nouvelle vision émerge aujourd'hui, selon laquelle il pourrait être utile de considérer les centres comme un élément du tissu social. La conservation de la mémoire serait alors facilitée par des mesures visant à mieux impliquer la communauté, et on pourrait aller jusqu'à prévoir que ces communautés créent leurs propres marqueurs en temps voulu, afin de remplacer les marqueurs plus anciens devenus obsolètes ou en partie effacés.

Il importe, d'une part, de comprendre que les centres de stockage resteront dangereux pendant une durée bien supérieure à quelques milliers d'années et, d'autre part, d'accepter que la capacité de la génération actuelle à préserver l'intégrité des structures est non pas éternelle, mais décroissante avec le temps. Il pourrait donc être nécessaire de penser en termes d'« avenir renouvelé », chaque génération se chargeant d'assurer la continuité et la sûreté du stockage pour les quelques générations suivantes, dans un souci constant de flexibilité et d'adaptabilité aux circonstances à mesure qu'elles évoluent. Le problème de la conception d'archives et de marqueurs physiques aussi durables que possibles (approche technologique) est toujours d'actualité². Toutefois, on commence à comprendre que ces archives et marqueurs peuvent être complétés par – ou intégrés à – une tradition culturelle qui naîtrait à l'époque de la planification et de l'ouverture d'un centre de stockage et se perpétuerait bien après la fermeture du centre.

* M. Claudio Pescatore (claudio.pescatore@oecd.org) est Administrateur principal dans la Division de la protection radiologique et de la gestion des déchets radioactifs de l'AEN. Mme Claire Mays (claire.mays@oecd.org) est consultante auprès de l'AEN sur les questions de démarche participative et de processus décisionnels.

Un principe fondamental

Pour concevoir des marqueurs et des contrôles institutionnels du stockage en formation géologique, on se fondait jusqu'à présent sur l'hypothèse classique selon laquelle la sûreté est mieux garantie si l'installation est construite en un lieu éloigné de la population et de la communauté environnante et isolée par des barrières. Dans ce cas, les contrôles actifs envisagés pouvaient inclure des clôtures et des gardes de surveillance limitant l'accès au site, y compris après sa fermeture. Étant donné qu'il est impossible d'être absolument sûr que les générations futures entretiendront, surveilleront et interagiront avec l'installation, on admettait que les structures institutionnelles responsables des contrôles en place pourraient se désagréger. Dans cette éventualité, on a intégré dans les conceptions de stockages la notion de « sûreté passive », c'est-à-dire que l'installation doit pouvoir fonctionner sans intervention ni maintenance supplémentaire. En outre, on prévoyait des marqueurs et des archives afin de transmettre les informations concernant le site et ses dangers. Néanmoins, l'hypothèse tacite était presque toujours que les mesures prises doivent maintenir les personnes éloignées du site, afin de garantir au mieux la « sûreté ».

Pourtant, dans la vie quotidienne, la notion de sûreté implique une certaine forme de contrôle et de familiarité. Même si les contrôles actifs continus peuvent finir par disparaître, la familiarité et certains éléments de contrôle indirect restent importants pour la sûreté. En outre, puisque la sûreté est liée à notre faculté d'agir librement (sans être influencé par la peur), elle l'est également à notre qualité de vie. C'est pour ces raisons que le concept même de stockage a évolué. On admet désormais qu'il englobe, outre les tâches traditionnelles de surveillance et de contrôle, d'archivage des informations et de construction de marqueurs passifs, les notions de réversibilité/récupérabilité ainsi que la participation active des collectivités locales au processus décisionnel.

La nouvelle tendance étant à une plus forte implication des collectivités locales au processus décisionnel, il devient logique d'intégrer les centres de stockage au tissu social plutôt que de les exploiter de manière isolée – et il est de plus en plus communément admis qu'une telle intégration favorise la sûreté au lieu de l'entraver. Le dialogue avec les parties prenantes nous apprend que nous devons non seulement cesser de dissimuler les centres de stockage, mais aussi les reconnaître en tant qu'élément central de la collectivité d'accueil et de son identité. Aujourd'hui, le principe fondamental est tout simplement : « Ne dissimulez pas les centres de stockage ; ne les isolez pas ; faites-en une partie intégrante de la collectivité. »

L'approche technologique : conserver l'information

Les marqueurs et archives des centres de stockage en formation géologique ont d'abord été élaborés dans le but de garantir la durabilité et la conservation des informations, deux conditions jugées essentielles à la préservation des connaissances et de leur compréhension. À l'évidence, pour être exploitable, l'information doit d'abord exister et être relativement accessible.

Les archives qui doivent durer plusieurs milliers d'années devront être régulièrement renouvelées. Le papier a une durée de vie d'environ mille ans. Nous avons accès aux textes anciens car ils ont été recopiés à des intervalles compatibles avec la durée de stockage du papier. Les données conservées sur microfilms, bandes magnétiques ou disques optiques ne sont pas aussi durables puisque les technologies d'enregistrement et de lecture associées nécessitent constamment de nouveaux supports. Aujourd'hui, qui utilise encore des disquettes ? D'où cet autre message : lorsque les échelles de temps considérées sont très longues, la technologie d'enregistrement doit être aussi élémentaire que possible. La gravure sur pierre, comme en témoigne la pierre de Rosette, est un exemple de technologie simple sans papier.

Au-delà des difficultés liées aux limitations physiques des supports technologiques et à la lisibilité des informations, nous devons aussi réfléchir au problème de la survivance des informations en cas de changement politique ou institutionnel. La meilleure stratégie consiste à conserver délibérément plusieurs exemplaires des archives sur plusieurs sites, éventuellement disséminés dans le monde entier. La Pierre de Rosette est sans doute un exemple de ce principe de duplication. Les législations nationales imposent généralement d'archiver sur plusieurs sites les informations relatives aux centres de stockage.

Cependant, pour transmettre avec succès nos connaissances aux générations futures, nous devons nous assurer que les informations sont non seulement disponibles, mais aussi compréhensibles, ce qui constitue un défi considérable. Dans tous les cas, nos descendants seront confrontés à la question de l'interprétation des données fournies. Par exemple, les inscriptions médiévales ne sont interprétables que par des spécialistes, et il a fallu attendre Champollion pour que soient enfin déchiffrés les hiéroglyphes égyptiens à partir des symboles gravés sur la pierre de Rosette. L'interprétation des données se ferait beaucoup plus naturellement si les archives étaient périodiquement renouvelées, comme cela a été le cas pour les ouvrages anciens.

Au minimum, il faut une stratégie de sensibilisation continue de la population. Certaines copies partielles des données pourront être obtenues

d'autres sources institutionnelles, par exemple du cadastre, des activités minières ou des autorités de sûreté. Ces données permettront de « trianguler » les connaissances.

Pour que l'emplacement d'un centre de stockage reste connu du plus grand nombre, il suffit, par exemple, de le mentionner sur les cartes. Les cartes sont constamment renouvelées et mises à jour, et on les utilise quotidiennement. Il est également possible de prévoir des marqueurs passifs contenant un minimum d'informations, mais construits de telle sorte qu'ils soient évocateurs et incitent les gens à se renseigner davantage. Dans ce cas, il pourrait être nécessaire d'ériger plusieurs marqueurs pour chaque centre, conformément au principe de duplication des données. Ces marqueurs peuvent être placés tant en surface – là où la population peut en permanence interagir avec eux – qu'en subsurface, de manière à informer et/ou à mettre en garde les personnes qui procéderaient à des excavations³.

Enfin, on admet de plus en plus communément qu'au-delà des actions concrètes pour maintenir les connaissances, telles que la conservation d'archives en plusieurs exemplaires, des mécanismes plus culturels – plus informels mais susceptibles de se propager spontanément et de persister – pourraient également jouer un rôle important.

Un nouvel acteur clé ?

Nous avons parlé des institutions, des exploitants de centres de stockage, des autorités de sûreté : mais qui a le plus intérêt à préserver la mémoire ? Qui est le plus susceptible de vouloir rédiger, mettre à jour et réinterpréter les archives ? Il s'agit de la collectivité locale qui vit en permanence à proximité du centre de stockage. Dans l'idéal, ces collectivités devraient considérer les centres non pas comme une menace durable, mais comme quelque chose qui fait partie du tissu social local, qui exige le respect, et qui peut créer de la valeur, que ce soit au plan de la culture, de l'agrément ou de l'économie.

Le rapport du Forum sur la confiance des parties prenantes (FSC) intitulé *Créer un lien durable entre une installation de gestion de déchets et sa collectivité d'accueil*^{4,5} examine les méthodes permettant de satisfaire l'exigence de valeur ajoutée des installations de gestion de déchets radioactifs et, partant, d'établir un lien durable – pendant plusieurs siècles voire millénaires – entre une communauté et le site d'un centre de stockage. Ne serait-il pas possible, par exemple, de faire des centres de stockage des monuments commémoratifs ? Si l'on pouvait, à partir du centre ou de son image (symbolique), ériger un monument qui présente une originalité ou une qualité esthétique, ne serait-ce pas une raison pour les communautés d'être fières de posséder le site et de l'entretenir ? La question est finalement de savoir si l'installation de surface et ses alentours

ne devraient pas devenir le marqueur même de l'existence du centre de stockage souterrain.

Au premier siècle avant Jésus-Christ, l'architecte classique romain Vitruve a défini les principes d'une architecture réussie. Selon lui, une structure doit présenter trois qualités : *firmitas*, *utilitas* et *venustas*, c'est-à-dire la solidité ou la durabilité, l'utilité et la beauté. Ces qualités sont aussi à rechercher, lorsqu'on crée une installation de gestion de déchets radioactifs, tant dans la structure physique du bâtiment que dans les avantages de l'installation pour la collectivité.

Le FSC a étudié comment concevoir et construire des centres de stockage qui créent de la valeur, culturelle ou d'agrément, pour la collectivité locale et sa région. Par valeur culturelle et d'agrément, on entend tout élément susceptible d'améliorer le bien-être et la qualité de vie, que ce soit parce qu'il est source d'originalité, d'esthétique, de commodité ou de signification, parce qu'il offre aux résidents et aux visiteurs de nouvelles possibilités de rencontres, d'apprentissage, de détente ou de loisirs, ou parce qu'il favorise le développement de la communauté, par exemple, en lui permettant d'élever le niveau de formation de sa population, d'améliorer son image ou de rehausser sa capacité à résoudre les problèmes.

À partir de l'analyse des contributions (entretiens et questionnaires) de 32 parties prenantes et de l'expérience du FSC, on a pu identifier un certain nombre de caractéristiques de conception fondamentales qui favorisent l'instauration d'un lien durable entre un centre de stockage et la collectivité d'accueil. Un centre qui présente ces caractéristiques, qui peuvent être fonctionnelles, culturelles ou physiques, a plus de chances d'être « adopté » par les résidents de la collectivité d'accueil, parce qu'il s'intègre ou s'adapte à leur mode de vie, voire parce qu'il correspond à leurs préférences.

Une valeur ajoutée dérivée de caractéristiques fonctionnelles, culturelles ou physiques

La fonction d'une installation se rapporte aux différents usages auxquels elle peut être destinée. Une installation de gestion de déchets radioactifs doit satisfaire son objectif principal, à savoir la gestion à long terme des déchets radioactifs dans des conditions optimales de sûreté et de sécurité. Mais, bien pensée dans une optique multifonctionnelle, elle peut également être source de valeur ajoutée si elle est utilisable à d'autres fins intéressant directement les résidents et les visiteurs. De même, pendant son exploitation, elle peut servir la communauté scientifique. À titre d'exemple, des expériences sur la microgravité sont menées dans le laboratoire souterrain de la mine de Tono, au Japon, et les laboratoires du centre d'El Cabril, en Espagne, et du WIPP, aux États-Unis, sont exploitables pour l'analyse et la surveillance

de l'environnement à l'échelle régionale. De plus, lorsqu'on crée une nouvelle installation, il est nécessaire de prévoir la fin de sa vie utile. Si les besoins futurs ne sont pas anticipés, l'installation court le risque de devenir un fardeau pour la collectivité. Au contraire, si elle est adaptable et flexible, elle pourra rendre des services pendant son exploitation puis être transformée, à un coût raisonnable, en une installation entièrement dédiée à la collectivité lorsqu'elle aura cessé d'être utile au plan industriel⁵. L'adaptabilité et la flexibilité, associées à une planification rigoureuse de la sûreté radiologique du site, laissent ouvertes plusieurs options possibles.

La Déclaration universelle de l'UNESCO sur la diversité culturelle établit que la culture « doit être considérée comme l'ensemble des traits distinctifs spirituels et matériels, intellectuels et affectifs qui caractérisent une société ou un groupe social et qu'elle englobe, outre les arts et les lettres, les modes de vie, les façons de vivre ensemble, les systèmes de valeurs, les traditions et les croyances ». En ce sens, la culture peut être assimilée à un ensemble d'idées et de pratiques que l'on partage. Les valeurs culturelles se retrouvent dans tout ce qui reflète et renforce le savoir, les goûts, les aspirations, les valeurs éthiques ou les croyances d'une société donnée. Elles se retrouvent également dans tout ce qui est destiné à transmettre un patrimoine reconnu, à communiquer un sens symbolique ou à promouvoir des idéaux. Les caractéristiques de conception culturelles incluent tout d'abord l'originalité, qui signifie que l'installation (ou le site) est intéressante pour le public, qu'elle est unique en son genre et qu'elle peut devenir emblématique, donc jouir d'une bonne réputation et attirer des visiteurs. Viennent ensuite la qualité esthétique et la compréhensibilité, c'est-à-dire le fait pour l'installation d'être rattachée à un savoir existant et à la vie quotidienne. Enfin, la « mémorialisation » (conversion en monument) consiste à associer au site des marqueurs physiques et culturels qui l'identifient et racontent son histoire, de manière à ce que le public comprenne ce qui s'y trouve et s'en souvienne.

Si les spécifications techniques garantissent le niveau de protection requis (condition fondamentale posée par les parties prenantes consultées pour l'étude du FSC), les caractéristiques de conception physiques, elles, contribuent à instaurer un sentiment de sécurité (autre attente des parties prenantes de la collectivité et de la région). Ces caractéristiques peuvent être combinées pour assurer l'intégration harmonieuse de l'installation à son environnement géographique et pour augmenter la valeur d'agrément globale, c'est-à-dire l'attrait de l'installation et la satisfaction générale du public. L'accessibilité signifie que le site et l'installation ne sont pas barricadés, mais ouverts et accueillants. Des collectivités locales telles que celle de Port

Hope ont fait remarquer que si un site autorisé à fonctionner peut être librement visité, traversé ou utilisé à d'autres fins, c'est qu'il est nécessairement sûr. Il ne semble donc plus imposer de contraintes à l'utilisateur, ni exclure le public de façon alarmante. Il atteint son objectif de protection sans mettre en avant la notion de danger.

Il est bien sûr impossible d'ouvrir au public toutes les zones d'une installation de gestion de déchets radioactifs, en particulier pendant la période d'exploitation. On n'appliquera donc pas nécessairement les mêmes caractéristiques de conception fonctionnelles, culturelles et physiques aux zones dont l'accès doit être restreint pour des raisons de sûreté et de sécurité. Néanmoins, l'installation et son site doivent être considérés dans leur globalité, afin d'optimiser la valeur qu'il est possible d'ajouter, au prix d'un effort raisonnable.

Une valeur ajoutée dérivée du processus de planification et de mise en œuvre

Les parties prenantes locales qui participent activement aux études techniques de sites ou qui collaborent avec les exploitants de centres de stockage dans le cadre de partenariats officiels déclarent que le processus même de définition des caractéristiques souhaitées pour une installation et un site de gestion de déchets radioactifs peut être une source de valeur ajoutée pour la collectivité. Grâce au capital social (réseaux, normes et confiance) accumulé, la collectivité est mieux préparée à résoudre d'autres problèmes ou à prendre d'autres décisions. Les parties prenantes locales peuvent également concentrer leurs efforts sur l'identité, l'image et le profil de la communauté. Même lorsqu'elles ne sont pas favorables à l'implantation d'une installation de gestion de déchets radioactifs sur leur territoire, les collectivités peuvent saisir cette occasion pour mettre en place des indicateurs de qualité de vie et réfléchir à leur orientation au cours des années suivantes. L'afflux de travailleurs hautement qualifiés est un autre avantage, qui contribue à élever le niveau de formation global des résidents de la collectivité d'accueil. Enfin et surtout, lorsqu'une communauté d'accueil demande des formations et participe à la surveillance de l'aménagement et de l'exploitation du site, elle se donne les moyens de devenir une véritable gardienne du site, et donc une barrière supplémentaire du système de défense en profondeur⁶.

Lancer au plus tôt le processus de réflexion

Il faut du temps pour concevoir de nouvelles idées, de nouvelles possibilités ainsi que les intérêts spécifiques des collectivités. C'est pourquoi, il convient d'engager dès les premières étapes de la planification, voire avant même la conclusion de l'accord d'implantation, une réflexion d'ensemble sur les aspects techniques et socio-économiques

de l'installation de gestion de déchets radioactifs envisagée, ainsi que sur sa valeur ajoutée en termes de culture et d'agrément. Les informations, les concepts et les idées tirés de cette phase de réflexion feront partie des éléments en fonction desquels une collectivité locale pourra décider de se proposer pour accueillir une installation puis participer activement aux dernières étapes du processus d'implantation.

Les institutions ne peuvent généralement pas s'engager sur la forme définitive d'une installation de gestion de déchets radioactifs avant la sélection du site, ni sur le sort ultime de l'installation et son site. En outre, la relation entre une collectivité et une installation ou son site dépend en partie d'événements extérieurs (par exemple, les performances de sûreté du secteur nucléaire et du secteur de la gestion des déchets radioactifs, les positions et déclarations des acteurs politiques, etc.). Néanmoins, il est possible de mieux préparer les projets en réalisant des études de faisabilité et des enquêtes en sciences sociales dès le début du processus décisionnel. Une démarche de ce type est conforme à la Convention d'Aarhus de la CEE-ONU qui a officiellement donné à de nombreux citoyens européens le droit de participer aux décisions concernant leur environnement.

Dans son allocution à l'occasion de la réunion du FSC de juin 2007, Janet Kotra (US NRC) a expliqué que l'obligation d'installer des marqueurs « permanents » ne peut être satisfaite que si l'on admet que les marqueurs eux-mêmes évolueront au cours du temps, autrement dit qu'ils seront intégrés aux cultures locales successives et qu'ils seront (ou devront être, dans l'idéal) remplacés quand ils se dégradent matériellement ou quand leur sens évolue. Une fois de plus, l'accent est mis sur l'importance de l'intégration du centre de stockage dans la communauté : le « renouvellement » (par opposition à la « durabilité ») de la mémoire dépend des actions qu'entreprendront les populations futures. Ces populations seront d'autant plus susceptibles de connaître et de comprendre le sens des marqueurs que ces derniers feront partie de la vie quotidienne de la communauté, au lieu d'être maintenus à l'écart, isolés et oubliés.

Conclusions

Les centres de stockage de déchets radioactifs restent dangereux pendant une durée bien supérieure à quelques milliers d'années, c'est pourquoi il est important de comprendre que la capacité de la génération actuelle de maintenir l'intégrité des structures est non pas éternelle, mais décroissante au cours du temps. Par ailleurs, il est désormais admis que nous ne devons ni nous désintéresser de ces installations une fois construites, ni chercher à les dissimuler, même si nous les croyons sûres. De fait, le public se sentira en sécurité s'il conserve au fil du temps une certaine forme de familiarité et de contrôle sur l'installation. Il est donc nécessaire de penser en

termes d'« avenir renouvelé », chaque génération se chargeant d'assurer la continuité et la sûreté du stockage pour les quelques générations suivantes, dans un souci constant de flexibilité et d'adaptabilité aux circonstances à mesure qu'elles évoluent.

La question de la conception d'archives et de marqueurs physiques aussi durables que possible (approche technologique) est toujours d'actualité. Toutefois, on commence à comprendre que ces archives et marqueurs peuvent être complétés par – ou intégrés à – une tradition culturelle qui naîtrait à l'époque de la planification et de l'ouverture d'un centre de stockage et se perpétuerait bien après la fermeture du centre. L'obligation de conserver des archives et des marqueurs « permanents » ne peut être satisfaite que si l'on admet qu'ils évolueront au cours du temps, autrement dit qu'ils seront intégrés aux cultures locales successives et qu'ils seront (ou devront être, dans l'idéal) remplacés quand ils se dégraderont matériellement ou quand leur sens changera.

Étant donné qu'un centre de stockage est appelé à faire durablement partie de sa collectivité d'accueil, il est impératif d'établir une relation fructueuse et positive avec les résidents, ceux d'aujourd'hui comme ceux de demain. En d'autres termes, les concepteurs doivent créer des installations adaptées aux actuels besoins, ambitions et préférences de la population et qui puissent être modifiées, à un coût raisonnable, en fonction des besoins et des attentes des générations futures. Le véritable enjeu est de concevoir et de construire des centres (et leurs sites) qui soient non seulement acceptés, mais véritablement intégrés à la vie locale, voire source de fierté pour la collectivité. Certaines zones des installations et des sites pourraient alors elles-mêmes devenir des témoins appréciés de l'existence d'un centre de stockage souterrain. ■

Notes

1. De nombreux types de déchets chimiquement toxiques présentent le même risque, mais ce problème ne semble pas être prioritaire dans le domaine.
2. Voir le compte rendu de l'atelier « *Record Management and Long-Term Preservation and Retrieval of Information Regarding Radioactive Waste* » organisé à Rome les 27 et 28 janvier 2003 (document disponible auprès de SKB, en Suède, ou de l'AEN).
3. Voir par exemple T.L. Tolan, « *The Use of Protective Barriers to Deter Inadvertent Human Intrusion into a Mined Geologic Facility for the Disposal of Radioactive Waste* », Sand91-7097, Sandia National Labs, juin 1993.
4. AEN (2007), *Créer un lien durable entre une installation de gestion de déchets et sa collectivité d'accueil : Valeur ajoutée à travers la conception et les processus*, OCDE/AEN, Paris.
5. Voir aussi www.nea.fr/html/pub/newsletter/2007/fr/AEN_Infos-25-1-fsc.pdf.
6. Voir www.nea.fr/html/pub/newsletter/2007/fr/AEN_Infos-25-1-rwm.pdf.