

CES - Avis sur la gestion des déchets FA-VL

La définition d'une filière de gestion à long terme des déchets radioactifs à faible activité et vie longue (FA-VL) est actuellement en chantier¹. Cet avis qui leur est consacré s'inscrit dans une double perspective : accompagner l'Andra en tant qu'opérateur de cette gestion, et contribuer au débat public sur ce sujet.

L'avis aborde les enjeux éthiques (justice intra et intergénérationnelle, justice environnementale...), épistémiques (incertitudes, démonstration de sûreté...) et démocratiques (prise de décision...) de cette gestion. Il est traversé par une triple conviction. En premier lieu, les déchets FA-VL doivent être pris en charge quel que soit l'avenir de l'énergie nucléaire, et les générations actuelles doivent assumer leurs responsabilités à leur égard. En second lieu, les FA-VL requièrent une approche ajustée à leur spécificité, notamment leur hétérogénéité, leur durée de vie et leur niveau de danger. En dernier lieu, le très long terme nous confronte aux limites de nos connaissances et de nos capacités à envisager le futur, notamment les situations d'exposition à la radioactivité auxquelles pourraient être soumises des générations très lointaines. Cela conduit à une certaine humilité et à la nécessité de fonder toute décision, non seulement en raison à l'aide des meilleures connaissances disponibles, mais également sur des choix démocratiques et éthiques explicites.

L'avis est structuré en cinq parties : il revient d'abord sur la catégorie même de déchets FA-VL et sur le cadrage légal de leur gestion ; il aborde ensuite la manière de garantir l'efficacité du concept de gestion retenu à ce stade, le stockage en faible profondeur, sur la base de l'estimation d'un niveau d'exposition à la radioactivité des populations riveraines du site retenu ; il poursuit avec l'enjeu du seuil auquel ce niveau d'exposition peut être comparé ; puis il interroge les conditions d'une gestion juste et démocratique avant de récapituler, en conclusion, les « repères pour l'action » progressivement introduits dans le texte².

FA-VL, une catégorie hétérogène d'abord définie sur un mode « ni... ni... »

La catégorie de déchets radioactifs FA-VL désigne un ensemble de déchets hétérogènes, qui « comprennent notamment des déchets de graphite, des déchets radifères, une partie des déchets bitumés de Marcoule ainsi que certains résidus de traitement de conversion de l'uranium (RTCU) d'Orano à Malvési. »³ Cette hétérogénéité se retrouve dans leurs propriétés intrinsèques, qu'il s'agisse de la durée de vie et de la mobilité de leurs radionucléides dans le sol⁴, des toxiques chimiques qu'ils contiennent ou encore de leur capacité relative à émettre du radon, un gaz radioactif, lors de leur désintégration.

Leur intégration dans une même catégorie de gestion est fondée sur leur niveau « intermédiaire » en termes de risque pour les êtres humains et l'environnement : d'un côté, ils ne sont globalement pas jugés suffisamment dangereux pour justifier de l'enfouissement en profondeur dans Cigéo⁵, solution apportant le maximum possible en termes de confinement et d'isolement ; de l'autre, certaines

¹ Pour une présentation de ces déchets et de l'historique de leur gestion, voir : <https://aube.andra.fr/optimisations-et-innovations/dechets-fa-vl>

² L'avis est issu d'un cycle d'échanges avec des spécialistes de l'Andra et des intervenants extérieurs et de deux sessions d'échanges collectifs.

³ <https://www.asn.fr/l-asn-informe/actualites/l-asn-rend-son-avis-sur-la-gestion-des-dechets-de-faible-activite-a-vie-longue-fa-vl>

⁴ L'activité de certains d'entre eux décroît significativement en quelques dizaines de milliers d'années, contrairement à d'autres qui sont à vie très longue.

⁵ A l'exception toutefois d'une partie d'entre eux, incluse dans l'inventaire de référence de Cigéo et donc susceptible d'y être enfouie en cas de changement de politique ou d'échec de la solution envisagée pour une raison quelconque.

caractéristiques physiques évoquées ci-dessus empêchent, sauf ponctuellement pour de faibles quantités, de les accueillir dans les centres de stockage en surface. C'est pourquoi, au regard d'une logique de prévention graduée en fonction des niveaux de risque, le concept de gestion retenu pour eux depuis la loi de 2006 est celui de stockage en faible profondeur, dit encore en sub-surface (à quelques dizaines de mètres de profondeur). Une note d'orientation sur la conception de tels stockages a été élaborée par l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) en 2008 puis révisée en 2018. L'objectif visé est que le stockage confine et isole les déchets *a minima* le temps nécessaire pour que la décroissance naturelle de leur activité présente un niveau de risque acceptable pour les humains et l'environnement en cas de mise en contact. Cette possibilité de contact constitue une caractéristique majeure du dossier FA-VL : elle est liée à l'érosion, susceptible, sur le très long terme, d'éliminer les quelques dizaines de mètres de couverture prévus pour le stockage.

Ces premiers éléments appellent trois commentaires. En premier lieu, il convient de garder en tête cette hétérogénéité et de veiller à la prendre en compte pour la conception ou l'adaptation des options de gestion dès que cela s'avère nécessaire. Cela revient à toujours faire primer les exigences propres à chaque sous-catégorie sur le cadrage global sous-jacent à leur regroupement au sein d'une unique catégorie de gestion. On notera d'ailleurs que cette catégorie FA-VL n'est pas adoptée à l'international.

En second lieu, le concept de stockage à faible profondeur autorise en théorie une pluralité de déclinaisons opérationnelles, en termes de localisation et de géologie. Une comparaison multicritère (risque d'exposition à court et long terme, impact sur la biosphère, coût etc.) entre différents sites aurait été à cet égard une démarche cohérente avec le choix d'une approche en termes de gestion des risques pour les humains et l'environnement. Mais elle supposait que l'on dispose d'une telle pluralité de sites, ce qui n'a pas pu être le cas, en dépit de l'ambition initiale de l'Andra.

Enfin, le choix du concept même de stockage en sub-surface fait en 2006 pourrait être réinterrogé et comparé à d'autres concepts (enfouissement en profondeur ou entreposage renouvelé par exemple), dans le cadre d'une évaluation large intégrant l'enjeu de sûreté dans une pluralité de scénarios d'évolution climatique, géopolitique ou sociétale et fondée sur un ensemble de critères, comme cela a été fait pour Cigéo⁶. Cela permettrait de mieux cerner l'intérêt de ce concept et d'alimenter la réflexion sur la solution de remplacement, au cas où la solution de référence actuellement identifiée (cf. infra) ne pourrait être mise en œuvre.

Le défi d'une démonstration de sûreté en situation d'incertitude géodynamique

Outre l'approche graduée du risque, la gestion des déchets FA-VL prend en compte la justice intergénérationnelle. L'un des enjeux est de déterminer le niveau d'effort raisonnable à consentir pour garantir aux générations futures un niveau de sûreté au moins équivalent à celui dont bénéficient les générations présentes⁷. Les choix opérés, en termes de conditionnement des colis de déchets et de stockage, doivent permettre de confiner la radioactivité et d'isoler suffisamment les générations futures vis-à-vis de celle-ci, conformément aux prescriptions de l'ASN (cf. encadré).

C'est tout l'objet de la démonstration de sûreté que de le garantir. Cette démonstration a été menée en 2015 sur un site localisé dans l'Aube, dans le territoire de la Communauté de Communes de Vendevre-Soulaines, en milieu argileux. Le choix de ce site résulte d'un processus basé sur des

⁶ Voir <https://www.andra.fr/sites/default/files/2022-02/evaluation-socio%C3%A9conomique-projet-Cigeo.pdf>

⁷ Selon l'Agence internationale de l'énergie atomique, « *radioactive waste shall be managed in such a way that predicted impacts on the health of future generations will not be greater than relevant levels of impact that are acceptable today.* » (*The principles of radioactive waste management*, IAEA, Safety series 111-F, 1995). On trouve un principe semblable dans le rapport *The Environmental and Ethical Basis of Geological Disposal of Long-lived Radioactive Wastes (1995)*, de l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'OCDE.

critères géologiques et socio-politiques (volontariat des collectivités et antériorité d'activités en lien avec le nucléaire), conduit par l'Andra entre 2008 et 2013⁸.

Les prescriptions réglementaires

Concernant la sûreté du stockage des déchets de faible activité à vie longue⁹, les orientations générales de l'ASN imposent :

- de démontrer la sûreté du stockage durant toute sa durée de vie ;
- la satisfaction et la réalisation des fonctions de sûreté sur la première phase de vie du stockage (qui est de l'ordre de quelques dizaines de milliers d'années, avant la décroissance significative de certains radionucléides) ;
- d'isoler les déchets de l'homme et de la biosphère ;
- de limiter la circulation de l'eau dans le stockage ;
- de confiner la radioactivité.

Cette démonstration de sûreté ne soulève pas de défi majeur sur les premières dizaines de milliers d'années de fonctionnement du site, au regard de l'expérience acquise par l'Andra sur ce plan avec Cigéo notamment. Toutefois, il faut faire preuve d'humilité et ne pas avoir la prétention d'enfermer le futur dans une démonstration, fût-elle conduite avec les meilleurs moyens et spécialistes du moment. En effet la notion de sûreté visée par cette démonstration repose sur un certain nombre d'hypothèses et de choix opérés tout au long de l'exécution de cette démonstration. La validité de la démonstration est subordonnée à l'accord sur ces choix et hypothèses. C'est pourquoi il est indispensable d'explicitier ces présupposés dans une langue accessible au public pour permettre un débat public et plus généralement répondre à l'exigence de transparence et de traçabilité des données mobilisées.

Au-delà de cette première phase temporelle, la conjugaison du très long terme et de la faible profondeur oblige à prendre en compte la possible mise à découvert progressive de ces déchets par l'érosion, et donc un contact avec des populations humaines induisant un niveau d'exposition qui doit être évalué¹⁰. Pour évaluer ce risque, l'Andra a élaboré des modèles d'évolution climatique sur le très long terme (plusieurs dizaines de milliers d'années). Deux scénarios d'évolution les plus contrastés possibles ont été envisagés : une évolution non perturbée par les émissions anthropiques de GES, ou au contraire caractérisée par l'usage de l'intégralité des combustibles fossiles. Les modèles tendent à montrer qu'au-delà de l'échéance 50 000 ans, sur ce territoire, le climat régional pourrait avoir évolué dans deux directions opposées : retour des glaciations, ou évolution vers un climat méditerranéen. Les conséquences sur le devenir des formations argileuses accueillant le stockage sont antagonistes : on pourrait assister à un comblement du site ou, à l'inverse, à son érosion, et donc à une diminution de la protection assurée par l'épaisseur de la couche argileuse.

Cette situation conduit à distinguer deux périodes dans la démonstration de sûreté : la première, marquée par des incertitudes maîtrisables dans le cadre classique de la démonstration de sûreté par modélisation de l'évolution du site ; la seconde, caractérisée par des incertitudes croissantes au plan géodynamique, complexifiant cette même démonstration. Une option consiste à prolonger néanmoins la démonstration, et à évaluer l'exposition des générations futures en majorant les incertitudes de très long terme. L'autre option, retenue par l'Andra, consiste à borner les incertitudes à cet horizon des 50 000 ans par le recours à des « situations conventionnelles » : celles-ci

⁸ Pour l'historique de la démarche, se reporter à <https://aube.andra.fr/optimisations-et-innovations/dechets-fa-vl>.

⁹ <https://www.irsn.fr/sites/default/files/documents/expertise/demarches-de-surete/2020-00962%20-%20Rapport%20GT%20guide%20FAVL.pdf>

¹⁰ Un tel contact peut également être consécutif à des intrusions non intentionnelles, intégrées à la démonstration.

correspondent à des « dégradations brutales » des deux fonctions de sûreté assurées par le stockage (confiner en limitant le relâchement ; isoler par mise à distance). On considère en fait que les radionucléides encore actifs¹¹ sont évacués vers un exutoire, et que la surface surplombant le stockage a été érodée, ce qui permet de calculer l'exposition subie dans ces circonstances par les générations futures, lesquelles sont supposées vivre en autarcie hydrique et alimentaire.

Cette démarche consistant à appliquer les outils d'évaluation des risques à des situations-limites au-delà des pouvoirs de prédiction repose sur des postulats qui tendent à masquer les incertitudes pesant sur l'évolution des sociétés, des espèces et des milieux à ces échelles de temps. La solution retenue consiste en effet à adopter un principe d'invariance biologique des générations futures (et donc de la sensibilité au risque), mais également d'invariance des manières d'occuper les espaces, de se loger, et plus globalement de la technologie (ce qui cadre les situations d'exposition envisageables). Ce choix rend calculable une exposition au risque, mais il est arbitraire. Cela revient globalement à aborder les générations futures comme des générations présentes fictivement transposées dans le très long terme, modulo quelques adaptations de leurs habitudes alimentaires. Les résultats fondés sur ce choix indiquent que l'exposition provoquée par la radioactivité résiduelle est de l'ordre du millisievert/an pour les déchets de graphite, et peut atteindre jusqu'à une dizaine de millisieverts/an pour les déchets radifères.

Le comité n'a pas approfondi en tant que telle la comparaison de ces deux approches, par la poursuite de la démonstration de sûreté ou par les situations conventionnelles, quant à leur capacité respective à garantir efficacement la sûreté du stockage. Cela serait utile mais il faudrait pour ce faire disposer des résultats et incertitudes propres à chacune de ces deux stratégies afin de les comparer. Par rapport à la démarche des situations conventionnelles, le comité suggère d'explorer des alternatives aux hypothèses d'invariance. Il relève enfin que cette approche paraît très anthropocentrée et pourrait gagner à intégrer d'autres représentants du monde vivant appelé à cohabiter et à interagir sur ce territoire. Cela pourrait éventuellement être pris en compte à l'occasion d'une étude d'impact environnemental. La réflexion du comité a ensuite porté sur l'appréciation du résultat obtenu au regard d'une pluralité de valeurs seuils disponibles.

Un choix de concept à valider par le respect d'un seuil d'exposition

Selon la note d'orientation de l'ASN de 2008, sauf situations d'intrusion involontaire, le stockage doit limiter l'exposition d'un « individu représentatif » en-dessous d'un niveau jugé acceptable, fixé en l'occurrence à 0,25mSv/an (cf. encadré). Le calcul d'un seuil « acceptable » d'exposition à un risque relève globalement de la science réglementaire¹². Il prend en compte la meilleure connaissance disponible, mais il repose également sur une sélection de critères d'acceptabilité et intègre des contraintes, choix et arbitrages multiples. Il est de ce fait toujours questionnable. Sans revenir sur le détail du calcul, c'est plutôt le choix de la référence 0,25mSv/an parmi une pluralité d'autres disponibles que nous avons questionné.

La question des seuils

Le seuil de 0,25 mSv/an est fixé par la note d'orientation de l'ASN de 2008. Il correspond à la division par 4 du seuil de 1 mSv/an, borne basse des situations d'exposition dites existantes, en partant du principe que plusieurs sources d'exposition sont possibles à long terme. A titre de comparaison, l'exposition moyenne à la radioactivité naturelle se situe autour de 3 mSv/an pour la population française (hors dispositifs médicaux, auquel cas le chiffre devient presque deux fois plus élevé).

¹¹ Cet horizon de temps (50 000 ans) correspond également à celui auquel la décroissance naturelle de l'activité de certains radionucléides aura largement produit son effet d'atténuation.

¹² Borraz, O. & Demortain, D. (2015). Science réglementaire. Dans : Emmanuel Henry éd., *Dictionnaire critique de l'expertise: Santé, travail, environnement* (pp. 279-285). Paris: Presses de Sciences Po.

Quant aux situations d'intrusion humaine involontaire, le niveau est considéré comme acceptable en dessous de 20 mSv/ an d'après la prescription édictée sur le plan international. La Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) retient la valeur de 100 mSv/an en tant que valeur raisonnable pour rester à l'abri des effets déterministes.

A l'échelle des premières générations (quelques siècles), le fait d'apprécier le caractère acceptable d'une exposition à la radioactivité induite par le site de stockage en fonction de ce seuil de 0,25 mSv/an paraît raisonnable : ce seuil est proche du seuil de 0,3 mSv/an retenu pour une situation d'exposition dite planifiée (c'est-à-dire anticipable) ; il est nettement plus sévère que celui admis dans certaines situations existantes, comme le stockage des résidus miniers ; il garantit que la situation d'une génération donnée reste globalement similaire, sous l'angle de la radioactivité, à celle des générations qui l'ont précédée, et que, dans ce territoire, l'équité intergénérationnelle de court-terme est maintenue. Mais son usage comme repère strict peut perdre de son évidence quand on se projette à plusieurs dizaines de milliers d'années, pour plusieurs raisons.

La première a trait à la difficulté déjà évoquée de caractériser quelle sera la population sur laquelle évaluer les effets de cette radioactivité, ce qui a conduit au postulat de l'invariance biologique. Dans ce cadre, et sauf à renoncer à valider une solution de gestion par de tels calculs d'exposition radioactive¹³, on peut estimer que le résultat obtenu est davantage une « fiction réaliste », un repère de jugement, qu'un résultat exact concernant une population précise et permettant de valider ou d'invalider le concept de gestion en rapportant ce résultat à un seuil très précis. L'enjeu est peut-être surtout de vérifier que le résultat demeure d'un ordre de grandeur très inférieur au seuil d'apparition d'effets déterministes (100 mSv/an). C'est d'autant plus important qu'on ne sait pas comment évoluera dans le futur l'exposition radiologique générale.

Par ailleurs, comme on l'a vu, on peut conserver le seuil de 0,25 mSv/an pour vérifier que les conditions de vie des premières générations ne se dégradent pas par rapport aux générations qui les ont précédées sur ce même territoire. Mais on peut également considérer que son maintien sur le très long terme fait peser une charge excessive sur les générations présentes : dans un contexte d'approche graduée en fonction du niveau de risque, leur responsabilité consiste peut-être plutôt à garantir sur ce très long terme des conditions d'habitabilité du territoire non significativement différentes de celles dont ces générations futures pourraient bénéficier sur d'autres territoires que celui de Vendevre-Soulaines. En effet, ces générations futures très lointaines ne seront pas constituées des descendants des générations actuelles du territoire : on peut estimer que ce qui fera sens pour elles n'est pas un écart ou une dérive par rapport à la situation dont leurs supposés ancêtres avaient bénéficié sur ce même territoire, mais le fait de ne pas être victimes de leur choix de localisation en raison du niveau de radioactivité qui y prévaut. Dans cette perspective, une référence « géologique » en termes d'exposition totale pourrait paraître mieux adaptée, par exemple l'exposition naturelle moyenne actuelle de la population française (3 mSv/an), dont on peut penser qu'elle n'a pas de raison particulière d'évoluer à très long terme, et qui permet de raisonner en termes d'équité interterritoriale à cet horizon très lointain. En tout état de cause, cela nécessite un débat démocratique qui n'est pas du ressort de l'Andra.

Une gestion juste et démocratique

Comme pour toute installation de gestion des déchets, le choix des solutions de référence et de repli, ainsi que la conduite des projets opérationnels qui en découlent, soulèvent des enjeux éthiques, épistémiques mais également démocratiques : comment articuler les responsabilités décisionnelles et gestionnaires (suivi, surveillance) entre les échelons national et territorial ? Comment prendre en compte, au sein des générations présentes, la question plus spécifique des groupes les plus

¹³ On ne voit d'ailleurs pas trop quelle serait l'alternative en termes de garde-fou vis-à-vis du risque de négligence du futur.

vulnérables, notamment au regard de la diversité des pollutions et nuisances auxquelles ils peuvent déjà être soumis ? Faut-il reconnaître la contribution du territoire d'accueil, et prévoir en conséquence une compensation ? Comment assurer la prise en compte effective de toutes les parties prenantes, par exemple en instituant des porte-parole pour les « sans-voix » que sont les générations futures et les entités non humaines ? Ces questions ont été partiellement abordées dans d'autres avis du CES¹⁴. Elles méritent d'être reprises et ajustées à l'occasion de ce sujet spécifique.

On peut en premier lieu évoquer la question des générations intermédiaires, situées entre les générations présentes et celles (très lointaines) prises en compte dans les évaluations des risques. Ces générations intermédiaires, qui n'auront pas participé au choix, pourraient ne pas vouloir ou pouvoir assumer leur part de la gestion, par exemple en termes de surveillance du site. Elles pourraient également vouloir revenir sur les décisions prises. Il y a de fait un arbitrage à faire entre la robustesse des choix face à d'éventuels « faux pas » de ces générations intermédiaires, et la flexibilité éventuelle à leur laisser pour leur permettre de revenir sur les décisions prises.

Comme tout projet mais avec ses spécificités, le stockage des FA-VL va affecter tout un ensemble d'entités non humaines (espèces, écosystèmes, sols et éléments du sous-sol...). Celles-ci sont dotées de leur propre dynamique temporelle et sensibilité à la radioactivité. Les temporalités différentes et entrelacées des acteurs et des êtres affectés par les décisions relatives au stockage, tout comme leur capacité à nous surprendre et à échapper à nos efforts de maîtrise, conduisent à questionner la vision linéaire et déterministe des processus en jeu qui sous-tend l'évaluation des risques. Il est important d'aborder et de représenter les relations entre milieu naturel, mondes souterrain et humain dans une perspective dynamique et mouvante, et de prendre en compte la diversité et l'hétérogénéité des temporalités qui interfèrent sur le site. Cela implique d'ajuster les dispositifs de surveillance et d'être prêt à réviser, ajuster, les plans d'action en fonction des circonstances changeantes. Cela renvoie à la notion de *preparedness*, ou de stratégie préventive, qui consiste pour une organisation à mettre en place un dispositif de détection d'éventuelles dérives dans le déroulement de ses projets et des protocoles pour y réagir.

Pour les entités non humaines se pose également la question du maintien de leur intégrité, dans une perspective de justice environnementale et de prise en compte de leurs intérêts propres. Il faut réfléchir à la manière d'y parvenir, ainsi qu'à celle permettant de leur assurer une place dans le processus de décision et de gestion autrement qu'à travers les études d'impact. Se pose enfin la question des interactions de ces entités avec les humains dans une perspective intégrée de type « santé unique » (*One health*), qui renouvelle les approches de santé environnementale en abordant de manière conjointe la santé des écosystèmes et celle des humains. Plus généralement, c'est la notion même de santé et d'habitabilité d'un territoire qui est en jeu, et qui permet une approche moins réductrice que celle classiquement centrée sur le risque.

Une pluralité de repères d'action

On soulignera pour finir une série de repères d'action pour les décideurs et gestionnaires :

- évaluer en permanence l'adéquation des solutions envisagées aux différentes typologies de déchets et questionner les regroupements effectués ;
- mettre clairement en débat le niveau de responsabilité vis-à-vis des générations très lointaines, et en particulier les seuils d'exposition acceptables, débat qui suppose le partage des connaissances avec le grand public ;
- prendre en compte la diversité des trajectoires temporelles des divers acteurs en jeu sur le terrain pour repérer des synergies ou des conflits éventuels ;

¹⁴ <https://www.andra.fr/nous-connaître/gouvernance/le-comite-ethique-et-societe>

- réaliser une évaluation socio-économique et une analyse multicritère adaptée à la question des FA-VL en plus de la démonstration de sûreté ;
- revisiter régulièrement les choix effectués en fonction des circonstances changeantes, notamment quant aux concepts de gestion, pour *a minima* les revalider au regard de potentiels nouveaux enjeux ou critères ;
- s'inscrire dans une démarche *One health*, visant à garantir à l'ensemble des vivants interconnectés sur le territoire retenu des conditions d'habitabilité non significativement dégradées vis-à-vis de celles disponibles ailleurs à l'horizon temporel retenu pour l'évaluation des risques ;
- faire preuve d'humilité dans la capacité à maîtriser le futur, ce qui implique en particulier des approches en termes de vigilance et de *preparedness* en plus des approches mémorielles.