



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

IRSN

INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

RAPPORT

ELABORATION D'UN GUIDE POUR LE STOCKAGE DES DECHETS DE FAIBLE ACTIVITE A VIE LONGUE (FA-VL)

SYNTHESE DES TRAVAUX DU GROUPE DE TRAVAIL
SUR LA MISE A JOUR DE LA NOTE D'ORIENTATIONS
DE 2008 DE L'ASN

Pôle Santé et Environnement

Rapport IRSN N° 2020-00962

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION.....	3
2. OBJET, DEFINITIONS, DOMAINE D'APPLICATION.....	5
3. CRITERES DE RADIOPROTECTION POUR LA PERIODE APRES-FERMETURE	9
3.1. Éléments de contexte concernant les situations d'exposition et d'évolution du stockage.....	9
3.2. Situation de référence	11
3.3. Situations dites altérées.....	14
3.4. Situations d'intrusion humaine involontaire	15
4. BASES DE CONCEPTION	17
4.1. Principes et fonctions de sûreté	17
4.2. Déchets et colis.....	18
4.3. Concepts de stockage	19
5. CHOIX DE SITE	21
5.1. Critères pour le choix de site : impacts globaux.....	21
5.2. Formation hôte.....	21
5.3. Profondeur d'implantation du stockage	22
5.4. Durée de la première période d'évolution du stockage (incertitudes maîtrisées) 24	
5.5. Ressources	26
6. EVALUATION DE SURETE	29
6.1. Démonstration de sûreté pendant la phase d'exploitation.....	29
6.2. Scénarios d'intrusion humaine involontaire (SIHI).....	30
6.2.1. Généralités	30
6.2.2. Spécificité de l'intrusion dite « banale »	30
6.2.3. Phase de surveillance et date d'occurrence du SIHI	32
6.3. Exposition liée au radon.....	32
6.4. Aléa sismique	33
GLOSSAIRE.....	35
ANNEXES	37

1. INTRODUCTION

La loi de programme du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs¹ demande la mise au point de solutions de stockage pour les déchets graphites et les déchets radifères, qui sont des déchets de faible activité massique à vie longue (FA-VL). Les éditions successives du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) ont précisé les travaux à mener pour répondre à cet objectif. La recherche de telles solutions nécessitait notamment d'une part de progresser dans la connaissance des déchets de type FA-VL (caractérisation, possibilités de traitement...) et d'autre part, de réaliser des études de sûreté relatives aux options de stockage.

Le 5 mai 2008, l'ASN a publié une note d'orientations générales de sûreté pour la recherche d'un site pouvant accueillir ces déchets FA-VL² (en Annexe 1 au présent rapport, ci-après dénommée « note d'orientations de 2008 »). Par lettre CODEP-DRC-2016-018952 du 6 juin 2016, l'ASN a saisi l'IRSN pour initier des réflexions sur les évolutions qui pourraient être apportées à cette note, en tenant compte des travaux réalisés dans le cadre du PNGMDR, dans l'objectif d'élaborer un guide de sûreté sur le stockage des déchets FA-VL visés par l'arrêté du 23 février 2017, qui sont notamment, outre les déchets de graphite et déchets radifères susmentionnés, certains déchets bitumés ainsi que des déchets uranifères et thorifères issus de la conversion de l'uranium. Cette saisine a fait l'objet de l'avis IRSN 2017-00216 du 30 juin 2017 (cf. Annexe 2 au présent rapport).

Suite à ces travaux préparatoires, l'ASN a engagé en 2018 la révision de la note d'orientations de 2008, qu'elle souhaite transformer en guide, en établissant un groupe de travail (GT) regroupant l'ASN, l'IRSN, l'Andra, des membres du Groupe permanent déchets, les propriétaires de déchets FA-VL ainsi que des associations (cf. liste des participants en Annexe 3). Pour ce travail visant à préciser, et le cas échéant, faire évoluer les éléments de la note d'orientations de 2008, l'ASN a missionné l'IRSN, par lettre CODEP-DRC-2018-015979 du 23 juillet 2018, pour qu'il assure le secrétariat technique du GT. Les membres de ce groupe ont pour leur part été missionnés par lettre CODEP-DRC-2018-047110 du 19 novembre 2018.

Les travaux du GT se sont déroulés entre le 27 septembre 2018 et le 24 juin 2019. Pour ce faire, le GT s'est réuni à la fois en réunions plénières (les 27 septembre et 14 décembre 2018, ainsi que les 11 mars et 24 juin 2019) et en réunions de sous-groupes, ces dernières portant sur les thématiques suivantes :

- Sous-groupe 1 (SG 1) : typologie de déchets et filières (les 7 novembre 2018 et 20 février 2019) ;
- Sous-groupe 2 (SG 2) : critères de choix de site et bases de conception (les 16 novembre 2018 et 27 février 2019) ;
- Sous-groupe 3 (SG 3) : scénarios et démonstration de sûreté (les 23 novembre 2018 et 29 mai 2019).

En dehors de ces réunions spécifiques, les membres des sous-groupes ont travaillé sur la base de documents échangés par courriel en amont des réunions. Le comité de pilotage, constitué de l'ASN et de l'IRSN, s'est également réuni à plusieurs reprises, généralement en présence de l'Andra, tout d'abord en amont du lancement du GT puis tout au long du déroulement de ses travaux.

Le présent document constitue une synthèse des travaux menés et des principaux échanges tenus dans le cadre du GT. Ainsi, il rapporte, pour chaque sujet ayant fait l'objet de débats, les éléments selon la structure suivante :

¹ Loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs

² Orientations générales de sûreté en vue d'une recherche de site pour le stockage des déchets de faible activité massique à vie longue. Note ASN du 5 mai 2008

- a. un rappel du contenu de la note d'orientations de 2008, sans toutefois que l'exhaustivité des citations ne soit recherchée ;
- b. les principaux éléments de débat ayant animé les réunions (que ce soit en réunions plénières, de sous-groupes ou en comité de pilotage), avec un rappel de leur contexte et des apports ayant permis d'éclairer les débats le cas échéant, suivis des conclusions du GT, en précisant si celles-ci font l'objet d'un consensus et, dans le cas contraire, les différentes positions exprimées ;
- c. des propositions de texte rédigées par l'IRSN concernant les éléments à modifier ou à introduire dans le guide de sûreté.

Parmi les documents utilisés en support aux réflexions menées figurent les règles et guides de l'ASN existants pour les autres types de stockage avec lesquels le guide FA-VL devra demeurer cohérent. Il s'agit de la RFS I.2³ relative au stockage en surface de déchets radioactifs de faible ou moyenne activité à vie courte (FMA-VC) et du Guide 1⁴ relatif au stockage des déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue (HA-MAVL) en formation géologique profonde.

Les débats tenus au cours du GT se sont également basés sur les éléments présentés par l'Andra dans son rapport d'étape⁵ remis en 2015 dans le cadre des demandes du PNGMDR (ci-après dénommé « rapport d'étape 2015 »), qui présente une évaluation préliminaire de sûreté relative au stockage de déchets FA-VL sur un site investigué sur la Communauté de communes de Soulaines. Enfin, le retour d'expérience national (tel que le stockage d'éléments à vie longue dans les stockages de surface, la réglementation relative aux stockages de déchets dangereux, etc...) et international (critères de radioprotection préconisés par la CIPR et l'AIEA, scénarios retenus pour évaluer l'impact d'un stockage à long terme, techniques de réalisation d'ouvrages à faible profondeur, etc...) a lui aussi été pris en compte dans ces débats. Il convient de noter toutefois que très peu de données sont disponibles à l'international étant donné le faible nombre de pays concernés par la gestion de déchets FA-VL dans une installation dédiée à cette catégorie de déchets.

D'une manière générale, ces débats se sont focalisés sur des points précis identifiés par le comité de pilotage en amont des diverses réunions ou bien soulevés par les participants lors de ces réunions ; le contenu de la note d'orientations n'a donc pas été balayé dans son intégralité. Toutefois, dans l'objectif de faciliter le travail de révision de la note d'orientations de 2008, le plan du présent document suit une structure proche de celle de cette note. Ainsi, les travaux et échanges relatifs au préambule, aux définitions et au domaine d'application de la note sont exposés au chapitre 2. Le chapitre 3 s'intéresse aux critères de radioprotection, le chapitre 4 aux bases de conception d'une installation de stockage FA-VL, le chapitre 5 aux critères de choix de site et le chapitre 6 à l'évaluation de sûreté pendant les phases d'exploitation et après la fermeture de l'installation. Enfin, des documents de travail ayant servi de support aux travaux des sous-groupes ainsi que les comptes rendus des réunions sont annexés en fin de rapport.

³ Objectifs de sûreté et bases de conception pour les centres de surface destinés au stockage à long terme de déchets radioactifs solides de période courte ou moyenne et de faible ou moyenne activité massique (8 novembre 1982) ; révision 1 (19 juin 1984)

⁴ ASN. Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde (Indice 0 du 12 février 2008)

⁵ Andra. PNGMDR 2013-2015. Projet de stockage de déchets radioactifs de faible activité massique à vie longue (FA-VL). Rapport d'étape 2015. Document technique FRPADPG150010/A

2. OBJET, DEFINITIONS, DOMAINE D'APPLICATION

Le présent chapitre documente les travaux du GT sur les chapitres 1, 2 et 3 de la note d'orientations de 2008 relatifs respectivement à son préambule, à son objet et aux définitions, ainsi qu'à son domaine d'application. Les débats ont principalement porté sur cette dernière partie. En effet, bien que sa lettre de mission indique que le guide doit porter sur l'ensemble des déchets FA-VL, le GT a été régulièrement amené au cours de ses réflexions à questionner le domaine d'application de ce guide en termes de typologie de déchets. Le nombre d'installations concernées par le guide mentionné au chapitre 3 de la note a également été évoqué.

Contenu de la note d'orientations de 2008

§ 1 p.4 « *Le stockage de déchets de faible activité et à vie longue (FAVL) doit prioritairement être conçu pour permettre l'élimination de déchets de graphite et de déchets radifères* », ainsi que le prévoit la loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 ; « *comme pour les stockages de surface, il sera nécessaire de limiter l'activité à vie longue pouvant être reçue dans l'installation, notamment pour les radionucléides qui ne décroissent pas en quelques dizaines de milliers d'années* ».

§ 2 p.5 « *Le stockage de déchets FAVL consiste à mettre en place ces déchets, sans intention de les reprendre, sous forme de colis dans une installation de stockage implantée à faible profondeur dans le milieu géologique* ».

§ 3.1 p.5 Les « *deux catégories de déchets [graphites et radifères] pourront éventuellement être stockées dans des installations dédiées localisées sur des sites différents mais répondant aux orientations générales faisant l'objet du présent document. Par convention, dans le reste du document, on désignera la ou les installations envisagées par le terme générique « l'installation ». L'installation de stockage pourra éventuellement recevoir d'autres types de déchets FAVL (identifiés dans le cadre du PNGMDR), si les évaluations de sûreté réalisées concluent à cette possibilité* ».

Travaux du GT

S'agissant du domaine d'application, la lettre de mission du GT prévoit que le guide porte sur l'ensemble des déchets identifiés comme relevant de la catégorie FA-VL dans le PNGMDR 2016-2018, y compris les déchets de Malvési (déjà produits et à produire). A cet égard, il a été rappelé que le titre de la note d'orientations de 2008, « *Orientations générales de sûreté en vue d'une recherche de site pour le stockage des déchets de faible activité massive à vie longue* », indique qu'elle vise le stockage des déchets FA-VL en général, alors qu'elle est axée sur le stockage de déchets de graphite et de déchets radifères et que son contenu est davantage tourné vers un stockage à « *faible profondeur* » en cohérence avec la loi de programme n°2006-739 du 28 juin 2006. A titre de comparaison, la RFS I.2 vise clairement à la fois un type de déchets (les déchets de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC)) et un type de concept (le stockage de surface) et le Guide 1 de l'ASN vise un type de concept (stockage géologique profond). Au cours de ses échanges, le GT a ainsi évoqué le fait que le guide FA-VL pourrait porter sur le stockage de ces déchets à une profondeur intermédiaire entre le stockage de surface et le stockage en formation géologique profonde. Cette notion de profondeur intermédiaire n'a toutefois pas été retenue pour figurer de façon systématique dans le guide : le GT a tenu majoritairement à l'appellation « faible profondeur », sans toutefois remettre en cause la rédaction du préambule de la note d'orientations qui stipule que le stockage de déchets FAVL est une installation « intermédiaire » entre un centre de stockage de surface et un centre de stockage en formation géologique profonde. L'utilité de rédiger un guide spécifique à cet entre-deux a en outre été questionnée lors des échanges, puisque les orientations générales existent déjà pour le stockage en surface et pour le stockage en couche géologique profonde, un stockage pour les déchets FAVL relevant, selon sa profondeur, majoritairement de l'un ou de l'autre. Des membres du GT ont souhaité

maintenir un document spécifique et proposé de faire évoluer son titre pour faire apparaître la notion de faible profondeur déjà incluse dans le domaine d'application de la note de 2008.

S'agissant plus spécifiquement de la typologie des déchets concernés par la mise à jour du guide, les difficultés liées à la définition « par défaut » d'un déchet FA-VL, tendant à y inclure tous les déchets non acceptés en stockage de surface et ne nécessitant *a priori* pas un stockage profond, ont été soulignées. Ainsi, la terminologie « déchets FA-VL » recouvre des déchets de durées de vie très variables, comme le montre le recensement effectué dans le cadre des travaux du SG 1 visant à mettre en exergue les principales contraintes de gestion associées aux différentes typologies de déchets (cf. chapitre 4.2 du présent rapport). Certains déchets présentent une décroissance notable de leur activité en quelques dizaines de milliers d'années (*e.g.* radifères sans têtes de chaîne, graphites, bitumes, colis CBF-C'2⁶), ce qui conduit au bien-fondé d'un stockage à faible profondeur dans l'objectif de les protéger des agressions humaines et naturelles de surface pendant la durée de cette décroissance. En revanche, les déchets uranifères et thorifères, comprenant notamment les déchets provenant de la conversion naturelle de l'uranium, ne présentent pas une telle décroissance (déchets dits à « vie très longue ») (VTL au cours du GT pour faciliter les discussions, sans volonté de pérenniser cette appellation). Pour ces déchets, un stockage à une profondeur de quelques dizaines de mètres pourrait ne pas permettre d'atteindre une décroissance notable de leur activité avant que l'érosion ne conduise à les ramener à la surface. Aussi, la prise en compte des déchets VTL dans un guide portant sur le stockage à faible profondeur, si ce terme devait désigner quelques dizaines de mètres (les débats liés à la profondeur sont détaillés au chapitre 5.3 du présent rapport), pourrait apparaître en contradiction avec la note d'orientations de 2008 qui prévoit de limiter l'activité pouvant être prise en charge dans l'installation pour les radionucléides ne décroissant pas « *en quelques dizaines de milliers d'années* ». Des membres du GT ont questionné la pertinence de maintenir les VTL dans le champ d'application du guide si la faible profondeur désigne quelques dizaines de mètres puisque les concepts associés n'apportent pas de gain notable par rapport à un stockage en surface pour ces déchets, sans que ce point n'ait fait l'objet d'un consensus. Le GT n'a pas conclu sur ce volet et a considéré que la réflexion sur les filières de gestion des déchets à vie très longue, qui sort du périmètre des travaux qui lui sont confiés, mériterait d'être poursuivie dans un contexte pluraliste, sur la base du travail d'inventaire réalisé au sein du présent GT.

S'agissant du nombre d'installations ou de sites visés dans le guide, l'ASN a rappelé, lors du lancement du GT, que le guide doit pouvoir s'appliquer à la recherche de sites et au développement du ou des concepts associés, pour tout projet de stockage de déchets FA-VL qui viendrait à être décidé. Même si, à ce jour, les solutions développées par l'Andra ciblent un site unique pour gérer tous les déchets relevant de la catégorie FA-VL, le GT a confirmé, eu égard à la variété de la typologie des déchets FA-VL (cf. chapitre 4.2 du présent rapport), qu'il était nécessaire de laisser la possibilité ouverte, dans le guide, de recourir à plusieurs installations de stockages (potentiellement sur plusieurs sites) en précisant que, selon les caractéristiques des déchets considérés, des contraintes et des profondeurs spécifiques pouvaient être nécessaires.

Par ailleurs, l'opportunité d'imposer une contrainte de réversibilité pour le stockage des déchets FA-VL a été soulevée par le GT. Ce point n'a toutefois pas fait l'objet d'un consensus. Il a notamment été rappelé que, si la loi l'impose pour le stockage géologique profond⁷, ce n'est pas le cas pour le stockage

⁶ L'arrêté du 23 février 2017 relatif au PNGMDR demande l'intégration des colis CBF-C'2 à titre conservatoire dans l'inventaire de référence des déchets FA-VL. Il s'agit de conteneurs béton-fibres cylindriques de type C'2 de déchets technologiques.

⁷ L'Article L542-1-1 du code de l'environnement stipule que « *le stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs est le stockage de ces substances dans une installation souterraine spécialement aménagée à cet effet, dans le respect du principe de réversibilité* » ; la Loi no 2016-1015 du 25 juillet 2016 précise 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

des déchets FA-VL. Aucune évolution de la note d'orientations de 2008 n'a donc été envisagée sur ce sujet.

Enfin, s'agissant des définitions et de la terminologie utilisée, les discussions tenues en GT ont montré la nécessité d'inclure un glossaire dans le guide. En outre, la note d'orientations de 2008 précise, au chapitre 1, que le stockage de déchets FA-VL doit prioritairement être conçu pour permettre « l'élimination de déchets ». Certains membres du GT ont indiqué ne pas apprécier ce terme et préféreraient qu'il ne soit pas utilisé dans le guide car le stockage des déchets, s'il permet de les mettre à l'abri, ne conduit pas à leur disparition physique. D'autres membres au contraire souhaitaient le maintien de ce terme, notamment du fait qu'il est défini dans le code de l'environnement⁸. Le maintien de ce terme dans le guide n'a finalement pas généré d'opposition forte de la part des membres du GT.

Proposition d'éléments à inclure dans le guide

En premier lieu, compte tenu des discussions du GT rapportées ci-avant, l'IRSN propose de modifier le titre du guide pour l'intitulé suivant :

- Guide de sûreté relatif au stockage à faible profondeur de déchets de faible activité massique à vie longue.

S'agissant des déchets concernés par le guide, en l'absence de consensus sur une intégration plus explicite des déchets qui ne décroissent pas significativement en quelques 10⁴ ans, l'IRSN propose de conserver l'accent donné par la note d'orientations de 2008 sur les déchets de graphite et les déchets radifères et d'ajouter explicitement, au chapitre 3.1 relatif aux « déchets concernés », d'autres catégories de déchets de la manière suivante :

- En cohérence avec la loi du 28 juin 2006, des solutions de stockage de déchets FA-VL devront être développées pour stocker, si les évaluations de sûreté réalisées concluent à cette possibilité :
 - les déchets de graphite issus de l'exploitation et du futur démantèlement des réacteurs EDF de la filière « uranium naturel graphite gaz » (UNGG), ainsi que d'autres réacteurs, notamment expérimentaux,
 - des déchets radifères, principalement issus du traitement de minerais contenant des terres rares.

[...]

L'installation de stockage pourra éventuellement, si la démonstration de sûreté est apportée, recevoir d'autres types de déchets FA-VL identifiés dans le cadre du PNGMDR, (enrobés bitumineux du site de Marcoule, matières thorifères et uranifères si elles étaient requalifiées en déchets, résidus de traitement de conversion de l'uranium issus de l'usine Comurhex située à Malvési...).

S'agissant du nombre d'installations visées par le guide, l'IRSN propose de modifier l'extrait du chapitre 3.1 de la note d'orientations de 2008 comme suit (première phrase du [...] ci-dessus) :

- Les déchets concernés pourront éventuellement être stockés dans des installations dédiées à des typologies de déchets présentant des contraintes de gestion similaires, localisées sur des sites différents mais répondant aux orientations générales faisant l'objet du présent document.

⁸ L'Article L541-2 stipule que « l'élimination des déchets comporte les opérations de collecte, transport, stockage, tri et traitement nécessaires à la récupération des éléments et matériaux réutilisables ou de l'énergie, ainsi qu'au dépôt ou au rejet dans le milieu naturel de tous autres produits dans des conditions propres à éviter les nuisances mentionnées à l'alinéa précédent »

Enfin, une proposition de glossaire est présentée en fin de rapport. S'agissant du terme « élimination des déchets », l'IRSN propose de le maintenir dans le guide.

3. CRITERES DE RADIOPROTECTION POUR LA PERIODE APRES-FERMETURE

Le présent chapitre rapporte les travaux du GT relatifs aux critères de radioprotection pour la phase succédant à la fermeture de l'installation, objets du chapitre 4.3 de la note d'orientations de 2008. Des éléments de contexte sont rappelés ci-après (chapitre 3.1) puis les travaux du GT sont documentés pour la situation de référence, les situations altérées et les intrusions humaines involontaires (chapitres 3.2, 3.3 et 3.4 respectivement). Le glossaire retient des définitions pour ces trois types de situations.

3.1. Eléments de contexte concernant les situations d'exposition et d'évolution du stockage

La publication 103 de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR)⁹ a introduit une approche fondée sur différents type de situations d'exposition pour guider les décideurs nationaux sur le choix des valeurs de référence à considérer pour assurer la protection des populations. Elle se base ainsi sur les notions et critères d'évaluation associés suivants :

- situations d'exposition planifiée¹⁰ : contrainte de dose (cf. glossaire) de 0,3 mSv ;
- situations d'exposition existante¹¹ : niveau de référence (cf. glossaire) compris entre 1 et 20 mSv ;
- situations d'exposition d'urgence¹² : niveau de référence compris entre 20 et 100 mSv.

La Commission précise qu' « aux doses supérieures à 100 mSv, il existe une probabilité accrue d'effets déterministes et un risque significatif de cancer. Pour ces raisons, la Commission considère que la valeur maximale pour un niveau de référence est 100 mSv, subie de façon aiguë ou sur une année. Les expositions supérieures à 100 mSv [...] seraient justifiées uniquement dans des situations extrêmes, soit parce que l'exposition est inévitable, soit dans des situations exceptionnelles, telles que sauver une vie ou empêcher un désastre. Aucun autre avantage pour l'individu ou la société ne compenserait de telles expositions élevées ». Pour ce qui concerne l'évaluation de l'impact à long terme d'un stockage géologique, la doctrine de la CIPR considère (publication 122¹³) que la notion de situations d'exposition planifiée s'applique à la situation de référence (cf. glossaire). Par exemple, la CIPR indique que les événements naturels susceptibles d'induire une perturbation du stockage, tel qu'un séisme, pour lesquels une probabilité d'occurrence peut raisonnablement être évaluée ou tout du moins bornée, sont à considérer dans la situation de référence (cela est cohérent avec la note d'orientations de 2008). La position de la Commission est que l'évolution attendue d'un stockage de déchets en milieu géologique ne doit pas faire peser une charge indue sur les générations futures. A cet égard, elle recommande l'utilisation de contraintes de dose pour évaluer la situation de référence. En revanche

⁹ Recommandations 2007 de la Commission internationale de protection radiologique. Publication 103 de la CIPR, Elsevier, 2007

¹⁰ Situations pour lesquelles la protection radiologique peut être planifiée à l'avance, avant l'occurrence des expositions, et où la magnitude et l'étendue des expositions peuvent être raisonnablement prédites

¹¹ Situation qui existe déjà lorsque la décision d'un contrôle doit être prise

¹² Situation imprévue qui nécessite la mise en œuvre d'actions de protection urgentes, et peut-être également d'actions de protection à long terme

¹³ ICRP, 2013. Radiological protection in geological disposal of long-lived solid radioactive waste. ICRP Publication 122. Ann. ICRP 42(3) Para 56-59 et Para 65

(et comme la note d'orientations de 2008), la CIPR considère que les événements naturels de très faible probabilité par rapport à la situation de référence, susceptibles d'induire des perturbations majeures sur le stockage ou sur les transferts de radionucléides (mouvement tectonique impactant le relief, chute de météorite, séisme majeur...) sont à considérer séparément. Une indication de la robustesse du concept de stockage envisagé vis-à-vis de ces événements perturbateurs majeurs peut être obtenue, selon la CIPR, par comparaison des impacts calculés avec les niveaux de référence de la CIPR pour les situations d'exposition existante, voire les situations d'exposition d'urgence en fonction des situations d'évolution du stockage considérées. Enfin, la Commission considère que l'intrusion humaine involontaire (SIHI) relève des situations d'exposition existante ou des situations d'exposition d'urgence.

Sur la base des valeurs de référence préconisées par la CIPR pour ces différentes situations, l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) préconise, dans son document SSR-5¹⁴, les exigences suivantes à considérer pour tous les types de stockages de déchets radioactifs :

- processus naturels (hors probabilité extrêmement faible, cf. ci-dessous): contrainte de dose de 0,3 mSv/an;
- intrusion humaine involontaire : nécessité de modifier le concept en cas de dose supérieure à 20 mSv/an.

L'AIEA considère comme la CIPR que les processus naturels comprennent l'ensemble des conditions anticipées sur la durée de vie de l'installation et les événements qui pourraient se produire avec une probabilité moindre. Elle ajoute toutefois que les événements ayant une probabilité extrêmement faible ne seraient pas pris en compte dans cette catégorie. Elle soulève en outre les difficultés concernant l'application de critères à très long terme compte tenu des incertitudes, en considérant comme admis qu'on ne peut que donner une estimation des doses et que les incertitudes associées à ces estimations augmentent avec l'éloignement dans le futur ; l'AIEA incite ainsi à la prudence quant à l'utilisation de ces critères. A cet égard, la CIPR précise que ces estimations à long terme sont à apprécier comme des indicateurs de la protection assurée par le système de stockage et que l'optimisation complète d'un concept de stockage, si elle conduit au dépassement d'une valeur de référence pour une situation donnée au stade de la planification, ne doit pas systématiquement conduire à rejeter ce concept mais plutôt à examiner les causes ayant conduit à ce dépassement.

Par ailleurs, l'Andra propose, dans sa note d'avril 2018 intitulée « Enjeux de sûreté après fermeture autour d'un concept de stockage à faible profondeur pour la gestion de déchets de type FA-VL » (ci-après dénommée « note d'avril 2018 »), transmise en tant que contribution au présent GT, des valeurs de référence associées à différents type de scénarios d'évolution du stockage (normal, altérés et intrusion) pour en apprécier l'impact radiologique. L'Andra retient, à l'instar du contenu de la note d'orientations de 2008, deux périodes de vie du stockage liées à la maîtrise ou non de l'évolution géodynamique, la seconde période (évolution géodynamique significative) n'étant plus assortie de valeurs de référence quantitatives mais d'un repère relatif aux effets déterministes (<<< effets déterministes). Ces éléments ont fait l'objet de débats abordés au chapitre 3.2 ci-après et détaillés au chapitre 5.4 du présent rapport.

Enfin, compte tenu des débats du GT synthétisés dans le présent chapitre, des travaux plus approfondis sur certains sujets tels que les situations d'exposition, les scénarios d'évolution du stockage et d'intrusion humaine involontaire, pourraient être opportuns. En particulier, la catégorisation des situations à considérer pour traiter de l'intrusion humaine involontaire (exposition existante ou d'urgence) pourrait être abordée dans ce cadre.

¹⁴ AIEA, 2011. Stockage définitif des déchets radioactifs. Prescriptions de sûreté particulières N° SSR-5

3.2. Situation de référence

Les débats tenus au cours des travaux du GT concernant la situation de référence et l'impact associé au scénario d'évolution normale (SEN) ont principalement porté sur les périodes de vie du stockage, en lien avec l'évolution géodynamique du site et les incertitudes associées, ainsi que sur la notion d'impact acceptable lié à l'activité résiduelle du stockage à long terme.

Contenu de la note d'orientations de 2008

§1 « *La conception d'une installation de stockage de déchets FAVL devra donc principalement viser à confiner les déchets efficacement pendant la durée de décroissance précitée (quelques 10⁴ ans). Au terme de cette durée, l'activité contenue dans les déchets devrait avoir atteint un niveau résiduel tel que les expositions de l'homme et de l'environnement ne soient pas inacceptables même en cas de perte significative des propriétés de confinement de l'installation* ».

§ 4.3.1 « *Pour la situation de référence après la fermeture de l'installation de stockage, les doses efficaces individuelles calculées ne devront pas excéder la valeur de 0,25 mSv/an pour des expositions prolongées liées à des événements certains ou très probables. [...]*

La stabilité (qui englobe une évolution limitée et prévisible) du milieu géologique devant, selon les critères du chapitre 5, être démontrée pour une période d'au moins 10 000 ans, la valeur des résultats des prévisions portant sur cette période devrait pouvoir être attestée de façon objective, notamment sur la base d'études d'incertitudes explicites. La contrainte de dose de 0,25 mSv/an sera retenue pour vérifier que la conception du stockage satisfait l'objectif fondamental de sûreté.

Au-delà de cette période, les incertitudes sur l'évolution de l'environnement de l'installation de stockage augmentent progressivement. Des estimations quantifiées majorantes des expositions individuelles devront néanmoins être faites, éventuellement complétées par des appréciations qualitatives des résultats de ces estimations compte tenu des facteurs d'évolution du milieu géologique, de façon à vérifier que le relâchement des substances radioactives ne conduit pas à des doses inacceptables. Lors de cette vérification, la valeur de 0,25 mSv/an précédemment citée sera conservée comme référence ».

§ 5.4.1 « *La profondeur de l'installation de stockage doit être telle que la sûreté du stockage ne puisse être affectée de façon significative [...] au moins jusqu'à ce que l'activité contenue dans l'installation ait atteint un niveau tel que les expositions de l'homme et de l'environnement demeurent acceptables, même en cas de perte de la fonction d'isolement assurée par le milieu géologique ou la couverture* ».

Travaux du GT

S'agissant des périodes de vie du stockage, si le GT n'a pas remis en cause l'idée de distinguer l'évolution du stockage suivant deux périodes telles qu'identifiées dans la note d'orientations de 2008, les débats ont principalement porté sur la durée de la première période et sur la justification de cette durée. Ces débats, en lien avec la géologie du site, sont présentés en détail au chapitre 5.4 du présent rapport.

S'agissant de l'impact associé à la situation de référence et donc à chacune de ces deux périodes, le GT s'est tout d'abord accordé sur le maintien d'une contrainte de dose de 0,25 mSv durant la première période. A cet égard, une présentation de l'Andra a montré, d'après ses évaluations réalisées en support au rapport d'étape 2015, que les impacts radiologiques aux différents exutoires pour les SEN (selon les types de concept) seraient inférieurs à 0,1 mSv/an sur la période de 50 000 ans considérée

pour la première période¹⁵, avec des impacts pouvant atteindre, à ce stade exploratoire des évaluations, la valeur de 0,4 mSv/an dans quelques cas étudiés en sensibilité¹⁶. Les échanges ont ensuite principalement porté sur l'impact associé à la seconde période et se sont déroulés en deux temps successifs : dans un premier temps sur la base de la proposition (cf. proposition 1 ci-après) d'un repère relatif aux effets déterministes présentée par l'Andra dans la note d'avril 2018 (cf. supra), puis dans un second temps sur la base d'une proposition alternative (cf. proposition 2 ci-après) que l'Andra a faite dans le cadre des travaux du SG 3 du GT. L'Andra a également abordé une question d'éthique concernant le poids à faire porter aux générations futures par rapport aux générations présentes (cf. infra).

Proposition 1 de l'Andra concernant le traitement de l'impact associé à la seconde période

Dans la note d'avril 2018 et au cours des premières réunions du GT, l'Andra a basé ses réflexions sur un schéma d'évolution du stockage comportant une première période dite « d'évolution géodynamique lente et maîtrisée » et correspondant à une période de 50 000 ans. Au-delà de 50 000 ans, compte tenu des incertitudes grandissantes à cette échéance, notamment sur les phénomènes d'érosion et la survenue des prochaines glaciations, l'Andra a fait état de difficultés pour représenter une évolution « de référence » pour un stockage situé à faible profondeur et représente de ce fait le stockage comme subitement démunie de sa couverture à cette échéance.

Ainsi, l'Andra a tout d'abord proposé qu'au-delà de 50 000 ans, l'évaluation quantitative de l'impact radiologique soit réalisée pour apprécier l'ordre de grandeur des impacts et s'assurer qu'ils demeurent suffisamment faibles par rapport aux niveaux susceptibles d'induire des effets déterministes. L'Andra justifiait ce choix de ne pas conserver la valeur de référence de 0,25 mSv/an par la prise en compte d'hypothèses extrêmes, considérant qu'il devient alors difficile de conserver la même valeur que celle de contrainte de dose retenue pour la première période des situations de référence.

Sur la base de cette proposition, le GT a largement discuté les notions de « niveau résiduel de l'activité » et de « niveau acceptable des expositions ». Il a notamment été rappelé que le « niveau résiduel » s'entend comme le niveau d'activité contenue dans le stockage au terme de la durée pendant laquelle le confinement est assuré. En outre, plusieurs définitions du « niveau acceptable des expositions » pour la seconde période susvisée ont été proposées :

- soit à un niveau de 0,25 mSv/an ;
- soit à un niveau comparable à celui de la radioactivité naturelle ;
- soit à un niveau équivalent à la limite appliquée aux situations d'exposition existante (20 mSv/an) ;
- soit à un niveau comparable à celui appliqué aux NORM¹⁷ (la valeur de 10 mSv/an a été proposée par le GT) ;
- soit à un niveau suffisamment faible par rapport aux niveaux susceptibles d'induire des effets déterministes, ceux-ci étant défini par la CIPR autour de 100 mSv/an.

En tout état de cause, le GT a relevé qu'une augmentation du niveau de référence pour la seconde période, telle qu'envisagée par l'Andra, est contraire aux préconisations de la note d'orientations de 2008, qui préconise un niveau d'exposition en deçà de 0,25 mSv/an quelle que soit la période

¹⁵ Ces évaluations ont été menées sur la base d'un inventaire constitué des déchets de graphites (chemises, empilements UNGG), radifères, RNR, bitumes, REI et CBF-C'2

¹⁶ Kd du ³⁶Cl diminué dans les bétons, ¹⁴C associé à un taux de relâchement « poudre »

¹⁷ Naturally Occurring Radioactive Material (substances radioactives d'origine naturelle)

considérée de la situation de référence. Il a à cet égard été rappelé que la CIPR et l'AIEA ne prévoient pas non plus de modification de la valeur limite associée à la situation de référence au cours du temps.

A ce stade des discussions, la plupart des membres du GT souhaitaient que la valeur de 0,25 mSv/an soit conservée pour le SEN quelle que soit la phase de vie du stockage afin de conserver le principe d'équité intergénérationnelle. Le GT maintenait en outre que, du fait des incertitudes grandissantes sur le long terme, il est acceptable que la valeur de 0,25 mSv/an ne soit plus requise en tant que contrainte de dose pour la seconde période mais comme un niveau de référence, tel qu'indiqué dans la note d'orientations de 2008.

Proposition 2 de l'Andra concernant le traitement de l'impact associé à la seconde période

Suite à ces premières discussions, l'Andra a ré-évoqué les difficultés rencontrées pour modéliser la situation de référence sur le long terme. Elle a ainsi proposé de se référer, pour évaluer l'impact radiologique, à une situation dite « de fonctionnement », incluant le SEN et le limitant à la première période de vie du stockage puis, pour la seconde période, à des situations dites « conventionnelles » couvrant le spectre très large d'évolutions plausibles liées aux incertitudes importantes et équiprobables, selon l'Andra, sur les différents phénomènes climatiques et tenant compte, dans un objectif de vérifier la robustesse de la solution de stockage, d'hypothèses extrêmes de dégradation de sa capacité d'isolement et/ou de confinement. En corollaire, l'Andra considérait que ces situations conventionnelles ne sont pas compatibles avec la notion de situation de référence (équiprobabilité des évolutions géodynamiques « modérées » et « extrêmes »).

L'Andra a en outre abordé la question du poids relatif à faire porter aux générations présentes et aux générations futures d'un point de vue éthique, en proposant de relâcher la contrainte de la valeur de référence et de considérer les doses calculées acceptables si elles sont suffisamment faibles au regard des niveaux susceptibles d'induire des effets déterministes (*i.e.* à partir de la centaine de mSv) pour le traitement de l'impact associé à cette seconde période. En effet, l'Andra a questionné la pertinence, pour des objets de dangerosité relativement faible, à considérer l'effet sur les générations futures sans limite de durée, contrairement aux approches usuellement suivies en matière de protection de l'environnement.

L'idée de ne pas poursuivre un scénario de référence au-delà la première période tendait à être rejetée par une partie des membres du GT. En effet, même dans le cas où il ne serait pas possible de s'assurer du caractère enveloppe du scénario du fait des incertitudes, son évaluation au-delà de la survenue du pic d'activité aux exutoires nécessite d'être présentée. Une partie du GT a toutefois convenu que les incertitudes sur l'évolution géodynamique sont telles sur le long terme qu'il est peu probable que des estimations fondées sur des paramètres extrêmes conduisent à un impact respectant le niveau de référence de 0,25 mSv/an. Il paraît envisageable que des estimations majorantes des expositions individuelles tenant compte des gammes extrêmes associées aux incertitudes portant sur la seconde période soient menées et appréciées, non plus en tant que situation de référence, mais au regard des scénarios et hypothèses retenus. Ce point n'a pas fait l'objet d'un consensus : en premier lieu, la justification selon laquelle il est impossible de borner les phénomènes géodynamiques devait encore être apportée par l'Andra sur la base d'un dossier présentant les données et hypothèses considérées ; en second lieu, l'impossibilité de démontrer que l'impact aux populations reste acceptable sur toutes les phases de vie du stockage pouvait, selon certains membres du GT, plutôt mener à une remise en cause du concept.

S'agissant des difficultés pour définir un scénario d'évolution « normale » présentant un caractère enveloppe des incertitudes à long terme et des diverses situations envisageables, le GT s'est accordé sur le bien-fondé de maintenir le terme « situation de référence », utilisé dans la note d'orientations de 2008, plutôt que de se référer à une « situation d'évolution normale ».

Pour ce qui concerne la question spécifique du poids relatif à faire porter aux générations présentes et futures, les discussions relatives à cette problématique éthique ont montré une faible appétence du GT à remettre en cause les niveaux de référence.

Proposition d'éléments à inclure dans le guide

Au regard des échanges du GT, l'IRSN propose, s'agissant de la seconde période, de maintenir la rédaction initiale de la note d'orientations de 2008 avec un léger amendement (ajout du terme « raisonnablement », cf extrait ci-dessous) qui ouvre la possibilité, dans le cas d'un spectre large d'évolutions géodynamiques équiprobables incluant les cas extrêmes, de présenter une évaluation d'impact radiologique pour la situation de référence fondée sur des hypothèses n'incluant pas celles relevant des cas extrêmes, sans revenir sur les principes de sûreté de stockage reconnus à l'international. Les cas extrêmes pourraient quant à eux relever d'une évolution altérée :

- Au-delà de cette période, les incertitudes sur l'évolution de l'environnement de l'installation de stockage augmentent progressivement. Des estimations quantifiées basées sur des hypothèses raisonnablement majorantes des expositions individuelles devront néanmoins être faites, éventuellement complétées par des appréciations qualitatives des résultats de ces estimations compte tenu des facteurs d'évolution du milieu géologique, de façon à vérifier que le relâchement des substances radioactives conduit à des doses acceptables pour ce type de situation. Lors de cette vérification, la valeur de 0,25 mSv/an précédemment citée sera conservée comme référence. Par ailleurs, des estimations basées sur des cas « extrêmes » pourront être considérées, suivant leur intensité et/ou leur probabilité d'occurrence, comme relevant de la catégorie des situations dites altérées.

3.3. Situations dites altérées

Contenu de la note d'orientations de 2008

§ 4.3.2 (« Situations dites altérées ») : « Le caractère acceptable des expositions individuelles associées à l'occurrence d'événements incertains, mais plausibles, sera apprécié en tenant compte des caractéristiques de la situation qui en résulte, de sa probabilité lorsqu'elle pourra être évaluée, du niveau, de la durée, de l'extension et de la nature des transferts de substances radioactives dans la biosphère, des caractéristiques des voies d'atteinte de l'homme et des groupes exposés. [...] Les expositions individuelles associées aux situations dites altérées dont il apparaît qu'elles doivent être retenues pour la conception du stockage doivent être maintenues suffisamment faibles par rapport aux niveaux susceptibles d'induire des effets déterministes. »

Travaux du GT

Dans la mesure où des valeurs de dose sont proposées pour la situation de référence (cf. supra) et pour les intrusions humaines par inadvertance (cf. infra), le GT a discuté, dans un souci de cohérence, sur l'opportunité d'ajouter une valeur de référence chiffrée pour les situations altérées. A cet égard l'Andra a proposé, dans sa note d'avril 2018, de limiter l'impact lié aux situations altérées à quelques mSv/an pendant la première période de vie du stockage puis à un niveau très inférieur à ceux susceptibles d'induire des effets déterministes pendant la seconde période. D'autres niveaux ont également été évoqués par les membres du GT, à savoir :

- un niveau de référence de 10 mSv/an visant à borner les « quelques mSv/an » évoqués ci-avant ;
- un niveau de référence de 20 mSv/an en rapprochement du niveau de référence associé aux situations d'exposition existante ;

- conserver la formulation de la note d'orientations de 2008 visant à vérifier que les expositions sont « *maintenues suffisamment faibles par rapport aux niveaux susceptibles d'induire des effets déterministes* ».

Aucun consensus n'est ressorti de ces débats.

Proposition d'éléments à inclure dans le guide

L'IRSN considère, au vu des discussions tenues par le GT, que la rédaction de la note d'orientations de 2008 selon laquelle les niveaux d'exposition doivent être appréciés en fonction des caractéristiques des situations étudiées, n'a pas lieu d'être modifiée. L'IRSN ne propose donc aucune modification sur cette thématique, mais considère que celle-ci pourrait faire l'objet d'un « papier de position » sur les situations à considérer et les valeurs d'impact qui pourraient être utilisées comme repère pour évaluer le caractère acceptable des expositions, dans un principe d'optimisation de la protection radiologique (ALARA).

3.4. Situations d'intrusion humaine involontaire

Contenu de la note d'orientations de 2008

Dans la note d'orientations de l'ASN, l'intrusion humaine est traitée parmi les situations dites altérées :

§ 4.3.2 relatif aux situations dites altérées : « *Après la fermeture de l'installation de stockage, certains événements incertains, mais plausibles, naturels ou liés à des actions humaines, peuvent perturber l'évolution de l'installation de stockage et par conséquent modifier la migration des substances radioactives. Certaines situations résultant de ces événements pourraient éventuellement conduire à des expositions individuelles plus élevées que celles associées à la situation de référence* ».

§ 6.4.2.2: sous-chapitre dédié aux « *Situations dites altérées liées à l'activité humaine* ». « *Au-delà d'une phase de conservation de la mémoire du stockage, des scénarios d'intrusion à l'intérieur du stockage deviennent plausibles. La définition des caractéristiques des situations d'intrusion humaine retenues est fondée notamment sur les hypothèses suivantes :*

- *la connaissance de l'existence du stockage et de son emplacement est oubliée,*
- *le niveau de technologie qui est employé est le même qu'aujourd'hui.*

[...] *La définition des scénarios puis leur évaluation se feront en tenant compte des caractéristiques du site envisagé, du concept de stockage retenu (notamment de la profondeur d'implantation des déchets), de la période de temps considérée, ainsi que de la spécificité des déchets stockés.* »

Travaux du GT

Dans sa note d'avril 2018, l'Andra a proposé, comme indicateurs de protection associés aux scénarios d'intrusion humaine involontaire (SIHI) : (i) un niveau de référence de 20 mSv/an pendant la période « d'évolution géodynamique lente et maîtrisée » puis (ii) un niveau d'exposition largement en dessous de ceux susceptibles d'induire des effets déterministes.

Ainsi qu'évoqué au chapitre 3.1 ci-dessus et contrairement à ce que prescrit la note d'orientations de 2008 (ou également le Guide 1 de l'ASN), les pratiques internationales distinguent généralement les intrusions humaines des situations altérées.

Le GT a convenu de distinguer l'intrusion humaine involontaire des situations altérées dans le cadre de la mise à jour du guide dans un souci de cohérence avec les pratiques internationales. Les débats du GT ont également porté sur le niveau de référence acceptable selon l'AIEA (dose inférieure à 20 mSv/an) pour l'intrusion humaine. En effet, certains membres se sont interrogés sur l'opportunité

de retenir un niveau de référence pour l'intrusion humaine supérieure à celle de la situation de référence (0,25 mSv/an) étant donné que pour des déchets à vie longue stockés à proximité de la surface, la probabilité d'occurrence d'une intrusion pourrait être considérée comme égale à 1 au bout d'une certaine période, notamment du fait de l'érosion progressive de la couverture. Pour ces membres, une limite supérieure à celle fixée pour la situation de référence revenait à remettre en cause le principe d'équité intergénérationnelle. L'Andra a précisé à cet égard que les calculs « exploratoires » menés dans le cadre de l'analyse de sûreté présentée dans le rapport d'étape 2015 et réalisés sur la base des concepts retenus à ce stade appliqués au site de Soulaines, montrent que le respect d'une valeur de 0,25 mSv/an pour les SIHI serait difficilement atteignable. L'Andra précisait à titre d'illustration que l'évaluation de sûreté réalisée pour le Centre de stockage de l'Aube conduit à un impact de 4 mSv/an pour le scénario « chantier routier » et à un impact de 15 mSv/an pour le scénario « puits au droit du stockage ». Aucun consensus n'a émané du groupe par rapport à cette proposition de retenir le niveau de référence de l'impact lié aux SIHI égale à celle de la situation de référence.

Proposition d'éléments à inclure dans le guide

En l'absence de consensus du GT, l'IRSN propose d'assurer une cohérence entre le guide FA-VL et les pratiques recommandées à l'international. Pour cela, il conviendrait d'introduire des sous-chapitres dédiés aux situations d'intrusion humaine involontaires dans les chapitres 4.3 et 6.4.2 de la note d'orientations de 2008. Ainsi, le chapitre 4.3 relatif aux critères de radioprotection serait complété par

- L'impact d'un scénario d'intrusion humaine involontaire ne doit pas excéder 20 mSv/an. En outre, tant que cet impact conduit à des doses annuelles comprises entre 1 et 20 mSv, des efforts raisonnables seront alloués pour réduire la probabilité d'occurrence du scénario ou en limiter les conséquences, en optimisant la conception de l'installation.

et le chapitre 6.4 relatif à la démonstration de sûreté contiendrait l'actuel chapitre concernant les « situations dites altérées liées à l'activité humaine » de la note d'orientations de 2008.

4. BASES DE CONCEPTION

Ce chapitre présente les travaux du GT sur le chapitre 5 de la note d'orientations de 2008 relatif aux bases de conception liées à la sûreté.

4.1. Principes et fonctions de sûreté

Contenu de la note d'orientations de 2008

§ 5.1 « Les fonctions de sûreté de l'installation de stockage après la fermeture de l'installation sont les suivantes :

- limiter la circulation de l'eau dans l'installation de stockage,
- confiner la radioactivité,
- isoler les déchets de l'homme et de la biosphère compte tenu des phénomènes d'érosion climatiques et des activités humaines banales ».

Travaux du GT

Parmi les fonctions de sûreté présentées dans la note d'orientations de 2008, aucun rôle n'est attribué aux aquifères encaissants au regard de leurs potentielles capacités de dilution, de retard et de dispersion des substances radioactives, alors que le Guide 1 relatif au stockage profond mentionne la possibilité d'un rôle complémentaire à long terme des formations encaissantes présentant de telles capacités. La question d'introduire cette notion de capacité de dilution, de retard et de dispersion apportée par les aquifères dans le guide pour le stockage des déchets FA-VL a été posée en vue d'une éventuelle mise en cohérence des guides. Il a été rappelé que ce rôle des aquifères est déjà implicitement pris en compte dans le scénario d'évolution normale qui tient compte de leurs caractéristiques hydrodynamiques.

Une partie du GT s'est opposée à l'introduction de cette notion dans le guide pour deux raisons. D'une part, les aquifères encaissants d'un stockage à faible profondeur sont, de fait, plus proches de la surface (et *a fortiori* plus facilement accessibles) et favorisent un transport des substances plus rapide vers la biosphère que dans le cas d'un stockage profond. Il est donc plus prudent de ne pas compter sur leur capacité d'atténuation des concentrations afin de s'assurer qu'elles demeurent suffisamment faibles, même en l'absence de dilution, de retard et de dispersion, pour ne pas générer d'impact inacceptable lié à l'utilisation de l'eau des aquifères ou des eaux de surface qu'ils alimentent. D'autre part, il convient de tenir compte du fait que les aquifères peu profonds sont davantage sujets aux évolutions géomorphologiques et climatiques que les aquifères en milieu géologique profond et qu'il est donc plus difficile de démontrer le maintien dans le temps de leurs propriétés ayant un rôle sur l'abaissement des concentrations des substances radioactives.

Pour ce qui concerne les fonctions de sûreté identifiées dans la note d'orientations de 2008, celles-ci n'ont pas été remises en cause par le GT.

Conclusions du GT

S'il est clair qu'une éventuelle introduction de la notion de capacité de dilution, de retard et de dispersion des substances polluantes apportée par les aquifères encaissants dans le guide FA-VL devrait être nuancée par leur caractère peu profond, il est ressorti des discussions que les membres du GT avaient plutôt tendance à rejeter cette proposition d'ajout.

Proposition d'éléments à inclure dans le guide

Aucune modification n'est envisagée sur cette thématique.

4.2. Déchets et colis

Contenu de la note d'orientations de 2008

La note présente, au chapitre 5.2.1 pp. 8-9, des exigences associées aux colis de déchets pendant les phases d'exploitation et après la fermeture du stockage. Plus précisément, il est indiqué qu'« *après fermeture du stockage, les colis de déchets doivent contribuer à limiter la dissémination des substances radioactives ou toxiques qu'ils contiennent. Pour assurer ce rôle [...], les colis devront contribuer à la bonne tenue mécanique d'ensemble de l'installation. En outre, les colis présenteront une résistance à la lixiviation appropriée (relâchement en présence d'eau) et des caractéristiques contribuant à éviter la dégradation de leurs propriétés physico-chimiques favorables* ».

Le chapitre 5.2.2 (p.9) liste les connaissances nécessaires concernant les caractéristiques et les propriétés des colis de déchets.

Travaux du GT

S'agissant des déchets et de leur conditionnement en colis, les travaux du GT ont principalement porté sur les connaissances des déchets (*i.e.* leurs caractéristiques et les contraintes liées à leur gestion) ainsi que sur l'exigence de tenue mécanique des colis dans la durée.

Connaissance des déchets

Pour mieux appréhender les problématiques associées aux diverses typologies de déchets FA-VL, les membres du GT ont rassemblé, dans le cadre du SG 1, leurs caractéristiques principales (activité, radionucléides, durée de vie, toxiques chimiques, volumes...) ainsi que les principales contraintes pour leur gestion (génération de radon, réactivité chimique, présence de radionucléides à vie très longue...) et les enjeux de sûreté ou de radioprotection associés. Les échanges ont été élargis à des typologies de déchets ou matières non inclus dans le périmètre des déchets FA-VL mais présentant des caractéristiques similaires (comme par exemple les résidus de traitement de minerai d'uranium ...).

Par ailleurs, au cours des travaux du GT, des éléments de réflexion ont été apportés concernant l'opportunité de classer les déchets FA-VL non pas uniquement sur la base de leur niveau de radioactivité et de leur durée de vie, mais également sur la base d'un critère combinant, pour chaque famille de déchets, leur radiotoxicité avec la mobilité des radionucléides qu'ils contiennent, afin de mieux traduire leur niveau de dangerosité. En effet, un tel critère permettrait de regrouper certaines catégories de déchets dans un plus faible nombre de groupes présentant des contraintes similaires relatives à un risque donné (*e.g.* ingestion, inhalation...) et, *in fine*, d'identifier les options de stockage (profondeur, type de milieu géologique) les plus adaptées pour ces groupes de déchets. Bien que cette démarche ne s'applique actuellement qu'aux transferts par l'eau, les membres du GT l'ont jugée intéressante pour contribuer à la classification des familles de déchets FA-VL et à l'identification des solutions de gestion. Une proposition d'éléments à inclure dans le guide à ce sujet est présentée au chapitre 5.3 du présent rapport relatif à la profondeur d'implantation.

Exigences sur la durée de tenue mécanique des colis

L'opportunité d'ajouter des exigences sur la durée de tenue mécanique des colis a été évoquée. La plupart des membres du GT ont conclu que cela n'était pas nécessaire, notamment du fait que l'Andra n'en ait pas l'utilité pour conduire son évaluation de sûreté. Toutefois, des producteurs de déchets ont soulevé la difficulté liée à cette absence d'exigence chiffrée étant donné, d'une part, l'exigence

précisée dans la note d'orientations de 2008 de contribuer à la bonne tenue mécanique de l'installation après sa fermeture, d'autre part du fait que les spécifications d'acceptation des colis n'ont pas encore été définies par l'Andra. Aucune solution évidente n'est ressortie des discussions du GT.

En outre, il a été rappelé l'existence de la décision conditionnement qui encadre réglementairement la sûreté relative aux colis.

Proposition d'éléments à inclure dans le guide

Aucune modification n'est envisagée sur cette thématique dans le chapitre 5.2 de la note d'orientations.

4.3. Concepts de stockage

Contenu de la note d'orientations de 2008

§ 2 « *Selon les options de conception retenues, les colis de déchets pourront être isolés de la surface, soit par une couverture façonnée par l'homme, soit par le milieu géologique naturel existant* ».

§ 5.3 « *Si le concept de stockage prévoit la mise en œuvre d'une couverture, il est à noter que celle-ci devra, en plus des fonctions précitées, assurer l'isolement des déchets face aux risques d'érosion et d'intrusions humaines banales. Compte tenu de ce rôle essentiel, la robustesse de sa conception et la qualité de sa mise en œuvre devront faire l'objet d'une attention particulière. La démonstration de l'aptitude de ce type de composant à atteindre et maintenir durant la période requise les performances qui lui seront assignées devront faire l'objet d'études appropriées* ».

Travaux du GT

Sur la base des travaux réalisés par le SG 1 récapitulant, pour chaque typologie de déchets, les contraintes de gestion et enjeux de sûreté et radioprotection associées (cf. supra), les membres du GT ont échangé dans le SG 2 sur les concepts permettant de répondre au mieux à ces contraintes et enjeux. Ces échanges ont permis d'une part de s'assurer qu'aucun concept potentiellement intéressant ne serait exclu par le guide, d'autre part de mettre en évidence les possibles solutions de gestion communes à des typologies de déchets présentant des contraintes de gestion similaires, tout en soulignant le fait qu'il pourrait se révéler judicieux de répartir les typologies de déchets engendrant des contraintes très différentes, notamment en termes de périodes de décroissance ou liées à la mobilité des déchets, dans des stockages distincts.

Concepts de stockage sous couverture remaniée (SCR) et sous couverture intacte (SCI)

Deux concepts de stockage de type SCR et de type SCI ont été présentés par l'Andra dans le rapport d'étape 2015. Au cours des travaux du GT, l'Andra a présenté les techniques de creusement pour ces deux types de concept ainsi que la faisabilité d'une couverture remaniée. Il est ressorti notamment des éléments présentés par l'Andra que les techniques de creusement à ciel ouvert (de type SCR) sont intéressantes seulement pour une profondeur allant jusqu'à 20 m environ, tandis que les techniques souterraines (type SCI) paraissent plus pertinentes à partir de -10 m et restent plus simples à mettre en œuvre que pour un stockage géologique, à condition qu'elles soient réalisées à une profondeur inférieure à -80 m (limite technico-économique, *i.e.* sans recourir à une descenderie).

Autres concepts évoqués

Trois autres concepts ont été évoqués en GT : le stockage à flanc de coteau, l'utilisation d'anciennes mines et le concept dit d'« exutoire maîtrisé ».

Le concept de stockage à flanc de coteau présente l'avantage d'offrir une épaisseur de couverture potentiellement importante au-dessus du stockage sans nécessiter de techniques complexes pour accéder à la profondeur visée, qui peut être atteinte par des galeries (quasi)horizontales. A ce titre, il relève d'un SCI, avec l'avantage d'une couverture moins sensible à l'érosion qu'un SCR. De plus, suivant le site choisi, il est possible que la roche hôte visée soit recouverte d'une formation géologique différente présentant des caractéristiques plus favorables vis-à-vis du taux d'érosion.

L'utilisation de mines issues de l'exploitation passée de minerais pour y implanter un stockage de déchets radioactifs figure parmi les solutions envisagées pour le stockage des déchets historiques de Malvési. Cette solution a l'avantage dans cet exemple d'être située à proximité du lieu d'entreposage de ces déchets de type FA-VL et de bénéficier d'un volume important déjà excavé. Toutefois, elle présente également des inconvénients, dans la mesure où le creusement de telles mines n'a pas été réalisé dans l'objectif d'y implanter un stockage de déchets et que la minimisation de l'endommagement de la roche hôte durant leur creusement n'a donc pas été recherchée. De plus, les formations géologiques excavées et leur environnement hydraulique et chimique ne répondent pas nécessairement aux critères préconisés lors d'un choix de site pour un stockage de déchets radioactifs.

Enfin, le concept d'exutoire maîtrisé a fait l'objet des échanges les plus approfondis. En effet, l'Andra a proposé durant les travaux du GT une stratégie basée essentiellement sur le principe de confinement, retenu jusqu'à présent pour concevoir les stockages de déchets radioactifs dans l'objectif de bénéficier de la décroissance radioactive des déchets, ainsi qu'une stratégie basée sur le transfert des radionucléides vers un exutoire maîtrisé répondant également, selon l'Andra, aux caractéristiques hydrogéologiques énoncées pour la recherche de site dans la RFS 1.2¹⁸. L'Andra a indiqué que cette seconde stratégie pourrait permettre de réduire par dilution sur quelques dizaines de milliers d'années le terme source dû aux radionucléides à vie très longue, tandis qu'une stratégie de confinement conduit à maintenir une activité résiduelle élevée de ces radionucléides dans le stockage au-delà de la première période de vie et, par conséquent, à générer un impact potentiellement inacceptable au cours de la seconde période.

Conclusions du GT

Les travaux des SG 1 et SG 2 ont confirmé que, suivant les typologies de déchets, les contraintes associées peuvent soit mener à l'exclusion de certains concepts, soit à la possibilité de gérer dans des concepts communs des typologies de déchets présentant des contraintes similaires. Les différents concepts évoqués n'ont pas appelé de remarque particulière, hormis celui de l'exutoire maîtrisé, pour lequel la majorité des membres ont considéré qu'une telle stratégie remet effectivement en cause le principe de confinement retenu pour la conception des autres stockages de déchets radioactifs¹⁹ et que les éléments qui permettent d'en apprécier la faisabilité sont à ce stade très préliminaires. Le GT a toutefois convenu de laisser ouverte la possibilité d'envisager cette stratégie, en maintenant la possibilité de recourir à différents concepts sans les nommer ni en préciser les exigences spécifiques afin de n'en exclure aucun *a priori*.

Proposition d'éléments à inclure dans le guide

Aucun besoin de modification de la note d'orientations de 2008 n'émane des discussions du GT sur cette partie.

¹⁸ La RFS 1.2 préconise, parmi les caractéristiques hydrogéologiques à rechercher pour sélectionner un site, de favoriser les zones présentant une hydrogéologie simple permettant de déterminer précisément la position des exutoires et de faciliter leur contrôle, ainsi qu'une capacité de dilution radiologique suffisante au niveau des exutoires.

¹⁹ A noter que pour les stockages de résidus de traitement de minerai d'uranium, même si la maîtrise des rejets à l'exutoire implique une solution de gestion (traitement des eaux), ceux-ci demeurent néanmoins basés sur un principe de confinement du terme source le plus efficace possible.

5. CHOIX DE SITE

Ce chapitre présente les travaux du GT relatifs au milieu géologique, objet du chapitre 5.4 de la note d'orientations de 2008.

5.1. Critères pour le choix de site : impacts globaux

Contenu de la note d'orientations de 2008

Cette thématique ne figure pas dans la note d'orientations.

Travaux du GT

Le GT a abordé la nécessité de préciser dans le guide que des critères autres que les impacts radiologique et chimique de l'installation de stockage (e.g. facteurs économiques, impact environnemental incluant les transports, impact sociétal...) peuvent entrer en considération lors de la sélection d'un site de stockage. A titre d'exemple, le volume de déchets situés sur le site de Malvési semble trop important pour envisager leur gestion dans un site qui serait situé à grande distance, comme par exemple sur la Communauté de communes de Soulaines. Ainsi, le GT a convenu de la pertinence d'une évaluation des impacts dits « globaux » dans les études en support au choix d'un site et ainsi conclu que le guide devra mentionner une évaluation plus large que l'évaluation d'impacts radiologique et chimique qu'il détaille, sans toutefois en préciser les modalités de réalisation.

Proposition d'éléments à inclure dans le guide

Le chapitre 5.4 de la note 2008, intitulé « le milieu géologique » présente deux paragraphes introductifs avant que ne soient développés deux sous-chapitres relatifs aux « Critères techniques de choix de site » (5.4.1) et à la « Caractérisation du milieu géologique » (sans numéro mais devrait être un 5.4.2). L'IRSN propose d'ajouter, après les deux paragraphes introductifs, la phrase suivante :

- **Le présent chapitre vise à présenter les caractéristiques géologiques sur lesquelles se fonde le choix de site. Il n'a pas vocation à traiter des autres critères environnementaux, sociétaux et économiques qui pourraient également être pris en compte dans la sélection d'un site pour l'implantation d'un stockage de déchets FA-VL.**

5.2. Formation hôte

Contenu de la note d'orientations de 2008

§ 3.2 « *Aucun type de formation géologique n'est exclu dans la mesure où ces formations respectent les critères essentiels présentés au chapitre 5* ».

§ 5.4 « *Le milieu géologique assure des conditions d'environnement hydrique et géochimique favorables au stockage. En particulier, il protège les colis de déchets et les composants ouvrages des circulations d'eau en assurant des écoulements lents des eaux. Le rôle du milieu géologique consiste également à limiter les flux des substances radioactives ou toxiques relâchées en les étalant dans le temps et à retarder la migration de ces substances en favorisant les phénomènes de sorption de ces substances. Les caractéristiques du milieu doivent également permettre de limiter la migration de gaz radioactifs* ».

Travaux du GT

Dans le cadre de ses travaux, le GT a observé que, même si les fonctions de sûreté listées dans la note d'orientations de 2008 (notamment les fonctions « limiter la circulation de l'eau » et « confiner la radioactivité », cf. chapitre 4.1 du présent rapport) tendent à orienter le choix de site pour y implanter une installation de stockage de déchets FA-VL vers un milieu argileux, d'autres milieux géologiques peuvent présenter certaines caractéristiques plus favorables que celles de l'argile. A titre d'exemple, un milieu cristallin permettrait de minimiser le taux d'érosion et ainsi de mieux répondre à la fonction de sûreté « isoler les déchets de l'homme et de la biosphère ». Il a toutefois été rappelé que ce type de formation, potentiellement plus fracturée, nécessiterait de renforcer les exigences sur les ouvrages. **En tout état de cause, le GT s'est accordé sur le fait que les roches non argileuses ne devaient pas être exclues du champ des formations hôtes potentielles.**

Proposition d'éléments à inclure dans le guide

L'IRSN propose d'ajouter la phrase surlignée ci-dessous dans le corps de la seconde citation ci-dessus :

- Le milieu géologique assure des conditions d'environnement hydrique et géochimique favorables au stockage. Ses performances doivent être appréciées en rapport avec celles des autres composants du stockage. En particulier, le milieu géologique protège les colis de déchets et les composants ouvrages des circulations d'eau en assurant des écoulements lents des eaux. Son rôle consiste également à limiter les flux des substances radioactives ou toxiques relâchées en les étalant dans le temps et à retarder la migration de ces substances en favorisant les phénomènes de sorption de ces substances. Les caractéristiques du milieu doivent également permettre de limiter la migration de gaz radioactifs.

5.3. Profondeur d'implantation du stockage

Ce chapitre et les suivants présentent les travaux du GT relatifs aux critères techniques de choix de site, correspondant au chapitre 5.4.1 de la note d'orientations de 2008.

Contenu de la note d'orientations de 2008

§ 1 « Une installation de stockage de déchets FAVL devra être conçue en cohérence avec la plupart des objectifs généraux et des principes de sûreté à long terme retenus pour le stockage de déchets [...] en couche géologique profonde. Une installation de stockage de déchets FAVL devrait présenter néanmoins des différences majeures de conception par rapport à une installation de stockage géologique profonde du fait de la faible activité des déchets stockés en comparaison de l'activité des déchets MA-VL/HA. [...] Les principales différences porteront sur la profondeur et les performances dans la durée du milieu géologique ».

§ 2 « Le stockage de déchets FAVL consiste à mettre en place ces déchets, sans intention de les reprendre, sous forme de colis dans une installation de stockage implantée à faible profondeur dans le milieu géologique ».

§ 5.4.1 « La profondeur de l'installation de stockage doit être telle que la sûreté du stockage ne puisse être affectée de façon significative par les phénomènes naturels externes attendus (érosion, séismes...) ou par les activités humaines banales au moins jusqu'à ce que l'activité contenue dans l'installation ait atteint un niveau tel que les expositions de l'homme et de l'environnement demeurent acceptables, même en cas de perte de la fonction d'isolement assurée par le milieu géologique ou la couverture. La profondeur d'implantation des déchets dans la formation géologique dépend des caractéristiques radioactives des différentes catégories de déchets à stocker. Le concepteur devra justifier la profondeur retenue en fonction de ces catégories ».

Travaux du GT

Le principe d'un stockage de déchets FA-VL est d'être implanté à une profondeur suffisante pour que sa sûreté ne soit pas affectée de façon significative par les phénomènes de surface (érosion) et par les intrusions humaines banales. Par ailleurs, il convient également de protéger l'aquifère sous-jacent au stockage, notamment s'il est susceptible d'être utilisé pour l'alimentation en eau potable. La notion de « faible profondeur », communément associée au stockage de déchets FA-VL, a été discutée par le GT, au regard de ces trois contraintes. Les discussions sur la profondeur à considérer dans les scénarios d'intrusion et la protection de l'aquifère sous-jacent sont résumées respectivement aux chapitres 6.2 et 5.5 du présent rapport.

Pour ce qui concerne l'érosion, l'Andra a indiqué (présentation lors d'une réunion de GT) qu'étant donné les incertitudes, un taux d'érosion élevé, de l'ordre de 20 m en 50 000 ans, ne pouvait être exclu sur le site étudié sur la Communauté de communes de Soulaines. Le type de couverture retenu a également une influence sur sa vitesse d'érosion, une couverture remaniée s'érodant plus rapidement qu'une couverture intacte. Les discussions du GT ont notamment porté sur la possibilité de s'assurer d'un taux d'érosion faible en se basant sur un site constitué en surface de roches indurées, voire sur un site sujet à la sédimentation, pour lequel l'épaisseur de couverture aura plutôt tendance à croître.

En outre, ainsi qu'évoqué au chapitre 4.2 *supra*, le GT a convenu que la profondeur de stockage la plus adaptée à chaque catégorie de déchets prise indépendamment pourrait être affinée sur la base de la dangerosité des déchets ainsi que des caractéristiques des formations hôtes potentielles, à savoir sur le couple radiotoxicité/mobilité des radionucléides dans un milieu géologique spécifique.

Ainsi, d'une manière générale, pour gérer les différentes contraintes portant sur le confinement apporté par les gardes supérieures et inférieures du stockage et *in fine* permettre un emplacement du stockage à une profondeur adéquate tout en préservant la qualité des eaux de l'aquifère sous-jacent, le GT a conclu que la roche hôte sélectionnée devait présenter, selon les types de déchets FA-VL à stocker :

- une épaisseur totale suffisamment importante ;
- ou une épaisseur moindre avec une faible susceptibilité du site à l'érosion ;
- et des propriétés de confinement permettant de ralentir significativement le transport des radionucléides (protection des aquifères encaissants le cas échéant).

L'opportunité de définir des valeurs quantifiées concernant la « faible profondeur » a été soulevée au cours des réflexions du GT en rappelant que le Guide 1 de l'ASN relatif au stockage profond évoque une profondeur de l'ordre de 200 mètres pour garantir l'absence de perturbations de la zone superficielle liées aux phénomènes d'érosion, de glaciation, des séismes ou à une intrusion humaine banale. Il a ainsi été proposé de définir la « faible profondeur », en cohérence avec le stockage profond, comme une profondeur comprise entre 0 et 200 m.

A titre de comparaison, l'IRSN a rappelé la définition donnée dans le glossaire de sûreté de l'AIEA²⁰, pour les déchets relevant de la catégorie « intermediate level waste » (ILW), à laquelle l'IRSN considère que les déchets FA-VL sont rattachés, à savoir : « *déchets radioactifs qui, de par leur contenu, en particulier en radionucléides à vie longue, requièrent un degré de confinement et d'isolement plus*

²⁰ INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety Glossary, Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection, 2018 Edition, IAEA, Vienna (2019). <https://www.iaea.org/publications/11098/iaea-safety-glossary-2018-edition>

important que celui apporté par les stockages de surface ou situés très proche de la surface »²¹. Sur cette base, une profondeur de stockage comprise entre quelques dizaines et quelques centaines de mètres²² est préconisée par l'AIEA.

La proposition de définir la faible profondeur par une gamme comprise entre 0 et -200 m n'a toutefois pas fait consensus, certains membres du GT considérant que cette fourchette était trop large, d'autres qu'elle permettait au contraire de couvrir toutes les configurations. Un autre membre du GT proposait de définir la « faible profondeur » comme une profondeur pouvant être atteinte par des techniques constructives plus simples que celles mises en œuvre pour un stockage géologique (soit jusqu'à une profondeur de l'ordre de 80 m, ainsi qu'évoqué au chapitre 4.3 supra, au stade actuel de développement des technologies). Il a aussi été proposé de définir « faible profondeur » comme une profondeur permettant un confinement des déchets FA-VL compatible avec leur longue durée de vie mais atteignable à l'aide de moyens proportionnés à leur faible activité en comparaison de ceux mis en œuvre pour un stockage géologique profond. Une telle définition n'apparaissait néanmoins guère appropriée à certains membres du GT dans la mesure notamment où la référence à des techniques de construction, qui évoluent rapidement dans le temps, ne contraint pas la profondeur. En tout état de cause, le GT a conclu qu'il était préférable de ne pas introduire de valeur définissant l'expression « faible profondeur ».

Proposition d'éléments à inclure dans le guide

L'IRSN propose de ne modifier que le § 5.4.1 comme suit :

- § 5.4.1 : La profondeur de l'installation de stockage doit être telle que la sûreté du stockage ne puisse être affectée de façon significative par les phénomènes naturels externes attendus (érosion, séismes...) ou par les intrusions humaines banales au moins jusqu'à ce que l'activité contenue dans l'installation ait atteint un niveau tel que les expositions de l'homme et de l'environnement demeurent acceptables. La profondeur d'implantation des déchets dans la formation géologique dépend des caractéristiques des différentes catégories de déchets à stocker, qui incluent la toxicité et la mobilité des radionucléides et substances chimiques présents dans les déchets. Le concepteur devra justifier la profondeur retenue en fonction de ces catégories.

5.4. Durée de la première période d'évolution du stockage (incertitudes maîtrisées)

Contenu de la note d'orientations de 2008

§ 4.3.1 « *La stabilité (qui englobe une évolution limitée et prévisible) du milieu géologique devant, selon les critères du chapitre 5, être démontrée pour une période d'au moins 10 000 ans, la valeur des résultats des prévisions portant sur cette période devrait pouvoir être attestée de façon objective, notamment sur la base d'études d'incertitudes explicites. [...] Au-delà de cette période, les incertitudes sur l'évolution de l'environnement de l'installation de stockage augmentent progressivement. Des estimations quantifiées majorantes des expositions individuelles devront néanmoins être faites, éventuellement complétées par des appréciations qualitatives des résultats de ces estimations compte*

²¹ « *Radioactive waste that, because of its content, in particular its content of long lived radionuclides, requires a greater degree of containment and isolation than that provided by near surface disposal* »

²² « *Waste in this class may therefore require disposal at greater (intermediate) depths, of the order of tens of metres to a few hundred metres or more* »

tenu des facteurs d'évolution du milieu géologique, de façon à vérifier que le relâchement des substances radioactives ne conduit pas à des doses inacceptables.

§ 5.4 « La stabilité du milieu géologique devra être telle que les éventuelles modifications des conditions initiales dues aux phénomènes géologiques qui peuvent survenir (glaciation, sismicité, mouvements néotectoniques) restent acceptables pour la sûreté du stockage. Il est recommandé que le choix du site et que la conception de l'installation de stockage soient tels que l'on puisse déterminer l'évolution de l'installation de stockage sur une période de temps suffisante au regard de l'évolution de la nocivité des déchets stockés. En particulier, la stabilité du milieu géologique (qui englobe une évolution limitée et prévisible) devra être démontrée pour une période qui doit être égale au moins à 10 000 ans ».

Travaux du GT

Une présentation faite par l'Andra au cours des travaux du GT indique que, selon l'Andra, une évolution naturelle du climat conduirait :

- à une évolution géomorphologique lente et limitée conduisant à une érosion limitée jusqu'à l'approche des phases périglaciaires, prévues à partir de 50 000 ans environ ;
- au-delà de 50 000 ans, au développement d'altérations mécaniques et physico-chimiques pénétrant en profondeur et dégradant ainsi les propriétés de la formation hôte et de la couverture ;
- au-delà de 70 000 ans, à l'apparition de la phase glaciaire pouvant conduire à la mise en place d'un pergélisol sur toute la hauteur de la formation d'accueil (>100 m).

L'Andra a ajouté qu'une évolution climatique perturbée conduirait, à l'inverse, à un réchauffement rapide dès les prochains siècles conduisant, pour une formation argileuse affleurante, à une érosion active sur les zones de relief mais ne perturbant pas la garde inférieure du stockage. Les cycles climatiques glaciaires/interglaciaires seraient repoussés, dans ce cas de figure, à dans plusieurs centaines de milliers d'années.

La durée de 10 000 ans, associée dans la note d'orientations de 2008 à la stabilité du milieu géologique et également mentionnée dans le Guide 1, a été remise en question par le GT pour les raisons suivantes :

- les données acquises au cours des dernières années concernant les effets du réchauffement climatique montrent que cette durée, évoquée principalement pour situer la survenue d'une prochaine glaciation, pouvait être remise en cause, avec notamment l'éventualité que des incursions glaciaires surviennent plus tôt, au contraire de la tendance annoncée par l'Andra. En outre, l'érosion se révèle très sensible au réchauffement climatique ; de fait, une modification importante du taux d'érosion ne peut également pas être exclue avant 10 000 ans, comme indiqué par l'Andra ;
- le « rapport Goguel »²³ de 1987 relatif au stockage profond des déchets HA et MAVL avait justifié l'utilisation de cette durée de 10 000 ans en la rapprochant de celle d'une première phase de forte atténuation de la radioactivité de ces déchets. Or, la période d'atténuation est plus lointaine pour certains déchets FA-VL.

A contrario, le maintien dans le guide de la notion d'une durée de 10 000 ans pourrait se justifier par la nécessité de considérer deux périodes après la fermeture du stockage (cf. 3.2 du présent rapport), dans la mesure où elle correspond à l'échelle de temps retenue pour situer l'augmentation progressive

²³ 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. Juin 1985 - mai 1987.

des incertitudes sur l'évolution de l'environnement du stockage et permet ainsi une appréciation différenciée de l'impact radiologique.

Ces débats menés par le GT sur le traitement de la durée de 10 000 ans associée à la stabilité du milieu géologique ont abouti à un consensus : la solution préconisée est, d'une part, d'accompagner la parution du guide d'une précision selon laquelle les connaissances scientifiques ont évolué depuis la note d'orientations de 2008 concernant la durée de la stabilité géodynamique et, par conséquent, de ne plus associer la valeur de 10 000 ans à une période durant laquelle la stabilité géodynamique doit être démontrée. D'autre part, le GT a proposé de ne pas spécifier de valeur temporelle pour définir la limite entre la première période post-fermeture (évoquée au chapitre 3.2 *supra*) pendant laquelle il doit être démontré que les incertitudes demeurent maîtrisées, et la seconde période, qui est associée à des incertitudes plus importantes. La définition et la justification de cette limite serait ainsi reportée à la charge du concepteur du stockage.

Proposition d'éléments à inclure dans le guide

En cohérence avec les propositions d'éléments à inclure discutés au chapitre 3.2 du présent rapport, l'IRSN propose de modifier les extraits de la note d'orientations relatifs à la stabilité géologique comme suit :

- § 4.3.1 : La valeur des résultats des prévisions portant sur la période de stabilité (qui englobe une évolution limitée et prévisible) du milieu géologique (cf. critères au chapitre 5), devra pouvoir être attestée de façon objective, notamment sur la base d'études d'incertitudes explicites. Le concepteur devra justifier de la période de stabilité retenue. [...] Au-delà de cette période, les incertitudes sur l'évolution de l'environnement de l'installation de stockage augmentent progressivement. Des estimations quantifiées basées sur des hypothèses raisonnablement majorantes des expositions individuelles devront néanmoins être faites, éventuellement complétées par des appréciations qualitatives des résultats de ces estimations compte tenu des facteurs d'évolution du milieu géologique, de façon à vérifier que le relâchement des substances radioactives conduit à des doses acceptables pour ce type de situation.
- § 5.4 : La stabilité du milieu géologique devra être telle que les éventuelles modifications des conditions initiales dues aux phénomènes géologiques qui peuvent survenir (érosion, glaciation, sismicité, mouvements néotectoniques) restent acceptables pour la sûreté du stockage. Il est recommandé que le choix du site et que la conception de l'installation de stockage soient tels que l'on puisse apprécier l'évolution de l'installation de stockage sur une période de temps suffisante au regard de la nocivité des déchets stockés.

5.5. Ressources

Contenu de la note d'orientations de 2008

Chapitre 5.4.1 « Critères techniques de choix de site »

Sous-titre « Absence de stérilisation de ressources » : « *Du point de vue de la gestion du sous-sol, le site devra être choisi de façon à éviter des zones dont l'intérêt connu ou soupçonné présente un caractère exceptionnel* ».

Travaux du GT

Les discussions relatives aux ressources naturelles du sous-sol se sont tenues dans le cadre du SG 2, qui a identifié l'ensemble des catégories de ressources envisageables, leurs caractéristiques et les conséquences éventuelles sur le choix de site. Le GT a convenu que les ressources dites

environnementales (faune, flore, sol, etc....) peuvent être mentionnées dans le guide mais que leurs modalités d'étude n'y seront pas développées dans la mesure où elles sont explicitement encadrées par le code de l'environnement.

Le GT a dans un premier temps tenté de définir le périmètre du caractère « exceptionnel » d'une ressource. Les points suivants ont ainsi fait l'objet d'un consensus :

- une ressource naturelle présente un caractère exceptionnel si elle est de faible extension géographique, rare et facilement exploitable dans les conditions économiques et techniques du moment. Ce sont donc les ressources minières et en matériaux qui sont visées, tandis que les ressources en eau et en géothermie sont généralement exclues du périmètre ;
- les sites présentant de fortes singularités géologiques (*i.e.* présentant des caractéristiques uniques sur le territoire national) sans intérêt aujourd'hui mais qui pourraient être considérées comme potentielle ressource dans le futur (exemple des hydrocarbures non conventionnels non exploités aujourd'hui en France alors qu'ils le sont dans d'autres pays), seront considérés dans le périmètre des ressources exceptionnelles dès lors que leur exploitation peut s'avérer envisageable dans les décennies à venir ;
- un milieu géologique présentant des caractéristiques très favorables pour l'implantation d'un site de stockage de déchets radioactifs peut également être considéré comme une ressource exceptionnelle si l'on considère l'intérêt national de disposer d'un site de stockage. Cet intérêt pourrait alors primer par rapport à des ressources naturelles présentes sur ce site, voire par rapport à d'autres usages du sous-sol à envisager (*e.g.* stockage de gaz).

Le GT a également considéré que la notion d'« absence de stérilisation d'une ressource », utilisé dans la note d'orientations de 2008, était trop vague pour être maintenue dans le guide, qui pourrait plutôt mentionner la nécessité de ne pas condamner l'accès à et l'usage futur d'une ressource.

Cas particulier de la ressource en eau

Comme indiqué *supra*, la ressource en eau n'est *a priori* pas exceptionnelle car l'extension géographique des couches aquifères est en général telle que la présence d'un stockage de déchets radioactifs ne condamnerait pas leur accès y compris au droit de l'installation. Il s'agit toutefois d'une ressource qui peut être vitale, le marquage en substances polluantes des eaux faisant alors l'objet d'une législation particulière traitée en parallèle de l'évaluation de l'impact radiologique et chimique d'un stockage. Le GT a toutefois soulevé cette problématique du fait qu'un marquage radiologique, aussi faible soit-il, pourrait rendre l'exploitation de la ressource difficilement compatible avec les attentes de la société. A cet égard, le GT a abordé la question d'un traitement particulier des aquifères dits « stratégiques », pour lesquels une législation encore plus stricte existe, même si elle n'implique pas nécessairement d'interdire toute activité humaine à leur droit. En outre, certains membres alertent sur le fait que la ressource en eau pourrait devenir rare en fonction des épisodes de sécheresses liées au changement climatique et en venir relever, à brève échéance, systématiquement d'une ressource stratégique.

Le GT a conclu que ce qui ne relève pas de la vérification du caractère acceptable de l'impact, via les scénarios préconisés par le guide, sort du champ d'application du guide. Ainsi, celui-ci devra donc se focaliser sur l'évaluation de l'impact lié au stockage mais pourra toutefois mentionner la nécessité d'assurer la compatibilité du marquage des aquifères avec la législation encadrant les usages de l'eau et évoquer la problématique des ressources en eau dites « stratégiques ». Enfin, le GT a évoqué la possibilité de comparer plusieurs sites pour lesquels l'évaluation de l'impact radiologique et chimique, en particulier sur des aquifères stratégiques, pourrait être un des critères de choix de site.

Lien avec le risque d'intrusion

Bien que la RFS 1.2 et les travaux issus du projet HIDRA de l'AIEA relatif aux scénarios d'intrusion humaine (cf. chapitre 6.2 du présent rapport) mentionnent la nécessité d'éloigner les stockages de déchets radioactifs des sites présentant des ressources souterraines dans le but de diminuer la probabilité d'occurrence d'une intrusion humaine, le GT a convenu de ne pas introduire cette considération dans le guide.

Proposition d'éléments à inclure dans le guide

L'IRSN propose d'inclure le texte suivant dans le chapitre relatif aux critères techniques de choix de site :

Ressources naturelles

- Du point de vue de la gestion du sous-sol, le site devra être choisi de façon à éviter les zones dont l'intérêt connu ou soupçonné présente un caractère exceptionnel et dont l'accès ou l'usage futur serait condamné par la présence d'un stockage. Un intérêt soupçonné s'entend comme une forte singularité géologique, par rapport à la géologie du territoire national, qualifiable de ressource potentielle si son exploitation s'avère envisageable dans les décennies à venir. Une ressource présente un caractère exceptionnel si elle est rare, de faible extension géographique par rapport à l'emprise d'une installation de stockage, et est facilement exploitable dans les conditions techniques et économiques du moment.

Il conviendra par ailleurs de se référer au code de l'environnement pour les critères de choix de site relevant de la présence éventuelle de ressources en eau stratégiques ou de ressources environnementales situées en surface.

6. EVALUATION DE SURETE

Ce chapitre présente les travaux du GT sur le chapitre 6 de la note d'orientations de 2008 relatif à la démonstration de sûreté de l'installation de stockage.

6.1. Démonstration de sûreté pendant la phase d'exploitation

Contenu de la note d'orientations de 2008

Cette thématique ne figure pas dans la note d'orientations.

Travaux du GT

La note d'orientations de 2008 n'abordant la démonstration de sûreté que sous l'aspect des risques après la fermeture du stockage, le GT a convenu de la nécessité d'introduire dans le guide des éléments relatifs à la démonstration de sûreté durant la phase d'exploitation. Une première liste de risques à prendre en considération a été identifiée par le GT (e.g. incendie, co-activité, risques miniers...). Les travaux du SG 1 ont détaillé les contraintes associées aux différentes catégories de déchets pouvant conduire à des risques pendant la phase d'exploitation (e.g. irradiation, explosion, émanation de radon,...). Dans quelques cas, le risque identifié en phase d'exploitation (e.g. le risque incendie pour les déchets bitumés) peut influencer le choix du concept (le SCR étant *a priori* plus favorable dans cet exemple).

Il ressort des échanges au sein du GT que, bien que le guide doive effectivement rappeler la nécessité de démontrer la sûreté d'un stockage FA-VL pendant la phase d'exploitation, la réglementation existante sur les INB fournit, *a priori*, les principaux éléments génériques nécessaires pour développer l'évaluation de sûreté d'un stockage pendant cette phase. Il a été décidé de ne pas détailler dans le guide tous les éléments à prendre en compte pour cette démonstration de sûreté mais simplement de rappeler la nécessité, pour assurer la sûreté passive de l'installation après sa fermeture, de vérifier que la maîtrise des risques pendant la phase d'exploitation ou les conséquences d'un scénario accidentel pendant cette phase, ne conduisent pas à obérer la sûreté à long terme du stockage.

Proposition d'éléments à inclure dans le guide

L'IRSN propose ainsi d'intégrer, dans un premier paragraphe du chapitre 6 de la note d'orientation, les éléments ci-dessous relatifs à la démonstration de la sûreté en phase d'exploitation. Ce texte comprend en outre une mise en cohérence avec le guide 1 relatif au stockage géologique profond pour ce qui concerne la surveillance de l'installation souterraine, bien que non discutée dans le cadre du GT.

- La sûreté de l'installation fera l'objet d'une évaluation relative à la phase d'exploitation. Dans ce cadre, il sera vérifié que les modalités de maîtrise des risques et les conséquences de fonctionnements dégradés pendant cette phase n'obéreront pas la sûreté de l'installation après sa fermeture.
- Un programme de surveillance de l'installation doit être mis en œuvre à compter de la phase de construction des ouvrages de stockage. La nécessité de mettre en œuvre cette surveillance doit être prise en compte dès la conception du système de stockage. Outre sa contribution à la sûreté de l'installation en phase d'exploitation, le programme de surveillance a pour objectif de suivre l'évolution de certains paramètres caractérisant l'état des composants de l'installation de stockage et du milieu géologique, ainsi que les principaux phénomènes responsables de cette évolution. Le programme de surveillance est basé sur les connaissances scientifiques et contribue à leur actualisation ; il doit permettre de montrer que les phénomènes précités ont bien été anticipés et restent maîtrisés. Il apporte également les

éléments nécessaires pour la gestion et l'exploitation de l'installation. Les moyens utilisés pour la surveillance ne doivent pas diminuer le niveau de sûreté du stockage.

6.2. Scénarios d'intrusion humaine involontaire (SIHI)

6.2.1. Généralités

Travaux du GT

Les principaux enseignements du projet HIDRA²⁴ de l'AIEA ont été présentés par l'IRSN au GT. Ce projet propose une méthodologie à suivre pour tenir compte, dans l'évaluation de sûreté, des SIHI établis à partir de scénarios conventionnels largement utilisés à l'international. Il est dans ce cadre précisé que l'AIEA distingue, dans son document SSR-5 mentionné supra, « l'intrusion humaine », qui conduit à une perturbation directe de l'installation (*i.e.* les déchets, les barrières ouvragées ou la roche hôte en champ proche), des « actions humaines » en dehors de ces zones mais pouvant avoir une influence sur le fonctionnement du stockage (*e.g.* modifications des écoulements dans les aquifères encaissants de la roche hôte, changement climatique...). Les SIHI retenus par l'Andra pour les stockages de surface (Centre de stockage de l'Aube et Centre de stockage de la Manche) et le projet FA-VL ont également été présentés en GT. Le caractère pénalisant de ces scénarios a été questionné et le niveau de conservatisme associé n'a finalement pas été remis en cause par le GT.

Proposition d'éléments à inclure dans le guide

L'IRSN propose de remplacer l'expression « actions humaines » par « intrusions humaines » dans les chapitre 5.1 et 5.4.1 de la note d'orientations.

6.2.2. Spécificité de l'intrusion dite « banale »

Contenu de la note d'orientations de 2008

§ 1 « Comme pour les stockages de surface, il sera nécessaire [...] le cas échéant d'examiner l'opportunité de fixer des règles de répartition de l'activité au sein de l'installation afin de limiter l'apparition de zones d'activité concentrée lorsque le stockage ne sera plus à l'abri des intrusions humaines banales ».

§ 5.1 « Les fonctions de sûreté de l'installation de stockage après la fermeture de l'installation sont les suivantes : [...] Isoler les déchets de l'homme et de la biosphère compte tenu des phénomènes d'érosion climatiques et des activités humaines banales ».

§ 5.4.1 « La profondeur de l'installation de stockage doit être telle que la sûreté du stockage ne puisse être affectée de façon significative par les phénomènes naturels externes attendus [...] ou par les activités humaines banales au moins jusqu'à ce que l'activité contenue dans l'installation ait atteint un niveau tel que les expositions de l'homme et de l'environnement demeurent acceptables, même en cas de perte de la fonction d'isolement assurée par le milieu géologique ou la couverture ».

²⁴ AIEA - HIDRA - The International Project On Inadvertant Human Intrusion in the context of Disposal of RadioActive Waste. January 2017 Draft report of HIDRA 1st phase. <https://www-ns.iaea.org/downloads/rw/projects/hidra/hidra-draft-report.pdf>

Travaux du GT

Le terme « banal » qualifiant l'intrusion humaine ou les activités humaines dans la note d'orientations a fait l'objet de discussions particulières au sein du GT. Ce terme englobe tous les types de scénarios d'intrusion liés à une intrusion humaine limitée en profondeur (e.g. résidence, chantier routier, jeux d'enfants) ; il exclut par conséquent le scénario « forage profond ». La démonstration de sûreté peut s'affranchir de ces scénarios d'intrusion humaine banale si le stockage se situe à une profondeur suffisante.

L'opportunité d'inclure une définition de l'intrusion dite « banale » dans le guide a été évoquée puis finalement rejetée par le GT, faute d'accord sur une définition consensuelle. Les débats ont également porté sur la profondeur à considérer pour l'intrusion banale, l'Andra considérant dans le rapport d'étape 2015 une profondeur maximale de 10 m (correspondant au chantier routier), tandis que l'IRSN indiquait, dans son avis 2017-00216 du 30 juin 2017, qu'une profondeur d'implantation de plusieurs dizaines de mètres apparaît nécessaire pour rendre improbable l'atteinte des ouvrages par des intrusions banales, comme par exemple lors de la construction d'immeubles. En outre, l'IRSN a rappelé les profondeurs évoquées pour ce type d'intrusion dans certains documents internationaux. Il est à noter qu'elles ne sont pas toutes identiques :

- 30 m dans le SSG-1²⁵ de l'AIEA et dans un TecDoc de l'AIEA intitulé *"The use of human intrusion scenarios in safety assessment of radioactive waste disposal"* (2001, version draft) ;
- 50 m dans un document de BIOPROTA²⁶ en 2013 (valeur reprise dans le rapport provisoire de la 2^{ème} phase du projet HIDRA).

En l'absence d'une valeur établie concernant la profondeur à retenir pour considérer les intrusions banales, le GT a préféré ne pas introduire de valeur chiffrée dans le guide, à l'instar du texte actuel de la note d'orientations de 2008.

Proposition d'éléments à inclure dans le guide

Ainsi qu'évoqué au chapitre 6.2.1 supra, l'IRSN propose de remplacer le terme « activités humaines banales » par « intrusions humaines banales » dans les paragraphes suivants :

- § 5.1 : Isoler les déchets de l'homme et de la biosphère compte tenu des phénomènes d'érosion climatiques et des intrusions humaines banales.
- § 5.4.1 : La profondeur de l'installation de stockage doit être telle que la sûreté du stockage ne puisse être affectée de façon significative par les phénomènes naturels externes attendus (érosion, séismes...) ou par les intrusions humaines banales au moins jusqu'à ce que l'activité contenue dans l'installation ait atteint un niveau tel que les expositions de l'homme et de l'environnement demeurent acceptables, même en cas de perte de la fonction d'isolement assurée par le milieu géologique ou la couverture.

²⁵ AIEA (2009) Borehole Disposal Facilities for Radioactive Waste. Specific safety guide no. SSG-1

²⁶ Smith G M, Molinero J, Delos A, Valls A, Smith K, Conesa A, Hjerpe T (2013). Human Intruder Dose Assessment for Deep Geological Disposal. BIOPROTA Working Report 2013-23

6.2.3. Phase de surveillance et date d'occurrence du SIHI

Contenu de la note d'orientations de 2008

§ 4.1 « Après la fermeture de l'installation de stockage, la protection de la santé des personnes et de l'environnement ne doit pas dépendre d'une surveillance et d'un contrôle institutionnel qui ne peuvent pas être maintenus de façon certaine au-delà d'une période limitée ».

Travaux du GT

La note d'orientations de 2008 ne fixe pas de durée pour la conservation de la mémoire du stockage, ni de date à laquelle le SIHI doit être considéré. Pour rappel, une durée de surveillance limitée à 300 ans est retenue dans la RFS I.2, qui conduit l'Andra à considérer l'occurrence des SIHI à cette date pour les stockages de surface tandis que cette considération est explicitement requise à 500 ans dans le Guide 1 pour un stockage géologique. Pour l'évaluation de sûreté présentée dans le rapport d'étape 2015 relatif au stockage FA-VL, l'Andra s'est basée sur le Guide 1 pour retenir la date de 500 ans pour l'occurrence du premier SIHI envisageable. Au cours du GT, l'Andra a précisé que certains scénarios d'intrusion banale sont considérés à plus long terme, à savoir dès lors que la configuration du stockage, suite à l'évolution géomorphologique du site, les rend plausibles s'ils ne l'étaient pas du fait d'une profondeur des déchets jugée non accessible initialement.

Le GT n'a pas retenu l'introduction dans le guide d'une valeur spécifique pour la durée de la phase de surveillance ou la date d'occurrence du SIHI dans la mesure où la RFS I.2 et le Guide 1 permettent actuellement de borner la date de prise en compte des premiers SIHI pour le stockage de déchets FA-VL.

Proposition d'éléments à inclure dans le guide

L'IRSN ne propose aucune modification sur cette partie.

6.3. Exposition liée au radon

Contenu de la note d'orientations de 2008

Cette thématique ne figure pas dans la note d'orientations.

Travaux du GT

Au cours des travaux du GT, l'IRSN a rappelé les éléments, présentés dans son avis 2017-00216 du 30/06/2017, relatifs au risque d'exposition au radon en cas de résidence sur un site accueillant des déchets contenant du radium ou de l'uranium, suite à la perte de la mémoire du site. L'IRSN a indiqué que l'évaluation de l'impact lié au radon à l'intérieur de l'habitat dépend de paramètres difficilement prédictibles, tels que les caractéristiques des bâtiments, les modes de vie des habitants ou encore la nature des sources présentes, et repose sur des modèles complexes. Le retour d'expérience montre que les modélisations actuelles de l'exposition au radon couvrent de manière très insuffisante les situations observées à l'intérieur d'habitations situées sur ou à proximité de sources de radium et d'uranium, avec des concentrations calculées souvent largement sous-estimées par rapport aux mesures, ces dernières dépassant en outre fréquemment la valeur de référence de 300 Bq/m³ préconisée dans le Décret n° 2018-434 du 4 juin 2018 pour les immeubles bâtis. Aussi, l'IRSN a proposé de baser les calculs d'exposition au radon dans l'air intérieur sur des scénarios conventionnels et, compte tenu de la vraisemblance d'une exposition élevée au regard de la valeur de 300 Bq/m³, d'utiliser les résultats obtenus dans l'objectif de comparer différents concepts plutôt que dans celui de dimensionner un stockage. A cet égard, il a été précisé, à titre d'illustration, qu'une activité volumique

de 450 Bq/m³ équivaut à une dose supérieure à 6 mSv/an (selon les facteurs de conversion de la CIPR 65 en date de 1993²⁷).

Les membres du GT ont convenu de la complexité des calculs d'estimation de l'activité du radon dans l'air intérieur et n'ont pas vu d'inconvénient à l'utilisation de scénarios conventionnels pour apprécier le risque lié à ce radionucléide d'une part, et pour comparer différents concepts de stockage dans une démarche d'optimisation d'autre part.

Proposition d'éléments à inclure dans le guide

L'IRSN propose l'ajout du paragraphe ci-dessous dans le chapitre relatif à la démonstration de la sûreté après la fermeture de l'installation de stockage.

Traitement particulier du risque lié au radon à l'intérieur de l'habitat

- La particularité des déchets contenant du radium ou de l'uranium nécessite d'évaluer l'exposition au radon en situation d'intrusion, notamment en cas de présence d'une habitation sur le site de stockage. L'évaluation de l'exposition au radon dans un bâtiment s'avère toutefois complexe car il repose sur des paramètres liés, d'une part à la nature des sources présentes (déchets, milieu naturel variable selon la localisation du site et la nature des sols et roches sous-jacents), d'autre part à la capacité d'un habitat à concentrer du radon (type de construction, en particulier du soubassement et ventilation du bâtiment, habitudes de vie des occupants). Aussi, le risque lié au radon pour les scénarios d'habitation visera, dans un objectif d'optimisation, davantage à comparer différents concepts qu'à dimensionner le stockage.

6.4. Aléa sismique

Contenu de la note d'orientations de 2008

§ 6.4.1.2 (situation de référence - évènements naturels)

« Le niveau d'activité sismique à retenir sera déterminé en tenant compte du contexte géodynamique local et régional. Le séisme maximal retenu pour établir la situation de référence sera défini en considérant la période durant laquelle les propriétés de confinement de l'installation de stockage doivent être maintenues. Des incertitudes existent sur les niveaux sismiques possibles sur des périodes sensiblement supérieures à la période historique. Pour en tenir compte, plusieurs approches pourront être retenues ».

§ 6.4.2.1 (situations altérées liées à évènements naturels)

« Les caractéristiques du séisme maximal physiquement possible seront recherchées sur la base du contexte tectonique du site ».

Travaux du GT

Ce point, non évoqué pendant les séances plénières du GT, n'a été abordé qu'en réunion de comité de pilotage et faisait suite à l'avis IRSN/2017-00216, préalable à la rédaction du guide FA-VL, qui précisait que les experts du GT pourraient notamment débattre sur la méthodologie de définition du SMPP et l'utilisation de la démarche probabiliste.

²⁷ La CIPR 137 (éditée en 2017) recommande un doublement de ce facteur de conversion, qui n'est toutefois pas encore décliné dans la réglementation française.

Il a finalement été décidé au sein du comité de pilotage de ne pas tenir ces débats en raison d'échanges techniques déjà planifiés dans le cadre de la pré-instruction de la demande d'autorisation de création de Cigéo, qui pourront alimenter de futurs débats en configuration de GT le cas échéant.

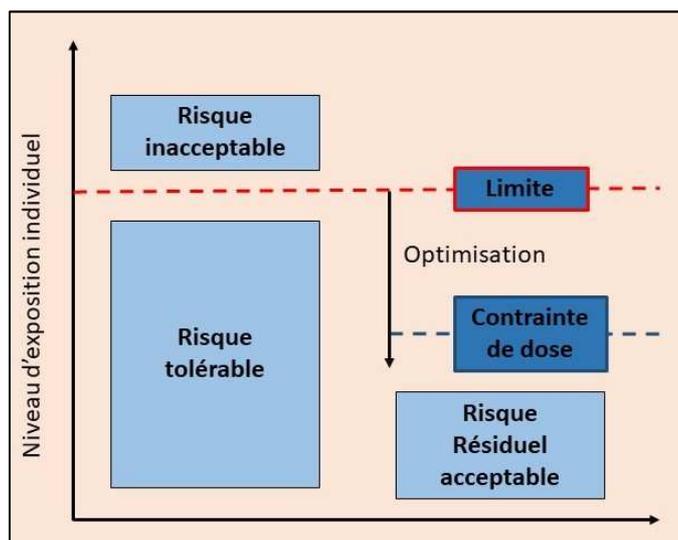
[Proposition d'éléments à inclure dans le guide](#)

L'IRSN ne propose aucune modification sur cette partie.

GLOSSAIRE

Contrainte de dose

La contrainte de dose est utilisée dans le cas des situations d'exposition planifiée. Elle est toujours inférieure à la limite de dose correspondante et ne doit pas être utilisée ou considérée comme une limite réglementaire prescriptive. Il s'agit d'un niveau de dose à l'individu au-dessus duquel une action d'optimisation doit presque toujours être prise.



Niveau de référence

Le niveau de référence est une valeur utilisée dans les situations mentionnées à l'article L. 1333-3 du code de la Santé Publique pour définir le niveau de la dose efficace ou de la dose équivalente ou de concentration d'activité au-dessus duquel il est jugé inapproprié de permettre la survenance d'expositions aux rayonnements ionisants résultant de ladite situation, même s'il ne s'agit pas d'une limite ne pouvant pas être dépassée. L'optimisation de la protection porte prioritairement sur les expositions supérieures au niveau de référence et continue d'être mise en œuvre en dessous de celui-ci pour réduire aussi bas que raisonnablement possible les expositions (Annexe 13-7 du code de la Santé Publique).

Situation de référence

La situation de référence correspond à l'évolution prévisible de l'installation de stockage et du milieu géologique sous l'effet des événements certains ou très probables.

Situations dites altérées

Les situations dites altérées correspondant à l'occurrence d'événements incertains, mais plausibles, soit naturels, soit liés aux actions humaines, qui se superposent à la situation de référence et peuvent conduire à une accélération de la migration de substances radioactives entre les ouvrages de stockage et la biosphère.

Intrusion humaine involontaire

Action humaine résultant, au-delà d'une phase de conservation de la mémoire, en une perturbation directe de l'installation de stockage (e.g. déchets stockés ou barrières ouvragées).

Substance radioactive

Substance qui contient des radionucléides, naturels ou artificiels, dont l'activité ou la concentration justifie un contrôle de radioprotection.

Déchet radioactif

Substances radioactives pour lesquelles aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou envisagée.

Déchets radioactifs ultimes

Déchets radioactifs qui ne peuvent plus être traités dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de leur part valorisable ou par réduction de leur caractère polluant ou dangereux.

Stockage de déchets radioactifs

Opération consistant à placer ces substances dans une installation spécialement aménagée pour les conserver de façon potentiellement définitive dans le respect des principes énoncés à l'article L 542-1 du code de l'environnement.

Composants ouvragés

Les composants ouvragés comprennent les ouvrages de génie civil dans lesquels les colis de déchets sont placés, les scellements des ouvrages de stockage et des ouvrages d'accès, ainsi que le cas échéant une couverture façonnée par l'homme.

ANNEXES

Annexe 1. Orientations générales de sûreté en vue d'une recherche de site pour le stockage des déchets de faible activité massive à vie longue	38
Annexe 2. Avis IRSN 2017-00216 du 30 juin 2017	55
Annexe 3. Liste des participants	66

Annexe 1. Orientations générales de sûreté en vue d'une recherche de site pour le stockage des déchets de faible activité massive à vie longue

**ORIENTATIONS GÉNÉRALES DE SÛRETÉ
EN VUE D'UNE RECHERCHE DE SITE
POUR LE STOCKAGE DES DÉCHETS DE FAIBLE ACTIVITÉ
MASSIQUE À VIE LONGUE**

—————
(VERSION DU 5 MAI 2008)

ORIENTATIONS GENERALES DE SURETE
EN VUE D'UNE RECHERCHE DE SITE
POUR LE STOCKAGE DES DECHETS DE FAIBLE ACTIVITE
MASSIQUE A VIE LONGUE

1	PREAMBULE	4
2	OBJET DU DOCUMENT ET DEFINITIONS	4
3	DOMAINE D'APPLICATION DU DOCUMENT.....	5
3.1	DECHETS CONCERNES.....	5
3.2	FORMATONS GEOLOGIQUES CONCERNEES.....	5
3.3	SITUATIONS ETUDIEES.....	5
4	OBJECTIF FONDAMENTAL	6
4.1	OBJECTIF.....	6
4.2	CRITERES DE PROTECTION A L'EGARD DU RISQUE CHIMIQUE.....	6
4.3	CRITERES DE RADIOPROTECTION.....	6
4.3.1	Situation de référence	6
4.3.2	Situations dites altérées.....	7
5	BASES DE CONCEPTION LIEES A LA SURETE.....	7
5.1	PRINCIPES ET FONCTIONS DE SURETE	7
5.2	LES COLIS DE DECHETS	8
5.2.1	Exigences	8
5.2.2	Connaissance des caractéristiques et des propriétés des colis de déchets.....	9
5.3	LES COMPOSANTS OUVRAGES.....	9
5.4	LE MILIEU GEOLOGIQUE.....	10
5.4.1	Critères techniques de choix de site.....	10
	Caractérisation du milieu géologique.....	11
5.5	LES CONCEPTS DE STOCKAGE	11
6	DEMONSTRATION DE LA SURETE APRES FERMETURE DE L'INSTALLATION	
DE STOCKAGE.....		12
6.1	VERIFICATION DU CARACTERE FAVORABLE DES COMPOSANTS	12
6.2	EVALUATION DES PERTURBATIONS INDUITES DANS L'INSTALLATION DE STOCKAGE	12
6.3	EVALUATION DES EXPOSITIONS INDIVIDUELLES	13
6.4	SITUATIONS ETUDIEES.....	13
6.4.1	Situation de référence	13
6.4.1.1	Evolution due à la présence de l'installation de stockage.....	14
6.4.1.2	Evolution de l'installation de stockage due aux événements naturels.....	14
6.4.2	Situations dites altérées.....	14
6.4.2.1	Situations dites altérées liées à des événements naturels.....	14

6.4.2.2 Situations dites altérées liées à l'activité humaine.....	14
6.4.2.3 Situations dites altérées dues à un défaut de composant.....	15
6.5 MODELISATION DE L'EVOLUTION DE L'INSTALLATION DE STOCKAGE	15
6.6 BIOSPHERE	15
6.7 PRISE EN COMPTE DES INCERTITUDES ET ETUDES DE SENSIBILITE	16

1 PREAMBULE

La sûreté d'un stockage repose sur la mise en œuvre d'un ensemble de dispositions techniques qui doivent être adaptées aux risques inhérents aux déchets stockés. De manière générale, elle dépend des propriétés favorables des formations géologiques sur ou dans lesquelles les déchets sont placés, de sa profondeur d'implantation, du rôle complémentaire de barrières physiques multiples (colis, ouvrages, couvertures et scellements), de la surveillance et de la limitation de l'activité stockée. Le recours à tout ou partie de ces dispositions dépend des catégories de déchets à éliminer.

Le stockage de déchets de faible activité et à vie longue (FAVL) doit prioritairement être conçu pour permettre l'élimination de déchets de graphite et de déchets radifères, ainsi que le prévoit la loi n° 2006-739 du 28 juin 2006. L'inventaire radioactif à vie longue des déchets de graphite est notamment constitué de Carbone 14 qui décroît en quelques dizaines de milliers d'années. Les déchets radifères contiennent essentiellement du Radium 226 et de l'Uranium 238. Les plus riches en radium d'entre eux présentent comme pour les déchets de graphite une décroissance de leur activité en quelques dizaines de milliers d'années. La conception d'une installation de stockage de déchets FAVL devra donc principalement viser à confiner les déchets efficacement pendant la durée de décroissance précitée (quelques 10^4 ans). Au terme de cette durée, l'activité contenue dans les déchets devrait avoir atteint un niveau résiduel tel que les expositions de l'homme et de l'environnement ne soient pas inacceptables même en cas de perte significative des propriétés de confinement de l'installation. Une installation de surface faisant l'objet d'une surveillance institutionnelle ne peut apporter de garantie suffisante de confinement des déchets sur une telle durée. Aussi, une installation de stockage de déchets FAVL devra être conçue en cohérence avec la plupart des objectifs généraux et des principes de sûreté à long terme retenus pour le stockage de déchets de moyenne et haute activité à vie longue (MA-VL/HA) en couche géologique profonde. Une installation de stockage de déchets FAVL devrait présenter néanmoins des différences majeures de conception par rapport à une installation de stockage géologique profonde du fait de la faible activité des déchets stockés en comparaison de l'activité des déchets MA-VL/HA. Il appartiendra au concepteur de préciser les exigences qu'il associe aux dispositifs mis en œuvre pour assurer la sûreté du stockage des déchets FAVL en fonction des résultats de son analyse de sûreté. Il apparaît toutefois que les principales différences porteront sur la profondeur et les performances dans la durée du milieu géologique, les performances des colis et les dispositions de conception visant à assurer la sûreté de l'exploitation de l'installation. Par ailleurs, comme pour les stockages de surface, il sera nécessaire de limiter l'activité à vie longue pouvant être reçue dans l'installation, notamment pour les radionucléides qui ne décroissent pas en quelques dizaines de milliers d'années, et le cas échéant d'examiner l'opportunité de fixer des règles de répartition de l'activité au sein de l'installation afin de limiter l'apparition de zones d'activité concentrée lorsque le stockage ne sera plus à l'abri des intrusions humaines banales. Les limitations d'activité seront donc des éléments fondamentaux pour définir les catégories de déchets susceptibles d'être acceptées dans un stockage de déchets FAVL, au vu du site et du concept retenus.

Le stockage de déchets FAVL est donc une installation « intermédiaire » entre un centre de stockage de surface et un centre de stockage en formation géologique profonde qui est conforme au principe d'optimisation technique et économique du dispositif de gestion des déchets radioactifs énoncé à l'article 3 du décret n° 2008-357 du 16 avril 2008 pris pour l'application de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et fixant les prescriptions relatives au Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs.

2 OBJET DU DOCUMENT ET DEFINITIONS

L'objet du présent document est de définir les orientations générales qui doivent être retenues dès les phases d'investigation d'un site et de conception d'une installation de stockage de déchets FAVL pour en assurer la sûreté après sa fermeture.

Le concepteur chargé de l'étude d'un stockage de déchets radioactifs solides FAVL devra rendre compte à l'Autorité de sûreté nucléaire des conditions d'application du présent document.

Conformément à la loi du 28 juin 2006, les termes utilisés dans le présent document sont définis de la manière suivante :

- *« une substance radioactive est une substance qui contient des radionucléides, naturels ou artificiels, dont l'activité ou la concentration justifie un contrôle de radioprotection »,*

- « les déchets radioactifs sont des substances radioactives pour lesquelles aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou envisagée »,
- « les déchets radioactifs ultimes sont des déchets radioactifs qui ne peuvent plus être traités dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de leur part valorisable ou par réduction de leur caractère polluant ou dangereux »,
- « le stockage de déchets radioactifs est l'opération consistant à placer ces substances dans une installation spécialement aménagée pour les conserver de façon potentiellement définitive dans le respect des principes énoncés à l'article L. 542-1 du code de l'environnement ».

Le stockage de déchets FAVL consiste à mettre en place ces déchets, sans intention de les reprendre, sous forme de colis dans une installation de stockage implantée à faible profondeur dans le milieu géologique. Le milieu géologique est constitué par les formations géologiques du site et notamment la roche hôte qui correspond à la formation géologique au sein de laquelle seront disposés les colis de déchets radioactifs. Selon les options de conception retenues, les colis de déchets pourront être isolés de la surface, soit par une couverture façonnée par l'homme, soit par le milieu géologique naturel existant.

Les composants de l'installation de stockage qui ont généralement un rôle dans la sûreté après la fermeture de l'installation de stockage sont regroupés en trois classes :

- les colis de déchets dans lesquels les substances radioactives sont incorporées;
- les composants ouvrages. Ceux-ci comprennent les ouvrages de génie civil dans lesquels les colis de déchets sont placés, les scellements des ouvrages de stockage et des ouvrages d'accès, ainsi que le cas échéant une couverture façonnée par l'homme ;
- la formation géologique hôte.

Le présent document traite des points suivants :

- les objectifs de protection de la santé des personnes et de l'environnement,
- les principes de sûreté et les bases de conception de l'installation de stockage liées à la sûreté,
- la méthodologie de démonstration de la sûreté de l'installation de stockage.

3 DOMAINE D'APPLICATION DU DOCUMENT

3.1 DECHETS CONCERNES

En cohérence avec la loi du 28 juin 2006, des solutions de stockage de déchets FAVL devront être développées pour stocker :

- les déchets de graphite et de procédés associés issus du démantèlement des réacteurs uranium naturel – graphite – gaz (UNGG), ainsi que d'autres réacteurs, notamment expérimentaux,
- des déchets radifères.

Ces deux catégories de déchets pourront éventuellement être stockées dans des installations dédiées localisées sur des sites différents mais répondant aux orientations générales faisant l'objet du présent document. Par convention, dans le reste du document, on désignera la ou les installations envisagées par le terme générique « l'installation ».

L'installation de stockage pourra éventuellement recevoir d'autres types de déchets FAVL (identifiés dans le cadre du PNGMDR), si les évaluations de sûreté réalisées concluent à cette possibilité.

3.2 FORMATIONS GEOLOGIQUES CONCERNEES

Aucun type de formation géologique n'est exclu dans la mesure où ces formations respectent les critères essentiels présentés au chapitre 5.

3.3 SITUATIONS ETUDIEES

Dans le cadre de l'analyse de sûreté, les situations suivantes seront étudiées (cf. chapitre 6) :

- une situation de référence correspondant à l'évolution prévisible de l'installation de stockage et du milieu géologique sous l'effet des événements certains ou très probables ;
- des situations dites altérées correspondant à l'occurrence d'événements incertains, mais plausibles, soit naturels, soit liés aux actions humaines, qui se superposent à la situation de référence et peuvent conduire à une accélération de la migration de substances radioactives entre les ouvrages de stockage et la biosphère.

Ces situations sont précisées au paragraphe 6.4.

4 OBJECTIF FONDAMENTAL

4.1 OBJECTIF

La protection de la santé des personnes et de l'environnement constitue l'objectif fondamental de sûreté assigné au stockage de déchets FAVL. Elle doit être assurée envers les risques liés à l'exploitation et les risques liés à la dissémination de substances radioactives et de toxiques chimiques pendant la phase d'exploitation, puis, après la fermeture de l'installation de stockage.

Après la fermeture de l'installation de stockage, la protection de la santé des personnes et de l'environnement ne doit pas dépendre d'une surveillance et d'un contrôle institutionnel qui ne peuvent pas être maintenus de façon certaine au-delà d'une période limitée.

En conséquence, le milieu géologique est choisi et l'installation de stockage est conçue de telle sorte que sa sûreté après fermeture soit assurée de façon passive afin de protéger les personnes et l'environnement des substances radioactives et des toxiques chimiques contenus dans les déchets radioactifs, sans qu'il soit nécessaire d'intervenir.

A cet égard, le concept retenu pour le stockage devra permettre de maintenir l'impact radiologique au niveau le plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre, compte tenu de la connaissance scientifique acquise, de l'état des techniques et des facteurs économiques et sociaux.

Les caractéristiques du site retenu, l'implantation de l'installation de stockage, la conception des composants artificiels (colis, composants ouvragés) et la qualité de leur réalisation constituent le fondement de la sûreté du stockage. Il convient donc de s'assurer de leur adéquation à l'objectif fondamental. Dans ce cadre, des évaluations de l'impact radiologique et chimique seront effectuées pour vérifier que l'objectif est bien atteint.

4.2 CRITERES DE PROTECTION A L'EGARD DU RISQUE CHIMIQUE

Les évaluations de sûreté comprennent notamment l'évaluation de l'impact des toxiques chimiques pour toutes les situations étudiées et toutes les phases de vie de l'installation de stockage. L'acceptabilité de cet impact devra être appréciée en fonction de critères réglementaires ou à défaut de recommandations disponibles.

4.3 CRITERES DE RADIOPROTECTION

Pour la phase d'exploitation, les critères de radioprotection sont ceux appliqués aux installations nucléaires de base et sont en conformité avec les dispositions du code du travail (Art. R231-75 inséré par décret n°2003-296 du 31 mars 2003) et du code de la santé publique (Art. R1333-8 modifié par décret n°2006-676 du 8 juin 2006) relatives respectivement à la protection des travailleurs et à la protection générale des personnes.

Pour la phase succédant à la fermeture de l'installation, les analyses de sûreté présentées comprendront la détermination des expositions individuelles exprimées en dose efficace. On supposera la constance des caractéristiques de l'homme (sensibilité aux rayonnements, habitudes alimentaires, conditions de vie, connaissances générales actuelles, notamment dans les domaines technique et médical).

4.3.1 SITUATION DE REFERENCE

Pour la situation de référence après la fermeture de l'installation de stockage, les doses efficaces individuelles calculées ne devront pas excéder la valeur de 0,25 mSv/an pour des expositions prolongées liées à des événements certains ou très probables.

Les évaluations des expositions individuelles seront fondées sur une modélisation de l'évolution de l'installation de stockage, en particulier des colis et des composants ouvragés, ainsi que sur une modélisation

de la circulation des eaux souterraines et de la migration des substances radioactives en solution et sous forme gazeuse.

Les événements à considérer sont :

- les événements liés à la présence de l'installation de stockage, aux défauts de réalisation et à l'ensemble des processus de dégradation progressive des colis et des composants ouvrages,
- un ensemble d'événements naturels probables.

La stabilité (qui englobe une évolution limitée et prévisible) du milieu géologique devant, selon les critères du chapitre 5, être démontrée pour une période d'au moins 10 000 ans, la valeur des résultats des prévisions portant sur cette période devrait pouvoir être attestée de façon objective, notamment sur la base d'études d'incertitudes explicites. La contrainte de dose de 0,25 mSv/an sera retenue pour vérifier que la conception du stockage satisfait l'objectif fondamental de sûreté.

Au-delà de cette période, les incertitudes sur l'évolution de l'environnement de l'installation de stockage augmentent progressivement. Des estimations quantifiées majorantes des expositions individuelles devront néanmoins être faites, éventuellement complétées par des appréciations qualitatives des résultats de ces estimations compte tenu des facteurs d'évolution du milieu géologique, de façon à vérifier que le relâchement des substances radioactives ne conduit pas à des doses inacceptables. Lors de cette vérification, la valeur de 0,25 mSv/an précédemment citée sera conservée comme référence.

4.3.2 SITUATIONS DITES ALTERÉES

Après la fermeture de l'installation de stockage, certains événements incertains, mais plausibles, naturels ou liés à des actions humaines, peuvent perturber l'évolution de l'installation de stockage et par conséquent modifier la migration des substances radioactives. Certaines situations résultant de ces événements pourraient éventuellement conduire à des expositions individuelles plus élevées que celles associées à la situation de référence.

Le caractère acceptable des expositions individuelles associées à l'occurrence d'événements incertains, mais plausibles, sera apprécié en tenant compte des caractéristiques de la situation qui en résulte, de sa probabilité lorsqu'elle pourra être évaluée, du niveau, de la durée, de l'extension et de la nature des transferts de substances radioactives dans la biosphère, des caractéristiques des voies d'atteinte de l'homme et des groupes exposés.

Par ailleurs, la possibilité d'interventions en vue de limiter les conséquences, dans le cas où des situations du type considéré viendraient à se produire, ne doit évidemment pas être retenue lors de la conception pour assurer la sûreté du stockage après sa fermeture.

C'est pourquoi les expositions individuelles associées aux situations dites altérées dont il apparaît qu'elles doivent être retenues pour la conception du stockage doivent être maintenues suffisamment faibles par rapport aux niveaux susceptibles d'induire des effets déterministes.

Hormis la comparaison des doses individuelles efficaces calculées aux valeurs indiquées, qu'il s'agisse de la situation de référence ou des situations dites altérées, l'appréciation du caractère acceptable de la conception du stockage résulte avant tout de l'analyse des efforts faits par le concepteur du stockage pour que les expositions individuelles soient aussi faibles que raisonnablement possible, compte tenu des facteurs économiques et sociaux.

5 BASES DE CONCEPTION LIEES A LA SURETE

5.1 PRINCIPES ET FONCTIONS DE SURETE

Au sens le plus général, la sûreté d'un stockage repose sur un ensemble de composants (voir sous-chapitres 5.2, 5.3 et 5.4) et de dispositions (voir sous-chapitre 5.5) empêchant ou limitant la migration des substances radioactives ou des toxiques chimiques vers la biosphère, de manière à protéger l'homme et l'environnement.

Les principes de sûreté définissent les orientations fondamentales qui doivent être suivies pour concevoir l'installation de stockage. Celle-ci doit être conçue selon une approche relevant du principe de défense en profondeur, principe internationalement retenu pour la conception et l'exploitation des installations nucléaires. Sa conception doit tout particulièrement permettre une démonstration aisée de son bon fonctionnement après fermeture. Le principe de défense en profondeur, pour les installations nucléaires,

conduit à la mise en place de lignes de défense successives aptes à prévenir l'apparition ou, le cas échéant, à limiter les conséquences de défaillances techniques, humaines ou organisationnelles susceptibles de conduire à des situations accidentelles pouvant affecter la protection de l'homme ou de l'environnement.

L'impossibilité de prévoir des interventions après la fermeture de l'installation conduit à retenir des dispositions passives. Pour la sûreté après la fermeture de l'installation de stockage, la mise en place de lignes de défense successives lors de la conception de l'installation de stockage se traduit par l'attribution aux différentes classes de composants du stockage de diverses fonctions de sûreté complémentaires. Ce principe a pour effet de faire reposer la sûreté du stockage sur la complémentarité et la diversité des classes de composants et sur un certain niveau de redondance des fonctions de sûreté de telle sorte que des défaillances plausibles de composants ne compromettent pas, à elles seules, la sûreté de l'installation.

Les fonctions de sûreté de l'installation de stockage visent à assurer le respect de l'objectif fondamental de protection de la santé des personnes et de l'environnement pendant toutes les phases de vie de l'installation de stockage. Elles sont remplies par des composants de l'installation de stockage.

Les fonctions de sûreté de l'installation de stockage après la fermeture de l'installation sont les suivantes :

- limiter la circulation de l'eau dans l'installation de stockage,
- confiner la radioactivité,
- isoler les déchets de l'homme et de la biosphère compte tenu des phénomènes d'érosion climatiques et des activités humaines banales.

La performance de l'installation de stockage est à mettre en regard de la nocivité des substances contenues dans l'installation et de son évolution. La probabilité de perte partielle ou totale d'une fonction d'un composant doit être d'autant plus faible que cette nocivité, notamment le potentiel radiotoxique des déchets stockés, est élevée. Ainsi, les fonctions devront être assurées pendant une durée suffisante, compte tenu de leurs rôles respectifs dans la sûreté globale du stockage et de l'évolution de la nocivité des déchets. La durée et la qualité du confinement doivent être définies en fonction de la nature du déchet.

Un composant du stockage peut participer à une ou plusieurs fonctions de sûreté pendant une période de temps spécifiée.

La capacité des différents composants du stockage à atteindre les performances visées doit être mise en regard des incertitudes sur l'évolution de l'installation de stockage et de son environnement. Ainsi, il convient d'adopter des dispositions de conception et de réalisation, ainsi que des méthodes permettant de démontrer que les performances attendues des composants du stockage seront obtenues y compris pour les perturbations raisonnablement envisageables auxquelles l'installation de stockage pourra être soumise. A cette fin, l'évolution de l'installation de stockage devra pouvoir être décrite sur une période de temps suffisamment longue. Une attention particulière doit être portée à la faisabilité technique des colis et des composants ouvrages, ainsi qu'aux techniques et aux moyens de contrôle permettant de s'assurer de la qualité de leur réalisation et de justifier le degré de confiance acquis dans la capacité de ces composants à remplir leurs fonctions.

5.2 LES COLIS DE DECHETS

5.2.1 EXIGENCES

La conception des colis de déchets doit permettre de contribuer au mieux à la sûreté des opérations relevant des phases préalables au stockage et de la phase d'exploitation du stockage (entreposage, manutention, transport, opérations de fermeture...). Après fermeture du stockage, le maintien dans le temps des caractéristiques favorables des colis de déchets doit être tel qu'il permet de contribuer aux objectifs de sûreté. A cet égard, les déchets stockés devront avoir été contrôlés et traités afin de leur donner une forme physico-chimique peu propice à la dissémination des radionucléides qu'ils contiennent.

Pendant la phase d'exploitation, les colis de déchets devront :

- participer, le cas échéant en combinaison avec d'autres équipements et dispositions à limiter l'exposition externe et interne notamment celle due aux émanations de gaz radioactifs,
- empêcher la dispersion de poussières radioactives et toxiques,

- posséder des propriétés mécaniques favorables à la sûreté de leur manutention,
- présenter des propriétés permettant de limiter la dissémination de la radioactivité et de substances toxiques en cas d'agression externe (incendie, explosion, inondation...)

Après fermeture du stockage, les colis de déchets doivent contribuer à limiter la dissémination des substances radioactives ou toxiques qu'ils contiennent. Pour assurer ce rôle, selon le concept de stockage envisagé et en vue de prévenir la défaillance éventuelle des autres composants du stockage, les colis devront contribuer à la bonne tenue mécanique d'ensemble de l'installation. En outre, les colis présenteront une résistance à la lixiviation appropriée (relâchement en présence d'eau) et des caractéristiques contribuant à éviter la dégradation de leurs propriétés physico-chimiques favorables.

5.2.2 CONNAISSANCE DES CARACTERISTIQUES ET DES PROPRIETES DES COLIS DE DECHETS

La connaissance des caractéristiques des colis de déchets en cours de fabrication ou dont la fabrication est prévue est nécessaire pour que leur qualité puisse être appréciée au regard de la conception du stockage, du choix des composants ouvrages et de la démonstration de sûreté.

Tout producteur de colis de déchets destinés à un stockage de déchets FAVL devra réaliser, d'une part des essais de caractérisation, d'autre part des mesures ou des évaluations sur les colis produits. Un dossier de connaissance par famille de colis sera établi. Les essais de caractérisation seront effectués, selon les cas, sur des colis, actifs ou inactifs, ou sur des échantillons représentatifs d'un processus industriel bien défini. Les essais, mesures et évaluations auront notamment pour but :

- de connaître les caractéristiques radioactives des colis de déchets, en particulier l'inventaire de leur contenu radioactif,
- de connaître les caractéristiques chimiques des colis de déchets, en particulier leur composition chimique, la présence de substances toxiques, les formes chimiques des radionucléides qu'ils contiennent, et la présence éventuelle de produits pouvant modifier significativement la solubilité et la rétention des radionucléides contenus,
- de connaître la nature et les quantités de gaz produits du fait de la désintégration radioactive, des phénomènes de radiolyse, de corrosion, et d'altération du colis, notamment sous l'effet des micro-organismes,
- de connaître les caractéristiques physiques des colis de déchets en vue de disposer des données nécessaires à l'évaluation de leur évolution normale et dégradée (densité, homogénéité, taux de remplissage, pourcentage d'eau incorporée, caractéristiques mécaniques...),
- d'estimer la capacité initiale de confinement des colis, en particulier leur résistance à la lixiviation par les eaux, leur taux de dégazage, leur résistance mécanique dans les conditions de pression représentatives du stockage, les effets d'éventuelles interactions chimiques (déchets/matrice, déchets ou matrice/matériaux des composants ouvrages...), les effets éventuels de la radiolyse, de l'irradiation alpha ou bêta-gamma et des micro-organismes.

5.3 LES COMPOSANTS OUVRAGES

Les composants ouvrages du stockage sont, à titre d'exemple, les ouvrages de génie civil dans lesquels les colis de déchets sont placés, selon les options de conception retenues, des scellements des excavations souterraines et des ouvrages d'accès, une couverture placée entre le niveau d'implantation des déchets dans la formation géologique d'accueil et la surface. Ils agissent en complément des colis et de la formation géologique précitée et ont pour fonction principale de contribuer à protéger les déchets des circulations d'eaux ainsi que de limiter et de retarder la migration des radionucléides. Ils doivent également être conçus et agencés afin d'éviter les tassements préjudiciables à la sûreté de l'installation.

Si le concept de stockage prévoit la mise en œuvre d'une couverture, il est à noter que celle-ci devra, en plus des fonctions précitées, assurer l'isolement des déchets face aux risques d'érosion et d'intrusions humaines banales. Compte tenu de ce rôle essentiel, la robustesse de sa conception et la qualité de sa mise en œuvre devront faire l'objet d'une attention particulière. La démonstration de l'aptitude de ce type de composant à atteindre et maintenir durant la période requise les performances qui lui seront assignées devront faire l'objet d'études appropriées.

Il faudra de plus veiller à ce qu'aucun matériau constitutif des composants ouvrages n'engendre, par sa présence, des effets négatifs importants sur les propriétés favorables du milieu géologique et des colis de déchets.

5.4 LE MILIEU GEOLOGIQUE

Le milieu géologique assure des conditions d'environnement hydrique et géochimique favorables au stockage. En particulier, il protège les colis de déchets et les composants ouvrages des circulations d'eau en assurant des écoulements lents des eaux. Le rôle du milieu géologique consiste également à limiter les flux des substances radioactives ou toxiques relâchées en les étalant dans le temps et à retarder la migration de ces substances en favorisant les phénomènes de sorption de ces substances. Les caractéristiques du milieu doivent également permettre de limiter la migration de gaz radioactifs.

Selon les options de conception retenues, le milieu géologique devra assurer l'isolement des colis de déchets face aux activités humaines banales et aux perturbations géologiques de surface au moins aussi longtemps que les propriétés de confinement de l'installation de stockage doivent être maintenues.

5.4.1 CRITERES TECHNIQUES DE CHOIX DE SITE

Stabilité

La stabilité du milieu géologique devra être telle que les éventuelles modifications des conditions initiales dues aux phénomènes géologiques qui peuvent survenir (glaciation, sismicité, mouvements néotectoniques) restent acceptables pour la sûreté du stockage. Il est recommandé que le choix du site et que la conception de l'installation de stockage soient tels que l'on puisse déterminer l'évolution de l'installation de stockage sur une période de temps suffisante au regard de l'évolution de la nocivité des déchets stockés. En particulier, la stabilité du milieu géologique (qui englobe une évolution limitée et prévisible) devra être démontrée pour une période qui doit être égale au moins à 10 000 ans.

La profondeur de l'installation de stockage doit être telle que la sûreté du stockage ne puisse être affectée de façon significative par les phénomènes naturels externes attendus (érosion, séismes...) ou par les activités humaines banales au moins jusqu'à ce que l'activité contenue dans l'installation ait atteint un niveau tel que les expositions de l'homme et de l'environnement demeurent acceptables, même en cas de perte de la fonction d'isolement assurée par le milieu géologique ou la couverture.

La profondeur d'implantation des déchets dans la formation géologique dépend des caractéristiques radioactives des différentes catégories de déchets à stocker. Le concepteur devra justifier la profondeur retenue en fonction de ces catégories.

Les phénomènes géologiques à long terme devront être évalués, de façon qualitative pour chaque site reconnu et quantitative pour le site retenu, en se reportant à la situation actuelle, au passé proche (historique) et surtout au passé plus ancien. Ceci permettra d'apprécier les valeurs des paramètres les caractérisant, ainsi que leurs variations, et d'en examiner l'influence sur la sûreté du stockage. Pour cela, il sera en règle générale nécessaire de considérer l'environnement géologique régional de chaque site.

Hydrogéologie

L'hydrogéologie du site devra être caractérisée par une très faible perméabilité de la formation hôte et un faible gradient de charge hydraulique. Il faudra prendre en compte dans la conception du stockage les éventuelles discontinuités ou les hétérogénéités conductrices d'eau dont la nature et la géométrie pourraient tendre à amoindrir significativement l'efficacité de la formation dans laquelle sont placés les déchets. Ces objets devront donc être repérés et caractérisés.

Des mesures hydrogéologiques devront être réalisées sur une zone de taille compatible avec l'élaboration de modèles d'écoulement prenant en compte les flux depuis les zones d'alimentation jusqu'aux exutoires. Ces schémas devront permettre de simuler la vitesse et la direction des circulations d'eau affectant l'installation de stockage.

Absence de stérilisation de ressources

Du point de vue de la gestion du sous-sol, le site devra être choisi de façon à éviter des zones dont l'intérêt connu ou soupçonné présente un caractère exceptionnel.

D'autres propriétés devront être examinées. Ainsi :

- le choix du site devra tenir compte des propriétés mécaniques de la roche qui conditionnent la faisabilité du stockage, c'est-à-dire la possibilité de réaliser une installation de stockage dont les effets sur le milieu géologique sont compatibles avec les objectifs de sûreté en exploitation et après la fermeture du stockage ;
- une description quantitative des propriétés géochimiques du milieu géologique devra être établie pour l'analyse des conditions de migration des radionucléides. En effet, les propriétés géochimiques de la roche jouent un rôle important dans la sûreté du stockage après la fermeture de l'installation dans la mesure où, d'une part elles peuvent avoir un effet sur l'altération des colles et des composants ouvragés, d'autre part elles gouvernent les phénomènes de migration de radionucléides et des substances toxiques chimiques éventuellement relâchés.

Les différentes évaluations de sûreté réalisées en support d'un choix de site devront montrer que les propriétés ci-dessus permettent le respect de l'objectif fondamental de protection de la santé des personnes et de l'environnement.

CARACTERISATION DU MILIEU GEOLOGIQUE

Les objectifs de la caractérisation du milieu géologique doivent être, pour chaque site retenu, de :

- justifier que le site présente des caractéristiques satisfaisantes à l'égard des critères de choix de site précités,
- rassembler les éléments contribuant à la modélisation du site nécessaires pour l'analyse de la sûreté du stockage.

Il s'agira notamment de :

- s'assurer de la stabilité du site, par l'analyse des phénomènes géologiques passés et par une étude néotectonique,
- caractériser l'hydrogéologie du site, des zones d'alimentation des aquifères jusqu'aux exutoires potentiels des radionucléides, afin de vérifier que les propriétés hydrauliques du site (gradients hydrauliques verticaux, conditions de saturation) sont favorables à la sûreté du stockage,
- s'assurer que les propriétés mécaniques de la formation géologique permettent la réalisation et l'exploitation de l'installation de stockage conformément aux objectifs de sûreté visés,
- contribuer à déterminer les interactions des eaux pouvant circuler dans l'installation de stockage avec les composants de cette installation, afin notamment d'évaluer les processus de dégradation des colles et les propriétés de transport des radionucléides et des substances toxiques chimiques.

5.5 LES CONCEPTS DE STOCKAGE

L'implantation de l'installation de stockage dans la formation géologique devra se situer au sein d'un volume de roche exempt de grandes failles susceptibles de constituer des voies de circulation hydraulique privilégiée. Les ouvrages de stockage devront être réalisés à une distance suffisante des aquifères environnants et des structures où l'eau pourrait circuler de manière à privilégier un temps de migration des radionucléides suffisamment long entre les ouvrages de stockage et la biosphère.

Le concept de stockage devra en particulier tenir compte de l'endommagement que le milieu géologique peut subir du fait des différents travaux d'excavation. Par ailleurs, la conception et l'implantation des éventuels ouvrages d'accès et des ouvrages de stockage devront, d'une part être tels que la mise en œuvre de scellements ou d'une couverture en fin d'exploitation soit facilitée, d'autre part contribuer à limiter le risque de circulation des eaux. A cet égard, l'agencement des ouvrages de stockage dans la formation géologique devra contribuer à limiter la remontée vers la surface de l'activité lixiviée et son ruissellement vers les cours d'eau.

Enfin, lorsque le contenu radioactif des déchets le nécessite, des critères de répartition de la radioactivité dans l'installation de stockage devront être définis en vue de minimiser, en cas de perte de la capacité d'isolement de l'installation, les risques liés aux zones d'activité massique concentrée.

Pour ce qui concerne la phase de surveillance, le concepteur doit s'interroger sur les moyens d'assurer cette surveillance dès la conception de l'installation de stockage.

6 DEMONSTRATION DE LA SURETE APRES FERMETURE DE L'INSTALLATION DE STOCKAGE

La démarche de sûreté est fondée sur un processus itératif d'évaluation de la sûreté du stockage après fermeture. Ce processus est réalisé périodiquement aux différentes phases de développement d'une installation de stockage, depuis sa conception jusqu'à sa fermeture. Ces évaluations conduisent à confirmer ou à réviser des dispositions prévues à l'étape précédente, en vue d'établir la démonstration de la sûreté du stockage.

L'approche itérative devra, à chaque étape, porter sur les trois aspects complémentaires suivants :

- la vérification du caractère favorable, pour la sûreté, des caractéristiques des composants du stockage participant aux fonctions de sûreté, pris isolément (colis, composants ouvragés, roche hôte), puis, dans leur ensemble ;
- l'évaluation des perturbations de l'installation de stockage, par les interactions entre ses différents composants et l'estimation des conséquences de ces perturbations sur la réalisation des fonctions de sûreté, compte tenu des dispositions préventives et palliatives retenues dans la conception de l'installation pour minimiser ces perturbations ou leurs effets ;
- la modélisation du comportement futur de l'installation de stockage pour un ensemble de scénarios représentatifs de la situation de référence et des situations dites altérées, ainsi que l'estimation des risques radiologiques et chimiques associés à chacun de ces scénarios.

6.1 VERIFICATION DU CARACTERE FAVORABLE DES COMPOSANTS

Cette vérification a pour objet le respect des différents objectifs et critères assignés aux composants de l'installation et plus généralement, d'examiner si la conception du stockage résulte d'une application adaptée du principe de défense en profondeur.

Le rôle complémentaire des différents composants du stockage devra être apprécié en montrant qu'en cas de dysfonctionnement d'un nombre plausible de colis ou d'un nombre plausible de composants ouvragés de l'installation, ainsi qu'en cas d'altération des propriétés du milieu géologique, les relâchements de substances radioactives ou toxiques restent suffisamment faibles, en conformité avec l'objectif fondamental.

Cette évaluation devra notamment s'appuyer sur une modélisation de l'installation de stockage permettant d'apprécier les contributions des différentes classes de composants du stockage et du milieu géologique à la limitation des relâchements dans l'environnement de l'installation de stockage, pour les diverses situations envisageables. Des indicateurs autres que la dose peuvent être utilisés (flux ou concentration d'activité estimés pour diverses localisations dans l'installation). Des analyses de sensibilité doivent permettre de mieux identifier les phénomènes importants pour la sûreté afin le cas échéant d'orienter la recherche et le développement et de fonder les activités de qualification de ces composants.

6.2 EVALUATION DES PERTURBATIONS INDUITES DANS L'INSTALLATION DE STOCKAGE

Cette évaluation consiste à étudier et modéliser les différents phénomènes et événements pouvant conduire à des perturbations des composants du stockage participant aux fonctions de sûreté. Les incertitudes associées devront être identifiées et prises en compte afin de montrer que les composants sont bien dimensionnés pour que les fonctions de sûreté restent assurées avec des marges suffisantes sur une durée appropriée.

Pour ce qui concerne le milieu géologique, les effets des perturbations liées au creusement des ouvrages de stockage et d'accès, ainsi que les effets couplés des perturbations mécaniques, hydriques et chimiques qui pourront l'affecter seront étudiés.

6.3 EVALUATION DES EXPOSITIONS INDIVIDUELLES

L'approche retenue pour vérifier le respect des objectifs définis au chapitre 4 consiste à étudier un nombre limité de situations représentatives des différentes familles d'événements, de séquences ou de combinaisons d'événements, pour lesquelles les conséquences associées sont les plus élevées parmi l'ensemble des situations envisageables. Cette approche repose sur une sélection d'événements considérés comme raisonnablement envisageables et représentatifs des risques.

Lors de l'étude des situations retenues, l'évaluation des expositions individuelles consiste à estimer, d'une part le comportement futur prévisible de l'installation de stockage, d'autre part les effets sur les personnes éventuellement induits par sa présence dans les différentes situations précisées dans le sous-chapitre 6.4.

L'évaluation des expositions individuelles à long terme nécessite de disposer notamment des éléments suivants :

- l'ensemble des données décrivant l'installation de stockage (inventaire de l'activité stockée, caractéristiques des différents composants, architecture de l'installation de stockage...). Ces données doivent être soit des données enveloppes tendant à majorer l'estimation de l'impact radiologique, soit des données moyennes (ou probables) complétées par des fourchettes d'incertitudes et des estimations des variations possibles avec le temps ;
- les données de base telles que celles nécessaires à l'identification des espèces relâchées (spéciation) et à l'évaluation de leurs effets radiologiques sur l'homme ;
- les données relatives à la biosphère (cf. sous-chapitre 6.6) ;
- la liste et les caractéristiques des situations retenues ;
- des modèles de calcul.

La présentation des résultats devra permettre d'apprécier l'impact radiologique du stockage pour les différentes situations étudiées et les incertitudes associées, en tant que de besoin. Des limites d'activité devront être définies, applicables le cas échéant par colis, groupe de colis ou pour l'ensemble de l'installation, sur la base des résultats des évaluations de sûreté.

6.4 SITUATIONS ETUDIÉES

La sélection des situations étudiées comporte les étapes suivantes :

- l'identification des événements susceptibles de survenir,
- le classement des événements en fonction de leur probabilité et de leur origine (l'installation de stockage, les activités humaines, les processus naturels),
- les situations résultant de ces événements ou de leur éventuelle combinaison,
- le tri des situations par familles,
- la sélection des situations représentatives des familles ainsi déterminées.

Cette sélection conduit à distinguer la situation de référence représentative des événements probables et les situations dites altérées correspondant à l'occurrence d'événements incertains, mais plausibles.

6.4.1 SITUATION DE REFERENCE

Les événements à considérer pour établir la ou les situations de référence représentant l'évolution normale du stockage sont :

- les événements liés à la présence de l'installation de stockage,
- un ensemble d'événements naturels probables.

La (ou les) situation(s) de référence à retenir pour l'analyse devra (devront) tenir compte des éléments qui figurent ci-après.

6.4.1.1 Evolution due à la présence de l'installation de stockage

Les processus de dégradation des performances des colis, des composants ouvrages et le cas échéant du milieu géologique devront être identifiés et leurs effets sur le relâchement et la migration des substances radioactives et toxiques dans et hors de l'installation de stockage seront évalués. En particulier, les effets des travaux de construction du stockage sur les propriétés du milieu géologique et l'influence des conditions physico-chimiques et hydrauliques transitoires autour des ouvrages seront appréciés.

6.4.1.2 Evolution de l'installation de stockage due aux événements naturels

L'évolution retenue pour la ou les situations de référence correspond à celle due aux événements naturels probables.

Variations climatiques

Les effets des variations climatiques seront appréciés au moins sur la période durant laquelle les propriétés de confinement de l'installation de stockage doivent être maintenues. Les phénomènes d'érosion et les perturbations dues au gel seront en particulier évalués.

Mouvements verticaux

L'amplitude des mouvements verticaux (subsidence, surrection) et les mécanismes associés seront évalués sur la base des données disponibles aux échelles locale et régionale. Les effets sur l'érosion seront évalués.

Activité sismique

Le niveau d'activité sismique à retenir sera déterminé en tenant compte du contexte géodynamique local et régional. Le séisme maximal retenu pour établir la situation de référence sera défini en considérant la période durant laquelle les propriétés de confinement de l'installation de stockage doivent être maintenues.

Des incertitudes existent sur les niveaux sismiques possibles sur des périodes sensiblement supérieures à la période historique. Pour en tenir compte, plusieurs approches pourront être retenues.

6.4.2 SITUATIONS DITES ALTERÉES

Les situations dites altérées seront établies en considérant des événements répartis en deux catégories, les événements naturels et ceux liés à l'activité humaine.

6.4.2.1 Situations dites altérées liées à des événements naturels

L'opportunité de retenir pour la démonstration de sûreté de l'installation de stockage des changements climatiques à amplitude exceptionnelle et des mouvements verticaux exceptionnels devra être estimée au regard de la nocivité des déchets stockés et de son évolution.

Activité sismique

Les caractéristiques du séisme maximal physiquement possible seront recherchées sur la base du contexte tectonique du site.

6.4.2.2 Situations dites altérées liées à l'activité humaine

Intrusions humaines

Au-delà d'une phase de conservation de la mémoire du stockage, des scénarios d'intrusion à l'intérieur du stockage deviennent plausibles. La définition des caractéristiques des situations d'intrusion humaine retenues est fondée notamment sur les hypothèses suivantes :

- la connaissance de l'existence du stockage et de son emplacement est oubliée,
- le niveau de technologie qui est employé est le même qu'aujourd'hui.

La liste et la pertinence des intrusions retenues devront être justifiées et pourront être classées selon les catégories suivantes :

- fouilles archéologiques : archéologies classique et minière,
- réalisation de forages ou de sondages de reconnaissance, d'exploitation d'eau, ...,
- réalisation de chantiers routiers ou de tunnels, de construction de résidences ou d'immeubles...

La définition des scénarios puis leur évaluation se feront en tenant compte des caractéristiques du site envisagé, du concept de stockage retenu (notamment de la profondeur d'implantation des déchets), de la période de temps considérée, ainsi que de la spécificité des déchets stockés.

6.4.2.3 Situations dits altérées dues à un défaut de composant

Par défaut d'un composant, il faut comprendre la défaillance de celui-ci à exercer le rôle qui lui est attribué dans la situation de référence. Cette défaillance peut notamment être due aux effets d'événements naturels d'amplitude exceptionnelle.

Milieu géologique

Le défaut postulé sera défini pour tenir compte des incertitudes restantes sur la connaissance du site et de son évolution, en fonction des moyens d'investigation employés et de l'état des connaissances sur les phénomènes géodynamiques et leurs effets.

Composants ouvragés

La défaillance des composants ouvragés peut avoir pour origine un défaut de conception d'ouvrage ou, selon le concept retenu, de couverture ou de scellement. Elle peut également être due à un manque de respect de spécifications relatives aux matériaux ou à leur mise en place. Les conséquences de ces défaillances devront être étudiées.

Colis de déchets

Le cas de défauts de conditionnement de colis devra être retenu afin de tenir compte des diverses incertitudes sur la qualité et le vieillissement des colis.

6.5 MODELISATION DE L'EVOLUTION DE L'INSTALLATION DE STOCKAGE

L'analyse de la sûreté du stockage et l'évaluation de son impact sur l'homme et l'environnement nécessitent la modélisation des évolutions des composants de l'installation de stockage et de la migration des substances radioactives et des substances chimiques relâchées par les colis de déchets. Cette modélisation doit s'appuyer sur une connaissance suffisante des processus physico-chimiques et des événements qui peuvent affecter l'évolution de l'installation de stockage et de son environnement.

Les modèles sont des représentations simplifiées des phénomènes réels. Il convient de montrer, d'une part que ces représentations ne laissent pas de côté des phénomènes importants, d'autre part que les simplifications effectuées conduisent à des évaluations majorantes.

Un soin particulier devra être porté à la qualité des données utilisées, ainsi qu'à l'examen de la validité des modèles conceptuels et des codes de calcul utilisés.

6.6 BIOSPHERE

La biosphère est constituée de la partie de l'environnement du stockage facilement accessible aux activités de l'homme. Elle est susceptible de permettre le transfert vers les personnes des radionucléides et des substances toxiques chimiques provenant de l'installation de stockage, entraînant une exposition interne (inhalation, ingestion) ou une exposition externe.

Les voies de transfert vers et au sein de la biosphère peuvent comprendre :

- les aquifères utilisés par l'homme pour les ressources en eau ;
- la zone d'exhaure des eaux souterraines susceptibles d'avoir traversé les ouvrages de stockage ;
- le système d'écoulement superficiel de ces eaux ;
- les sols susceptibles d'être irrigués ou inondés par ces eaux ;

- la production végétale ou animale susceptible d'être utilisée pour la consommation humaine et pouvant être contaminée ;
- l'atmosphère (transport et dépôt de poussières et de gaz).

Il n'apparaît pas possible de prévoir l'évolution locale de la biosphère sur de très longues périodes. Les grands événements climatiques régionaux prévisibles pourront être pris en compte en faisant appel à la notion de biosphères-types, représentatives des différents états que pourrait prendre à plus grande échelle la biosphère, compte tenu de ces événements.

Par ailleurs, pour le calcul de l'impact radiologique ou celui associé aux substances toxiques chimiques, on retiendra des groupes de référence hypothétiques, représentatifs des individus susceptibles d'être soumis aux expositions les plus élevées. Ces individus seront supposés vivre au moins partiellement en autarcie.

6.7 PRISE EN COMPTE DES INCERTITUDES ET ETUDES DE SENSIBILITE

Les principales sources d'incertitudes sont de différentes natures :

- incertitudes sur les valeurs des paramètres,
- incertitudes associées aux manques de connaissance sur certains phénomènes,
- incertitudes sur le caractère exhaustif des phénomènes retenus pouvant avoir une influence sur la sûreté du stockage,
- incertitudes inhérentes aux modèles conceptuels et aux simplifications nécessaires pour établir des modèles,
- incertitudes relatives aux événements futurs ou aux activités futures de l'homme.

La démonstration de sûreté doit clairement identifier dans quelle mesure les investigations sur le site, les dispositions de conception, les hypothèses prises pour l'évaluation de la sûreté et de l'impact du stockage et les études de sensibilité ont permis d'apprécier les incertitudes et d'en tenir compte. Les incertitudes résiduelles seront appréciées, suivant leur nature, de manière qualitative ou quantitative. Il pourra être fait appel à des jugements d'experts ; la traçabilité de ces jugements devra être établie.

L'évaluation des performances des composants, du comportement d'ensemble du stockage et des expositions individuelles devra être accompagnée d'éléments pertinents visant à démontrer le bien-fondé des choix de conception, ainsi que le caractère majorant des résultats obtenus.

Des analyses de sensibilité seront réalisées et permettront d'identifier les points sur lesquels devrait porter en priorité l'effort de définition (situations prises en compte), de compréhension et de hiérarchisation des processus mis en jeu (modèles) ou de caractérisation (paramètres).

Annexe 2. Avis IRSN 2017-00216 du 30 juin 2017

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Fontenay-aux-Roses, le 30 juin 2017

Monsieur le Président de l'Autorité de Sûreté Nucléaire

Avis IRSN/2017-00216

Objet : Analyse préalable à la rédaction d'un guide pour le stockage des déchets de faible activité à vie longue

Réf. 1. Saisine n° SAISI-DRC-2016-0174

Par lettre citée en référence, vous demandez l'avis de l'IRSN sur les évolutions qui pourraient être apportées à la note d'orientations générales de sûreté en vue d'une recherche de site pour le stockage des déchets de faible activité massive à vie longue (FA-VL) de l'ASN de 2008 dans l'objectif d'élaborer un guide de sûreté sur le stockage de ces déchets.

Vous demandez plus particulièrement à l'IRSN de présenter les questions de doctrine qui mériteraient d'être débattues au sein d'un groupe de travail qui sera mis en place par l'ASN en 2017, préalablement à l'élaboration du guide.

1 OBJET DE LA NOTE D'ORIENTATIONS GÉNÉRALES DE SÛRETÉ EN VUE D'UNE RECHERCHE DE SITE POUR LE STOCKAGE DES DÉCHETS FA-VL

L'ASN a publié en date du 16 juin 2008 la note d'orientations générales de sûreté en vue d'une recherche de site pour le stockage des déchets FA-VL, dénommée ci-après « note ASN de 2008 », élaborée avec l'appui de l'IRSN et sur laquelle l'Andra a été consultée. Cette note définit les orientations générales qui doivent être suivies dès les phases de recherche d'un site et de conception d'un stockage de déchets FA-VL pour en assurer la sûreté après fermeture. Elle s'inscrit dans la démarche fixée par la loi n°2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs, qui prévoit « la mise au point de solutions de stockage pour les déchets graphites et les déchets radifères ».

La note ASN de 2008 traite les objectifs de protection de la santé des personnes et de l'environnement, les principes de sûreté et les bases de conception de l'installation de stockage liées à la sûreté et la méthodologie de démonstration de la sûreté de l'installation de stockage. Elle cible en priorité les déchets de graphite provenant des réacteurs uranium naturel - graphite - gaz (UNGG), ainsi que d'autres réacteurs, notamment expérimentaux, et les déchets radifères, mais n'exclut pas pour autant d'autres types de déchets FA-VL sans en préciser les caractéristiques. La note ASN de 2008 précise que ces deux catégories de déchets peuvent éventuellement être stockées dans des installations dédiées localisées sur des sites différents. Les colis de déchets pourront être isolés

de la surface, soit par une couverture façonnée par l'homme, soit par le milieu géologique naturel existant. Le milieu géologique est constitué par les formations géologiques du site et notamment la roche hôte qui correspond à la formation géologique au sein de laquelle seront disposés les colis de déchets radioactifs. Les composants de l'installation de stockage qui ont un rôle sur sa sûreté sont regroupés en trois classes :

- les colis de déchets dans lesquels les substances radioactives et toxiques chimiques sont incorporées ;
- les composants ouvragés. Ceux-ci comprennent les ouvrages de génie civil dans lesquels les colis de déchets sont placés, les scellements des ouvrages de stockage et des ouvrages d'accès, ainsi que le cas échéant une couverture façonnée par l'homme ;
- la formation géologique hôte. La profondeur d'implantation dans la formation géologique et l'épaisseur de garde saine ou remaniée entre les déchets et la biosphère sont des critères clés de choix de site et de concept.

L'essentiel de l'inventaire radioactif à vie longue des déchets de graphite provient majoritairement du carbone 14 qui, du fait de sa période de 5700 ans, présente un potentiel de décroissance important en quelques dizaines de milliers d'années. Les déchets radifères quant à eux contiennent essentiellement du radium 226 et de l'uranium 238 qui imposent de devoir maîtriser le risque particulier de l'exposition au radon en milieu confiné. Les déchets les plus riches en radium 226 présentent, comme pour les déchets de graphite, un important potentiel de décroissance de leur activité en quelques dizaines de milliers d'années. Il ressort en conséquence que l'objectif qui doit être assigné à une installation de stockage de ce type de déchets doit être de confiner les déchets efficacement pendant la période de décroissance précitée (quelques 10 000 ans) afin d'atteindre un niveau résiduel d'activité qui ne puisse pas être à l'origine d'expositions inacceptables, même en cas de perte significative des propriétés de confinement de l'installation. Compte tenu de la durée pendant laquelle le confinement des déchets est requis, la plupart des objectifs généraux et des principes de sûreté à long terme établis dans le guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs (de haute activité et de moyenne activité à vie longue (HA et MA-VL)) en formation géologique sont applicables (à savoir dispositions « passives », isolement des déchets contre les effets des intrusions et des aléas géologiques, démonstration de la stabilité du milieu géologique d'accueil de l'installation sur une période d'au moins 10 000 ans, sûreté reposant sur des fonctions complémentaires multiples allouées aux divers composants du stockage, dispositions permettant de limiter les perturbations...). Ces objectifs et principes sont également déclinés dans la note ASN de 2008. Toutefois, le niveau de risque pour l'homme et l'environnement des déchets contenus dans une installation de stockage de déchets FA-VL est plus faible que celui des déchets contenus dans une installation de stockage de déchets HA et MA-VL en formation géologique profonde. Ceci conduit à adapter les moyens de protection et les dispositifs mis en œuvre pour assurer la sûreté du stockage de déchets FA-VL par rapport à ceux mis en œuvre pour une installation de stockage de déchets HA et MA-VL.

2 LA GESTION DES DECHETS FA-VL DANS LE CADRE DU PROGRAMME NATIONAL DE GESTION DES MATIERES ET DECHETS RADIOACTIFS

Dans le cadre du décret 013-1304 du 27 décembre 2013 établissant les prescriptions du programme national de gestion des matières et déchets radioactifs (PNGMDR 2013-2015), l'Andra a réalisé des études sur la faisabilité d'implantation d'un stockage des déchets FA-VL sur la Communauté de Communes (Codecom) de Soulaines à proximité des centres industriels du CSA et du Cires dans l'Aube. Le rapport remis par l'Andra en 2015 présente l'état des connaissances sur les déchets FA-VL (caractéristiques radiologiques et chimiques, origine), le résultat des

- 2 -

investigations géologiques menées depuis 2013 sur la Codecom de Soulaïnes, les principes de sûreté pour la conception du stockage et les options techniques associées retenues. Les deux concepts considérés correspondent, dans les termes du décret 2013-1304, l'un à un concept équivalent au stockage sous couverture remaniée (noté SCR), l'autre à un concept équivalent au stockage sous couverture intacte (noté SCI). L'ASN a sollicité l'IRSN pour qu'il analyse la pertinence et la robustesse du scénario de recherche de solution de gestion des déchets FA-VL proposé par l'Andra. L'analyse de l'IRSN a donné lieu à un avis, transmis à l'autorité de sûreté nucléaire en novembre 2015 (avis IRSN 2015-000361). Dans cet avis, l'IRSN indiquait ne pas pouvoir se prononcer sur la faisabilité de l'implantation d'un stockage pour les déchets FA-VL inventoriés dans le secteur investigué par l'Andra, compte tenu notamment de l'absence d'une couche argileuse suffisamment épaisse et performante pour permettre à la fois une protection efficace contre les risques d'intrusion et la préservation de la qualité des eaux de l'aquifère sous-jacent, ce dernier constituant une ressource en eau potable d'importance régionale. L'IRSN recommandait également une optimisation globale de la gestion des risques associés aux déchets FA-VL en examinant la faisabilité de répartir ces déchets dans des filières existantes (CSA, stockages de résidus de traitement du minerai d'uranium).

Dans l'objectif de poursuivre les études engagées, l'arrêté du 23 février 2017 pris dans le cadre du PNGMDR 2016-2018 demande à l'Andra de réaliser, avant le 30 juin 2019, un dossier définissant les options techniques et de sûreté correspondant à un stade d'esquisse d'une installation de stockage à faible profondeur des déchets FA-VL ainsi que de présenter, pour fin 2019, un schéma industriel global de la gestion de ces déchets. Il requiert en outre la poursuite des investigations sur le site de la Codecom de Soulaïnes pour la mise en place d'une installation de stockage. Les déchets FA-VL produits et à produire sur le territoire français visés par l'arrêté du 23 février 2017 sont notamment :

- les déchets radifères comprenant les déchets historiques provenant de l'extraction des terres rares à partir d'un minerai de monazite : résidus radifères (RRA) et résidus solides banalisés (RSB) de Solvay, les résidus de traitement de l'hydroxyde brut de thorium, qui seront produits ultérieurement si la valorisation du thorium, de l'uranium et des terres rares est mise en œuvre par Solvay, les déchets provenant de la fabrication d'éponge de zirconium, de sels de zirconium et d'hafnium à partir d'un minerai de zircon et de zircone fondue depuis 2012 (usine Cézus à Jarrie appartenant au groupe AREVA), une partie des déchets de la dépositaire d'Itteville (ancien bassin de décantation et aire de stockage, annexe de l'usine du Bouchet) constitués de stériles et d'hydroxydes (CEA) et les déchets issus des opérations d'assainissement de sites pollués au radium, uranium et thorium, gérés par l'Andra au titre de sa mission de service public ;
- les déchets de graphite issus de l'exploitation passée des réacteurs UNGG et des réacteurs expérimentaux du CEA (chemises) et issus du démantèlement programmé des réacteurs UNGG (empilements) ;
- certains déchets bitumés issus du traitement d'effluents liquides radioactifs sur le site CEA de Marcoule ;
- les déchets uranifères et thorifères qui seront produits à partir du 1^{er} janvier 2019 par l'usine de conversion de l'uranium de Malvési et dont le volume est estimé à 85 000 m³.

En complément des déchets évoqués ci-avant, il existe d'autres déchets FA-VL dont l'Andra n'a pas la responsabilité de gestion mais qui, compte tenu de leurs caractéristiques, mériteraient, selon l'IRSN, d'être pris en compte dans les réflexions sur la recherche d'une solution de gestion à long terme des déchets FA-VL. Il s'agit principalement des déchets dits historiques produits par l'usine de Malvési comprenant (i) les boues uranifères et thorifères des bassins de décantation B1 et B2 (lesquelles contiennent des traces notamment de plutonium du fait de la conversion par le passé d'uranium issu du traitement des combustibles usés), et des bassins de décantation B5 et B6 (incluant celles qui seront produites avant le 1^{er} janvier 2019), (ii) les stériles et résidus miniers contaminés par les eaux

- 3 -

d'infiltration des boues des bassins de décantation ainsi que (iii) des déchets divers situés sous le bassin B3. Conformément aux demandes du PNGMDR, AREVA NC étudie la faisabilité d'une solution de stockage de ces déchets sur le site de l'usine. Dans l'attente de cette solution, ces déchets sont destinés à être entreposés pour une durée de 30 ans dans l'INB ECRIN qu'AREVA NC a été autorisée à créer par décret ministériel du 20 juillet 2015. Les déchets FA-VL historiques du site de Malvési représentent un volume d'environ 720 000 m³. AREVA NC a réalisé en 2014 un rapport d'avancement des études de faisabilité des options de stockage des déchets historiques de Malvési sur la base de concepts à faible profondeur sous couverture remaniée du type SCR. L'analyse de l'IRSN a donné lieu à un avis, transmis à l'autorité de sûreté nucléaire en mars 2017 (avis IRSN 2017-0097).

En outre, l'IRSN souligne que d'autres déchets, n'entrant pas dans la catégorie des déchets FA-VL du fait de leur faible activité massique mais présentant des caractéristiques similaires à celles des déchets radifères, pourraient également être pris en compte dans ces réflexions. Il s'agit des résidus de traitement du minerai d'uranium, stockés à ce jour dans 17 installations classées pour la protection de l'environnement gérées par AREVA Mines. Etant donné que les concepts de ces installations ne répondent pas aux exigences retenues pour les stockages de déchets radioactifs (tant en termes de choix de site que de performances des dispositifs mis en place pour confiner les résidus), la question de l'impact à long terme des résidus se pose au même titre que pour les déchets radifères.

Sur la base d'une part de l'analyse des dossiers remis par l'Andra et AREVA NC, d'autre part des objectifs généraux du PNGMDR 2016-2018 et de l'arrêté du 23 février 2017 en établissant les prescriptions, et en préalable à la décision de mettre à jour la note ASN de 2008, l'IRSN estime que plusieurs questions portant sur le projet de stockage tel qu'abordé par l'Andra et les problématiques qu'elles soulèvent mériteraient d'être clarifiées par le groupe de travail que l'ASN prévoit de mettre en place dans l'objectif de faire évoluer cette note (chapitre 3). Pour ce qui concerne les éléments de doctrine, l'IRSN considère que le débat gagnerait à être élargi à l'examen de la stratégie globale de gestion des déchets susceptibles de relever de la catégorie de déchets FA-VL (chapitre 4). A cet égard, l'IRSN estime qu'il serait opportun de mettre en place, en parallèle, un groupe de travail incluant des représentants de la société civile.

3 QUESTIONS A DEBATTRE PREALABLEMENT A LA MISE A JOUR DE LA NOTE ASN DE 2008

3.1 Concept de stockage et choix de site

3.1.1 Type et épaisseur de recouvrement

La conception d'un stockage de déchets FA-VL doit en particulier viser à isoler les déchets de la biosphère, en particulier en se prémunissant contre le risque d'intrusion humaine, ainsi qu'à confiner la radioactivité sur de longues échelles de temps.

Une profondeur d'implantation de plusieurs dizaines de mètres apparaît ainsi nécessaire pour rendre improbable l'atteinte des ouvrages par des intrusions banales (par exemple des travaux de construction d'immeubles), *a fortiori* si l'on tient compte des phénomènes d'érosion potentiels. A cet égard, l'IRSN estimait, dans son avis 2015-0361, qu'une épaisseur d'une vingtaine de mètres pour la garde supérieure du stockage ne laissait pas de marge suffisante. En outre, dans ce même avis, l'IRSN estimait que, sur de telles épaisseurs, la réalisation d'une couverture remaniée possédant des propriétés de confinement élevées au regard de la limitation des flux de

- 4 -

substances radioactives était une opération complexe. A ce titre, l'IRSN considèrerait que l'étude des performances de la couverture devait tenir compte d'une analyse du retour d'expérience industriel disponible, établi à partir des connaissances acquises sur les centres de stockage existants ou en projet, mais également lors de la construction d'ouvrages souterrains ou de barrages en terre, notamment vis-à-vis des risques de tassements liés à la dégradation des composants du stockage. L'IRSN rappelle que des études de l'Andra, prévues en 2018, porteront « sur les dispositions constructives permettant d'obtenir et de maintenir durablement les performances attendues » d'une couverture remaniée.

Par conséquent, à ce stade des connaissances relatives à la réalisation d'une couverture remaniée d'une profondeur supérieure à une vingtaine de mètres présentant des propriétés de confinement élevées et compte tenu de l'inventaire retenu pour le projet de stockage de l'Andra, l'IRSN ne considère pas l'option de stockage SCR comme raisonnable. L'IRSN propose que le GT aborde la question de l'épaisseur minimale de la garde supérieure du stockage vis-à-vis de la maîtrise du risque d'intrusion humaine et de la dispersion des radionucléides et s'interroge sur le bien-fondé d'un concept de stockage SCR compte tenu des différentes options possibles de gestion en fonction de la nature des déchets comme discuté au chapitre 4.

3.1.2 Ressources exceptionnelles

La note ASN de 2008 fait référence aux ressources exceptionnelles devant être préservées sans en donner une définition claire. A cet égard, les instructions relatives au projet Cigéo ont montré les difficultés liées à la définition de ce terme. Selon l'IRSN, le caractère exceptionnel d'une ressource s'apprécie sur la base de son extension géographique et de sa rareté à l'échelle du territoire ainsi que de sa facilité d'exploitation. En outre, les instructions précitées ont également permis de préciser qu'en tout état de cause, l'hypothèse d'une exploitation future d'une ressource qui n'est pas qualifiée aujourd'hui d'exceptionnelle, comme par exemple la ressource géothermique au droit du projet de stockage Cigéo, ne peut être définitivement exclue dans le futur. A cet égard, l'IRSN rappelle que la démarche de sûreté préconise que des scénarios dits d'évolution altérée soient évalués dans l'objectif de tester la robustesse du concept en cas d'évènement peu probable mais dont les conséquences pourraient être élevées. Parmi ces situations, l'exploitation et l'utilisation des ressources naturelles du sous-sol (en l'état des connaissances et en tenant compte des technologies d'extractions actuelles) peut conduire à une intrusion dans le stockage.

Dans le double objectif de limiter au mieux ce risque et, pour ce qui concerne le cas particulier des ressources en eau, de préserver leur intégrité, il est recommandé d'éloigner les stockages de déchets radioactifs des aquifères exploitables, notamment pour la consommation humaine. Or les profondeurs ciblées par le projet de stockage FA-VL de l'Andra, intermédiaires entre les concepts de stockage en formation géologique profonde et en surface, conduisent à considérer l'exploitation des aquifères pour leur ressource en eau pour la boisson ou l'irrigation, comme pouvant résulter d'une intrusion banale. De plus, l'IRSN estime qu'il convient d'accorder une attention particulière à la capacité des barrières artificielles et de la formation hôte à contenir les relâchements d'activité afin de garantir que la présence du stockage ne peut engendrer des conséquences inacceptables sur la ressource en eau adjacente et sur son exploitation. Au-delà du respect des objectifs de radioprotection de la population et de l'environnement, dont la démonstration est incontournable, l'IRSN estime également nécessaire que la conception du stockage vise à prévenir un marquage radioactif des eaux qui rendrait l'exploitation de cette ressource difficilement compatible avec les attentes de la société. Cette exigence de préservation de la ressource en eau doit constituer l'un des points fondamentaux de la démonstration de sûreté à long terme dans l'objectif de sélectionner un site pour l'implantation du stockage.

- 5 -

Par conséquent, l'IRSN propose que le GT débatten sur le sens à donner à la notion de ressources exceptionnelles nécessitant d'être préservées et définisse les critères permettant d'apprécier l'absence de stérilisation des ressources connues du sous-sol, notamment le degré de protection des aquifères, tout en examinant les possibilités d'usages futurs de ces ressources.

3.2 Sûreté pendant la phase d'exploitation

L'IRSN rappelle que certains déchets bitumés font partie des catégories de déchets visées par le projet de stockage de déchets FA-VL de l'Andra mais qu'ils sont également inclus dans l'inventaire des réserves de Cigéo. Pour ces déchets, la possibilité de reprise des réactions exothermiques, susceptibles d'entraîner des risques pour la sûreté en exploitation, ne peut actuellement être écartée. En effet, un stockage en sub-surface, notamment dans le concept SCI, s'apparente à un stockage géologique pour ce qui concerne la sûreté en phase d'exploitation. Or, dans son avis 2017-00190 relatif au dossier « Projet Cigéo - Dossier d'Options de Sûreté », l'IRSN considérait pour les enrobés bitumineux MA-VL « *qu'un risque d'emballement de réactions exothermiques dans ces colis ayant pour conséquence un rejet important d'activité dans l'environnement ne [pouvait] être exclu en cas d'incendie [et que] la conception actuelle [de Cigéo] ne [permettait] pas le stockage sûr des déchets bitumineux* ». L'IRSN estimait par conséquent qu'une « *solution de neutralisation de la réactivité des enrobés bitumineux préalablement à leur mise en stockage [devait] être privilégiée* ». L'IRSN recommandait ainsi à l'Andra d'« *apporter [...] un ensemble d'éléments permettant de statuer sur la possibilité de mettre en œuvre un tel procédé* ». Par conséquent, à ce stade des connaissances sur le comportement des déchets bitumés, l'IRSN considère qu'il est prématuré d'envisager une solution de stockage à long terme pour ces déchets, et recommande qu'une réflexion globale portant sur les problématiques associées aux déchets bitumés FA-VL et MA-VL soit engagée, tenant compte en particulier des possibilités éventuelles d'inertage thermique. A cet égard, l'arrêté du 23 février 2017 prescrit au CEA de poursuivre les études de recherche et développement relatives aux modes de traitement et de conditionnement des enrobés bitumineux FA-VL et MA-VL en combinant notamment des procédés chimiques et thermiques.

Par conséquent, l'IRSN propose que le GT se prononce sur le maintien, dans l'inventaire des déchets FA-VL ciblés par le projet de stockage de l'Andra, des déchets bitumineux FA-VL n'ayant pas fait l'objet d'une neutralisation préalable de leur réactivité en s'appuyant sur le retour d'expérience du projet Cigéo pour ce qui concerne la sûreté en phase d'exploitation.

3.3 Démarche de l'évaluation de l'impact à long terme

Deux points particuliers de l'évaluation de l'impact à long terme du stockage de déchets FA-VL apparaissent devoir être discutés : la définition de l'aléa sismique et le calcul de l'impact lié à l'exposition au radon.

3.3.1 Définition de l'aléa sismique

Les déchets FA-VL devant être stockés sont caractérisés par une activité massique relativement faible mais qui, pour certains d'entre eux, ne diminuera pas significativement dans le temps étant donné leur contenu en radionucléides à vie longue. Aussi, la fonction d'isolement devra reposer sur des propriétés de confinement aussi pérennes et passives que possible des barrières géologiques et ouvragées (dont la couverture remaniée le cas échéant). Cette approche est semblable à celle adoptée pour le stockage géologique de déchets HA et MA-VL, ce qui conduit à privilégier une démarche de définition de l'aléa sismique pour la période après fermeture similaire dans son principe à celle à l'étude pour le stockage géologique basée sur les caractéristiques du séisme maximal physiquement possible (SMPP). Par ailleurs, à l'occasion des évaluations complémentaires de sûreté mises en œuvre après la

catastrophe de Fukushima, menant le cas échéant au dimensionnement des équipements et composants du « noyau dur », l'ASN a demandé aux exploitants d'utiliser deux méthodes (déterministes et probabilistes) de manière complémentaire afin de retenir un niveau d'aléa enveloppe. L'approche probabiliste permet notamment d'évaluer la sensibilité de la période de retour des niveaux sismiques obtenus par méthode déterministe. Le retour d'expérience de l'examen du Dossier d'Options de Sécurité (DOS) de Cigéo montre, qu'à ce jour, la méthodologie de définition du SMPP ainsi que l'utilisation de la démarche probabiliste ne font pas l'objet d'un consensus entre les experts des différentes parties prenantes. Pour sa part, l'IRSN s'interroge sur l'utilisation d'un calcul probabiliste pour les très longues périodes de temps à évaluer pour la période après la fermeture du stockage et estime, compte tenu de ces durées, que le SMPP devrait être déterminé sur la dimension des failles présentes à l'échelle du secteur et ce, quelle que soit leur activité. **Dans le cadre de l'instruction du DOS, l'IRSN a attiré l'attention sur le besoin de consolider les approches partagées par les experts des diverses parties prenantes sur ces points. Par conséquent, l'IRSN propose que le GT débattenne sur les précisions à donner dans la note ASN révisée concernant la méthodologie à suivre pour définir le SMPP en s'appuyant sur le retour d'expérience de l'examen du projet Cigéo.**

3.3.2 Exposition au radon

La démarche d'évaluation de l'impact à long terme d'un site accueillant des déchets contenant du radium ou de l'uranium nécessite de juger de l'exposition au radon pour des scénarios de résidence dans l'hypothèse où, suite à la perte de la mémoire du site, des activités humaines conduiraient, par exemple, à construire une habitation sur un tel site. Lorsqu'elle s'appuie sur un calcul d'impact, cette évaluation nécessite notamment de définir les caractéristiques des bâtiments considérés et de disposer de modèles permettant de calculer des concentrations de radon dans l'air intérieur. Or, le retour d'expérience disponible montre que les modélisations de l'exposition au radon couvrent de manière très insuffisante les situations concrètes observées : là où les hypothèses génériques retenues dans les exercices de modélisation donnent des concentrations de quelques centaines de Bq/m³, les configurations particulières rencontrées aboutissent à des niveaux significativement plus élevés (cf. avis IRSN 2012-00022). Cela est dû en grande partie à la multitude de paramètres entrant en compte dans la capacité d'un habitat à concentrer du radon, notamment les habitudes de vie des habitants, et bien sûr la nature des sources présentes. Cette variabilité associée aux caractéristiques décrivant les habitats et aux modes de vie de leurs occupants rend très complexe la définition de modèles de transfert et d'accumulation de radon. En outre, le retour d'expérience de situations existantes met en évidence que la construction d'habitations sur un stockage de déchets contenant du radium ou de l'uranium conduirait selon toute vraisemblance, à des activités volumiques du radon à l'intérieur de ces habitations supérieures à la valeur de référence de 300 Bq/m³ de la Directive 2013/59 Euratom pour les bâtiments existants. Aussi, au-delà des efforts à poursuivre sur la fiabilisation des modèles eux-mêmes, l'IRSN estime qu'une réflexion pourrait être menée sur l'opportunité de définir et d'utiliser des scénarios conventionnels qui seraient établis sur la base de l'exploitation des cas recensés de construction de bâtiments sur ou au voisinage immédiat de stériles ou résidus miniers, dans l'objectif de fournir des éléments de référence d'appréciation du risque radon. Toutefois, contrairement à la démarche habituelle, l'utilisation de scénarios conventionnels devra, compte tenu de la vraisemblance d'une exposition élevée au regard de la valeur de protection précédemment évoquée, davantage viser à comparer différents concepts qu'à dimensionner un stockage.

L'IRSN considère que l'application de scénarios conventionnels pour évaluer l'exposition au radon dans des bâtiments qui seraient construits sur un stockage de déchets contenant du radium ou de l'uranium mériterait

- 7 -

d'être débattue par le GT en tenant compte des travaux qui seront réalisés dans le cadre de l'action n°14 intitulée « évaluer le risque radon d'origine anthropique » du plan national d'action 2016-2018 pour la gestion du risque lié au radon, visant à établir une stratégie de modélisation, à élaborer différents scénarios types et à évaluer ces scénarios quant à ce type d'exposition.

4 REFLEXIONS SUR LA STRATEGIE GLOBALE DE GESTION DES DECHETS SUSCEPTIBLES DE RELEVER DE LA CATEGORIE FA-VL

Les réflexions menées dans le cadre du PNGMDR en vue d'identifier une solution de gestion des déchets FA-VL et d'évaluer le projet présenté par l'Andra conduisent à s'interroger sur la question plus globale de la stratégie de gestion des déchets de type FA-VL, au-delà des seuls déchets considérés dans l'arrêté PNGMDR du 23 février 2017. A cet égard, l'IRSN considère qu'il est nécessaire de mettre en débat l'ensemble des problématiques soulevées par la gestion de ces déchets en tenant compte des déchets existants et à produire, des modes de gestion existants, des compromis à trouver au regard des différents impacts générés mais également des contraintes économiques. Ces problématiques peuvent être résumées au travers des questions suivantes.

4.1 La solution étudiée à ce stade par l'Andra permet-elle de régler la question de la gestion de l'ensemble des déchets radifères à l'échelle du territoire ?

Les déchets FA-VL visés par l'arrêté du 23 février 2017 qui présentent des risques à long terme liés notamment à l'émanation de radon représentent un volume de l'ordre de 130 000 m³. Or, il existe des volumes bien plus importants d'autres déchets présentant des risques similaires à savoir de l'ordre de 1 million de m³ de déchets uranifères et thorifères de Malvésy en attente d'une solution de gestion définitive et plusieurs dizaines de millions de m³ de résidus miniers, actuellement répartis dans 17 stockages. Aussi, l'IRSN considère que la solution qui consisterait à créer un nouveau stockage pour gérer les déchets FA-VL visés par l'arrêté du 23 février 2017 n'apporterait une solution robuste que pour une faible part des déchets nécessitant une prise en compte du risque radon à long terme.

4.2 Un concept commun de stockage en sub-surface des déchets FA-VL considérés dans le PNGMDR est-il justifié au regard de leurs différences de caractéristiques ?

Les déchets FA-VL radifères et de graphite présentent des spécificités qu'il convient de prendre en compte dans le concept de stockage envisagé. Ainsi, pour les déchets de graphite, dont l'inventaire est majoritairement constitué de carbone 14, un stockage situé à quelques dizaines de mètres de profondeur pourrait constituer un confinement efficace pendant la période nécessaire à la décroissance de son activité de plusieurs dizaines de milliers d'années pour atteindre un niveau résiduel d'activité qui ne puisse pas être à l'origine d'expositions inacceptables. Cette période apparaît en revanche insuffisante pour prévenir les expositions à long terme liées aux déchets ne présentant pas ou peu de potentiel de décroissance. A cet égard, le radium initialement présent dans les déchets radifères décroît pendant cette période mais du radium sera également produit par décroissance de l'uranium résiduel. De même, les déchets uranifères et thorifères de Malvésy produiront du radium jusqu'à atteinte de l'équilibre séculaire. Pour ces déchets, un stockage situé à quelques dizaines de mètres de profondeur se retrouvera en surface au bout de quelques 10⁴ ans, du fait des phénomènes d'érosion, sans que leur inventaire n'ait sensiblement décliné, n'offrant ainsi plus le confinement suffisant pour se prémunir d'expositions inacceptables. Par conséquent,

- 8 -

L'IRSN considère qu'un concept en sub-surface ne permet pas de gérer efficacement, sur le long terme, les risques induits par les déchets ne présentant pas de décroissance notable de leur activité sur une durée de l'ordre de quelques 10 000 ans.

Par conséquent, l'IRSN s'interroge sur la pertinence de poursuivre la recherche d'une solution de gestion unique pour l'ensemble de ces catégories de déchets du fait des différences de contraintes liées aux spécificités susmentionnées de chaque catégorie.

4.3 Comment le dispositif envisagé aujourd'hui s'inscrit-il dans la démarche d'évaluation globale des impacts environnementaux des déchets préconisée par l'Autorité Environnementale ?

Le rapport d'évaluation environnementale du PNGMDR 2016-2018 préconise notamment de développer « des méthodologies d'analyse multicritère dans le choix des solutions de gestion des matières et des déchets radioactifs » permettant « de prendre en compte l'ensemble des thématiques environnementales, tout en hiérarchisant les enjeux environnementaux en fonction des risques identifiés et de la sensibilité des territoires et des populations. » Dans son avis 2016-00229, l'IRSN convenait que l'évaluation des conséquences environnementales des modes de gestion existants ou préconisés n'est pas réalisée dans le cadre du PNGMDR selon une méthodologie permettant de couvrir les risques de toutes natures (radiologique, chimique, consommation d'énergie et de ressources, atteintes à la biodiversité, artificialisation des sols, ...) pouvant être occasionnés. A cet égard, l'IRSN considèrerait que pour tirer le meilleur bénéfice de l'analyse multicritère pour le choix des solutions de gestion des déchets recommandée par l'évaluation environnementale, cette analyse devait avant tout être développée sur les sujets pour lesquels les différents critères environnementaux à évaluer (par exemple sûreté de l'installation, protection de la population contre les rayonnements ionisants, protection des écosystèmes, protection des ressources...) sont d'une importance relative proche. Aussi l'IRSN suggèrerait de « prioriser l'application de la démarche d'analyse multicritère » aux filières de gestion des déchets TFA et FA-VL. Par conséquent, s'agissant de la recherche de solutions de gestion pour les déchets FA-VL, l'IRSN considère que le bien-fondé de ces solutions doit être apprécié au regard de critères environnementaux mais également techniques, économiques et sociétaux, lesquels doivent être hiérarchisés en fonction des efforts à fournir pour garantir la protection optimisée de l'homme et de l'environnement sur le long terme. A cet égard, les possibilités d'optimiser les filières ou modes de gestion existants mériteraient d'être examinées. Ainsi, des options complémentaires à celles envisagées sur la Codecom de Soulaines ou sur des sites d'INB ou d'INBS existantes comme préconisés par le PNGMDR 2016-2018 pourraient être étudiées en examinant la possibilité, d'une part de gérer dans un ou plusieurs centres de stockage communs les déchets radifères et tout ou partie des déchets uranifères et thorifères (déchets historiques et à produire à partir de 2019 de Malvésí, uranium appauvri si qualifié de déchets...), d'autre part de répartir les déchets FA-VL en provenance de l'aval du cycle dans des centres de surface et/ou Cigéo.

Pour ce qui concerne plus particulièrement les déchets uranifères et thorifères et les déchets radifères, plusieurs options de regroupement dans un même stockage pourraient être étudiées dans l'objectif de promouvoir une approche globale et cohérente de la maîtrise du risque lié à ce type de déchets.

La première option concerne le regroupement de l'ensemble des déchets historiques et à produire de Malvésí sur ce site à compter de 2019. La deuxième option concerne le stockage des déchets de Malvésí avec les déchets radifères FA-VL. A cet égard, l'IRSN considère que l'étude de cette option devrait aussi tenir compte des matières contenant de l'uranium appauvri, de l'uranium de retraitement et des substances thorifères dans l'hypothèse où elles seraient

- 9 -

requalifiées de déchets radioactifs (conformément aux articles 4, 7 et 18 de l'arrêté du 23 février 2017). La troisième option concerne le stockage des déchets radifères FA-VL avec les résidus de traitement du minerai d'uranium. A cet égard, la faisabilité de rassembler les déchets radifères FA-VL sur un ou plusieurs sites de stockage de résidus miniers, sous réserve que leur capacité de confinement à long terme soit suffisamment robuste mériterait d'être étudiée. En effet, l'IRSN estime que l'accueil des déchets radifères FA-VL sur un site de stockage de résidus miniers n'est pas susceptible d'augmenter significativement le risque d'exposition lié à l'existence de ce stockage et à son évolution projetée dans le temps. Une telle option, sous réserve que sa faisabilité technique soit démontrée, pourrait en outre permettre de réfléchir aux aménagements nécessaires à une amélioration de la robustesse de ces stockages à long terme.

Pour ce qui concerne plus particulièrement les déchets de graphite, compte tenu de leur volume et de leur inventaire, l'étude de leur stockage au CSA, sous réserve du respect des limites maximales d'acceptation et des capacités totales, notamment pour ce qui concerne le carbone 14, le chlore 36 et le calcium 41, contribuerait, sur le principe et moyennant vraisemblablement un traitement, à l'optimisation des filières existantes. A défaut de compatibilité avec les critères d'acceptation au CSA, la répartition de tout ou partie des déchets de graphite dans Cigeo pourrait également être étudiée.

En complément, l'IRSN attire l'attention sur le fait que certains déchets de l'amont du cycle riches en émetteurs alpha sont actuellement sans filière de gestion (par exemple les cendres uranifères) ou orientés au CSA. Compte tenu des caractéristiques de ces déchets, dont une partie est composée majoritairement de radionucléides émetteurs alpha, l'existence d'un stockage de déchets FA-VL permettrait de procurer une solution pour ces déchets adaptée à leurs caractéristiques. L'IRSN considère par conséquent que les déchets de l'amont du cycle riches en émetteurs alpha, et en particulier ceux qui ne présentent qu'une fraction négligeable de radionucléides à vie courte, soient intégrés à l'inventaire des déchets FA-VL et pris en compte dans la recherche des options de gestion de ces déchets. A ce jour, l'accueil de certains d'entre eux au CSA ne relève pas d'une gestion optimisée de ce centre dans la mesure où son inventaire en radionucléides à vie longue doit par principe rester aussi limité que possible.

En outre, la recherche d'une solution de gestion visant à limiter les impacts globaux doit nécessairement prendre en compte l'impact lié au transport des déchets depuis leur zone de production ou d'entreposage vers leur destination finale. A cet égard, les solutions de proximité contribuent à la réduction des impacts liés au transport. Ces options, dès lors qu'elles permettent de garantir un niveau de protection radiologique et chimique de l'homme et de l'environnement satisfaisant, doivent être encouragées, en particulier lorsque des tonnages élevés sont mis en jeu.

Enfin, pour ce qui concerne l'aspect économique, l'IRSN considère qu'il doit être intégré à l'analyse multicritère. A cet égard, les coûts financiers associés à chaque option envisageable doivent s'appuyer sur une évaluation indépendante permettant de comparer de manière objective les coûts d'une option par rapport à une autre et en particulier les coûts marginaux qu'entraîneraient l'intégration de tout ou partie des différentes catégories de déchets FA-VL dans une filière existante avec les coûts qu'engendreraient la création et l'exploitation d'un nouveau stockage.

5 CONCLUSION

La note ASN de 2008 définissant les orientations générales de sûreté en vue d'une recherche de site pour le stockage des déchets de faible activité massique à vie longue définit un référentiel pertinent qui ne semble pas devoir être, dans son principe, remis en cause. Cependant, dans l'objectif de la mettre en cohérence avec des sujets ayant émergé depuis sa parution, un certain nombre d'éléments identifiés dans le présent avis mériteraient d'être précisés et discutés. Par ailleurs, la réflexion sur la mise à jour de la note ASN de 2008 offre l'opportunité d'examiner la stratégie globale de gestion des déchets FA-VL dans laquelle devrait s'inscrire l'option d'un stockage dédié de ces déchets. A cet égard, l'étude des différentes options pour la gestion de tout ou partie de ces déchets mériterait d'être abordée selon une approche environnementale visant à apprécier les impacts globaux de la ou des solutions de gestion envisageables. Cette étude devrait permettre de statuer quant aux catégories de déchets ciblées par une filière FA-VL.

Les différentes questions et commentaires abordés dans le présent avis qui pourraient être débattus au sein du groupe de travail envisagé par l'ASN en 2017 mériteraient, selon l'IRSN, d'être également discutés dans un cadre pluraliste intégrant des représentants de la société civile.

Pour le directeur général, par délégation

Christophe SERRES



Chef du service d'expertise des déchets
radioactifs et de la radioactivité naturelle

Annexe 3. Liste des participants

Nom	Prénom	Entreprise
AUTRET	Jean-Claude	ACRO
BARKATE	Claudine	ANDRA
BEREST	Pierre	Membre du GPD
BESNARD	Manon	WISE-Paris
BLANCHART	Pascale	IRSN
BOURGEOIS	Marc	IRSN
BUCKENMEYER	Thomas	ASN
CANDIA	Fabrice	DGPR/MSNR
CESSAC	Bruno	IRSN
CHARMOILLAUX	Mathieu	EDF
CHATY	Sylvie	DGEC
COLOMBET	Guy	Membre du GPD
CROCHON	Philippe	ORANO
DE HOYOS	Amélie	IRSN
DELLOYE	Thierry	SOLVAY
DUMORTIER	François	EDF
EGO	Frédéric	ANDRA
FARAUS	Alexis	EDF
FILLION	Eric	CEA
FIRON	Muriel	CEA
FRASCA	Benjamin	ANDRA
GAGNER	Laurent	ORANO
GALLERAND	Marie-Odile	IRSN
GERARD	Fanny	ANDRA
GRAMBOW	Bernd	Membre du GPD
GUILLEVIC	Jérôme	IRSN
HURET	Emilia	ANDRA
LECLERC	Elisabeth	ANDRA
LEDOUX	Emmanuel	Membre du GPD
MAILLARD	Mathilde	ASN
MANGION	Matthieu	ANDRA
MARGUTTI-SOUTO	Marcia	IRSN
MARSAL	François	IRSN
MERCKAERT	Stéphane	HCTISN
MIGNAUD	Catherine	SOLVAY
MISSIRIAN	Sophie	EDF
NGUYEN CANH	Quentin	ASN
PELLEGRINI	Delphine	IRSN
PHELIP	Mayeul	DGEC
PINAULT	Manon	DGEC
PONCET	Stéphane	CURIUM
REGENT	Alain	Membre du GPD
RENNESSON	Malvina	ORANO
ROBINET	Jean-Charles	ANDRA
ROCHER	Muriel	IRSN
SAINT-RAYMOND	Philippe	Membre du GPD
SGUARIO	Igor	ASN
SOARES	Sandrine	IRSN
THABET	Soraya	ANDRA
VIALA	Michèle	Membre du GPD
VIDEAU	Gérard	ORANO
VILLERS	Anita	EDA
WASSELIN-TRUPIN	Virginie	IRSN