



**Direction des installations de recherche
et des déchets**

**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 FORMATIONS 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 INCERTTTUDES 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 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.

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 ALTEREES

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 ouvragés, 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 ouvragés 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 ouvragés...), les effets éventuels de la radiolyse, de l'irradiation alpha ou bêta-gamma et des micro-organismes.

5.3 LES COMPOSANTS OUVRAGES

Les composants ouvragés 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 colis et des composants ouvrages, d'autre part elles gouvernent les phénomènes de migration des 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 colis 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 ETUDIEES

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 ALTEREES

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 dites 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 ouvrages

La défaillance des composants ouvrages 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).