	<h2>Fiche GT3-2</h2>
	<h3>Approche générale des phases de vie à long terme des stockages de résidus miniers d'uranium et comparaison avec d'autres stockages</h3>

## 1. Introduction

Les réflexions du GEP l'ont conduit à distinguer, au niveau des recommandations de surveillance et de gestion, le court terme du moyen et du long terme. Il apparaît toutefois que ces horizons de temps restent mal définis tant en termes de durées que d'évolution des sites. L'objectif de cette note est de présenter la vision construite par le GT3 en vue de préciser les bornes du court, du moyen et du long terme dans le champ spécifique de la gestion durable des anciens sites miniers réaménagés et des sites de stockages de résidus liés à l'extraction d'uranium.

Cette réflexion est une première étape indispensable dans la démarche adoptée par le GEP pour disposer d'une vision globale et prospective des options de gestion et proposer les stratégies adaptées. Cette approche croise, à partir de l'évaluation de la situation existante et des impacts associés, des scénarios d'évolution de cette situation avec des objectifs de gestion et de protection des populations et de l'environnement ; ces scénarios et ces objectifs doivent s'appuyer sur une vision commune des horizons de temps et des phases de vie des sites.

Le GT3 a choisi de fonder son analyse sur la comparaison des éléments de doctrine appliqués à la gestion des sites miniers d'uranium avec les éléments de même nature développés dans des dossiers relativement semblables. Il s'est ainsi appuyé d'une part sur le corpus établi à partir de la « doctrine DPPP » produite en 1999 pour les stockages de résidus de traitement du minerai d'uranium, et d'autre part sur les documents de référence applicables aux stockages de déchets radioactifs de différents niveaux d'activité et différentes durées de vie ainsi qu'aux déchets dangereux non radioactifs.

La note présente en premier lieu une vision très générale de l'évolution des sites dans le temps, puis plus précisément des différents fonctions et dispositifs mis en jeu dans la gestion de ces sites et la maîtrise de leurs impacts. Elle propose sur cette base un découpage selon les différentes phases de la vie d'un site de stockage de résidus. Enfin, elle compare les fonctions et les dispositifs mis en jeu sur un tel site avec ceux d'autres types de stockages, puis les échelles de temps envisagées ou fixées par les différentes doctrines. En conclusion, elle présente l'état des réflexions du groupe sur la spécificité des anciens sites miniers d'uranium et ses implications du point de vue de la gestion à long terme. Cette note a été publiée à l'occasion du troisième rapport d'étape du GEP.

La construction d'une vision commune sur l'évolution à long terme des situations héritées de l'extraction de l'uranium constitue, pour le GT3, un jalon important dans les missions du GEP. Les réflexions présentées dans cette note constituent dans cette perspective **une vision provisoire**. Il s'agira dans l'année qui vient de vérifier sa robustesse dans le cas des stockages de résidus, et de l'élargir à l'ensemble des situations à considérer (anciennes mines réaménagées, verses à stériles...).

## 2. Approche générale

On présente ici une réflexion très générale sur l'évolution dans le temps des sites hérités de l'exploitation du minerai d'uranium et sur l'articulation des différentes fonctions et des différents dispositifs nécessaires à la maîtrise selon les horizons de temps des impacts associés. Cette approche générale s'applique à l'ensemble des sites, même si une distinction doit être établie pour la suite entre les sites miniers d'uranium en général et le cas spécifique des stockages de résidus de traitement du minerai d'uranium.

### 2.1. Remarques préalables

Un certain nombre de constats ont rapidement orienté les réflexions du GT3 :

- La question du long terme s'aborde mieux en termes de *fonctions opérationnelles* plutôt qu'en termes de temps. Ainsi, il est plus facile de distinguer, en première approche, des phases de présence sur site de l'exploitant, de maintien d'une présence institutionnelle puis d'oubli du site que de quantifier les échelles de temps correspondantes ;
- Le découpage des « horizons de temps » peut également être abordé par la réflexion sur les différents *dispositifs physiques* de confinement, de traitement, etc. Il s'agit en particulier des barrières (au sens large) auxquelles on peut affecter une durée de vie prévisible (intégrité des bétons, etc.) ;
- En termes de scénarios, les horizons de temps doivent également prendre en compte les évolutions autour du site, tant sur le plan du milieu physique (évolution hydrogéologique, climatique...) que du milieu biologique (évolution de la faune et de la flore), ainsi que du contexte démographique, socio-économique et réglementaire ;
- Compte tenu des très grandes échelles de temps à considérer sur le plan physique du fait notamment de la durée de vie des radioéléments, des substances chimiques et de l'évolution du système hydrogéologique, il peut être pertinent de distinguer une phase de long terme qui demeure *relativement* prévisible et une phase de très long terme encore plus incertaine.

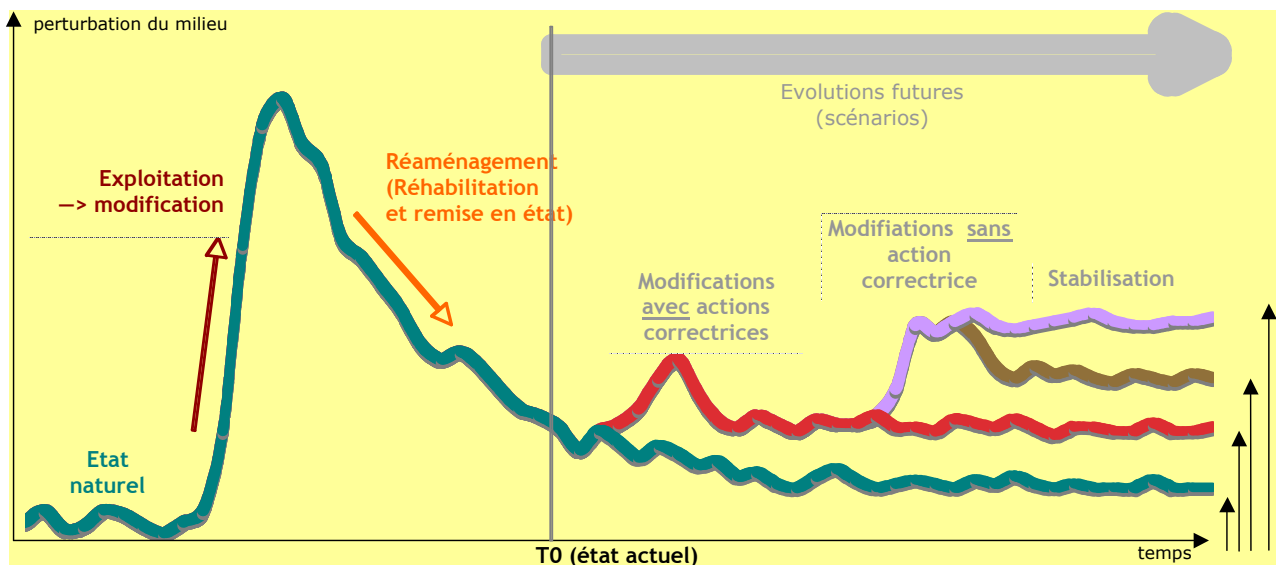
### 2.2. Une vision globale dans le temps

La figure 1 propose une vision générique (et valable aussi pour d'autres substances) de l'évolution de la modification du milieu naturel engendrée par l'exploitation de l'uranium.

Le temps T0 représente la situation actuelle des sites miniers d'uranium (après exploitation et réaménagement). La lecture de cette courbe est purement qualitative dans le sens où la modification du milieu qu'elle souhaite représenter n'est pas quantifiable en soi. On peut distinguer trois phases successives :

- La partie gauche représente la modification anthropique du milieu liée à la mise en exploitation d'une mine d'uranium ; schématiquement, cette modification augmente tout au long de l'exploitation pour connaître un pic avant la mise en œuvre, dans une deuxième phase, de mesures de réhabilitation et de remise en état dans le cadre du réaménagement du site après la fin d'exploitation.
- A l'issue d'une première phase du réaménagement se pose la question de l'évolution future des sites. La partie droite de la courbe indique en premier lieu que cette évolution n'est pas figée et dépend des scénarios. Différents aléas, d'origine naturelle et anthropique, peuvent engendrer de nouvelles modifications. Des actions correctrices ou des mécanismes naturels peuvent, à l'inverse, réduire les perturbations.
- Enfin, la partie la plus à droite de la courbe, qui se situe dans un horizon plus lointain (non quantifié à ce stade), indique qu'à terme, le milieu est supposé atteindre un état relativement stable en regard de la modification initiale. Cet état stable reste toutefois différent de l'état naturel antérieur à la mise en exploitation : il demeure au terme du processus de réaménagement et de gestion à long terme une part d'irréversibilité de la modification du milieu.

Figure 1 : Evolution de la modification du milieu naturel engendrée par l'exploitation de l'uranium



L'objectif du réaménagement est selon cette vision de résorber, autant qu'il est raisonnablement possible, la modification du milieu, c'est-à-dire de revenir à un état stable différent de l'état naturel mais limitant les impacts - aussi proche que possible d'un état non perturbé. Il faut cependant insister sur les limites de cette représentation. **En particulier, un état modifié ne signifie pas nécessairement qu'il pose plus de problèmes pour l'homme et l'environnement puisqu'on représente ici une *perturbation*<sup>1</sup> (en réalité non quantifiable) et non pas des *impacts*.** Ainsi, la représentation introduite par la figure ne préjuge pas des effets induits. De plus, les horizons de temps des évolutions représentées dans la partie droite de la courbe, probablement supérieurs à ceux de la phase d'exploitation, restent indéterminés.

Le travail à poursuivre sur les aléas pourra donner du « corps » à cette représentation en rattachant les évolutions futures à des situations concrètes possibles compte tenu de la compréhension actuelle des systèmes. Cet exercice pourrait le cas échéant déboucher sur un logigramme présentant une vision plus complète de l'ensemble des situations possibles dont la figure 1 se contente en l'état d'illustrer la diversité.

### 2.3. Dégradation progressive des fonctions opérationnelles et évolution des dispositifs physiques

On peut dans le cadre de cette vision générale préciser l'évolution envisageable pour des sites de stockage en s'intéressant aux différentes « barrières » contribuant à la maîtrise des impacts à court, moyen et long terme. Ces barrières peuvent être réparties en deux catégories : la première regroupe l'ensemble des *fonctions* assurées par l'organisation humaine, la seconde l'ensemble des *dispositifs* de nature physique. L'évolution générique des sites est dominée par des phénomènes plus ou moins prévisibles d'une part de perte progressive des fonctions, et d'autre part d'évolution des dispositifs physiques. Ces deux mouvements obéissent toutefois, au-delà de leur caractère commun, à des logiques et des temporalités différentes.

L'évolution des fonctions opérationnelles et des dispositifs physiques, vue ici comme un processus inévitable dans le temps, est respectivement représentée de manière conceptuelle sur les figures 2 et 3.

<sup>1</sup> Au sens très général où toute activité humaine, quels que soient ses bénéfices ou ses inconvénients pour la société, constitue par définition une perturbation du milieu naturel.

Figure 2 : Evolution conceptuelle des fonctions opérationnelles de gestion d'un site

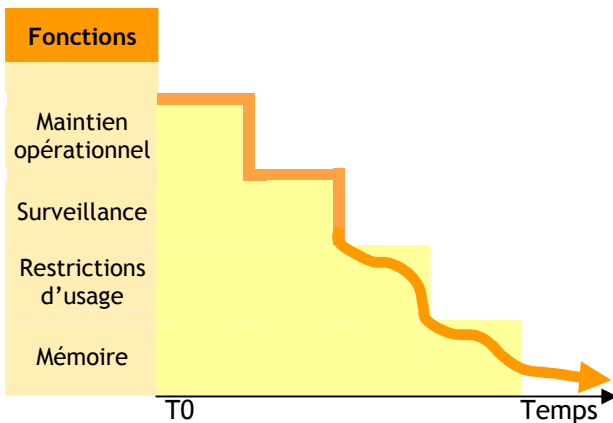
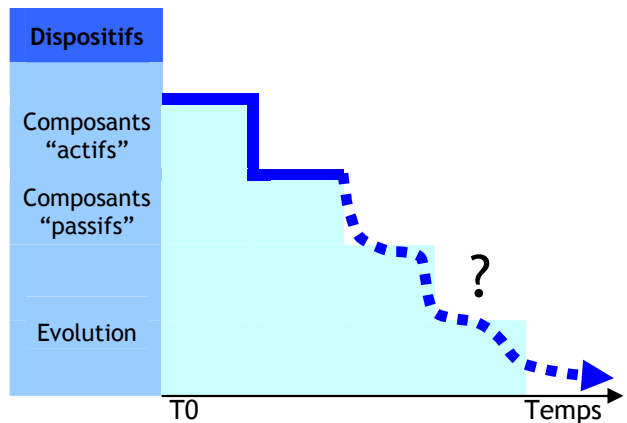


Figure 3 : Evolution conceptuelle de l'état des dispositifs physiques sur un site



### 2.3.1. Fonctions opérationnelles

Différentes fonctions opérationnelles concourent à une gestion maîtrisée des sites dans la durée. Les principales sont la capacité d'intervention sur le site (gestion des dispositifs de protection, entretien, traitement, actions préventives et correctives), la capacité de surveillance, l'application de restrictions d'accès et d'usage, et la conservation de la mémoire.

La situation actuelle est caractérisée sur une majorité des sites - dont l'ensemble des stockages de résidus de traitement - par la présence de l'exploitant, qui assure une capacité opérationnelle : traitement, surveillance, actions correctives éventuelles... Cette capacité se réduit progressivement à la seule surveillance avec un transfert des responsabilités vers les pouvoirs publics et une capacité d'intervention qui revient à l'administration ; les anciens sites miniers où l'exploitant n'est plus présent sont dans ce cas. Il faut insister ici sur deux points :

- contrairement à ce que suggère la distinction parfois proposée entre une surveillance « active » et une surveillance « passive »<sup>2</sup>, la surveillance n'a de sens que si elle reste associée à une faculté d'intervention (remédiation) même si celle-ci n'est plus assurée par une capacité opérationnelle sur le site ;
- par ailleurs, si le maintien de l'exploitant sur le site vise précisément à maintenir une capacité opérationnelle, le transfert à l'Etat ne signifie pas nécessairement la perte de cette capacité.

A terme, la surveillance disparaît ; ne demeure que l'application de servitudes qui vise à garantir des restrictions d'usage. Puis les servitudes s'oublient, même si une forme de mémoire des sites perdure. Il faudrait d'ailleurs distinguer, pour affiner l'analyse, entre plusieurs formes de mémoire dont la période d'efficacité peut varier : mémoire « vivante » des acteurs, archivage sur supports plus ou moins pérennes, mémoire administrative liée aux servitudes, signalisation sur le site, traces visibles de l'activité... Enfin, quels que soient les moyens mobilisés, à un horizon de temps lointain, la mémoire elle-même est perdue. Aucune fonction liée à l'évaluation et encore moins à la correction de perturbations n'est alors plus assurée.

### 2.3.2. Dispositifs physiques

En parallèle, la gestion des sites repose, pour en maîtriser les impacts, sur un ensemble de dispositifs physiques. Il s'agit en premier lieu des barrières ouvragées intégrées aux stockages de résidus (couvertures, digues...) ou aux anciennes mines (bouchons de galeries...) mais aussi, plus largement, des dispositifs de collecte des écoulements et dans certains cas de traitement des eaux, ainsi que des dispositifs de mesure liés à la surveillance.

<sup>2</sup> C'est notamment l'usage de ces termes dans la Doctrine DPPR appliquée aux stockages de résidus miniers d'uranium qui a conduit le GT3 à approfondir sa réflexion sur ce point.

La situation actuelle des sites, en termes de dispositifs physiques, est caractérisée par la présence d'un ensemble de dispositifs participant à la maîtrise du site (couverture, digue, maîtrise de l'écoulement et traitement des eaux). L'évolution prévisible est l'arrêt du maintien des performances des dispositifs dits « actifs » (nécessitant une action humaine). Une pérennité plus grande des dispositifs dits « passifs » mis en place par l'homme (digues, couvertures...), et plus encore des éléments naturels contribuant au confinement (massif encaissant...) peut être envisagée. A long terme, une évolution de ces différents éléments, d'abord avec puis sans action corrective, doit être considérée. Cette évolution peut combiner des phénomènes favorables et des phénomènes de dégradation.

### 2.3.3. Des évolutions de nature différente

Bien que les deux aspects soient ici mis en regard, les évolutions des fonctions opérationnelles et des dispositifs physiques n'obéissent pas à des logiques strictement parallèles. Il convient de souligner :

- un écart important des échelles de temps à considérer. D'un côté, les fonctions opérationnelles ont une « espérance de vie » qui se situe entre quelques années et quelques centaines d'années au plus, à l'exception peut-être de moyens spécifiques de mémoire des lieux. De l'autre, si les dispositifs « actifs » risquent de disparaître aux mêmes horizons de temps, certains dispositifs « passifs » ont une « espérance de vie » plus élevée, pouvant même atteindre pour la barrière constituée par le milieu encaissant l'échelle des temps géologiques ;
- la nature différente des phénomènes associés. D'une manière générale, plus les éléments opérationnels ou physiques mis en œuvre sont « actifs », plus leur perte potentielle procède d'une évolution par paliers ; à l'inverse, plus les éléments sont « passifs », plus leur évolution peut être progressive (malgré la possibilité de phénomènes ponctuels de rupture) ;
- l'interaction entre les volets opérationnel et physique. Les fonctions et les dispositifs sont en grande partie liés, et soumis pour être efficaces à certaines interactions (mise en œuvre des dispositifs « actifs », entretien des dispositifs « passifs », etc.). Ces interactions sont les plus fortes dans les premières phases puis diminuent dans la suite de l'évolution.

## 3. Application spécifique de l'approche aux stockages de résidus

La réflexion du GT3 se poursuit en appliquant plus spécifiquement la logique de l'évolution des fonctions et des dispositifs au cas des stockages de résidus de traitement de minerai d'uranium, afin de construire une vision structurée des différentes phases de l'évolution de ces stockages en discutant les horizons de temps correspondants.

### 3.1. Découpage en quatre phases

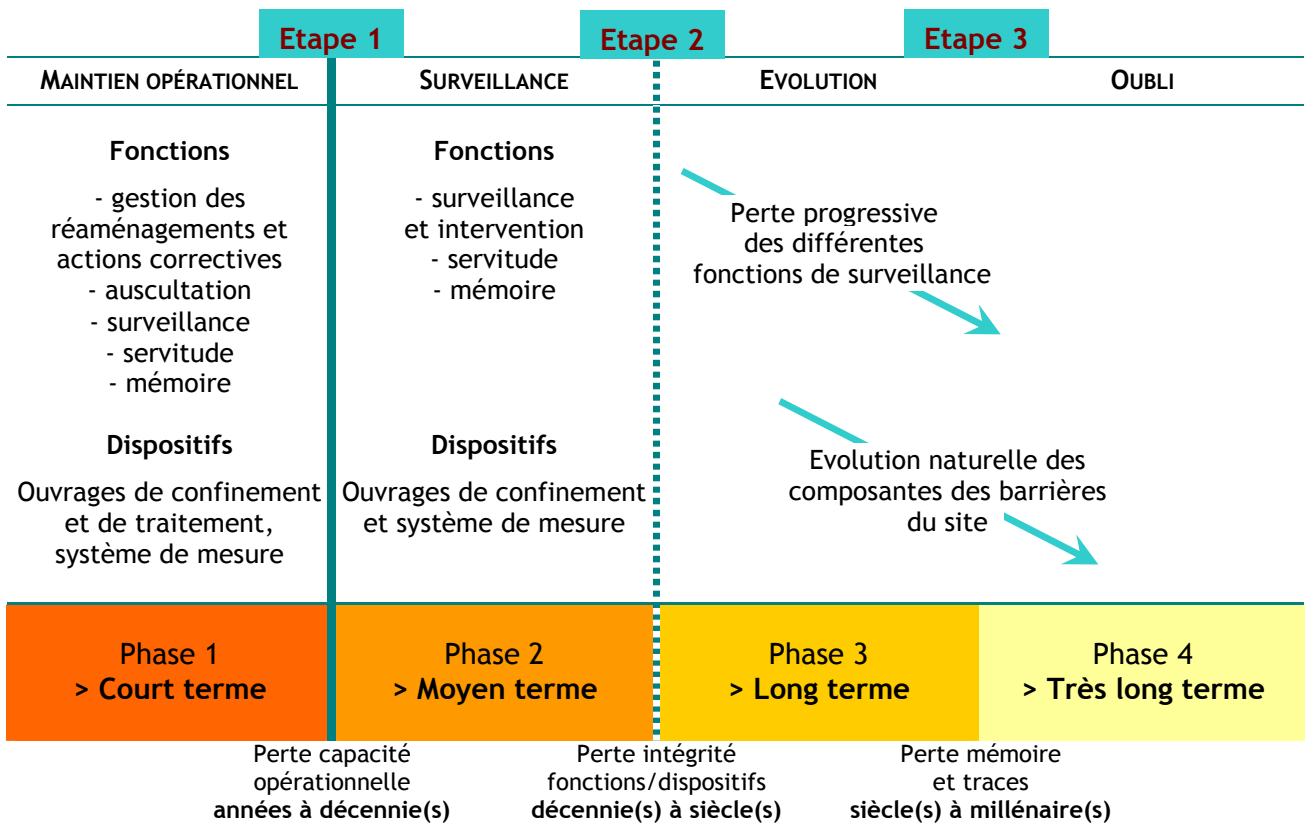
Le GT3 a fondé son analyse, dans un premier temps, sur la doctrine DPPR [1]. Celle-ci distingue trois phases de vie des stockages de résidus après leur fermeture :

- la surveillance « active », qui correspond à la période d'exploitation du stockage incluant donc un entretien régulier, la maintenance des dispositifs ouvragés de stockage et des installations de traitement des eaux s'il y a lieu, ainsi que la surveillance du respect des restrictions d'usage, à travers les servitudes d'utilité publique. Elle devrait prendre fin avec l'arrêt du traitement des eaux et s'accompagner d'un transfert de responsabilité de l'exploitant vers l'administration ;
- la surveillance « passive », ou veille, marquée par l'abandon des interventions d'entretien et de maintenance des moyens de contrôle et de traitement dès lors qu'ils ne sont plus nécessaires, et par le maintien des servitudes d'usage liées aux terrains garantissant dans cette phase l'intégrité des dispositifs de stockage ;
- la surveillance « non garantie », représentant l'altération évidente à long terme de la vigilance, allant graduellement jusqu'à la perte totale de mémoire de toute servitude et caractérisée par l'absence probable d'action correctrice en cas d'atteinte par des interventions humaines à l'intégrité du stockage.

Le GT3 a jugé utile d'affiner cette représentation de l'évolution des sites de stockage<sup>3</sup>. Les réflexions sur les différentes fonctions de la surveillance et sur l'interaction entre les volets opérationnel et physique l'ont amené à proposer un schéma alternatif distinguant quatre phases.

La figure 4 illustre la succession schématique de ces différentes phases. Les différentes fonctions mises en jeu sont définies à partir de la gestion des sites de stockages, mais ce découpage offre, par extension, une base pour raisonner par la suite à l'échelle des sites miniers. Les phases et les étapes marquant le passage de l'une à l'autre sont décrites de manière très générale et rapidement commentées dans le tableau 1.

Figure 4 : Les différentes phases de vie d'un stockage de résidus



<sup>3</sup> Les réflexions du GT3 portaient sur l'approfondissement de la notion de surveillance à long terme. Elles ont été présentées dans le Rapport d'étape n°2 du GEP, pp. 68-69.

Tableau 1 : Description des caractéristiques pour chaque phase de vie d'un stockage de résidus

Descriptif	Commentaire
<p><b>Phase 1 Court terme - gestion opérationnelle</b>            Cette phase, qui correspond pour les sites étudiés par le GEP à la situation actuelle, se traduit par une performance maximale des fonctions (jusqu'à la capacité d'intervention au niveau physique par l'exploitant) et d'intégrité des dispositifs physiques.</p>	<p><i>Cette phase est en principe maîtrisable. La capacité opérationnelle ainsi maintenue doit permettre de préparer les phases suivantes, en fonction des objectifs fixés. En particulier, la surveillance peut s'accompagner de l'acquisition de connaissances complémentaires nécessaires aux stratégies de gestion à long terme.</i></p>
<p><b>Etape 1 Abandon du caractère opérationnel</b>            Cette étape correspond au retrait, sous une forme maîtrisée ou non, et s'accompagnant d'un changement statutaire ou non, des capacités opérationnelles d'exploitation sur site.</p>	<p>Même si aucun délai fixe n'est défini, cette étape ne peut être envisagée que dans un avenir relativement proche : on peut parler de quelques années à quelques dizaine d'années. Une question posée est de savoir si ceci est possible - par exemple au niveau de l'arrêt du traitement...</p>
<p><b>Phase 2 Moyen terme - surveillance</b>            Cette phase se caractérise au départ par le maintien d'une surveillance « active » à travers une forme d'administration spécifique du site, ainsi que par la pérennité des dispositifs « passifs » de maîtrise des transferts à l'environnement. Cette administration s'accompagne du maintien des servitudes et de la conservation de la mémoire.</p>	<p><i>La disparition de la capacité opérationnelle initiale ne signifie pas l'abandon de toute action sur le site, mais se caractérise par une situation où le recours à des dispositifs « actifs » n'est plus de mise et où la gestion et la surveillance sont essentiellement tournées vers l'efficacité des dispositifs « passifs ».</i></p>
<p><b>Etape 2 Perte d'intégrité partielle</b>            La fin de cette phase est marquée par une perte d'efficacité significative d'au moins un des éléments nécessaires à la maîtrise du site. Cette perte porte inéluctablement sur les fonctions opérationnelles liées à la surveillance et potentiellement sur les dispositifs physiques (barrières).</p>	<p>Son horizon est par nature incertain, dans la mesure où l'objectif poursuivi dans la phase 2 est de retarder cette étape. On peut toutefois probablement le borner entre quelques dizaines d'années et une centaine d'années.</p>
<p><b>Phase 3 Long terme - évolution</b>            La perte potentielle d'intégrité du système dans sa configuration « passive » ouvre une phase moins déterminée que l'on peut décrire comme l'évolution progressive des dispositifs de protection. Sans qu'on puisse a priori en prévoir le rythme, la surveillance, les servitudes et à terme la mémoire de l'exploitation du site s'effacent progressivement. Parallèlement, les mécanismes naturels conduisent à une perte progressive du confinement réalisé initialement.</p>	<p><i>Cette phase apparaît comme la plus critique vis-à-vis de la maîtrise des risques. Elle est en même temps difficile à caractériser. Cette évolution « normale » peut combiner un effet positif de stabilisation du site avec des formes de dégradation potentiellement très variées et plus ou moins pénalisantes. Cette situation ne peut que s'approcher par l'analyse de situations dégradées correspondant à des aléas type.</i></p>
<p><b>Etape 3 Perte de toute mémoire sociétale et physique</b>            Le mouvement ainsi décrit conduit, progressivement, à passer le cap d'un véritable oubli du site, caractérisé par le double effacement de sa mémoire dans la société et de ses traces visibles dans le milieu naturel.</p>	<p>Cette étape est étalée dans le temps – l'effacement sociétal pouvant intervenir plus vite que l'effacement physique. Elle se situe à un horizon lointain, par principe incertain, dont l'ordre de grandeur peut à titre indicatif être fixé entre quelques centaines et, au grand maximum, quelques milliers d'années.</p>
<p><b>Phase 4 Très long terme - oubli</b>            La période qui s'ouvre au-delà de cet effacement est donc caractérisée par l'oubli total du site. Elle correspond théoriquement, en terme de perturbation, au retour du site à un nouvel état stable relativement proche de son état initial.</p>	<p><i>Cette dernière phase, par son éloignement dans le temps, ne peut être abordée qu'avec une forte incertitude et une très grande prudence sur la signification donnée à l'évaluation et à la maîtrise des impacts.</i></p>

## 3.2. Approches développées par différentes doctrines de stockage

Afin d'éclairer la réflexion, il paraît utile de situer cette approche par comparaison avec les approches développées dans les principaux textes de référence. Le GT3 s'est ainsi penché, outre la « doctrine DPPR » de 1999 sur les stockages de résidus, référence essentielle déjà étudiée, sur les règles applicables à d'autres formes de déchets radiologiques et chimiques<sup>4</sup> :

- règle fondamentale de sûreté (RFS) de 1984 relative au stockage en surface de déchets radioactifs à vie courte (période  $\leq 30$  ans) [2] ;
- guide de sûreté de 2008 relatif au stockage géologique de déchets radioactifs de haute et moyenne activité à vie longue (HA et MAVL) [3] ;
- orientations de sûreté de 2008 pour le stockage des déchets faiblement radioactifs à vie longue (FAVL) [4] ;
- réglementation de 2002 pour le stockage des déchets dangereux (en Centres de stockage de déchets ultimes, CSDU, anciennement Centres d'enfouissement technique, CET) [5].

Une synthèse de chacun de ces textes de référence est présentée ci-dessous. Il ne s'agit pas de restituer l'ensemble des dispositions prévues par chaque texte mais les éléments explicites relatifs à la philosophie générale de conception vis-à-vis du temps, aux fonctions opérationnelles et dispositifs physiques intégrés à la conception et à leur rôle dans la sûreté du stockage, et pour finir aux horizons de temps éventuellement associés.

### 3.2.1. Doctrine en vigueur pour le stockage de résidus de traitement de minerai d'uranium

Le document de doctrine DPPR porte sur « les options (...) de réaménagement des stockages de résidus de traitement de minerai d'uranium ainsi que les principes et les méthodes permettant d'en apprécier l'efficacité afin de garantir la protection de l'homme et de l'environnement ».

La doctrine propose un phasage construit sur le retrait par étapes de la capacité de surveillance d'une part, et sur la perte progressive d'efficacité du confinement assuré par les ouvrages passifs (digues et couvertures). Ce phasage et les scénarios qui en découlent ont été appliqués pour la première fois dans les travaux menés par Areva pour évaluer l'impact dosimétrique à long terme des sites conformément à la loi du 28 juin 2006 sur la gestion durable des déchets radioactifs<sup>5</sup>.

La doctrine identifie ainsi les dispositifs de stockage : les réceptacles d'accueil existants ou créés, les digues de rétention filtrantes et drainées, la couverture finale (solide ou en lame d'eau), les drains de protection et de collecte sélective des eaux et les procédés de stabilisation chimique des résidus de traitement. L'efficacité en regard des objectifs de radioprotection des dispositifs de stockage, en particulier des digues et couvertures, doit être garantie à 300 ans et peut être envisagée jusqu'à 1000 ans.

Les digues ont pour fonction d'assurer la rétention des produits stockés dans le réceptacle. Les couvertures doivent par conception limiter les risques d'intrusion humaine et animale, d'érosion, de dispersion des produits stockés et d'exposition externe par la voie air (rayonnement gamma et radon). Le réceptacle lui-même doit avoir une capacité à limiter le transfert à l'environnement par les eaux souterraines. L'intégrité des dispositifs de stockage est dans une première phase (surveillance active) garantie par la surveillance et la maintenance assurées par l'exploitant ; son retrait marque la fermeture définitive du site et ouvre une deuxième phase où l'intégrité n'est plus assurée que par des moyens administratifs (servitudes d'usage). Enfin, la surveillance n'est plus garantie lorsque la mémoire du site se perd.

---

<sup>4</sup> Les documents utilisés en référence sont notamment accessibles via le site internet du GEP (rubrique documentation).

<sup>5</sup> A sa demande, le GEP a pris connaissance, en décembre 2008, de ces travaux ainsi que de l'avis rendu par l'IRSN sur la méthodologie proposée et de la position de l'ASN. Leur examen n'appelle pas à ce stade d'évolution de la représentation élaborée par le GT3 sur le phasage de la vie des sites ; les implications éventuelles du point de vue des scénarios à considérer pourront être discutées dans la suite des travaux du GT3.



### **3.2.2. Règle de sûreté pour le stockage de déchets radioactifs de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC)**

La RFS I.2 porte sur les « objectifs de sûreté et les bases de conception pour les centres de surface destinés au stockage à long terme de colis de déchets radioactifs de période courte ou moyenne et de faible ou moyenne activité massique » (déchets de faible et moyenne activité à vie courte, FMA-VC). La sûreté repose sur le confinement assuré par trois barrières : le colisage des déchets, les ouvrages du stockage et les matériaux naturels en place au sein desquels ont été réalisés les ouvrages.

La règle distingue deux phases postérieures à la phase d'exploitation (qui comprend la création des ouvrages, leur remplissage et la mise en place de la couverture) : une phase de surveillance incluant le contrôle de toute défaillance des systèmes de confinement et la prévention de toute dissémination à des niveaux nocifs, puis une phase de banalisation rendue possible par la décroissance de la radioactivité. La surveillance prévue dans la première phase inclut la possibilité d'intervention correctrice, y compris de reprise des déchets, en cas de mise en évidence d'une dissémination éventuelle.

Une échéance clé, fixée à 300 ans après la fermeture du stockage, marque à la fois un maximum du point de vue de la surveillance et un minimum du point de vue de l'efficacité des dispositifs. D'une part, le confinement assuré par les deux premières barrières (colis et ouvrages, y compris la couverture) doit être garanti pour au moins 300 ans dans toutes les situations plausibles. D'autre part, le dimensionnement du stockage doit être conçu pour assurer que la banalisation, définie comme le retour à un usage « normal » du site, c'est-à-dire sans restriction, puisse intervenir au plus tard après 300 ans de surveillance. Au-delà, compte tenu de la décroissance radioactive, la sûreté repose sur la limitation des transferts liée à la capacité de rétention de la troisième barrière<sup>6</sup>.

### **3.2.3. Guide de sûreté pour le stockage de déchets radioactifs de haute et moyenne activité à vie longue (HA-MAVL)**

Le Guide sur le stockage géologique définit, « pour le stockage de déchets radioactifs en formation géologique profonde, les objectifs qui doivent être retenus (...) pour assurer la sûreté après la fermeture de l'installation de stockage ». Il repose notamment sur l'idée que la protection, « après la fermeture du site (...), 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 ». Cela se traduit par l'objectif qu'après la fermeture, le confinement soit assuré de façon passive, c'est-à-dire sans intervention.

Cette règle définit le « système de stockage » comme l'ensemble constitué des colis de déchets, de l'installation de stockage (composants ouvragés d'accès et de stockage) et du milieu géologique (« roche hôte »). La sûreté repose sur le concept de défense en profondeur en associant aux barrières successives diverses fonctions de sûreté complémentaires et redondantes. Les fonctions essentielles sont de s'opposer à la circulation de l'eau dans le stockage, de confiner la radioactivité et d'isoler les déchets de l'homme et de la biosphère, c'est-à-dire de les protéger des atteintes naturelles ou des activités humaines.

Trois phases de vie du stockage sont distinguées à partir de la fermeture (fin de la période d'exploitation). La première période est caractérisée par le maintien de la mémoire du stockage, avec pour corollaire l'absence très probable d'intrusion. Cette perte de mémoire peut selon le guide « être raisonnablement située au-delà de 500 ans ». Suit une période intermédiaire dont la caractéristique principale est la garantie de stabilité du milieu géologique. Celle-ci doit être démontrée pour au moins 10.000 ans. Enfin, la période postérieure est caractérisée par la possible occurrence de glaciations majeures.

Le guide stipule qu'un programme de surveillance doit être mis en œuvre jusqu'à la fermeture, mais qu'à l'inverse la protection après la fermeture « 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 », même si « certaines dispositions de surveillance pourraient (...) être maintenues après la fermeture ». A fortiori la conception doit assurer la protection après la fermeture par des moyens passifs (c'est-à-dire ne nécessitant aucune intervention). La surveillance doit également être adaptée à l'objectif de

---

<sup>6</sup> La banalisation n'est pas interprétée dans la règle comme une conséquence automatique de la décroissance radioactive des déchets considérés. Elle est présentée, au contraire, comme une exigence de démonstration du caractère acceptable du stockage vis-à-vis de la présence à l'état de traces dans les déchets de radioéléments à vie longue (émetteurs alpha) dont la décroissance radioactive se compte plutôt en millénaires ou au-delà.

réversibilité : ce principe spécifique à ce dossier n'est toutefois pas défini ni fixé dans le temps au stade de ce guide de sûreté.

#### **3.2.4. Orientations de sûreté pour le stockage de déchets radioactifs de faible activité à vie longue (FAVL)**

Les Orientations de sûreté pour le stockage de déchets FAVL, décrit comme « une installation "intermédiaire" entre un centre de stockage de surface et un centre de stockage en formation géologique profonde », reposent sur une logique similaire à celle développée pour le stockage géologique des déchets HAVL. Elles visent à définir « les orientations générales qui doivent être retenues dès les phases d'investigation d'un site et de conception d'une installation de stockage (...) pour en assurer la sûreté après sa fermeture ».

L'inventaire radioactif des déchets graphite et radifères concernés (dominé respectivement par le carbone 14 et le radium 226) impose une conception visant à « confiner les déchets efficacement » pendant la durée de décroissance associée, soit « quelques  $10^4$  ans ». Le stockage doit, à l'instar du stockage FMA-VC pour 300 ans, être dimensionné pour que le niveau résiduel, après quelques dizaines de milliers d'années, n'entraîne pas d'exposition inacceptable même en cas de perte significative de confinement. Comme « 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 », les règles de conception s'appuient sur celle du stockage géologique des HA et MA-VL, en les adaptant à la moindre radioactivité des déchets concernés - c'est-à-dire en particulier en stockant à faible profondeur.

Les principaux composants de l'installation de stockage considérés sont les colis de déchets, les composants ouvrages (ouvrages de stockage, scellements, ouvrages d'accès, et le cas échéant couverture remaniée entre les alvéoles et la surface<sup>7</sup>), et la formation géologique hôte. Comme pour le stockage géologique profond, le concept retenu dans cette approche repose sur une sûreté passive (c'est-à-dire sans intervention) après la fermeture où chaque composant participe, selon l'approche de défense en profondeur, à une ou plusieurs des fonctions de sûreté : limiter la circulation de l'eau dans l'installation, confiner la radioactivité et isoler les déchets de l'homme et de la biosphère.

L'approche reste plus floue sur le plan temporel. Si, comme pour le stockage géologique profond, les orientations stipulent que la protection après la fermeture ne doit pas dépendre d'une surveillance et d'un contrôle institutionnel, le texte envisage sans la préciser une « phase de surveillance ». L'absence d'intrusion pendant la durée de conservation de la mémoire est également retenue, mais cette durée n'est pas précisée. Enfin, à l'image du stockage profond, la stabilité géologique doit être démontrée pour une période d'au moins 10 000 ans.

#### **3.2.5. Règlementation applicable au stockage de déchets (non radioactifs) dangereux**

La réglementation applicable aux déchets dangereux hors des domaines nucléaire et minier à travers l'arrêté de 2002<sup>8</sup>, inscrite dans le régime des Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), répond à une approche très différente. L'arrêté s'applique aux stockages en surface, indifféremment définitifs ou temporaires, et s'attache plus à décrire en détail les dispositifs techniques à mettre en place au cours de l'exploitation et à la fermeture du stockage qu'à préciser les conditions de sûreté à long terme.

Le concept de stockage repose sur « une barrière de sécurité passive » constituée du milieu géologique, caractérisé par une couche naturelle ou remaniée de faible perméabilité sur cinq mètres d'épaisseur au moins autour de l'encaissement de stockage. L'objectif de conception est que cette barrière ne soit pas sollicitée. L'aménagement du site prévoit pour cela un ensemble de dispositifs dits « de sécurité active », reposant notamment sur « un dispositif de drainage incluant à sa base une géomembrane » (sur le fond et les flancs de l'installation). Le système de drainage est complété d'un système de collecte, de stockage et éventuellement de traitement des eaux.

<sup>7</sup> Dans le cas où la profondeur nécessaire n'excéderait pas quelques dizaines de mètres, on peut imaginer au lieu de galeries creusées sous le milieu naturel un stockage en alvéoles refermées par une épaisse couche remaniée.

<sup>8</sup> L'arrêté du 30 décembre 2002 exclut explicitement de son champ l'ensemble des stockages spécifiques de déchets radioactifs et des stockages spécifiques de déchets issus de l'exploitation des mines.

Les déchets doivent être stockés sous une forme « stabilisée », incluant un conditionnement lorsque nécessaire (déchets pulvérulents par exemple). Après remplissage, le stockage doit être recouvert par une couverture définitive qui vise essentiellement à « empêcher l'infiltration d'eau de pluie ou de ruissellement vers l'intérieur de l'installation ». Elle doit être multicouche autour d'une géomembrane<sup>9</sup>.

Le réaménagement du site après exploitation doit notamment viser à « assurer son isolement vis-à-vis des eaux de pluie », à « garantir un devenir à long terme compatible avec la présence des déchets » et à « faciliter le suivi des éventuels rejets dans l'environnement ». Un suivi à long terme d'une durée au moins égale à 30 ans doit être mis en place. Il concerne la surveillance des eaux du site et autour du site, l'entretien du site, et le suivi géotechnique du site. Enfin, l'arrêté prévoit la mise en place, à l'arrêt définitif de l'installation, de servitudes d'utilité publique sur tout ou partie de l'installation.

### 3.3. Comparaison des approches

Les différentes doctrines examinées traduisent des approches différentes vis-à-vis des stockages de déchets selon leurs caractéristiques principales et les principes directeurs de la conception de la sûreté<sup>10</sup> selon les domaines d'application. Cette diversité s'observe aussi bien dans les principaux composants et fonctions participant de la sûreté que dans le phasage de la vie du stockage et les horizons de temps considérés.

Le tableau 2 propose une rapide synthèse des similitudes et des différences entre les cinq approches étudiées du point de vue des dispositifs (ou composants) et des fonctions mobilisés dans les concepts de stockage et de leur rôle. Ne sont présentés, sur la base des exigences explicitées dans chaque texte de référence, que les éléments intervenant après la fermeture du site, entendue dans tous les cas comme la fin de la période d'exploitation et correspondant à la réception et à la mise en stockage des derniers déchets et au réaménagement du site pour le long terme.

Le tableau 3 propose une mise en perspective des différentes phases constitutives de l'évolution d'un stockage à long terme telles qu'elles ressortent des doctrines examinées, incluant une comparaison avec l'approche dessinée plus haut par les réflexions du GT3. Il signale les fonctions et dispositifs explicitement mis en jeu dans les différentes phases et rappelle en particulier les quelques horizons de temps précisés par ces doctrines. Le tableau propose un alignement des évolutions des stockages à un point T0 choisi comme la fermeture. Ceci revient à établir une analogie entre la phase d'auscultation-démonstration d'un site « hérité historiquement » comme les sites de stockage de résidus avec la fin de l'exploitation de nouveaux sites de stockage de déchets à construire en application d'autres doctrines.

---

<sup>9</sup> Elle doit comporter, du haut vers le bas : terre arable végétalisée dont la végétation doit être entretenue, niveau drainant, écran imperméable combinant une géomembrane et une couche de matériaux, et couche drainante.

<sup>10</sup> On regroupe ici, sous le terme de sûreté, la sûreté au sens où elle est définie dans le domaine nucléaire (où on la distingue de la sécurité s'appliquant à la seule malveillance) et la sécurité qui est le terme préférentiellement employé dans les autres domaines.

Tableau 2 : Eléments constitutifs de la sûreté / sécurité du stockage après fermeture dans les différentes approches

Dispositifs ou fonctions		Doctrine DPPR Résidus traitement U (1999) <b>Surface</b>	RFS I.2 Déchets radioactifs FMA-VC (1984) <b>Surface</b>	Guide sûreté Déchets radioactifs HA/MA-VL (2008) <b>Profond</b>	Orientations Déchets radioactifs FA-VL (2008) <b>Semi-profond</b>	Arrêté Déchets industriels dangereux (2002) <b>Surface</b>
Colisage	Type	Pas de colisage	Colisage (sauf cas particuliers)	Colisage voire surcolisage	Colisage	Pas obligatoire, selon nature
	Rôle		<i>Confinement</i>	<i>Confinement puis limitation relâchement</i>	<i>Confinement Résistance agressions Limitation relâchement</i>	<i>Confinement</i>
Réceptacle	Type	Bassins, MCO... Digue(s) [le cas échéant]	Alvéoles	Galeries de stockage	Alvéoles ou galeries	Casiers (pls alvéoles)
	Rôle	<i>Rétention produits stockés</i>	<i>Confinement Protection vs. circulation eau</i>	<i>Confinement Limitation infiltration eau</i>	<i>Stabilité Protection vs. circulation eau</i>	<i>Stabilité Maîtrise hydraulique</i>
Milieu hôte	Type	Roche	Sol ou roche	Roche	Roche	Roche ou couche remaniée
	Rôle	<i>Limitation transfert (eaux souterraines)</i>	<i>Stabilité Confinement puis capacité de rétention</i>	<i>Stabilité Confinement Isolement vs. agressions Limitation infiltration eau</i>	<i>Stabilité Confinement Isolement vs. agressions Limitation infiltration eau</i>	<i>Sécurité passive Protection du sol et des eaux</i>
Couverture	Type	Couv. solide ou lame d'eau	Matériaux solides (non spécifiés, y.c. de mine)	Non : milieu géologique	Couche naturelle ou remaniée (si alvéoles)	Multi-couche (incluant géomembrane)
	Rôle	<i>Limitation intrusion, érosion, infiltration eau, dispersion, exposition</i>	<i>Confinement Isolement vs. eau, érosion et agressions</i>		<i>Idem réceptacle Isolement vs. érosion et agressions</i>	<i>Imperméabilisation Prévention érosion</i>
Drainage	Type	Drains, digue Collecte sélective	Collecte gravitaire, stockage	Non	Non	Géomembrane, syst. collecte, bassin stockage
	Rôle		<i>Contrôle</i>			<i>Sécurité active</i>
Traitement	Type	Selon qualité eau collectée	Non	Non	Non	Selon qualité eau collectée
	Rôle	<i>Surveillance active</i>				<i>Préservation qualité milieu</i>
Surveillance	Type	Oui (phase active)	Surveillance site et environnem <sup>t</sup>	Non (maintien éventuel)	Non	Suivi du site, ouvrages, rejets
	Rôle	<i>Fonctionnement Respect restrictions usage</i>	<i>Contrôle défaillances et disséminations Protection vs. intrusions</i>	<i>[contredirait sûreté passive]</i>	<i>[contredirait sûreté passive]</i>	<i>Contrôle fonctionnement Protection environnement</i>
Maintenance	Type	Oui en lien surveillance	Oui pendant surveillance	Pas d'intervention	Pas d'intervention	Oui pendant le suivi
	Rôle	<i>Entretien Action correctrice</i>	<i>Intervention y.c. reprise</i>	<i>[contredirait sûreté passive]</i>	<i>[contredirait sûreté passive]</i>	<i>Entretien Action correctrice</i>

Tableau 3 : Comparaison des phases de gestion à long terme d'un site selon les différentes approches du stockage

	Réflexion GT3 Résidus traitement U (en cours)	Doctrine DPPR Résidus traitement U (1999)	RFS I.2 Déchets radioactifs FMA-VC (1984)	Guide sûreté Déchets radioactifs HA/MA-VL (2008)	Orientations Déchets radioactifs FA-VL (2008)	Arrêté 2002 Déchets industriels dangereux (2002)
		Conception	Conception	Conception	Conception	Conception
		Mise en service	Mise en service	Mise en service future	Mise en service future	Mise en service
	Situation donnée	<b>Phase d'exploitation</b> Capacités opérationnelles	<b>Phase d'exploitation</b> Capacité d'intervention et de reprise	<b>Phase d'exploitation</b> Capacités opérationnelles	<b>Phase d'exploitation</b> Capacités opérationnelles	<b>Phase d'exploitation</b> Capacités opérationnelles
	Etat actuel	Programme de surveillance	Programme de surveillance	Actions correctives sur conception	Actions correctives sur conception	Programme de surveillance
	<b>Phase d'auscultation - démonstration</b>	Réaménagement		Programme de surveillance	Programme de surveillance	Réaménagement
<b>T0</b>	Passage gestion long terme	Fin du réaménagement	Fermeture du stockage	Fermeture du stockage	Fermeture du stockage	Fermeture du stockage
<b>Quelques années</b>	<b>Gestion opérationnelle</b> Maintien des capacités opérationnelles et de l'intégrité	<b>Surveillance active</b> Maintenance Traitement eaux Surveillance	<b>Phase de surveillance</b> Maintien de la capacité d'intervention et de reprise	<b>Sûreté passive</b> Dispositifs de confinement passifs Arrêt progressif surveillance	<b>Sûreté passive</b> Complémentarité et diversité des composants Arrêt progressif surveillance	<b>Surveillance active</b> Entretien Maintenance Traitement Surveillance
<b>Quelques dizaines d'années</b>	Arrêt dispos actifs	Arrêt traitement		Dispositions de réversibilité		<b>30 ans</b> Délai minimum de levée surveillance
	<b>Surveillance</b> Contrôle intégrité sans maintenance	<b>Surveillance passive</b> Fin maintenance contrôle et traitement				
	Perte intégrité	Restrictions d'usage connues				
<b>Quelques centaines d'années</b>	<b>Evolution</b> Fin contrôle institutionnel					
	Perte progressive connaissance	<b>300 ans</b> Fin possible intégrité	<b>300 ans</b> Délai maximum de levée surveillance			
	Perte progressive confinement	Perte de mémoire		<b>500 ans</b> Perte mémoire	Perte mémoire	
	Perte mémoire et traces	<b>Surveillance non garantie</b> Atteintes humaines	<b>Banalisation</b> Retour terrains à usage normal	Date minimale d'intrusion humaine		
	<b>Oubli</b> Retour progressif à un état stabilisé ?	contre intégrité		(sûreté passive)	(sûreté passive)	
		<b>1.000 ans</b> Fin garantie intégrité	Fin efficacité barrières ouvragées			
<b>Quelques milliers d'années</b>		(surveillance non garantie)	(banalisation)	<b>10.000 ans</b> Fin garantie stabilité géologique	<b>10.000 ans</b> Fin garantie stabilité géologique	

### 3.4. Remarques

La comparaison des différentes approches examinées permet de situer le cadre de réflexion élaboré par le GT3 pour analyser la gestion à long terme des sites issus de l'exploitation minière de l'uranium, et plus spécifiquement des stockages de résidus de traitement. La méthode trouve toutefois une limite dans le seul examen des textes de doctrine « techniques » : elle n'intègre pas les principes établis par le contexte réglementaire plus large. Il faudrait tenir compte dans une comparaison plus « juridique » des réglementations générales applicables selon les types de stockage concernés (Code minier, réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement - ICPE -, réglementation des installations nucléaires de base - INB)<sup>11</sup> dans leur état à l'époque de publication de la doctrine (entre 1984 pour la plus ancienne et 2008). Il faudrait également tenir compte de l'évolution des grands principes intégrés au droit de l'environnement selon les époques.

#### 3.4.1. Points de cohérence

L'analyse technique apporte toutefois des enseignements importants. Elle montre ainsi des points de relative cohérence avec la logique développée pour l'ensemble des stockages de déchets radioactifs et de déchets industriels dangereux. En particulier :

- les dispositifs et les fonctions opérationnelles identifiés pour la gestion à long terme des sites miniers uranifères sont bien de même nature que les éléments mis en jeu dans l'approche de sûreté des différents types sites de stockage de déchets potentiellement dangereux à long terme ;
- la logique qui s'applique pour caractériser les différentes étapes de la vie du site (d'où découlera l'élaboration des scénarios à prendre en compte) est bien celle d'une perte progressive, à des rythmes distincts mais corrélés, des dispositifs physiques et des fonctions opérationnelles mis en place tels qu'ils existent à la fermeture du site ;
- les horizons de temps envisagés dans l'approche du GT3 pour la perte progressive des dispositifs et fonctions mis en jeu sont compatibles avec la fourchette plus ou moins précise des échéances fixées par les différentes doctrines.

#### 3.4.2. Hétérogénéité des approches

Si ces repères communs existent, la comparaison plus détaillée d'une vision à long terme sur les sites de stockage de résidus du traitement de l'uranium avec les doctrines applicables à d'autres stockages fait toutefois essentiellement ressortir des différences importantes.

Il faut à ce stade souligner que ces doctrines ne forment pas elles-mêmes un ensemble homogène mais font au contraire apparaître des divergences fondamentales sur les échéances à garantir, sur le choix et l'importance respective des différents dispositifs et plus encore sur le principe même des fonctions de surveillance et de contrôle après la fermeture. Ces divergences ont clairement une double origine :

- la première est la proportionnalité du concept au risque perçu *au moment d'élaboration de la doctrine*. Les déchets visés présentent une gamme variée du point de vue de leur dangerosité et de leur évolution. Ces caractéristiques conduisent à pondérer, dans l'analyse de sûreté à long terme, les enjeux de l'isolement des déchets à différents horizons de temps et l'importance dans cette perspective des différents éléments de conception du stockage ;
- la seconde, sans doute prédominante, est l'influence des contextes institutionnels et opérationnels. On observe d'abord une spécificité de l'approche appliquée aux déchets radioactifs par rapport aux autres déchets industriels dangereux, qui s'explique notamment par l'attachement de cette approche aux principes et règlements de sûreté spécifiques développés par l'industrie nucléaire<sup>12</sup>. Ensuite, l'évolution des réflexions et des préoccupations introduit naturellement des différences entre des doctrines plus anciennes ou plus récentes, par exemple dans l'enchaînement des doctrines sur les déchets radioactifs FMA-VC, HA et MA-VL, et FA-VL.

---

<sup>11</sup> Les questions liées aux réglementations applicables aux sites miniers d'uranium ont été discutées par le GT3 dans le Rapport d'étape n° 2 du GEP, pp. 52-63.

<sup>12</sup> Les textes de référence établissent ainsi clairement une analogie avec le principe de défense en profondeur mis en œuvre pour les installations nucléaires en général.

Enfin, le phasage entre conception et mise en œuvre industrielle joue un rôle déterminant. Le degré de liberté n'est pas le même selon qu'il s'agit de concevoir des sites futurs, de créer à court terme des sites pour des déchets existants ou même de réaménager des stockages déjà en place.

### 3.4.3. Singularité des stockages de résidus

Les mêmes facteurs historiques concourent à la spécificité de la doctrine DPPR applicable aux stockages de résidus miniers d'uranium. On peut pointer, s'agissant des sites et matières concernés :

- la situation de « naturel renforcé », contrairement à une concentration pour stockage à long terme de matières étrangères au milieu naturel dans toutes les autres approches examinées ;
- la durée de vie des matières, qui sur le plan radiologique est parmi les plus longues à prendre en compte alors qu'au moment du réaménagement des stockages de résidus miniers la seule référence réglementaire connue, relative au stockage de déchets radioactifs, portait sur les déchets à vie courte - à quoi s'ajoute l'absence de décroissance vis-à-vis du risque chimique ;
- leur niveau de dangerosité perçu comme modéré par rapport à d'autres déchets radioactifs auxquels une plus grande attention a pu être accordée dans le champ institutionnel ;
- le rattachement historique de cette doctrine à la réglementation élaborée dans le domaine minier plutôt qu'aux réglementations sur les installations de stockage de déchets radioactifs (fondée sur l'approche INB) ou d'autres déchets industriels dangereux (approche ICPE) ;
- le fait que les options techniques sont contraintes par les solutions mises en œuvre dans les premières étapes de réhabilitation, contrairement par exemple au contexte des études sur le futur stockage de déchets haute et moyenne activité à vie longue.

La logique de protection sous-jacente à la conception du réaménagement des stockages et les phases de vie qui en découlent se distinguent donc de l'approche développée pour les autres déchets. Les différences tournent autour d'un point central.

Contrairement à la doctrine sur le stockage géologique qui repose sur une sûreté passive à très long terme, la gestion envisagée en l'état pour les sites miniers d'uranium (en particulier les stockages de résidus) s'apparente à la logique de banalisation qui prévaut pour les stockages en surface de déchets radioactifs à vie courte. Or, étant donné la décroissance radioactive très lente des matières considérées, ainsi que leur toxicité chimique, une telle gestion suppose, à long terme, de consentir à une forme de relargage dans l'environnement.

De plus, le concept de stockage appliqué repose, sur le point essentiel de la circulation des matières à long terme que constitue la gestion des eaux, sur une forme de contrôle des écoulements et des concentrations rejetées plutôt que de protection du stockage contre la circulation de l'eau.

S'il trouve une explication dans ces spécificités, le principe de dilution qui semble sous-jacent à la gestion envisagée va à l'encontre des critères communément admis dans la gestion des déchets radioactifs et autres déchets dangereux, qui reposent sur le principe fondamental de confinement. Une forme de dérogation à ce principe est donc intégrée à la conception des sites de stockage de résidus miniers qui joue à ce titre sur trois facteurs : le degré relativement faible de dangerosité des matières considérées (par rapport aux déchets pris en compte dans d'autres stockages avec lesquels cette doctrine peut être comparée), l'écart relativement faible entre le contenu du stockage et son milieu, et surtout la notion de stabilisation à long terme du site qui conduit à minimiser les transferts à long terme malgré l'absence de confinement strict.

## 4. Etat des discussions

La réflexion menée par le GT3 conduit à affiner la vision globale de l'évolution à long terme des sites miniers d'uranium. Cette vision s'appuie sur l'identification des dispositifs physiques et des fonctions opérationnelles mis en jeu dans la gestion des sites. L'analyse des processus respectifs d'évolution de ces fonctions et dispositifs débouche sur la description de phases de vie successives du site. Celle-ci intègre

l'évolution et le cas échéant la perte d'efficacité de ces différents éléments et cherche à préciser les horizons de temps attachés.

Cette approche, d'abord envisagée de façon générale pour l'ensemble des sites concernés, a été développée de façon plus précise pour les sites de stockage de résidus miniers. Le résultat conduit à proposer une évolution par rapport à l'approche en trois phases de la doctrine DPPR (surveillance active, passive et non garantie) pour distinguer au-delà de la phase actuelle d'auscultation et de démonstration quatre phases :

- une phase bien marquée de gestion opérationnelle du site (court terme),
- une phase de surveillance (moyen terme),
- une phase d'évolution progressive (long terme),
- conduisant à terme à un oubli total du site (très long terme).

Cette vision a ensuite été comparée aux approches élaborées par les doctrines applicables à d'autres stockages de déchets radioactifs ou de déchets industriels dangereux. Malgré les différences propres à la dangerosité spécifique de chaque type de déchet ou liées au contexte institutionnel ou opérationnel d'élaboration de chaque approche, la comparaison montre une relative cohérence au niveau des dispositifs et fonctions mis en jeu, de l'application d'une logique de perte progressive d'efficacité, et dans une moindre mesure des horizons de temps considérés.

La comparaison souligne toutefois une spécificité essentielle de la gestion à long terme des sites de stockage de résidus miniers. Celle-ci ne repose pas au même titre que les autres doctrines sur un principe fondamental de confinement. Elle envisage au contraire **une forme de continuité entre le stockage et son milieu et de maîtrise des transferts par une stabilisation du site dont le processus reste incertain.**

Cette singularité impose, avant de valider une telle stratégie, une réflexion poussée sur deux points :

#### **a) La transition du confinement au non confinement**

Les options prises, si elles sont confirmées, impliquent le passage d'une situation de confinement relatif assuré à l'origine vers une situation de non confinement à terme. Ce chemin critique doit être maîtrisé : il s'agit de démontrer que la perte de la capacité de confinement se déroule selon un mode suffisamment progressif et régulier pour garantir l'absence de pics non maîtrisés en termes d'impact. Cette interrogation peut être déclinée sur le mode technique, au niveau de la conception des ouvrages de confinement afin d'assurer cette progressivité, et sur le mode sociétal, au niveau de la conception des modes de gouvernance susceptibles de préparer et d'accompagner la transition.

#### **b) Les objectifs et l'acceptabilité à long terme**

La réflexion sur l'acceptabilité à long terme de la gestion des déchets radioactifs a notamment conduit, en termes de justice inter-générationnelle, au développement d'un principe de transfert d'un « patrimoine de sécurité » aux générations futures<sup>13</sup>. On se place ici dans une logique différente, qui nécessite de bien cadrer les objectifs de protection des populations et de l'environnement, en particulier dans la phase critique de transition envisagée.

La réflexion développée par le GT3 est ainsi porteuse de questions fondamentales en matière de doctrine qui nécessitent de poursuivre le travail engagé. La vision provisoire présentée ici constitue un point d'étape. Elle est appelée à évoluer encore à travers une réflexion dans deux directions :

- d'une part, son application aux stockages de résidus sera complétée par l'analyse de scénarios (y compris par comparaison avec les scénarios retenus dans les différentes doctrines de stockage). Ce travail permettra de mieux identifier les points clés pour une gestion maîtrisée à différents horizons de temps de ces sites. Cette analyse pourra être développée de façon générique à partir de la connaissance acquise sur le site de Bellezane en réfléchissant aux conditions de transposition à différents sites en fonction de leurs spécificités ;
- d'autre part, son élargissement aux autres situations liées à l'héritage des mines d'uranium, dans lesquelles l'articulation entre fonctions opérationnelles et dispositifs physiques est différente. Ce

---

<sup>13</sup> Voir notamment les travaux menés dans le cadre du projet européen COWAM 2, décrits par exemple dans C. Schieber, T. Schneider et S. Lavelle, « Prise en compte du long terme et modalités de gestion des déchets radioactifs », *Radioprotection* 2008, Vol. 43, n° 1, pp. 85-105.



travail couvrira notamment une analyse plus fine des périodes d'efficacité envisageables pour les différents éléments participant à la sûreté à travers l'examen de situations concrètes très diverses.

## Références

- [1] *Doctrine en matière de réaménagement des stockages de résidus de traitement de minerai d'uranium*, Note technique NT DPRE/SERGD 99-42, 1999, incluant la circulaire DPPR du 27 mai 1997.
- [2] *Règle fondamentale de sûreté n° 1.2*, 1984. Il s'agit d'une version révisée de la RFS publiée pour la première fois en 1982.
- [3] Autorité de sûreté nucléaire, *Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde*, février 2008. Ce guide abroge la RFS III.2 f sur le même thème.
- [4] Autorité de sûreté nucléaire, *Orientations générales de sûreté en vue d'une recherche de site pour le stockage des déchets de faible activité massique à vie longue*, mai 2008.
- [5] *Arrêté du 30 décembre 2002 relatif au stockage de déchets dangereux*, JO du 16 avril 2003 et MEDD, *Circulaire du 10 juin 2003 relative aux installations de stockage de déchets dangereux*.