

Avis de l'IRSN sur l'évaluation des dossiers relatifs à l'impact à long terme des stockages de résidus de traitement de minerais d'uranium remis par AREVA en application du décret PNGMDR

Par lettre référencée ASN Dep-DRD-0173-2009 en date du 09/03/2009, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a demandé à l'IRSN son avis sur les études remises par AREVA NC en application de l'article 10 du décret n°2008-387 relatif au plan national de gestion des matières et déchets radioactifs.

Par cette demande, l'ASN souhaite plus précisément connaître le résultat de l'analyse par l'IRSN :

- de l'étude de caractérisation géochimique des résidus de traitement de minerais d'uranium objet de la note citée en référence 2 ;
- de l'étude de la tenue à long terme des digues de rétention de stockage des résidus de traitement de minerais d'uranium citée en référence 3 ;
- de l'étude d'évaluation de l'impact dosimétrique des sites de stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium citée en référence 4 à 13.

L'ASN souhaite également que lui soit précisé si les mesures envisagées par AREVA dans sa lettre citée en référence 14 pour renforcer les dispositions de prévention des risques d'exposition du public, apparaissent pertinentes et suffisantes au vu des résultats des études produites.

En réponse à cette demande se trouvent en annexe de cet avis les résultats de l'analyse effectuée par les services de l'IRSN relativement aux divers points mentionnés ci-avant. L'IRSN en retient plus particulièrement les principales conclusions indiquées ci-après.

D'une manière générale, le bilan effectué par AREVA dans le cadre de la mise en œuvre du plan national de gestion des matières et déchets radioactifs constitue, selon l'IRSN, un jalon déterminant dans la démarche de vérification de sûreté des stockages de résidus de minerais d'uranium. Les documents remis dans le cadre de ce bilan permettent aujourd'hui de juger de l'état des connaissances sur deux points essentiels que sont la caractérisation des résidus et la tenue des digues ceinturant certains stockages. Ils permettent également de disposer d'une première indication des impacts attendus pour un scénario d'évolution normale des stockages ainsi que pour un jeu de scénarii d'évolutions dégradées.

Au travers des différents éléments qu'il a examinés, l'IRSN note qu'AREVA avance trois conclusions fortes qui, si elles sont démontrées, constituent des fondements crédibles pour établir la sûreté à long terme des installations de stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium. Ces conclusions peuvent être synthétisées de la manière suivante :

- les résidus évoluent naturellement vers une forme minéralogique et chimique qui limite fortement la mobilité de l'uranium et du radium et qui garantit par ailleurs l'absence de relâchement accéléré de ces éléments en cas d'évolution des situations de stockage ;
- les digues qui ceinturent certains stockages de résidus sont des ouvrages de conception robuste dont la stabilité est assurée y compris en cas de survenue d'évènements climatiques extrêmes ou de séisme ;
- les impacts dosimétriques susceptibles d'être reçus par la population en situation d'évolution normale restent inférieurs à 1 mSv/an en phase de surveillance active et ceux envisageables pour des hypothèses de dégradation importantes des stockages restent inférieurs à quelques dizaines de mSv/an.

A l'issue de son analyse, l'IRSN considère que les conclusions précédentes sont globalement compatibles avec l'état des connaissances disponibles mais que les données présentées en support pour les justifier sont actuellement insuffisantes pour permettre d'en valider le bien-fondé. Ils constituent à ce stade davantage des hypothèses ou des options de sûreté que des éléments de démonstration.

Ainsi, pour ce qui concerne la caractérisation des résidus, l'IRSN note que les documents produits par AREVA reposent sur des données trop ponctuelles pour permettre de disposer d'une réelle connaissance de l'évolution des résidus au cours du temps, de l'influence que peut avoir la variabilité de leurs caractéristiques ou des conditions de stockage sur leur capacité à immobiliser les éléments toxiques qu'ils contiennent, mais également du maintien de cette capacité pour des variations physico-chimiques envisageables sur le long terme.

Pour ce qui concerne l'évaluation de la tenue des digues, l'IRSN note que la démarche mise en œuvre par AREVA est cohérente avec le cadre méthodologique défini par le BRGM, à la demande du ministère en charge de l'environnement, pour ce type de stockage. Il considère toutefois que l'application de cette démarche et l'interprétation des résultats auxquels elle aboutit sont rendues difficiles du fait de l'absence d'exigences explicites quant à la durée de stabilité des digues et aux conséquences d'un arrêt de la surveillance et de l'entretien des ouvrages.

Enfin, pour ce qui concerne l'évaluation de l'impact radiologique à long terme, l'IRSN note qu'AREVA ne fournit pas d'éléments permettant de valider (a minima en ordre de grandeur) la pertinence des résultats obtenus au terme de ses évaluations. Dans cette optique, l'IRSN aurait jugé utile qu'AREVA produise les résultats intermédiaires de ses calculs et les confronte aux données issues de la surveillance des sites ou jugées crédibles pour les situations envisagées. Dans le cas du scénario de résidence sur le stockage, l'IRSN juge ainsi particulièrement faibles les doses obtenues par AREVA et considère nécessaire de revoir les hypothèses de modélisation des transferts du radon depuis le stockage vers l'habitation supposée construite au dessus pour ce type de scénario.

L'ensemble des commentaires précédents conduit l'IRSN à émettre plusieurs recommandations explicitées et justifiées en annexe. Celles-ci portent, en premier lieu, sur la nécessité de poursuivre

les études de caractérisation des résidus et de les généraliser à l'ensemble des 17 installations de stockage présentes en France puis, à partir des résultats obtenus, d'élaborer des modèles géochimiques permettant de simuler les différentes perturbations envisageables au cours de l'évolution du stockage. Les recommandations portent également sur la nécessité pour AREVA de compléter sa démarche d'évaluation en précisant les exigences qu'elle se fixe pour vérifier la sûreté à long terme de ses stockages, notamment vis-à-vis des aléas naturels et des conséquences sur les ouvrages de l'arrêt des actions de surveillance et d'entretien.

Enfin, l'IRSN recommande qu'AREVA exploite de manière approfondie les résultats des évaluations d'impact dosimétrique, d'une part pour vérifier leur pertinence au regard des données de mesure dont il dispose sur chacun des sites, d'autre part pour identifier de manière systématique les possibilités de réduction de l'impact, actuel ou potentiel, sur les populations. Sur ce point, le renforcement de la qualité des couvertures, qui, à la lumière des résultats des évaluations d'impact à long terme, se dégage sur plusieurs sites comme une solution efficace, mériterait d'être étudié afin d'en évaluer la faisabilité et la pertinence.

En conclusion, au terme du rendez vous fixé par le plan national de gestion des matières et déchets radioactifs, l'IRSN considère qu'AREVA a produit un dossier qui, s'il ne permet pas encore de conclure quant au niveau de sûreté des stockages de résidus de traitement d'uranium, pose les bases qui, moyennant la prise en compte des recommandations formulées en annexe, permettront au cours d'une prochaine étape un examen approfondi de la situation de chacune des installations concernées.

Références :

1. Votre lettre ASN Dep-DRD-0173-2009 en date du 09/03/2009
2. Rapport technique AREVA NC janvier 2009 - BUM/DI/QSSE CE 09/006 - PCN/MAN Caractérisation géochimique des résidus de traitement de minerais d'uranium
3. Rapport technique AREVA NC janvier 2009 - BUM/DO/DQSE RT 07/062 - LFE/LFE Analyse de la tenue à long terme des digues de rétention de stockage de résidus de traitement de minerais uranifères
4. Note technique AREVA NC janvier 2009 - NT 100350 00 0001 Rév C Méthodologie d'évaluation de l'impact dosimétrique des sites de stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium
5. Note technique AREVA NC janvier 2009 - NT 100350 00 0002 Rév B Calcul d'impact dosimétrique du site de stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium de Saint-Pierre du Cantal
6. Note technique AREVA NC janvier 2009 - NT 100350 00 0003 Rév B Calcul d'impact dosimétrique du site de stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium de Bois-Noirs en Limouzat
7. Note technique AREVA NC janvier 2009 - NT 100350 00 0004 Rév B Calcul d'impact dosimétrique du site de stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium de Gueugnon
8. Note technique AREVA NC janvier 2009 - NT 100350 00 0005 Rév B Calcul d'impact dosimétrique du site de stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium de Bernardan à Jouac

9. Note technique AREVA NC janvier 2009 - NT 100350 00 0006 Rév B
Calcul d'impact dosimétrique du site de stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium de Lodève
10. Note technique AREVA NC janvier 2009 - NT 100350 00 0007 Rév A
Calcul d'impact dosimétrique du site de stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium de Bellezane
11. Note technique AREVA NC janvier 2009 - NT 100350 00 0008 Rév A
Calcul d'impact dosimétrique du site de stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium de Lavaugrasse
12. Note technique AREVA NC janvier 2009 - NT 100350 00 0009 Rév A
Calcul d'impact dosimétrique du site de stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium de l'Ecarpière
13. Note technique AREVA NC janvier 2009 - NT 100350 00 0010 Rév A
Calcul d'impact dosimétrique du site de stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium de Brugeaud
14. Courrier AREVA NC BUM/DI/QSSE CE 09/010 - PCN/MAN en date du 30/01/2009

Impact à long terme des stockages de résidus de traitement de minerais d'uranium

1 - Contexte et contenu de la demande

L'exploitation d'uranium sur le territoire français a conduit à la production de plus de 52 millions de tonnes de résidus de traitement de minerais actuellement déposés dans 17 installations de stockage. AREVA est responsable de l'ensemble de ces installations qui, d'un point de vue réglementaire, relève du régime relatif aux installations classées (ICPE).

L'article 10 du décret n°2008-387 relatif au plan national de gestion des matières et déchets radioactifs a demandé pour fin 2008 la réalisation par AREVA :

- d'une évaluation du comportement mécanique et géochimique des résidus de traitement de minerais d'uranium stockés ;
- d'une analyse des perspectives de mise en sécurité à long terme des résidus contenus par des digues de rétention ;
- d'une étude de l'impact à long terme des stockages des résidus prenant en compte un scénario d'évolution normal et des scénarios d'évolution altérés. Cette étude doit préciser, si nécessaire, les mesures envisagées pour renforcer les dispositions de prévention des risques d'exposition du public et proposer un échéancier de mise en œuvre.

En réponse à cette demande, AREVA a produit un rapport d'une trentaine de pages relatif à la caractérisation géochimique des résidus de traitement de minerais d'uranium [2], un rapport plus conséquent relatif à la tenue à long terme des digues de rétention des stockages de résidus de traitement de minerais uranifères [3] et une série de notes techniques [5] à [13] relatives à l'évaluation dosimétrique de 9 des 17 sites de stockage de résidus. Ces dernières sont accompagnées d'une note méthodologique [4] présentant les situations prises en compte ainsi que les hypothèses retenues pour calculer les doses correspondantes.

La lettre de transmission des notes et rapports précédents [14] fournit une synthèse de l'ensemble des éléments produits et précise les mesures envisagées pour renforcer les dispositions de prévention des risques d'exposition du public.

Le président de l'ASN a transmis à l'IRSN les différents documents mentionnés précédemment afin de recueillir un avis technique sur leur contenu [1]. Les résultats de l'analyse effectuée en réponse à cette demande sont détaillés dans les sections 2 à 4 ci-après pour ce qui concerne respectivement, la caractérisation géochimique des résidus, l'étude de la tenue à long terme des digues, l'évaluation de l'impact dosimétrique et les dispositions de prévention des risques d'exposition du public.

2 - Caractérisation géochimique des résidus de traitement de minerais d'uranium

Rappel de la demande

Dans son courrier, le président de l'ASN demande à l'IRSN de lui communiquer un avis sur les conclusions exprimées par AREVA dans le rapport [2] quant à la stabilité géochimique des résidus et de lui indiquer en particulier :

- si les études présentées tiennent correctement compte des spécificités de chacun des stockages de résidus ;
- si les conclusions permettent de couvrir l'ensemble des perturbations susceptibles d'intervenir au cours de l'évolution des stockages.

Le cas échéant, il souhaite par ailleurs savoir si des études et recherches complémentaires seraient à conduire pour aboutir à des réponses conclusives sur les aspects précédents.

Contenu des documents produits par AREVA

Le rapport transmis par AREVA rappelle dans un premier temps le contexte de l'exploitation minière de l'uranium en France, les caractéristiques générales des résidus et les conditions dans lesquelles ils sont stockés. Il introduit à cette occasion une distinction entre les résidus produits à l'issue de traitements physico chimiques effectués dans des usines dédiées et les résidus obtenus à l'issue d'une attaque acide de minerai disposé en tas sur des aires spécialement aménagées. Dans le premier cas, les résidus sont qualifiés de résidus de traitement dynamique, dans le second, de résidus de traitement statique.

Dans un second temps, le rapport expose le contenu et les résultats du programme de recherche mis en œuvre par AREVA en 1994 afin de caractériser la minéralogie et la chimie des résidus et de déterminer les phases minérales sur lesquelles sont fixés le radium et l'uranium ainsi que les paramètres qui en contrôlent la fixation. Ces travaux reposent principalement sur des essais de lixiviation et la mise en œuvre d'un protocole d'extraction sélective consistant à soumettre les résidus à des solutions ayant la propriété de dissoudre certains types de composés. AREVA précise que le programme a porté essentiellement sur les résidus de traitement dynamique et s'est appuyé sur des échantillons prélevés par sondages carottés dans quatre des 17 stockages (Ecarpière, Brugeaud, Bernardan et Lodève). AREVA indique également que de nouveaux sondages et de nouvelles analyses ont été effectués en 2008 mais que les résultats n'étaient pas disponibles au moment de la finalisation du rapport. Ces compléments d'étude portent sur les quatre sites déjà étudiés en 1994 et sur un cinquième, le site de Bellezane.

A partir de l'exploitation des données dont il disposait au moment de la rédaction du rapport [2], AREVA tire les conclusions suivantes :

- les résidus subissent en quelques dizaines d'années une évolution caractérisée par la formation de nouveaux minéraux (gypse, smectite, oxy-hydroxydes de fer, carbonates) et la dissolution de minéraux résiduels (pyrite, feldspaths). Cette évolution contribue à limiter la mobilité des radionucléides contenus dans les résidus ;

- la présence conjointe d'hydroxydes et de sulfates assure la limitation de la mobilité du radium même en cas de modification des conditions physico-chimiques ;
- la formation de nouveaux minéraux au cours de l'évolution des résidus diminue la porosité et la perméabilité des résidus et contribue à limiter encore les phénomènes de lixiviation ;
- la présence de couvertures faiblement perméables sur les stockages contribue au maintien de conditions physico-chimiques favorables à la stabilité des résidus en limitant les infiltrations d'eau.

Avis de l'IRSN

Les conclusions avancées par AREVA apparaissent globalement cohérentes avec le niveau de connaissance disponible en matière d'évolution de résidus de traitement de minerai. Les éléments produits par AREVA sont toutefois peu détaillés et rappellent de manière très sommaire les données scientifiques à la base des interprétations proposées. L'évaluation sur le fond du bien-fondé des conclusions tirées s'avère de ce fait difficile. Sur la base des éléments complémentaires fournis dans le mémoire de doctorat de S. Somot [15], dont les travaux constituent une part importante des données exploitées par AREVA, il est toutefois possible à l'IRSN d'exprimer les commentaires suivants.

- **L'apparition de minéraux néoformés, c'est-à-dire absents des minerais d'origine, est indéniable. La cinétique de formation de ces minéraux apparaît toutefois incertaine au vu des données produites. Cette néoformation peut ainsi, soit résulter d'une évolution progressive des résidus en situation de stockage, soit être intervenue en grande partie en usine, au cours ou après les opérations de traitement des minerais. L'état de saturation des eaux interstitielles contenues dans les résidus révèle en tout cas que les processus d'évolution n'ont pas permis d'atteindre un état équilibre même pour les résidus les plus âgés étudiés, vieux d'une trentaine d'années au moment des analyses.**
- **L'influence de l'évolution minéralogique des résidus sur la mobilité des radionucléides - et des isotopes du radium et de l'uranium en particulier - est difficile à apprécier sur la base des seuls éléments produits. La comparaison des activités volumiques en radium dans les eaux des résidus stockés et de celles mesurées dans les eaux interstitielles des résidus en sortie d'usine, mentionnées dans le mémoire de S. Somot [15], n'apparaît ainsi pas probante, les valeurs obtenues étant sensiblement identiques dans les deux cas. Les résultats des essais de lixiviation à l'eau distillée suggèrent toutefois que les quantités de radium lixiviées sont relativement faibles - de 0,2% à un maximum de 3 % pour les résidus étudiés (Écarpière, Bernardan, Lodève) - et en moyenne inférieures à celles affichées pour des résidus frais issus des usines concernées (de 3 à 5%). L'absence de précisions quant à la nature des échantillons analysés et à leur nombre ne permet toutefois pas de généraliser ce constat compte tenu de la variabilité des caractéristiques des résidus mise en évidence par les études.**
- **Des différences notables sont observées d'un stockage à l'autre, voire au sein même d'un stockage. Ainsi, les tests de lixiviation montrent que l'uranium est faiblement lixivié dans le cas**

des résidus de l'Ecarpière et du Bernardan, mais l'est de façon importante pour ceux de Lodève (27 à 57%). Ces différences peuvent être attribuées à l'influence du type de traitement des minerais (traitement respectivement acide et alcalin). D'autres peuvent résulter de la composition minéralogique des minerais ou des conditions hydrogéochimiques dans lesquelles les résidus sont stockés. La zone du stockage non saturée en eau peut ainsi constituer une zone à prendre en compte de façon particulière. Certains travaux sur lesquels s'appuie AREVA [15] montrent en effet que l'évolution des concentrations dans les eaux interstitielles et l'altération des minéraux sont différentes au dessus et en dessous du niveau de la nappe d'eau.

- Les essais de lixiviation auxquels ont été soumis les résidus sont extrêmement utiles pour caractériser les phases minérales sur lesquelles sont fixés l'uranium et le radium ; en général, leurs résultats ne peuvent toutefois pas être transposés à des conditions réelles. Ainsi, l'eau distillée constitue indéniablement une solution agressive pour les résidus ; du point de vue de la mise en solution du radium, elle ne conduit toutefois pas forcément à des conditions plus défavorables que certaines situations naturelles. L'eau déminéralisée est en effet exempte d'ions susceptibles de jouer un rôle compétiteur pour le radium ; celui-ci est alors plus libre de se fixer sur les phases minérales non dissoutes (hydroxydes de fer ou aluminosilicates notamment). De la même manière, les extractions séquentielles, par exemple la dissolution du gypse par une mise en contact avec une solution de chlorure de potassium, ne permet pas d'extrapoler ce qui se produirait au sein d'un stockage en cas d'une lixiviation naturelle du gypse. Des situations telles que le développement d'un couvert végétal important à la surface des stockages ou la dégradation de la couverture qui les protège peuvent avoir une incidence forte sur la qualité des eaux venant au contact des résidus. La construction et la mise en œuvre d'un modèle géochimique peut permettre d'en évaluer les conséquences en termes d'évolution minéralogique et chimique.

Les travaux complémentaires engagés en 2008 devraient apporter des informations utiles pour préciser la cinétique des transformations minéralogiques des résidus ainsi que la spéciation et la mobilité des radionucléides qu'ils contiennent en permettant de disposer d'un recul supplémentaire de près de 15 ans. L'IRSN juge par ailleurs très positif que ces travaux aient été élargis au cas d'un cinquième stockage (celui de Bellezane). Il considère toutefois que cela ne permettra pas de disposer d'une vision exhaustive de l'ensemble des situations de stockage et qu'il serait nécessaire :

- de définir un programme de caractérisation complémentaire couvrant l'ensemble des 17 installations de stockage présentes en France. Celui-ci devrait en particulier tenir compte de la présence de résidus de lixiviation statique, de l'existence éventuelle au sein du stockage d'une zone non saturée en eau et prévoir des mesures de porosité et de perméabilité ;

- **de construire des modèles géochimiques capables d'expliquer les résultats de caractérisation et de simuler les diverses conditions d'évolution envisageables. La démarche engagée par AREVA sur les sites de Bertholène, des Bois-Noirs ou plus récemment de Bellezane dans le cadre du groupe d'expertise pluraliste sur les sites miniers du Limousin, est de ce point de vue à encourager.**

3 - Tenue à long terme des digues de rétention de stockage des résidus de traitement de minerais d'uranium

Rappel de la demande

Pour ce qui concerne l'étude de la tenue à long terme des digues de rétention de stockage des résidus de traitement de minerais d'uranium [3], l'ASN a plus particulièrement interrogé l'IRSN sur l'adéquation de la démarche appliquée par AREVA :

- **d'une part, pour garantir le suivi et le maintien en bon état des ouvrages et de leurs organes annexes ;**
- **d'autre part, pour garantir le comportement à long terme des digues notamment vis-à-vis d'évènements naturels (tels que les séismes, ...).**

Contenu des documents produits par AREVA

Le rapport technique [3] remis par AREVA décrit les conditions de gestion des digues ceinturant certains stockages de résidus, rappelle la méthode établie en 2001 par le BRGM à la demande du ministère en charge de l'environnement [16] afin d'évaluer la stabilité de celles-ci et expose les conditions d'application de cette méthode sur les 9 sites munis des digues les plus importantes ainsi que les résultats auxquels cette application aboutit.

L'entretien et le suivi des digues reposent sur plusieurs types de visites : des visites trimestrielles, des visites annuelles, des visites d'un expert extérieur tous les 5 ans et des visites consécutives à l'occurrence d'un évènement climatique exceptionnel. Ces différentes visites reposent sur des constats visuels mais également sur le levé de niveaux piézométriques, des levés topographiques ou des mesures de débits collectés.

La méthodologie d'évaluation de la stabilité des digues repose sur la mise en œuvre d'étapes successives : recherche documentaire, visite des lieux, rédaction d'une fiche signalétique, interprétation des résultats de surveillance, inventaire des évolutions possibles des ouvrages et de l'environnement, définition des sollicitations extrêmes à prendre en compte pour les calculs de vérification de la stabilité (débits, niveaux de nappe, accélération sismique), vérification de la tenue des ouvrages pour ces sollicitations extrêmes dans l'hypothèse d'un entretien correct des ouvrages et enfin vérification du système de surveillance.

Pour chaque site examiné, la démarche conduit AREVA à établir un avis géotechnique sur la stabilité des digues. Celui-ci repose notamment sur l'évaluation de la stabilité mécanique des ouvrages effectuée en considérant différents types de situation : hauteur de nappe normale ou maximale,

avec ou sans séisme. La stabilité est jugée en comparant les coefficients de sécurité (FS) déduits des résultats d'évaluation à des critères prédéfinis, dépendant du type de situation étudiée. AREVA fixe ainsi comme critère de stabilité d'une digue les conditions suivantes :

- $F_s > 1,5$ en conditions normales,
- $F_s > 1,3$ en conditions accidentelles (remontée de la nappe suite à un évènement pluvieux exceptionnel ou à des perturbations transitoires),
- $F_s > 1$ en conditions exceptionnelles (sollicitations sismiques).

Pour ce qui concerne les conditions exceptionnelles, la sollicitation sismique est définie en fonction de la localisation du site dans le zonage sismique de la France défini par le décret n°91-461 du 14 mai 1991 relatif à la prévention du risque sismique. Ce décret est notamment celui sur lequel s'appuie la réglementation applicable aux installations classées pour la protection de l'environnement. Les 9 sites de stockage concernés étant situés dans la zone de sismicité dite 0 (niveau d'aléa le plus faible), AREVA retient pour chacun d'entre eux une accélération nominale de $1,5 \text{ m/s}^2$, en s'appuyant sur la réglementation parasismique relative aux installations classées (arrêté du 10 mai 1993). Cette accélération nominale est ensuite utilisée dans les calculs de stabilité de la digue (estimation du coefficient de sécurité F_s).

Les avis géotechniques présentés par AREVA conduisent à juger globalement satisfaisante la stabilité de l'ensemble des digues. Ces conclusions retiennent toutefois systématiquement l'hypothèse d'un maintien de la surveillance et de l'entretien des ouvrages (organes de maîtrise des eaux en particulier).

Avis de l'IRSN

L'IRSN note que la plupart des digues de stockage de résidus miniers d'AREVA sont des ouvrages de dimensions importantes qui les placent dans la catégorie des grands barrages de retenue, au sens de la réglementation applicable aux aménagements hydrauliques, mais dont la constitution est a priori moins homogène et moins bien connue que celle de ces derniers. Par ailleurs, compte-tenu de la nature de déchets radioactifs à vie longue des résidus, la durée de vie sur laquelle la tenue des digues est souhaitable est bien supérieure à l'âge des ouvrages comparables les plus anciens. Elles constituent de ce fait une catégorie à part parmi les ouvrages de génie civil.

Sur la démarche d'ensemble

Du point de vue de la démarche, l'IRSN estime que la politique appliquée par AREVA pour l'entretien et le suivi de ses digues ainsi que les principes retenus pour évaluer leur stabilité sont cohérents avec les préconisations de la méthodologie élaborée par le BRGM à la demande du ministère en charge de l'environnement [16] et satisfaisants en regard de ceux applicables aux barrages conventionnels ou aux ICPE. Il souligne toutefois que les préconisations précédentes n'introduisent pas de règles ou de dispositions réellement spécifiques à l'enjeu de tenue à long-terme associé aux stockages de résidus. A la définition des niveaux de sollicitation

extrême - par exemple en matière d'aléa sismique - ou à la prise en compte de scénarios de dégradation des ouvrages qui résulteraient d'un arrêt de l'entretien et de la surveillance, n'est ainsi associée aucune exigence particulière.

Pour ce qui concerne l'aléa sismique, AREVA a défini sur chaque site la sollicitation sismique à retenir pour les calculs de vérification de la stabilité des digues en se référant à la réglementation parasismique relative aux ICPE. Cette démarche est adaptée à une installation dont la durée de vie reste courte au regard de la récurrence des séismes majeurs. L'IRSN considère en revanche qu'elle n'est pas adaptée à l'étude de la stabilité de digues dont la durée de vie attendue peut atteindre plusieurs milliers d'années.

L'IRSN estime ainsi nécessaire qu'AREVA propose un référentiel adapté aux exigences de long-terme assignées aux stockages de résidus, notamment pour la définition et la prise en compte des aléas naturels et des scénarios de dégradation des ouvrages. Ce référentiel devrait prendre en compte les spécificités des ouvrages - notamment en termes de conception et de construction - et considérer leur durée de vie prévisionnelle.

A titre d'exemple, il est possible de se référer aux exigences applicables à d'autres types de stockage de nature comparable. C'est le cas des stockages de déchets de faible activité et à vie longue (FAVL) qui comportent des analogies avec les stockages de résidus de traitement de minerais d'uranium du fait des caractéristiques uranifères et radifères des déchets concernés mais aussi de l'une des solutions de stockage actuellement envisagée : le stockage dans des ouvrages en proche surface sous couverture remaniée. Pour les stockages FA-VL, la note d'orientation générale de sûreté émise par l'ASN [17] précise que le séisme maximal à retenir doit être défini en considérant la période durant laquelle les propriétés de confinement de l'installation doivent être maintenues. Pour ce qui concerne les situations dites altérées, l'ASN précise que les caractéristiques du séisme maximal physiquement possible (SMPP) doivent être recherchées. A cet égard, l'application conduite par l'IRSN sur deux des 9 sites concernés (l'Ecarpière et les Bois-Noirs) montre que les valeurs d'accélération retenues par AREVA peuvent s'avérer insuffisantes vis-à-vis d'un séisme majoré de sécurité (SMS) ou d'un SMPP.

Pour répondre aux objectifs de sûreté à long terme, l'IRSN considère que plusieurs stratégies peuvent être mises en œuvre, soit par le biais d'une approche déterministe du type de celle adoptée pour les installations nucléaires de base (enveloppe des SMS et du Séisme Maximal Physiquement Possible), soit par le biais d'une approche probabiliste adoptée notamment comme fondement à la réglementation applicable aux installations classées (évaluation d'un spectre d'aléa uniforme pour une période de retour cible qui, dans le cas d'un stockage de déchets, pourrait être fixée en tenant compte de la durée de vie attendue ou requise des ouvrages).

Quelle que soit l'approche retenue, l'IRSN recommande qu'AREVA (1) définisse les accélérations sur l'ensemble du spectre de réponse et (2) précise le domaine de fréquences d'intérêt pour les ouvrages. Ces informations sont en effet indispensables pour permettre de juger de la recevabilité des niveaux sismiques retenus.

Pour ce qui concerne le risque de liquéfaction, l'évaluation effectuée par AREVA apparaît comme une première approche pertinente. Elle est cependant incomplète pour plusieurs sites. L'IRSN souligne en particulier que les digues sont en partie constituées de sables cyclonés, dont la granulométrie fine peut être sensible à la liquéfaction. L'IRSN note que, dans certains cas, AREVA s'appuie sur le zonage sismique de la France défini par le décret n°91-461 du 14 mai 1991 relatif à la prévention du risque ; l'argumentation développée pour écarter le risque de liquéfaction reste cependant trop qualitative pour permettre de conclure.

Les études présentées par AREVA mentionnent à deux reprises l'observation de phénomènes d'érosion interne par renard. Dans les deux cas, AREVA indique que des actions correctives ont été mises en œuvre et considère le risque de réapparition ou d'aggravation du phénomène faible. Aucune analyse approfondie ou d'étude systématique du phénomène n'est ainsi proposée. Compte tenu du risque de voir les phénomènes d'érosion interne - par renard ou autre mécanisme - se développer et devenir prépondérants en cas de défaut de drainage des digues, l'IRSN considère qu'ils devraient être étudiés de manière plus systématique.

Un autre risque de dégradation des ouvrages est lié aux ruissellements provoqués par les pluies ; ceux-ci peuvent conduire à des ravinements ou à des crues de cours d'eau. Ce risque est systématique abordé dans les études AREVA, mais sa prise en compte se limite généralement à une simple mise en œuvre d'actions périodiques d'entretien, notamment sur les ouvrages de collecte des ruissellements. L'IRSN relève que les caractéristiques et la période de retour des événements considérés n'est pas toujours précisée. L'IRSN considère que les événements pluvieux et de crues envisagés devraient être définis et examinés en application d'une démarche homogène qu'il conviendrait de clairement expliciter.

Sur l'application de la démarche aux différents sites

L'analyse effectuée par l'IRSN en réponse à la demande transmise par l'ASN a essentiellement porté sur la pertinence de la démarche adoptée par AREVA compte tenu des spécificités des stockages de résidus et en particulier de l'objectif de maintenir un confinement à long-terme. Les informations produites par AREVA sur les 9 stockages concernés par la présence de digues a permis à l'IRSN de vérifier les conditions d'application de cette méthode et de mieux en apprécier les spécificités. Les documents transmis ne font toutefois pas état de toutes les données nécessaires pour approfondir l'analyse de manière spécifique sur chacun des sites et éventuellement valider les conclusions des évaluations conduites par AREVA. Cette validation nécessiterait un examen plus large et approfondi de l'ensemble des informations disponibles et l'organisation de visites de site. Cet examen mériterait d'être envisagé à l'occasion d'une prochaine étape.

Dans cette perspective, l'IRSN considère nécessaire qu'AREVA complète les éléments déjà transmis en :

- constituant un dossier géotechnique (géologie, géotechnique, hydrogéologie) complet pour chaque ouvrage servant de base aux calculs de vérification ;**

- justifiant la pertinence du système d'auscultation et la périodicité des mesures piézométriques en fonction du contexte hydrogéologique, éventuellement à adapter pour enregistrer fluctuations inférieures à 3 mois ;
- définissant et examinant de manière systématique les événements pluvieux et de crues qu'il considère nécessaire de retenir et plus généralement les sollicitations pouvant mettre en cause la stabilité des ouvrages (aléa sismique, érosion interne, liquéfaction).

L'IRSN considère que la suffisance et la cohérence de l'ensemble des éléments ainsi rassemblés devrait faire l'objet d'un nouvel examen. De manière plus générale, l'IRSN considère également qu'AREVA devrait procéder à échéances régulières (par exemple tous les dix ans) à une revue de sûreté de ses installations. Cette revue devrait permettre, d'une part de dresser un constat de l'état physique des ouvrages, d'autre part effectuer un diagnostic du niveau de sûreté du stockage au regard de l'état des ouvrages, des données de la surveillance et de des progrès des connaissances techniques et scientifiques. Selon les spécificités de chaque digue et de la cinétique d'évolution des phénomènes susceptibles d'affecter leur niveau de sûreté, les échéances pourront être rapprochées ou au contraire espacées. Ces revues de sûreté devraient être en particulier l'occasion pour AREVA d'indiquer et de réexaminer les parades et mesures compensatoires qu'il prévoit de mettre en œuvre en fonction des différents seuils d'alertes et des configurations spécifiques à chaque digue.

4 - Evaluation de l'impact dosimétrique des sites de stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium

Rappel de la demande

Pour ce qui concerne l'étude d'évaluation de l'impact dosimétrique des sites de stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium [5] à [13], l'ASN a plus particulièrement demandé à l'IRSN :

- si la méthode d'évaluation retenue par AREVA et son application aux neuf sites sélectionnés tient correctement compte des commentaires qu'elle a formulés dans un courrier en date du 29 octobre 2008 [18] ;
- si les résultats obtenus permettent de conclure au caractère acceptable des impacts calculés pour le court et le long terme, que ce soit dans le cas du scénario d'évolution normale ou des scénarios d'évolution altérée ;
- si les études menées et les résultats auxquels elles conduisent permettent d'identifier des actions susceptibles de renforcer les dispositions de prévention des risques d'exposition des populations.

Contenu des documents produits par AREVA

Le rapport technique [4] remis par AREVA reprend la méthodologie de calcul d'impact dosimétrique proposée en 2007 [19] en l'amendant au regard des commentaires formulés par l'ASN en 2008 [18]. Il détaille les scénarios (évolutions normale et altérée) utilisés et les voies d'exposition associées,

les principes de modélisation retenus et les principaux paramètres des calculs. Il présente enfin une étude de sensibilité de certains paramètres génériques.

Les 9 notes d'application [5] à [13] exposent, pour chaque site, une présentation du stockage, de quelques résultats de surveillance, des données d'entrées des calculs et s'achèvent par une série de tableaux présentant les résultats des évaluations d'impact associés à chaque scénario ainsi que des facteurs correctifs découlant des études de sensibilité.

La lettre de transmission des notes précédentes [14] fournit une synthèse des différents éléments produits et précise les mesures envisagées pour renforcer les dispositions de prévention des risques d'exposition du public.

Avis de l'IRSN

Sur la méthode d'évaluation des impacts dosimétriques à long terme

La méthode [4] appliquée par AREVA NC pour l'évaluation des impacts dosimétriques à long terme tient compte de la plupart des commentaires exprimés par l'ASN dans son courrier daté du 29 octobre 2008 [18]. En particulier :

- le scénario d'évolution normale introduit bien une distinction entre 3 phases successives : la surveillance active, la surveillance passive et la surveillance non garantie. Cette distinction conduit en particulier à retenir l'arrêt du traitement des eaux au-delà de la phase de surveillance active et une utilisation plus intensive des sites en phase de surveillance non garantie (activités de bureau, de loisirs, voire présence d'une école sur le site) ;
- l'utilisation d'eaux souterraines contaminées a été retenue comme voie d'exposition à titre d'exemple pour l'évaluation du site de Saint-Pierre ;
- une révision des valeurs attribuées à plusieurs paramètres a été effectuée (quantité de terre ingérée pour le scénario de jeux d'enfants sur un tas de résidus en cas de chantier routier recoupant le stockage, régimes alimentaire ou temps de présence, facteur de conversion des énergies alpha potentielles volumiques (EAPv) en dose, hauteur sous plafond de la cave, taux d'empoussièrement).

Quelques points mériteraient cependant d'être revus, complétés ou mieux justifiés. C'est notamment le cas :

- du scénario de rupture de digue pour lequel l'hypothèse d'une instabilité limitée à une surface de 200 m² et n'entraînant aucun déversement de résidus, retenue par AREVA quel que soit le stockage, n'a fait l'objet d'aucun élément de justification complémentaire et apparaît toujours peu crédible. Même à supposer que la rupture soit dans un premier temps d'ampleur limitée, en l'absence d'intervention rapide de remise en état, l'évolution vers une ruine complète de l'ouvrage devrait en effet être considérée comme la situation la plus vraisemblable ;
- de l'ingestion de résidus par les enfants en bas âge qui devrait être retenue en tant que voie d'exposition dans le cas du scénario de résidence sur le stockage en l'absence de couverture,

même en considérant que lors de l'aménagement des lieux de résidences, la surface du stockage est recouverte par 30 cm de terre végétale ;

- une meilleure prise en compte des spécificités de certains sites dans la définition des situations à retenir. C'est le cas par exemple, de l'utilisation de la réserve d'eau située sur l'emprise du site de Saint-Pierre qu'il serait justifié de retenir en phase de surveillance non garantie. Ce devrait être également le cas du site de Gueugnon dont la situation se caractérise par de nombreuses spécificités qu'il conviendrait a minima de discuter : localisation du stockage dans un contexte non uranifère, à l'écart des zones exploitées, et à proximité d'une zone urbanisée ; implantation des résidus dans une nappe alluviale ; présence de résidus enfouis en dehors de l'emprise du stockage lui-même. De manière plus générale, l'IRSN souligne la nécessité de mieux définir, sur chaque site, les caractéristiques des eaux en intégrant d'une part les possibilités de contamination des eaux souterraines, d'autre part les évolutions envisagées de la qualité des rejets en fonction du temps.

L'IRSN souligne par ailleurs que les documents produits par AREVA ne permettent pas toujours de tracer simplement les hypothèses et paramètres utilisés. Peu de résultats intermédiaires étant par ailleurs fournis, il est généralement difficile de vérifier la validité des calculs ou de discuter la pertinence des doses calculées.

Ainsi, dans le cas du scénario « base de loisirs », retenu pour le site des Bois-Noirs en phase de surveillance passive, la description des hypothèses de modélisation devrait préciser plus clairement si la consommation des poissons pêchés sur le plan d'eau et l'ingestion de résidus remis en suspension dans l'eau au cours de baignades sont bien considérées comme voies d'exposition dans les calculs.

Des résultats intermédiaires tels que le calcul des activités volumiques de radon seraient en particulier utiles pour permettre l'interprétation des doses calculées pour l'exposition par inhalation. Celles-ci apparaissent en effet étonnamment peu élevées dans le cas des scénarios de résidence sur le stockage, compte tenu des hypothèses retenues et du retour d'expérience disponible pour des cas similaires. Ainsi, pour le scénario de résidence sur le stockage des Bois-Noirs en l'absence de couverture, le calcul effectué par AREVA pour un retraité résidant dans une maison bâtie directement sur les résidus conduit à une dose par inhalation de l'ordre de 8 mSv/an (couvrant l'exposition au radon à l'intérieur et à l'extérieur de l'habitation). Ce résultat suggère des concentrations en radon issues de la modélisation du transfert vers les habitations relativement faibles (a priori inférieures à quelques centaines de Bq/m³ en moyenne dans la maison) alors que les valeurs attendues pour un bâtiment construit sur des matériaux aussi riches en radium que des résidus sont classiquement de l'ordre de plusieurs milliers à plusieurs centaines de milliers de Bq/m³. A titre de comparaison, l'IRSN a réalisé une évaluation à l'aide de son propre outil de modélisation (CARAIBE) sur la base d'un scénario comparable à celui défini par AREVA. Elle conduit à des concentrations de radon de près de 9000 Bq/m³ dans la cave, 3000 Bq/m³ au rez-de-chaussée de l'habitation et de plus de 2000 Bq/m³ au premier étage. La dose par inhalation calculée pour les

hypothèses de fréquentation de la maison retenues par AREVA serait alors de l'ordre de 40 mSv/an voire beaucoup plus en faisant varier les valeurs retenues pour les paramètres les plus influents. L'IRSN considère ainsi nécessaire qu'AREVA revoie les hypothèses et paramètres retenus pour ses calculs de transfert et d'accumulation du radon dans une maison dans le cadre des scénarios de résidence sur un stockage.

De manière générale, l'IRSN considère particulièrement important de pouvoir éprouver la pertinence des résultats de modélisation en les confrontant à des données mesurées ou à des ordres de grandeur connus pour des conditions comparables. Cet exercice de confrontation reste à effectuer pour les calculs produits par AREVA. Il est indispensable pour les scénarios d'évolution normale pour lesquels il convient de s'assurer de la cohérence entre les doses résultant de calculs de modélisation et celles issues des résultats de surveillance. La comparaison des résultats intermédiaires issus des calculs de modélisation et des valeurs d'énergie alpha potentielle volumique et de débit d'équivalent de dose mesurées sur chacun des sites considérés serait également utile. Ces mesures sont mentionnées dans les rapports produits par AREVA mais ne font l'objet d'aucune exploitation particulière.

Sur l'acceptabilité des impacts calculés et l'identification d'actions susceptibles de renforcer les dispositions de prévention des risques d'exposition des populations

Comme évoqué précédemment, l'IRSN note qu'AREVA a effectué peu d'exploitation ou d'interprétation des résultats qu'il a obtenus et ne se prononce pas sur l'acceptabilité des doses calculées sur chaque site. Seule une comparaison avec la limite de 1 mSv/an est évoquée à propos des résultats obtenus en scénario d'évolution normale. En l'absence d'analyse systématique des solutions envisageables pour abaisser les doses reçues par les populations dans les différentes situations envisageables, l'action principale retenue par AREVA pour renforcer les dispositions de prévention des risques d'exposition des populations, concerne la couverture du site de stockage de Gueugnon dont il juge nécessaire d'améliorer l'efficacité.

L'IRSN convient que l'évaluation de l'acceptabilité des impacts calculés est un exercice difficile compte-tenu de l'absence d'un référentiel directement applicable aux stockages de résidus de traitement de minerais d'uranium. Le document de doctrine élaboré par l'IRSN à la demande du ministère en charge de l'environnement en 2001 [20] décrit en effet la méthode à appliquer pour mener les évaluations d'impact radiologique mais ne fixe pas de manière explicite les objectifs de dose à respecter pour les différentes phases de vie et les différentes catégories de scénarios.

Un éclairage sur le sujet peut toutefois être trouvé dans les exigences fixées pour d'autres types de stockage comparables du point de vue des déchets qu'ils contiennent. C'est le cas des stockages de déchets de faible activité et à vie longue (FA-VL) à propos desquels la note d'orientation publiée par l'ASN [17] précise :

- pour le scénario d'évolution normale, une contrainte de dose est fixée à 0,25 mSv/an ;

- **pour les situations altérées, correspondant à la survenue d'événements incertains mais plausibles, que les expositions individuelles doivent être maintenues suffisamment faibles par rapport aux niveaux susceptibles d'induire des effets déterministes. Le caractère acceptable doit être plus généralement apprécié en tenant compte des caractéristiques de la situation, de sa probabilité lorsqu'elle pourra être déterminée, du niveau, de la durée, de l'extension et de la nature des transferts de substances radioactives dans la biosphère, des caractéristiques des voies d'atteinte de l'homme et des groupes exposés.**

Les préconisations précédentes sont destinées à être appliquées dans un contexte qui comporte des différences indéniables avec celui des stockages de résidus. C'est en particulier vrai pour ce qui concerne la notion de contrainte de dose qui s'applique davantage à la conception d'une activité nucléaire qu'à la vérification de l'impact d'une activité existante. Les préconisations fixées pour les stockages FA-VL apportent toutefois pour l'IRSN des éléments pertinents pour juger de l'acceptabilité des impacts calculés par AREVA.

Leur application conduit à relever que les doses calculées en phase de surveillance active sont du même ordre de grandeur que la contrainte de dose retenue pour les stockages de déchets FA-VL pour trois des neuf sites étudiés : les sites de Gueugnon, de l'Ecarpière et du site industriel de Bessines (SIB, regroupant les sites du Brugeaud et de Lavaugrasse). Dans les trois cas, les valeurs obtenues sont de l'ordre de 0,7 à 0,8 mSv/an et résultent essentiellement de l'inhalation de radon.

L'IRSN considère que ces résultats devraient conduire AREVA à étudier la faisabilité de mettre en place des actions susceptibles de diminuer l'exhalation de radon sur les sites concernés, par exemple en adaptant l'épaisseur et les caractéristiques de la couverture. L'IRSN note que cette possibilité n'est retenue par AREVA que pour le site de Gueugnon et qu'aucune discussion des possibilités de réduction des doses n'est proposée pour les sites de l'Ecarpière et du SIB.

Pour la phase de surveillance non garantie du scénario d'évolution normale, les doses calculées pour les résidants des villages proches des stockages dépassent la limite de 1 mSv/an pour plusieurs sites.

Les résultats montrent que, hormis pour le site de Gueugnon et le SIB, la dose due à l'ingestion représente plus de 98 % de la dose calculée. Elle est liée à l'hypothèse d'arrêt du traitement de l'eau avant rejet ainsi qu'à l'accumulation dans les sols et à la contamination des produits végétaux induites par l'utilisation des cours d'eau recevant les eaux non traitées à des fins d'irrigation.

L'analyse des résultats montre ainsi que la qualité des eaux est un paramètre clef à étudier pour rechercher des solutions visant à abaisser les impacts actuels et futurs des sites de stockage. L'IRSN souligne qu'à ce jour, les caractéristiques des eaux retenues par AREVA dans ses évaluations d'impact à long terme, reposent sur des hypothèses très simplifiées consistant à supposer constantes les valeurs actuellement mesurées à l'aval des rejets et en tenant compte

comme seule évolution un arrêt des traitements. L'IRSN considère que ces hypothèses sont insuffisamment réalistes pour constituer une base pertinente à la recherche d'action de réduction des impacts. Il préconise ainsi au cours d'une première étape, d'améliorer la définition des niveaux de contamination des eaux à retenir pour chacune des phases de vie des stockages et pour cela, d'améliorer la connaissance de l'évolution de la qualité de ces eaux.

Pour ce qui concerne les scénarios altérés, les doses calculées sont au maximum de 50 mSv/an pour l'adulte quel que soit le site étudié. Ces valeurs restent en dessous de celles susceptibles d'induire des effets déterministes. Comme indiqué précédemment, l'IRSN souligne toutefois que les doses calculées par AREVA apparaissent sensiblement sous-estimées, a minima dans le cas des scénarios de résidence sur le stockage.

L'IRSN note par ailleurs que les résultats obtenus par AREVA mettent en évidence des tendances qui mériteraient d'une part d'être confrontées aux mesures disponibles sur les sites, d'autre part de déboucher sur la définition d'actions destinées à abaisser les impacts à long terme. Les tendances évoquées concernent plus particulièrement l'influence des caractéristiques de la couverture sur les niveaux d'exposition reçues dans le cas de scénarios de résidence sur site.

Comme le montrent les valeurs rassemblées dans le tableau ci-joint, les stockages sur lesquels l'épaisseur de recouvrement des résidus dépasse plusieurs mètres (plus de 4 m pour Bellezane et Lodève) conduisent à des doses par exposition externe et par inhalation de radon inférieures ou de l'ordre de 1 mSv/an même pour un scénario altéré supposant l'installation d'un usage résidentiel sur le stockage lui-même. Les doses calculées par AREVA sont nettement plus élevées pour les sites sur lesquels les résidus ne sont recouverts que par une épaisseur plus faible de stériles et terre végétale. C'est le cas pour les sites de Gueugnon, Bernardan, l'Ecarpière ainsi qu'une partie du site de Saint-Pierre, pour lesquels l'épaisseur de couverture est inférieure à 1 m. Les cas des stockages du Brugeaud et de Lavaugrasse, dont les couvertures sont épaisses de 2 m, apparaissent comme des cas intermédiaires sur lesquels les calculs de dose suggèrent une efficacité de la couverture pour ce qui concerne l'exposition externe mais pas pour ce qui concerne l'exposition au radon.

Site	épaisseur de la couverture		teneurs des résidus		teneurs des stériles		dose inhalation radon résidence sur stockage		dose externe résidence sur stockage	
	stériles	terre végétale	U238	Ra226	U238	Ra226	avec couv.	sans couv.	avec couv.	Sans couv.
	m	m	Bq/g	Bq/g	Bq/g	Bq/g	mSv/an	mSv/an	mSv/an	mSv/an
St PIERRE bassins	4,5	1	2,1	41,8	0,6	0,6	0,9	8,3	0,2	16
BZN	8,5	0,1	1,2	32	0,6	0,6	0,2	5,4	0,2	12
LODEVE	4	1	3,8	27,5	0,4	0,4	0,8	5,3	0,2	10
GUEUGNON	–	0,7	3,1	62	–	–	12	13	9,9	23
BERNARDAN	0,6	0,2	1,7	57	1,3	1,3	8,4	8,8	9,1	21
BRUGEAUD	2	–	2	28	0,8	0,8	4,5	4,8	0,3	11
St PIERRE MCO	0,5	–	2,1	37,8	0,6	0,6	7	7,2	6,2	14
LAVAUGRASSE	2	–	1,2	25	0,75	0,75	4	4,2	0,3	9,5
ECARPIERE	0,3	0,1	1,5	20,5	1,6	1,6	5,1	5,2	3,5	7,8
BOIS NOIRS	eau		7,2	57	–	–	–	7,7	–	22

Tableau : principales caractéristiques des stockages étudiés par AREVA et résultats des évaluations d'impact pour l'inhalation du radon et l'exposition externe dans le cas des scénarios de résidence sur le stockage

L'IRSN considère que les constats précédents sont essentiels pour déterminer la nécessité de mener des actions complémentaires de réduction des impacts actuels ou potentiels sur les divers sites de stockage. L'IRSN recommande donc qu'AREVA réexamine l'efficacité des couvertures de chacun des stockages à la lumière des résultats des évaluations d'impact à long terme et envisage le bénéfice qui pourrait être obtenu en augmentant l'épaisseur de recouvrement des résidus.

Références

- [1] Saisine ASN-DRD-n° 0173-2009 datée du 9 mars 2009**
- [2] Rapport technique AREVA NC janvier 2009 - BUM/DI/QSSE CE 09/006 - PCN/MAN
Caractérisation géochimique des résidus de traitement de minerais d'uranium**
- [3] Rapport technique AREVA NC janvier 2009 - BUM/DO/DQSE RT 07/062 - LFE/LFE
Analyse de la tenue à long terme des digues de rétention de stockage de résidus de traitement de minerais uranifères**
- [4] Note technique AREVA NC janvier 2009 - NT 100350 00 0001 Rév C
Méthodologie d'évaluation de l'impact dosimétrique des sites de stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium**
- [5] Note technique AREVA NC janvier 2009 - NT 100350 00 0002 Rév B
Calcul d'impact dosimétrique du site de stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium de Saint-Pierre du Cantal**
- [6] Note technique AREVA NC janvier 2009 - NT 100350 00 0003 Rév B
Calcul d'impact dosimétrique du site de stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium de Bois-Noirs en Limouzat**
- [7] Note technique AREVA NC janvier 2009 - NT 100350 00 0004 Rév B
Calcul d'impact dosimétrique du site de stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium de Gueugnon**
- [8] Note technique AREVA NC janvier 2009 - NT 100350 00 0005 Rév B
Calcul d'impact dosimétrique du site de stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium de Bernardan à Jouac**
- [9] Note technique AREVA NC janvier 2009 - NT 100350 00 0006 Rév B
Calcul d'impact dosimétrique du site de stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium de Lodève**
- [10] Note technique AREVA NC janvier 2009 - NT 100350 00 0007 Rév A
Calcul d'impact dosimétrique du site de stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium de Bellezane**
- [11] Note technique AREVA NC janvier 2009 - NT 100350 00 0008 Rév A
Calcul d'impact dosimétrique du site de stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium de Lavaugrasse**
- [12] Note technique AREVA NC janvier 2009 - NT 100350 00 0009 Rév A
Calcul d'impact dosimétrique du site de stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium de l'Ecarpière**
- [13] Note technique AREVA NC janvier 2009 - NT 100350 00 0010 Rév A
Calcul d'impact dosimétrique du site de stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium de Brugeaud**
- [14] Lettre BUM/DI/QSSE CE 09/010 - PCN/MAN datée du 30 janvier 2009**

- [15] **S. SOMOT - 1997**
« Radium, Uranium et métaux dans les résidus de traitement dynamique, acide et alcalin, de minerais d'uranium » - Université Henri Poincaré, Nancy
- [16] **Rapport BRGM /RP-51068-FR - Septembre 2001**
« Méthodologie d'évaluation de la stabilité des digues à stériles uranifères - Application à deux sites pilotes »
- [17] **ASN (2008) - Note Dép-DRD-N°0304**
Note d'orientations générales de sûreté en vue d'une recherche de site pour le stockage des déchets de faible activité massique à vie longue
- [18] **Lettre ASN-DRD-n°0601-2008 datée du 29 octobre 2008**
- [19] **Note technique AREVA NC décembre 2007 - NT 100092 00 0001 Rév A**
Méthodologie pour l'évaluation de l'impact dosimétrique des sites de stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium
- [20] **Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques (DPPR) (1999). Doctrine en matière de réaménagement des stockages de résidus de traitement de minerai d'uranium. Groupe de travail du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement**