

Fontenay-aux-Roses, le 29 mars 2017

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN/2017-00097

Objet : Avis relatif à l'étude prescrite dans le cadre du PNGMDR 2013-2015 sur la gestion à long terme des déchets historiques du procédé de conversion du site de Malvési

Réf. 1. Lettre ASN CODEP-DRC-2015-050999 du 22 décembre 2015

Dans le cadre du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR), AREVA NC a réalisé une première étude transmise en décembre 2011 portant sur les grandes orientations pour la gestion des déchets générés par les activités industrielles sur le site de Malvési (Aude) de 1959 à 2050. Suite à l'examen de ce rapport, l'ASN a en particulier demandé de distinguer la filière de gestion des déchets qui relèvent d'une situation historique de celle des déchets qui seront produits à partir de janvier 2019. En application du décret du 27 décembre 2013 relatif au PNGMDR, AREVA NC a réalisé un rapport d'avancement des études de faisabilité des options de stockage des déchets qualifiés d'« historiques », ainsi qu'un calendrier des études et reconnaissances nécessaires à l'évaluation de la faisabilité de ces options. Par lettre citée en référence, vous avez demandé à l'IRSN d'évaluer, sur la base de ce rapport, l'état d'avancement du programme d'études d'AREVA NC sur les options de stockage des déchets radioactifs historiques du site de Malvési. Vous souhaitez notamment que l'IRSN se prononce sur :

- la pertinence des solutions de stockage proposées au regard des résultats des études menées par AREVA NC à ce stade ;
- le caractère favorable des formations géologiques explorées en termes de capacité à limiter la dissémination des substances radioactives et chimiques (incluant notamment l'aléa sismique, l'hydrogéologie et les caractéristiques minéralogiques et chimiques) ;
- les modélisations réalisées pour déterminer les performances de sûreté des trois concepts de stockage étudiés par AREVA NC ;
- la complétude des études de faisabilité réalisées ou prévues par AREVA NC et le calendrier associé, susceptibles d'infléchir les orientations pour les années à venir.

Adresse Courrier
BP 17
92262 Fontenay-aux-Roses
Cedex France

Siège social
31, av. de la Division Leclerc
92260 Fontenay-aux-Roses
Standard +33 (0)1 58 35 88 88
RCS Nanterre 8 440 546 018

L'examen de l'IRSN s'appuie sur les éléments techniques présentés par AREVA NC dans le rapport d'avancement et lors d'échanges réalisés au cours de l'instruction, mais également sur les conclusions de son analyse de l'étude transmise par AREVA en 2011. De cet examen, l'IRSN retient les éléments suivants.

1 INVENTAIRE ET CARACTERISATION DES DECHETS HISTORIQUES

Selon l'article 7 - II - 3° du décret n°2013-1304 du 27 décembre 2013 établissant les prescriptions du PNGMDR pour la période 2013-2015, « [...] *l'inventaire des déchets historiques est limité aux seuls déchets déjà produits et entreposés sur le site de Malvési* ». L'exploitant indique que les déchets suivants entrent dans cette catégorie :

- les déchets entreposés dans l'INB ECRIN d'une capacité maximale de 400 000 m³ qu'AREVA NC a été autorisée à créer par décret ministériel du 20 juillet 2015 et à exploiter pour une durée de trente ans ;
- les stériles et résidus miniers contaminés par les eaux d'infiltration des boues des bassins B1 et B2 contenus dans l'INB ECRIN dont le volume est estimé à 300 000 m³ ;
- les résidus solides issus du traitement des liquides nitrates contenus dans les bassins d'évaporation, d'un volume total estimé à 110 000 m³, qui sera mis en œuvre à partir de 2019.

De plus, conformément à la demande de l'ASN du 4 octobre 2012, l'exploitant précise que les stériles et résidus miniers présents sous les bassins B3, B5 et B6 font l'objet d'une caractérisation physico-chimique et radiologique afin d'être, le cas échéant, inclus dans l'inventaire des déchets historiques à gérer.

A l'issue de l'examen de l'étude transmise par AREVA NC en 2011, l'IRSN avait noté que des mesures sur les prélèvements réalisés en 2009 révélaient des activités massiques totales de l'ordre de quelques centaines de Bq/g dans les boues entreposées dans l'INB ECRIN. Les principaux contributeurs à ces activités sont les isotopes naturels de l'uranium et du thorium, en particulier le ²³⁰Th dont l'activité massique représente la moitié de celle contenue dans l'ensemble de ces boues. Les radionucléides artificiels, pour l'essentiel des isotopes du plutonium, représentent environ 1 % de l'activité totale et ne sont présents que dans les boues des bassins B1 et B2. L'IRSN rappelle que ces boues contiennent également des substances chimiques telles que des nitrates, des sulfates et des métaux. Cette même campagne de prélèvements a révélé que les résidus et stériles miniers présents sous les bassins B1 et B2 sont marqués par l'²³⁸U et le ²³⁰Th (de l'ordre de quelques Bq/g) et par les nitrates provenant de ces bassins.

En complément des travaux réalisés en 2009, AREVA NC a transmis fin 2016 une étude portant sur la caractérisation radiologique et chimique des stériles et résidus miniers présents sous le bassin B3. L'IRSN constate qu'AREVA NC mesure des activités massiques en ²³⁸U et en ²³⁰Th pouvant atteindre quelques dizaines de Bq/g et indique la présence de nitrate, de sulfate et de fluorure qui montrent un marquage par les eaux d'infiltration des boues des bassins de décantation. L'exploitant prévoit de compléter cette étude en caractérisant les résidus et stériles miniers présents sous les bassins B5 et B6 lorsque ces bassins seront vidangés. Compte tenu des échéances liées à la mise en service de l'INB ECRIN, les résultats de la caractérisation des stériles et résidus miniers sous le bassin B5 devraient selon AREVA NC être disponibles en 2019. Pour ceux présents sous le bassin B6, les investigations ne devraient pouvoir débuter qu'à partir de 2020. Pour l'un des concepts explicités au chapitre 3, AREVA NC prévoit d'utiliser des

stériles miniers non contaminés pour recouvrir les déchets stockés. Cette stratégie suppose qu'AREVA NC statue sur le caractère contaminé ou pas des stériles miniers. **Aussi, l'IRSN recommande qu'AREVA NC complète son étude de faisabilité en précisant le protocole de mesure qui sera mis en œuvre pour distinguer les stériles relevant d'une gestion en tant que déchets historiques de ceux pouvant être utilisés comme matériaux de couverture.**

Par ailleurs, AREVA NC a précisé en cours d'instruction la composition physico-chimique et radiologique attendue des résidus solides issus du traitement des nitrates lorsque le procédé de fabrication sera mis en exploitation à partir du premier trimestre 2019. L'IRSN relève que l'activité massique moyenne estimée par AREVA NC pour ces déchets est d'environ 14 Bq/g, dont près de 6 Bq/g en ^{226}Ra et ses descendants ainsi que des traces de radionucléides artificiels liés aux campagnes de conversion d'URT sur le site de Malvési (notamment 7 Bq/g en ^{99}Tc). **Il conviendra qu'AREVA NC confirme les activités massiques estimées lors de la première année suivant la mise en exploitation du procédé.**

De plus, l'IRSN rappelle que le PNGMDR 2013-2015 identifie les déchets divers mélangés à de la terre inerte présents sous le bassin B3, d'un volume de plus de 22 000 m³, et pour lesquels l'Inventaire National de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) indique qu'ils contiennent du ^{226}Ra et des isotopes de l'uranium ne sont pas pris en compte par AREVA NC dans les études sur la gestion des déchets historiques. **Aussi, l'IRSN recommande qu'AREVA NC complète son étude de faisabilité en précisant l'inventaire et la nature physico-chimique des déchets divers mélangés à de la terre inerte présents sous le bassin B3.**

L'IRSN souligne que, du fait des traitements réalisés en amont et pendant les opérations de conversion de l'uranium les radionucléides de la chaîne d' ^{238}U ne sont pas à l'équilibre séculaire. Sur la base de ses estimations, l'IRSN observe que la mise à l'équilibre du ^{230}Th et de ses descendants, notamment le ^{226}Ra , précurseur du ^{222}Rn , conduira à une augmentation de l'activité massique totale pendant les 10 000 prochaines années. L'activité massique totale contenue dans les boues devrait alors atteindre quelques milliers de Bq/g, puis décroître en fonction de la période du ^{230}Th (environ 75 000 ans) et se stabiliser à quelques centaines de Bq/g lorsque l'ensemble des descendants de l' ^{238}U seront à nouveau à l'équilibre. Aussi, même si les teneurs actuelles en ^{226}Ra sont faibles, celles-ci augmenteront notablement dans les prochains milliers d'années jusqu'à atteindre environ un millier de Bq/g pour le ^{226}Ra et ses descendants. A cet égard, l'IRSN rappelle la particularité du radon à s'accumuler dans les lieux confinés comme les bâtiments construits au droit de ces déchets, ce qui est envisageable à long terme en cas de perte de mémoire du stockage. **Aussi, l'IRSN considère que l'évaluation des scénarios d'intrusion du type de ceux relatifs à la construction de résidences constituera un élément d'appréciation important vis-à-vis de la maîtrise des risques d'exposition au radon suite à la perte de la mémoire du stockage.**

2 DEMARCHE DE RECHERCHE D'UNE OPTION DE STOCKAGE

L'IRSN estime que l'option de stockage des déchets historiques de Malvési devra permettre de maîtriser les risques liés principalement à l'impact chimique de l'uranium et radiologique du ^{226}Ra et de radionucléides artificiels, et liés à l'exposition au radon, dans l'hypothèse d'une intrusion humaine banale (du type construction d'habitations) après dégradation du stockage sur le long terme.

AREVA NC indique que l'option de stockage qui pourra être retenue à l'issue de l'étude de faisabilité sera dédiée à accueillir les déchets de l'INB ECRIN et les stériles et résidus miniers présents sous cette installation ainsi que ceux présents sous les bassins B3, B5 et B6. Pour ce qui concerne les résidus solides issus du traitement des liquides nitrates, AREVA NC prévoit de les orienter vers la filière de déchets de très faible activité (TFA) existante. L'IRSN attire toutefois l'attention sur plusieurs points. En premier lieu, le volume total, estimé à près de 110 000 m³ après conditionnement sous forme de matrice cimentaire, représente de l'ordre du sixième de la capacité actuelle du Cires. En second lieu, l'IRSN constate que, compte tenu des activités massiques estimées en ⁹⁹Tc par AREVA NC dans les résidus solides issus du traitement des nitrates (7 Bq/g), l'accueil de ces déchets pourrait conduire à dépasser d'environ un ordre de grandeur la capacité radiologique du centre pour ce radionucléide (0,13 TBq). Aussi, il conviendrait de s'assurer, compte tenu d'une part des chroniques de livraison des déchets de démantèlement et assainissement des INB et de ceux de Malvési, d'autre part de la nécessité d'augmenter la capacité radiologique du centre actuel en ⁹⁹Tc, que le schéma industriel de gestion des déchets TFA au Cires permettrait effectivement d'accueillir les déchets de Malvési. Le cas échéant, une partie de ces derniers devraient être orientée vers un nouveau site de stockage de déchets TFA qui resterait à créer. Enfin, s'agissant de la gestion à long terme du risque associé à l'exposition au radon, ces déchets posent des enjeux de même nature que les deux autres catégories de déchets (ceux entreposés dans l'INB ECRIN et les stériles/résidus miniers). Aussi, eu égard à ces diverses observations, l'IRSN estime qu'il est prématuré de cibler le Cires et **recommande, au titre d'une démarche globale de gestion des risques liés aux déchets radifères, que les résidus solides issus du traitement des nitrates soient inclus dans la réflexion sur la recherche d'un site de stockage des déchets historiques de Malvési. Dans l'attente, un entreposage de ces déchets produits à partir de 2019 pourrait être envisagé sur le site de Malvési.**

S'agissant des déchets divers présents sous le bassin B3, AREVA NC a indiqué au cours de l'instruction qu'aucune filière n'était actuellement définie. **L'IRSN recommande que les déchets divers présents sous le bassin B3 soient intégrés par AREVA NC dans le programme actuel de recherche d'une solution de gestion des déchets historiques.**

Par ailleurs, l'IRSN relève que le volume total des stériles et résidus miniers constituant le massif accueillant l'INB ECRIN et les bassins B3, B5 et B6 est estimé à 1 300 000 m³. Le volume des résidus et stériles miniers présents sous l'INB marqués par les eaux des bassins de cette INB est évalué à 300 000 m³. AREVA NC n'a pas estimé, à ce jour, le volume des résidus et stériles miniers présents sous les bassins B3, B5 et B6 qui relèveraient d'une gestion au titre des déchets historiques. L'IRSN estime que ce volume est potentiellement important (dans l'ordre de grandeur de ceux présents sous les bassins B1 et B2), compte tenu de transferts horizontaux des substances stockées depuis les bassins B1 et B2 exploités sans membrane et des défauts d'étanchéité de la membrane sous le bassin B5. **Compte tenu du volume des résidus et stériles miniers potentiel à prendre en compte dans la gestion des déchets historiques, il conviendra qu'AREVA NC s'assure que les concepts restent adaptés.**

Enfin, l'IRSN rappelle qu'en parallèle des études menées par AREVA NC, l'Andra est en charge de la recherche d'une solution de stockage des déchets de la catégorie FA-VL, comprenant notamment des déchets de type radifères/uranifères de diverses origines. L'Andra a fourni récemment un rapport d'étape sur la recherche d'un site sur le territoire de la communauté de communes de Soulaines. L'analyse par l'IRSN de ce rapport a mis en évidence de sérieuses incertitudes sur la capacité du site investigué à accueillir l'ensemble de l'inventaire de déchets FA-VL

envisagé dans ce rapport. Sur la base de l'avis de l'Autorité de sûreté nucléaire, le PNGMDR 2016-2018 demande notamment que l'Andra définisse une stratégie de gestion combinant la poursuite des investigations sur le site de la communauté de communes de Soulaines et la recherche d'un autre site pour les déchets qui ne pourront pas être stockés dans le site de Soulaines, dans l'optique d'une optimisation globale des impacts. Cette stratégie englobe en particulier les déchets de Malvési qui seront produits à compter du 1^{er} janvier 2019 pour un volume estimé de 85 000 m³. Aussi, compte tenu d'une part de ces nouvelles orientations, d'autre part du fait que les déchets à produire ne constitueront environ que 10 % du volume des déchets historiques, l'IRSN estime qu'il serait pertinent de poursuivre, en cohérence avec la démarche d'optimisation de l'Andra, les études actuelles d'AREVA NC en incluant les déchets à produire.

3 OPTIONS DE STOCKAGE RETENUES

3.1 Description des options de stockage

Pour la gestion des déchets historiques, AREVA NC présente trois concepts de stockage comme en 2011, dont l'option de stockage en surface dans laquelle le massif accueillant l'INB ECRIN serait recouvert par plusieurs couches de matériaux. S'agissant de ce concept, compte tenu de la nature des déchets stockés et de la configuration du site, l'IRSN estimait que le stockage en surface de l'ensemble des déchets issus du site de Malvési ne peut être considéré comme suffisamment robuste eu égard aux risques de dissémination de contaminants et d'intrusion humaine à long terme. L'ASN avait alors indiqué que ce concept ne répondait pas aux exigences de sûreté à long terme et avait conclu défavorablement à la poursuite de son développement.

Les deux autres options sont des concepts à faible profondeur basées sur le principe d'un stockage de déchets sous couverture remaniée. Les dispositions de conception ont fait l'objet de précision depuis l'étude transmise en 2011. Pour rappel, la première option consiste à utiliser le volume offert par la fosse de l'ancienne mine à ciel ouvert creusée dans la série grise de la couche géologique de l'Oligocène pour l'exploitation du soufre, qui a servi de bassin de régulation des eaux de l'usine de Malvési. AREVA NC estime que le volume de cette fosse (2 millions de m³ pour une profondeur de 40 m) est suffisant pour accueillir les déchets contenus dans l'INB ECRIN et les stériles et résidus miniers contaminés, **ce qui n'appelle pas de commentaire de la part de l'IRSN**. Les déchets déposés dans cette excavation seraient placés dans des alvéoles de 5 m de haut et répartis sur une surface de 2 000 m², sur plusieurs niveaux, puis recouverts avec des matériaux de remblayage composés notamment des stériles miniers constitutifs des digues de l'INB ECRIN. Ces déchets seraient ensuite recouverts par 10 à 15 m de stériles miniers non contaminés issus du massif accueillant l'INB ECRIN (cf. *supra*). Une couverture multicouche d'une épaisseur de quelques mètres permet en outre d'épouser le relief et favoriser le ruissellement des eaux de surface.

Pour la deuxième option, AREVA NC envisage de creuser une excavation dans la série rouge de l'Oligocène située à l'aplomb du site de Malvési pour y enfouir les déchets. AREVA NC envisage de creuser l'installation jusqu'à une profondeur de 40 m. Les déchets seraient stockés dans des alvéoles identiques à celles de l'option précédente et une couverture constituée par des déblais marneux compactés, issus de l'excavation, recouvrirait les déchets sur une épaisseur de 10 à 15 m. Cette couverture est surmontée par une couche de matériaux drainants pour permettre le libre écoulement des eaux de la nappe alluviale.

L'IRSN constate qu'au stade actuel du projet, ces concepts de stockage restent toujours très sommairement décrits. Aucune information n'est apportée, ni sur la méthode permettant de superposer plusieurs niveaux d'alvéoles, ni sur l'encombrement global de cette architecture eu égard à la profondeur d'excavation envisagée. En outre, les propriétés des composants du stockage et leurs fonctions de sûreté ne sont pas définies, en particulier pour les composants clé, comme la couverture. Aussi, compte tenu de l'absence des éléments fondamentaux précités, **il n'est pas possible à ce stade d'évaluer du point de vue de la faisabilité du stockage, le bien-fondé des options étudiées par AREVA NC.** L'IRSN estime en particulier que les performances attendues et atteignables par la couche de stériles miniers et la couverture multicouche pour l'option de stockage dans l'ancienne mine, et par les marnes compactées pour l'option de stockage dans la série rouge de l'Oligocène, restent des éléments essentiels pour juger de la faisabilité de ces deux options. AREVA NC présente toutefois quelques données de site issues des investigations qu'elle a menées. Ainsi, l'IRSN constate que les perméabilités mesurées pour les marnes de la série rouge sont relativement élevées (cf. *chapitre 4*), et s'interroge d'autant plus sur la pertinence de ce choix pour la couverture sachant qu'une fois remaniée, il sera difficile d'atteindre une perméabilité équivalente à celle de la couche intacte. Par ailleurs, l'IRSN rappelle que, compte tenu de la présence de radionucléides à vie longue et de la génération du gaz radon, la démonstration de sûreté d'un stockage à faible profondeur nécessite de porter une attention particulière au risque d'intrusion banale, par exemple lié à la construction de bâtiments au droit du stockage dans lesquels le radon s'accumulerait. A cet égard, l'IRSN estime que l'épaisseur de garde au-dessus des déchets doit viser notamment à se prémunir par des moyens aussi passifs que raisonnablement possible de ce type d'intrusion, et à tout le moins à en retarder l'occurrence. **Aussi, l'IRSN estime que l'épaisseur d'une quinzaine à une vingtaine de mètres pour la couverture du stockage telle qu'envisagée à ce stade par AREVA NC ne laisse pas de marge suffisante vis-à-vis de la maîtrise du risque d'intrusion humaine, de surcroît à proximité d'une zone urbanisée *a fortiori* si l'on tient compte des phénomènes d'érosion potentiels (cf. *infra*).**

Les concepts de stockage devront ainsi découler d'une analyse multicritères combinant les contraintes liées à la profondeur d'implantation et à la garde entre la surface et les premiers ouvrages, les performances atteignables par les matériaux constituant cette garde ainsi que les contraintes liées à la construction des alvéoles de stockage.

Aussi, l'IRSN recommande qu'AREVA NC complète son étude de faisabilité en présentant :

- les exigences de performances pour les différents composants du stockage (incluant les durées visées) ;
- des éléments probants montrant que les matériaux retenus pour constituer la couverture des stockages ainsi que leur mise en œuvre permettront d'atteindre les performances visées vis-à-vis des risques liés à la dissémination des substances stockées ;
- des concepts de stockage dont la profondeur d'implantation et la garde entre la surface et les premiers ouvrages (soit *a minima* plusieurs dizaines de mètres) permettent de considérer que les meilleurs efforts auront été faits pour retarder l'atteinte des déchets par des travaux d'intrusion banale.

3.2 Propriétés physico-chimiques des déchets et des barrières ouvragées

S'agissant du conditionnement des déchets, AREVA NC envisage de cimenter les déchets en vue d'augmenter leur résistance mécanique et de stabiliser les radionucléides et les substances chimiques. Sur le principe, l'IRSN approuve la démarche d'AREVA NC et estime qu'un conditionnement des déchets qui permettrait de stabiliser les radionucléides et les substances chimiques sous des formes chimiques pas ou peu mobilisables s'avère essentiel pour limiter la dissémination des substances stockées. Toutefois, l'IRSN relève que la présence de sulfates dans les boues et dans les marnes pourrait conduire à une altération rapide (de l'ordre de quelques années) des blocs de déchets bétonnés. La résistance mécanique de ces déchets cimentés nécessite donc d'être dimensionnée en tenant compte de la perturbation induite par la présence de sulfates dans les boues et les résidus miniers notamment. **A cet égard, l'IRSN observe que si un procédé de cimentation venait à être retenu par AREVA NC, il conviendrait qu'AREVA NC précise, dans l'étude de faisabilité du stockage, les performances attendues par le conditionnement et prenne en compte les volumes de colis de stockage engendrés par ce procédé dans le dimensionnement de l'installation.**

S'agissant de l'interaction entre les substances contenues dans les déchets et les composants ouvragés, AREVA NC indique que les analyses des propriétés physico-chimiques des boues actuellement entreposées dans l'INB ECRIN ainsi que les résidus et des stériles miniers, éventuellement utilisés comme barrières de confinement dans l'option de stockage dans l'ancienne mine de soufre, montrent que les isotopes de l'uranium et du thorium migrent faiblement du fait des conditions réductrices dans les boues et les résidus miniers. En outre, AREVA NC considère que les conditions physico-chimiques des déchets, des stériles et des résidus miniers ne seront pas modifiées au cours de leur transfert depuis l'installation d'entreposage ECRIN jusqu'à la zone de stockage, puis se mettront lentement en équilibre avec les conditions de la formation hôte de l'Oligocène retenue. L'IRSN ne partage pas à ce stade cette analyse. En effet, lors de campagnes de prélèvement de sédiments contenant de l'uranium, stockés en conditions réductrices, l'IRSN a constaté que ce dernier pouvait être « réoxydé » rapidement au contact de l'air. Des expérimentations complémentaires en laboratoire sur ces prélèvements ont montré que cet uranium est alors susceptible d'être mobilisé. A cet égard, l'IRSN relève que des études complémentaires, réalisées par AREVA NC, sur la migration des radionucléides dans les boues ont montré qu'en conditions oxydantes la fraction mobilisable d'uranium serait de 20 % (au lieu de 0,2 % en conditions réductrices). En outre, l'IRSN estime qu'il sera difficile d'apporter les éléments de démonstration permettant d'assurer que les dispositions de reprise et de transfert des déchets vers le stockage ainsi que les conditions d'exploitation de l'installation de stockage favorisent le maintien de conditions réductrices pour les déchets. **Aussi, l'IRSN recommande qu'AREVA NC complète son étude de faisabilité en présentant les conditions de reprise, de transfert et de stockage des déchets et évalue les propriétés de rétention des composants du stockage vis-à-vis de l'uranium et des autres substances contenues dans les déchets, en tenant compte des incertitudes sur la nature chimique des matériaux.**

4 CARACTERISTIQUES DES FORMATIONS EXPLORÉES

4.1 Performance des formations hôtes ciblées

AREVA NC a réalisé deux profils sismiques ainsi que deux sondages carottés d'une centaine de mètres de profondeur chacun (SC1 et SC2, cf. annexe 3 au présent avis) dans le but de préciser les caractéristiques minéralogique, physique et texturale des séries de l'Oligocène ainsi que la structure des terrains jusqu'à la couche du Jurassique située sous ces séries. AREVA NC a précisé au cours de l'instruction que ces investigations ont permis d'aboutir à une définition précise des séries oligocènes, qui présentent des épaisseurs pouvant aller jusqu'à 300 mètres, ainsi qu'à un modèle structural local, présenté en annexe 2 au présent avis. AREVA NC conclut de ces études que la série rouge est une marne silteuse globalement homogène contenant des passées sableuses à conglomératiques et que la série grise est une marne silteuse hétérogène à intercalation de bancs de gypse et de dolomie. L'IRSN observe que les perméabilités mesurées dans la série rouge sont comprises entre 10^{-8} et 10^{-5} m/s suivant les horizons sableux et atteignent environ 10^{-6} m/s dans les niveaux conglomératiques. Dans la série grise, les perméabilités mesurées sont comprises entre $1,5 \cdot 10^{-3}$ m/s, dans les niveaux superficiels fracturés, et $3,7 \cdot 10^{-6}$ m/s. L'IRSN souligne que ces premiers résultats constituent des avancées dans la connaissance des formations susceptibles d'accueillir un stockage mais observe les points suivants.

En premier lieu, les valeurs de perméabilité présentées paraissent élevées eu égard à la lithologie des formations ciblées, en particulier pour ce qui concerne la série grise. Ces valeurs élevées pourraient s'expliquer par la proximité des failles normales de bordure à l'ouest et paraissent *a priori* peu favorables à la limitation de la dissémination des substances stockées. Pour ce qui concerne la série rouge, les valeurs mesurées semblent plus basses, rendant compte d'un secteur moins perméable et mieux placé par rapport aux failles bordières du socle. Mais, en tout état de cause, **l'IRSN estime que ces résultats établis sur la base de deux forages ne peuvent pas être considérés à ce stade comme représentatifs des propriétés hydrauliques « en grand » des séries oligocènes, compte tenu notamment de leur caractère hétérogène. A cet égard, l'IRSN indique qu'AREVA NC a précisé au cours de l'instruction qu'une étude hydrogéologique (cf. chapitre 4) a débuté dont l'objectif est d'en déduire une gamme de mesures de perméabilité représentatives, ce qui est satisfaisant.**

En second lieu, AREVA NC a indiqué au cours de l'instruction que les discontinuités observées sur les profils sismiques de 2014 dans la série grise de l'Oligocène et dans le Jurassique sous-jacent sont scellées par les niveaux supérieurs de la série rouge de l'Oligocène. AREVA NC précise que les structures tectoniques reconnues au niveau du bassin de régulation ciblé pour accueillir les déchets historiques de Malvézi, n'ont pas été identifiées en surface. **L'IRSN ne dispose pas de suffisamment d'éléments à ce stade pour porter un jugement sur les interprétations faites par AREVA NC sur la nature des structures et estime que celles-ci doivent être confirmées par des études complémentaires.** A cet égard, AREVA NC a indiqué au cours de l'instruction que des forages complémentaires seront réalisés afin de préciser la connaissance sur la variabilité et les hétérogénéités de la série grise de l'Oligocène, notamment en identifiant la présence éventuelle de karsts dans cette série. **Cette amélioration de connaissance est nécessaire en particulier afin de mieux discriminer les deux sites étudiés, notamment du point de vue des conséquences de ces hétérogénéités sur la migration des substances stockées et sur la stabilité du site sur le long terme compte tenu des possibles évolutions géodynamiques.**

S'agissant des propriétés géochimiques des séries oligocènes, AREVA NC estime que celles-ci devront permettre de retarder le transfert des radionucléides grâce aux argiles de ces séries favorisant la sorption des radionucléides et à des conditions oxydo-réductrices aptes à immobiliser ces radionucléides. En outre, AREVA NC a présenté au cours de l'instruction les résultats d'expérimentations en laboratoire qui permettent d'apprécier la capacité de rétention des radionucléides dans les séries oligocènes. L'IRSN note en particulier que les isotopes de l'uranium présentent un coefficient de rétention (Kd) compris entre 0,04 et 0,56 m³/kg, traduisant une faible rétention, et ceux du thorium présentent un Kd compris entre 66 et 200 m³/kg, ce qui se traduit par une très faible mobilité de ce radionucléide. Les teneurs en argile des séries oligocènes pourraient s'avérer relativement importantes (50 à 60 % d'illite et kaolinite pour la série rouge et 15 à 80 % pour la série grise beaucoup plus hétérogène), ce qui va dans le sens de propriétés de sorption favorables pour les autres radionucléides. Toutefois, l'IRSN rappelle que la capacité des séries oligocènes à retarder la migration des radionucléides, notamment des isotopes de l'uranium, dépendra fortement de la forme chimique des radionucléides dans les déchets lors de leur stockage. En effet, l'oxydation des boues lors de leur reprise dans l'INB ECRIN et la présence significative de nitrates (>70 g/kg) et de fluorures pourraient amoindrir les propriétés de rétention de la formation hôte du stockage, notamment vis-à-vis du ²³⁰Th, qui constitue environ la moitié de l'inventaire radiologique total actuel. Par ailleurs, l'IRSN rappelle que les déchets, en particulier les boues des bassins de décantation, contiennent des radionucléides autres que l'uranium et le thorium (⁹⁹Tc, ²⁴¹Am, isotopes du plutonium) pour lesquels il convient également d'estimer les propriétés de rétention des formations Oligocènes en tenant compte de la présence des substances chimiques pour leur influence sur la mobilité des radionucléides et leur impact chimique potentiel.

Ainsi, l'IRSN recommande qu'AREVA NC complète son étude de faisabilité en présentant une analyse de la capacité de rétention des formations ciblées vis-à-vis de l'ensemble des radionucléides d'intérêt en tenant compte de la présence des substances chimiques apportées par les déchets et par les composants ouvrages.

4.2 Caractéristiques hydrogéologiques locales et évaluations des transferts

AREVA NC rappelle que le système hydrogéologique du site de Malvési est constitué par une nappe libre localisée dans les alluvions superficielles et un aquifère karstique développé au sein des formations calcaires du Jurassique sous-jacentes aux séries oligocènes. AREVA NC indique que la source karstique de l'Oeillal, localisée à proximité du site de Malvési, constitue un exutoire pour cet aquifère. Pour AREVA NC, les analyses hydrogéochimiques et isotopiques effectuées dans les forages et dans la source de l'Oeillal indiquent que les échanges entre le Jurassique, les séries oligocènes et les alluvions superficielles sont relativement limités, sauf à proximité de la source de l'Oeillal.

L'IRSN constate que le système hydrogéologique du site de Malvési est relativement complexe et estime que les premiers résultats obtenus par l'exploitant concernant les faibles échanges entre les formations hôtes et les aquifères méritent d'être confirmés, notamment au niveau des hétérogénéités qui traversent les calcaires du Jurassique et la série grise de l'Oligocène, pour se sceller selon AREVA dans la série rouge (cf. supra). Les études hydrogéologiques prévues en 2016 et 2017, basées sur des essais de pompage, des dispositifs de traçage et des suivis piézométriques, devraient permettre d'améliorer la connaissance concernant les échanges entre les séries oligocènes, la nappe superficielle et l'aquifère profond. En outre, l'IRSN note que l'analyse d'AREVA NC reste à ce

jour, comme en 2011, essentiellement qualitative et qu'elle ne présente pas les caractéristiques hydrauliques retenues pour les formations géologiques dans l'évaluation des transferts, notamment au niveau de la source de l'Oeillal, qui met en relation l'aquifère profond avec les eaux superficielles. En effet, cette source distante de quelques centaines de mètres des zones investiguées pour le stockage des déchets historiques de Malvési (cf. annexe 4 au présent avis) alimente le canal du Tauran qui pourrait constituer un exutoire pour les substances stockées à faible profondeur. Ce canal, vers lequel les rejets contrôlés de l'usine de Malvési sont actuellement dirigés, est utilisé pour l'irrigation agricole par captage et se déverse quelques centaines de mètres plus loin dans le canal de la Robine, inscrit sur la liste du patrimoine de l'UNESCO, et traversant Narbonne.

L'IRSN note qu'AREVA NC a procédé à l'évaluation des transferts pour les différentes options de stockage retenues en utilisant une modélisation couplant le transport des substances (écoulement, sorption) et les conditions géochimiques intégrant les minéraux impliqués dans la solubilité des substances. L'IRSN estime que cette modélisation est à ce stade trop simplifiée pour pouvoir interpréter avec suffisamment de confiance les résultats. L'IRSN souligne la nécessité de construire un modèle hydrogéologique détaillé dont les paramètres et hypothèses doivent être documentés et justifiés afin d'en évaluer le bien-fondé vis-à-vis de la gestion des incertitudes associées au système hydrogéologique. En particulier, il conviendra de préciser les mécanismes régissant les écoulements au niveau de la source de l'Oeillal. Sans ces éléments, il n'est pas possible d'évaluer le possible impact d'un stockage.

Aussi, l'IRSN recommande qu'AREVA NC complète son étude de faisabilité en (i) confirmant les faibles échanges entre les différentes couches géologiques à leurs interfaces, notamment aux niveaux des hétérogénéités les traversant, (ii) précisant les propriétés hydrauliques des couches géologiques de l'oligocène et du jurassique et (iii) présentant un modèle hydrogéologique qui permette d'évaluer les vitesses d'écoulement dans les aquifères et les séries oligocènes et de préciser les possibles exutoires des substances stockées, pour chacune des options de stockage qui seront retenues et en tenant compte des incertitudes associées à ces différents éléments.

L'évaluation de l'impact chimique et radiologique des substances stockées devra alors s'appuyer sur les connaissances acquises grâce à ces études ainsi que sur celles relatives aux propriétés de rétention des déchets, des composants ouvragés et des formations ciblées vis-à-vis des substances stockées.

4.3 Evolution géodynamique et aléas naturels

L'IRSN rappelle que la note ASN d'orientations générales de sûreté en vue d'une recherche de site pour le stockage de déchets FA-VL préconise de retenir, pour l'évaluation de sûreté du stockage, des situations résultant d'évènements naturels probables ou d'intensité exceptionnelle. Un risque majeur à considérer concerne la détérioration des composants ouvragés, et particulièrement de la couverture au regard de sa fonction visant à limiter les infiltrations d'eau et les effets d'une intrusion humaine. **L'IRSN recommande qu'AREVA NC complète son étude de faisabilité en évaluant l'influence des phénomènes régionaux d'érosion et d'aléas sismique et climatique (en particulier lié à l'inondation compte tenu de la présence proche de l'Aude, du ruissellement issu des petits bassins versants, des pluies locales et de la remontée de nappe) sur les composants ouvragés. A cet égard, AREVA NC a indiqué au cours de l'instruction que des études seront lancées en 2017 pour réaliser un état de l'art des connaissances actuelles concernant l'évolution géologique et géomorphologique de la région**

drainée par le bassin versant de l'Aude. S'agissant des sollicitations liées à un séisme, le niveau d'activité sismique retenu sera défini en tenant compte du contexte géodynamique local et régional. A cet égard, les effets de sites particuliers, compte tenu des propriétés des couches alluviale et marneuse, devront être considérés le cas échéant. S'agissant de la définition de sollicitations sismiques devant être considérées pour dimensionner le stockage, la note précitée mentionne que le séisme maximal retenu pour établir la situation de référence sera défini en considérant la période durant laquelle les propriétés de confinement de l'installation de stockage doivent être maintenues. L'IRSN rappelle que les déchets devant être stockés sont caractérisés par une nocivité relativement faible mais qui ne diminuera pas significativement dans le temps étant donné leur contenu en radionucléides à vie longue. Aussi, même si cette nocivité justifie la recherche d'une solution de stockage relativement simple en termes de conception des barrières, la fonction d'isolement devra néanmoins reposer sur des propriétés de confinement aussi passives que possible. A cet égard, la surveillance et l'entretien de la couverture ne peuvent être imposés sans limite de temps, ce qui nécessite d'évaluer la robustesse de leur conception en tenant compte de leur vieillissement et des effets postulés des aléas précités. Le choix des niveaux d'aléas résultera donc d'une analyse visant à définir une période durant laquelle les propriétés de confinement des barrières ouvragées seront progressivement dégradées jusqu'à considérer qu'elles ne contribuent plus que marginalement à la sûreté passive du stockage. **L'IRSN estime que cette approche méthodologique pourrait faire l'objet d'échanges au sein du groupe de travail que l'ASN envisage de réunir afin de proposer une mise à jour de la note ASN d'orientations générales de sûreté en vue d'une recherche de site pour le stockage de déchets FA-VL.**

4.4 Ressources naturelles

Outre la source de l'Oeillal (cf. *supra*), AREVA NC indique que les calcaires du Jurassique sont exploités pour l'alimentation en eau en amont hydraulique de l'actuel site AREVA NC de Malvési (cf. Annexe 4 au présent avis). L'IRSN constate que ces pompages d'alimentation en eau se situent également en amont des zones investiguées pour le stockage de déchets. Toutefois, l'IRSN estime que, dans l'hypothèse où la mémoire du stockage serait perdue, il n'est pas possible d'exclure que ces calcaires soient exploités en aval hydraulique des zones investiguées, voire à l'aplomb de celles-ci, compte tenu d'une part des activités de cultures aux abords du site de Malvési, d'autre part de la proximité de l'agglomération narbonnaise. **Aussi, l'IRSN recommande qu'AREVA NC complète son étude de faisabilité en évaluant l'impact chimique et radiologique du pompage des eaux dans les calcaires du Jurassique dans le panache des substances relâchées par le stockage. Sans préjuger des résultats de ces estimations, et au-delà du respect des objectifs de protection de la population et de l'environnement, dont la démonstration est incontournable, l'IRSN estime nécessaire que la conception du stockage vise également à prévenir un marquage des eaux tel qu'il puisse être préjudiciable à l'exploitation de cette ressource, notamment à des fins de consommation d'eau.**

En outre, l'IRSN rappelle que le site de Malvési avait été exploité au début du vingtième siècle pour ses ressources naturelles en soufre. Or, les carottages effectués par AREVA NC confirment la présence de soufre dans la série grise de l'Oligocène. **Ces ressources potentielles en soufre doivent être évaluées afin d'en apprécier l'éventuel caractère exceptionnel au regard d'autres sites exploitables en France. Le cas échéant, l'exploitation possible de ces ressources devra être prise en compte dans la stratégie d'implantation du stockage.**

Aussi, l'IRSN recommande qu'AREVA NC complète son étude de faisabilité en justifiant l'implantation du stockage au regard des ressources naturelles potentielles à proximité.

5 CALENDRIER

Dans le rapport d'avancement examiné, AREVA NC présente le calendrier des quatre grandes thématiques de recherche : (i) la géologie et l'hydrogéologie (début 2013 à fin 2016), (ii) l'évolution climatique et la géodynamique (début 2015 à fin 2016), (iii) le traitement et le conditionnement des déchets (début 2014 à fin 2015) et la conception du stockage (début 2015 à fin 2017). Ces thématiques permettent d'alimenter une cinquième thématique menée en parallèle : la modélisation des scénarios de stockage. AREVA précise, dans ce rapport, que la sélection d'une option de stockage et les études de faisabilité seront présentées fin 2017. L'IRSN constate que les études précitées sont en cours et conformément aux divers commentaires et recommandations du présent avis nécessitent de nombreux compléments. En particulier, la définition des études portant sur la conception du stockage (performance de la couverture, performance des barrières) et le développement d'un modèle hydrogéologique reste à réaliser. **L'IRSN recommande qu'AREVA NC transmette au plus tôt un nouveau calendrier donnant une meilleure visibilité sur les échéances auxquelles les études pourront être complétées et la faisabilité du stockage sera présentée.** S'agissant de l'impact possible de ce calendrier sur la gestion des déchets qui seront produits à partir de janvier 2019, l'IRSN n'identifie pas à ce stade de difficulté majeure dans la mesure où d'ores et déjà AREVA NC aura la possibilité d'entreposer les déchets FA-VL qui seront produits dans des casiers mis en place sur la partie ICPE du massif accueillant l'INB ECRIN.

Il apparaît toutefois important que la consolidation de ce calendrier et le planning des études dont l'Andra a la responsabilité pour la recherche d'un site et la conception d'un stockage pour gérer les déchets FA-VL soient compatibles afin de permettre d'envisager, le cas échéant, une solution globale optimisée pour la gestion des déchets historiques et à produire.

6 CONCLUSION

Dans l'objectif de stocker les déchets dits historiques entreposés dans l'INB ECRIN ainsi que les stériles et résidus miniers contaminés, présents sous les bassins de décantation, AREVA NC privilégie la recherche d'un site de stockage à proximité du lieu de production et d'entreposage de ces déchets. A ce stade des études, AREVA NC envisage par ailleurs le transfert des résidus solides issus du traitement des nitrates vers le Cires. Sur ce dernier point, compte tenu d'une part des volumes concernés et des contraintes liées à la capacité radiologique de ce centre, d'autre part du risque lié à l'exposition au radon, les résidus solides issus du traitement des nitrates devraient être inclus dans la réflexion sur la recherche d'un site de stockage des déchets historiques de Malvési au titre d'une démarche globale de gestion des risques liés aux déchets radifères.

En vue de démontrer la faisabilité d'un stockage à faible profondeur dans les environs du site de Malvési, AREVA NC a réalisé un ensemble d'études portant sur la caractérisation des déchets ainsi que sur les caractéristiques du site investigué. A cet égard, l'IRSN estime que les connaissances actuelles des hétérogénéités et des propriétés hydrauliques des formations explorées n'apportent pas suffisamment de garantie quant au respect des critères fondamentaux de choix de site tels qu'énoncés dans la note ASN d'orientations générales de sûreté en vue d'une recherche de site pour le stockage de déchets FA-VL. En outre, les eaux issues de la source de l'Oeillal et des calcaires du Jurassique, déjà exploités et qui pourraient être sous influence du site de stockage, sont des vecteurs d'exposition potentielle de la population et de l'environnement. En complément des études en cours et planifiées par AREVA NC, l'IRSN considère donc qu'il reste des éléments importants à apporter pour démontrer la capacité de l'installation de stockage à retenir les substances stockées, notamment sur les échelles de temps longues liées à la nature des substances radioactives. Le calendrier du projet visant à démontrer la faisabilité d'une installation de stockage devra en conséquence être révisé pour intégrer l'ensemble de ces études. Ces compléments, rappelés en annexe 1 au présent avis, visent en particulier les éléments de conception du stockage et la modélisation du système hydrogéologique. Aussi, sur la base des éléments examinés, il n'est pas possible de statuer sur le bien-fondé des concepts étudiés au regard de la maîtrise de l'impact du stockage sur l'homme et sur l'environnement.

Par ailleurs, l'IRSN estime que l'approche méthodologique visant à définir les aléas sismique et inondation pourrait faire l'objet d'échanges au sein du groupe de travail que l'ASN envisage de réunir afin de proposer une mise à jour de la note ASN d'orientations générales de sûreté en vue d'une recherche de site pour le stockage de déchets FA-VL.

Enfin, l'IRSN rappelle qu'en parallèle des études menées par AREVA NC, l'Andra est en charge de la recherche d'un site pour implanter un stockage de déchets de la catégorie FA-VL, comprenant notamment des déchets de type radifères/uranifères de diverses origines ainsi que les déchets à produire par l'usine de Malvési à partir de 2019. Compte tenu des difficultés rencontrées par l'Andra pour trouver un site permettant d'accueillir l'ensemble des déchets FA-VL, le PNGMDR 2016-2018 demande notamment à l'Andra d'intégrer dans sa stratégie de gestion un autre site à rechercher pour accueillir les déchets qui ne pourraient pas être stockés dans le site de Soulaines. Aussi, compte tenu d'une part de cette demande, d'autre part du fait que les déchets à produire ne constitueront environ que 10 % du volume des déchets historiques, l'IRSN estime qu'il serait pertinent de poursuivre, en cohérence avec la démarche d'optimisation de l'Andra, les études actuelles d'AREVA NC en incluant les déchets à produire.

Pour le directeur général, par délégation

Christophe Serres

Annexe 1 à l'Avis IRSN/2017-00097 du 29 mars 2017

Recommandations

L'IRSN recommande qu'au titre d'une démarche globale de gestion des risques liés aux déchets radifères, les résidus solides issus du traitement des nitrates soient inclus dans la réflexion sur la recherche d'un site de stockage des déchets historiques de Malvési. Dans l'attente, un entreposage de ces déchets produits à partir de 2019 pourrait être envisagé sur le site de Malvési.

L'IRSN recommande que les déchets divers présents sous le bassin B3 soient intégrés par AREVA NC dans le programme actuel de recherche d'une solution de gestion des déchets historiques.

L'IRSN recommande qu'AREVA NC transmette au plus tôt un nouveau calendrier donnant une meilleure visibilité sur les échéances auxquelles les études pourront être complétées et la faisabilité du stockage sera présentée.

L'IRSN recommande qu'AREVA NC complète son étude de faisabilité en :

- précisant l'inventaire et la nature physico-chimique des déchets divers mélangés à de la terre inerte présents sous le bassin B3 ;
- précisant le protocole de mesure qui sera mis en œuvre pour distinguer les stériles miniers relevant d'une gestion en tant que déchets historiques de ceux pouvant être utilisés comme matériaux de couverture ;
- en présentant :
 - o les exigences de performances pour les différents composants du stockage (incluant les durées visées) ;
 - o des éléments probants montrant que les matériaux retenus pour constituer la couverture des stockages ainsi que leur mise en œuvre permettront d'atteindre les performances visées vis-à-vis des risques liés à la dissémination des substances stockées ;
 - o des concepts de stockage dont la profondeur d'implantation et la garde entre la surface et les premiers ouvrages (soit *a minima* plusieurs dizaines de mètres) permettent de considérer que les meilleurs efforts auront été faits pour retarder l'atteinte des déchets par des travaux d'intrusion banale ;

- en présentant les conditions de reprise, de transfert et de stockage des déchets et évalue les propriétés de rétention des composants du stockage vis-à-vis de l'uranium et des autres substances contenues dans les déchets, en tenant compte des incertitudes sur leur nature chimique;
- présentant une analyse de la capacité de rétention des formations ciblées vis-à-vis de l'ensemble des radionucléides d'intérêt en tenant compte de la présence des substances chimiques apportées par les déchets et par les composants ouvragés ;
- confirmant les faibles échanges entre les différentes couches géologiques à leurs interfaces, notamment aux niveaux des hétérogénéités les traversant, (ii) précisant les propriétés hydrauliques des couches géologiques de l'oligocène et du jurassique et (iii) présentant un modèle hydrogéologique qui permette d'évaluer les vitesses d'écoulement dans les aquifères et les séries oligocènes et de préciser les possibles exutoires des substances stockées, pour chacune des options de stockage qui seront retenues et en tenant compte des incertitudes associées à ces différents éléments ;
- évaluant l'influence des phénomènes régionaux d'érosion et d'aléas sismique et climatique (en particulier lié à l'inondation compte tenu de la présence proche de l'Aude, du ruissellement issu des petits bassins versants, des pluies locales et de la remontée de nappe) sur les composants ouvragés ;
- évaluant l'impact chimique et radiologique du pompage des eaux dans les calcaires du Jurassique dans le panache des substances relâchées par le stockage ;
- justifiant l'implantation du stockage au regard des ressources naturelles potentielles à proximité.

Annexe 2 à l'Avis IRSN/2017-00097 du 29 mars 2017

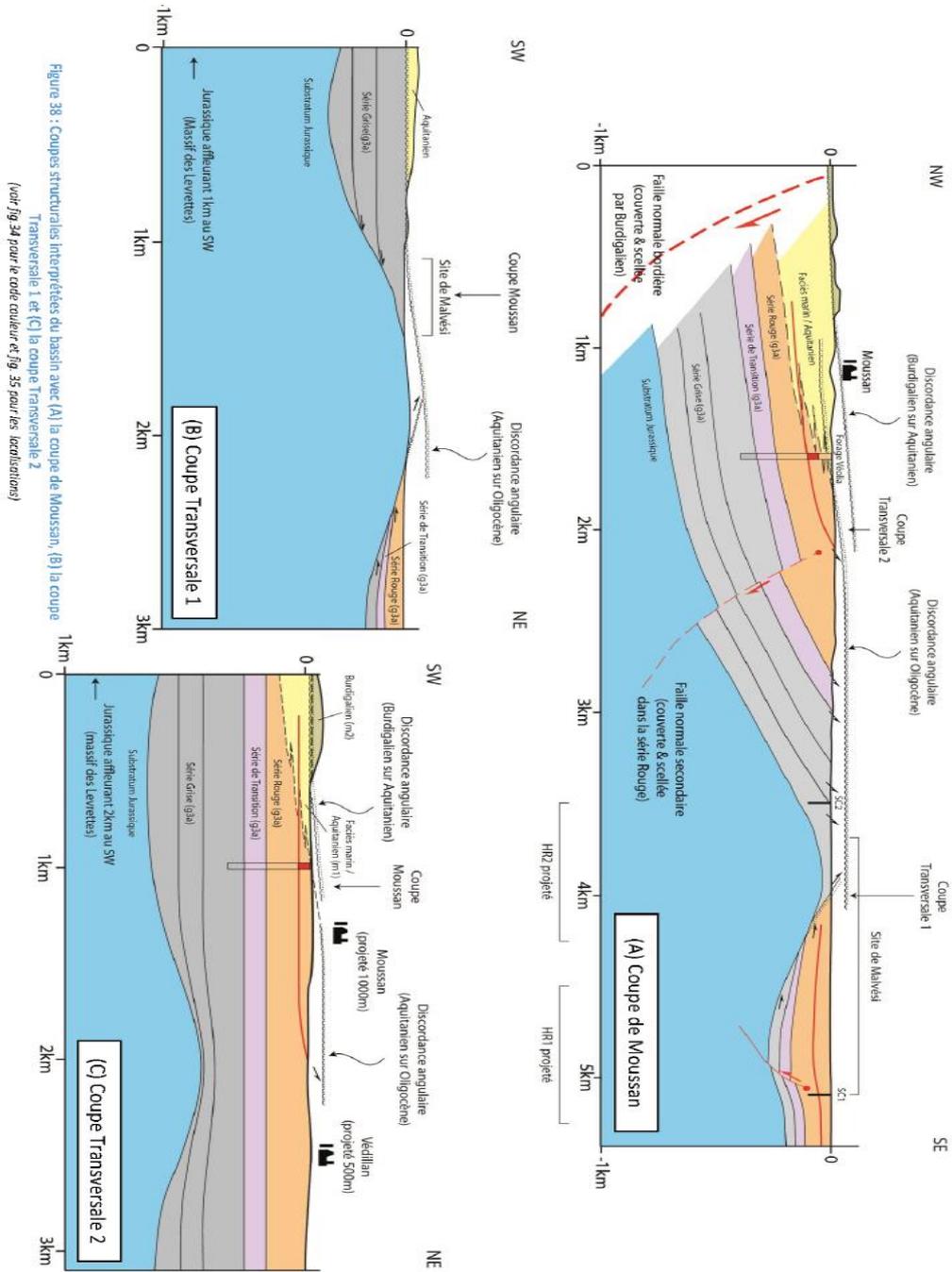


Figure 1. Coupes structurales du site de Malvesi (figure transmise par AREVA NC au cours de l’instruction)

Annexe 3 à l'Avis IRSN/2017-00097 du 29 mars 2017

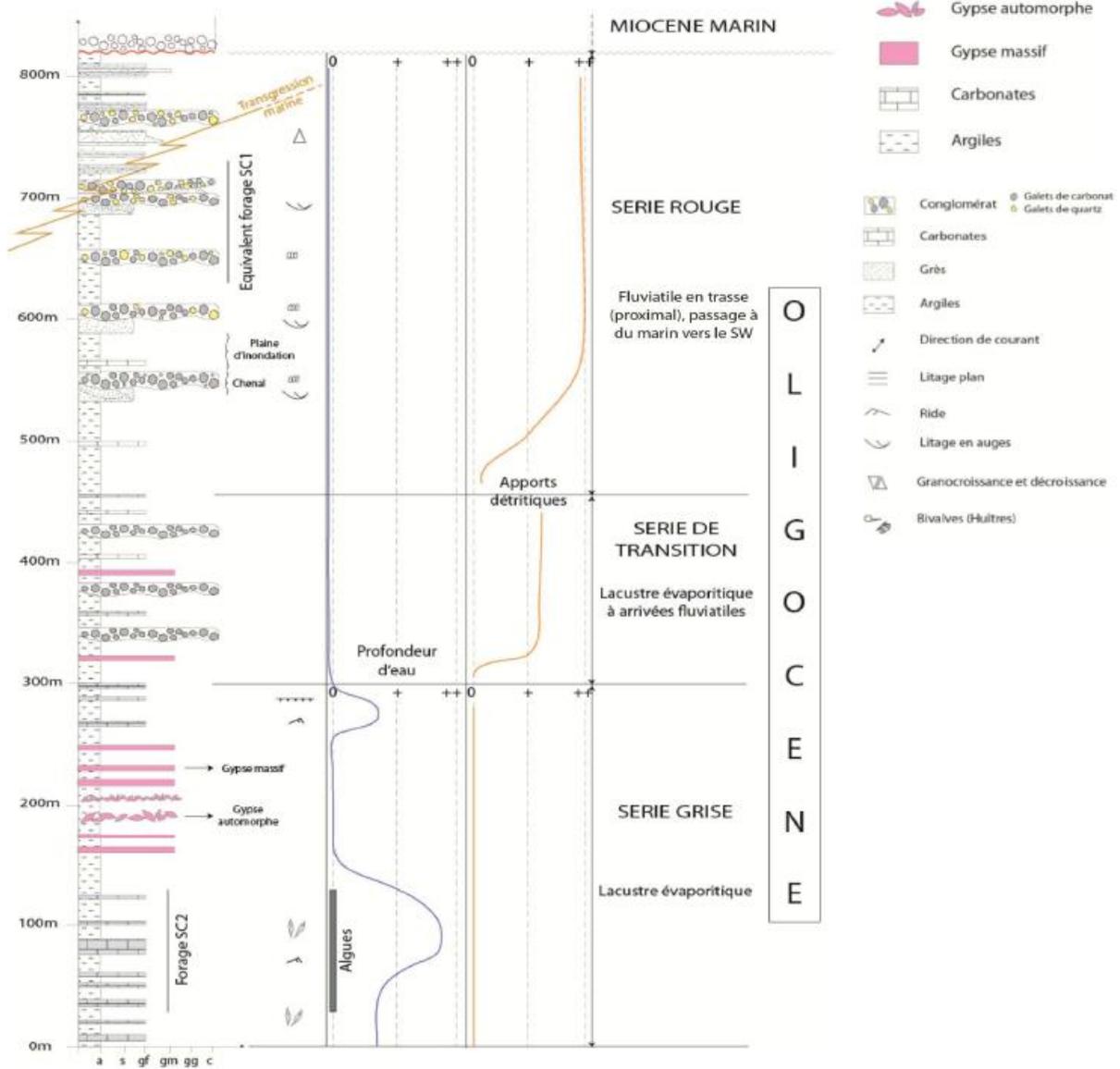


Figure 2. Log sédimentologique synthétique global du site de Malvési (figure transmise par AREVA NC au cours de l'instruction)

Annexe 4 à l'Avis IRSN/2017-00097 du 29 mars 2017

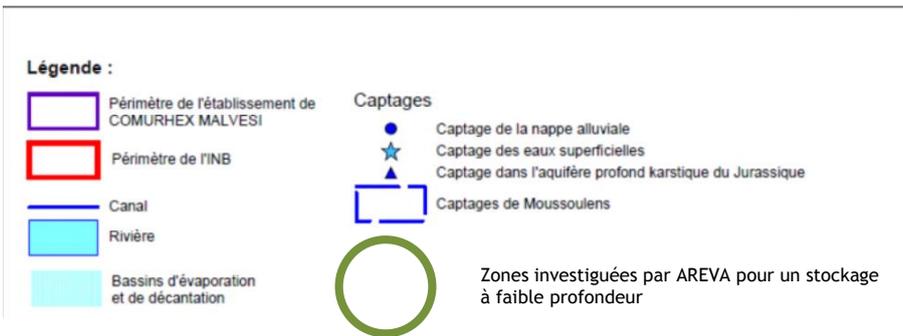
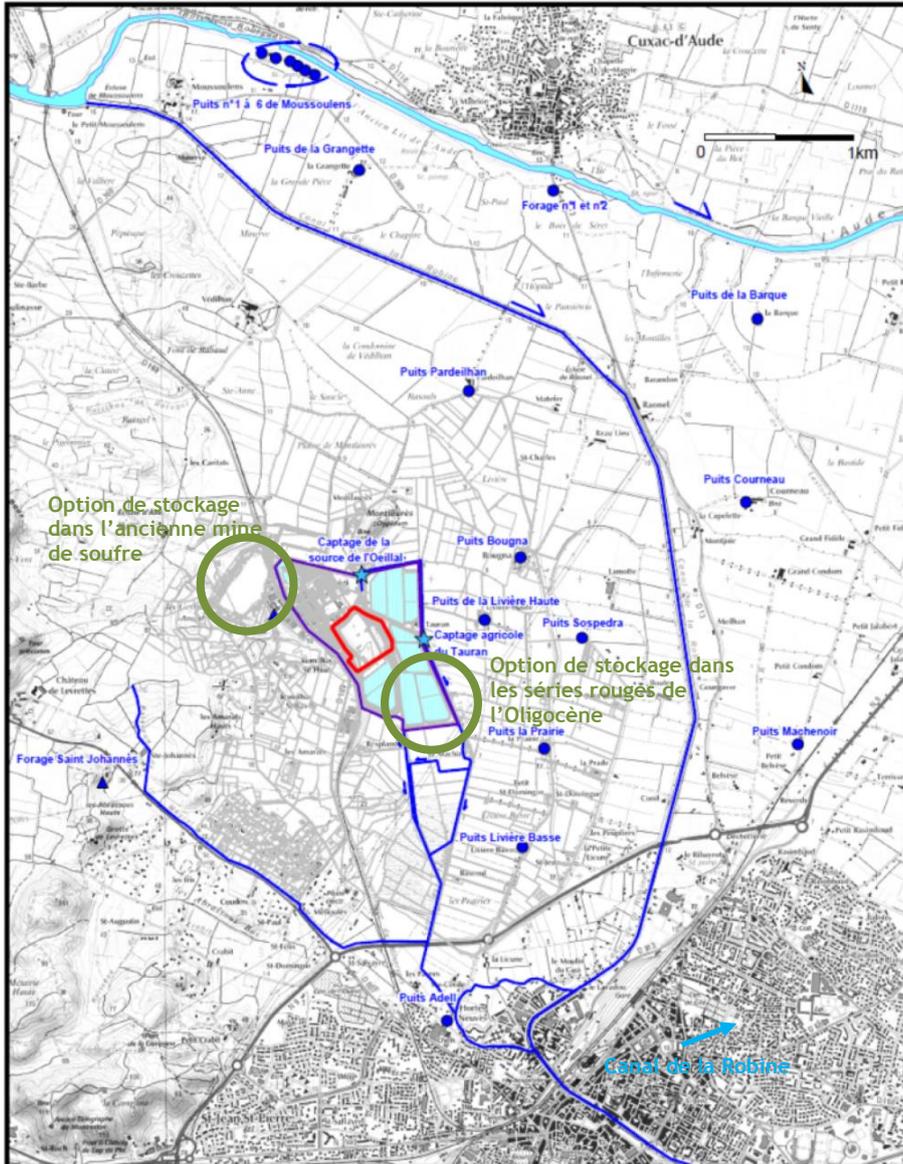


Figure 3. Points de captage à proximité du site de Malvesi (figure tirée du rapport de sûreté de l'INB ECRIN modifiée pour faire apparaître les zones investiguées pour un stockage à faible profondeur)