

Fontenay-aux-Roses, le 26 octobre 2023

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

## AVIS IRSN N° 2023-00157

---

**Objet :** Orano CE – INB n°175 - ECRIN  
**Gestion définitive des déchets de l'INB n°175 ECRIN - Rapport d'avancement des études et investigations 2015-2020 afin d'évaluer la faisabilité des options de stockage**

---

**Réf. :** Lettre ASN CODEP-DRC-2022-032843 du 16 août 2022

---

En application de l'article 7 du décret du 20 juillet 2015 l'autorisant à créer et exploiter l'INB n° 175 ECRIN sur le site de Malvési et en cohérence avec la lettre de l'ASN du 2 septembre 2019 relative aux études PNGMDR, Orano mène des études et investigations afin d'évaluer la faisabilité des options de stockage envisagées pour les déchets radioactifs produits avant le 1<sup>er</sup> janvier 2019 par les activités industrielles du site de Malvési (Aude) et établit, tous les cinq ans et jusqu'à la mise à l'arrêt définitif de l'installation ECRIN, un bilan des résultats obtenus.

Orano a transmis le 21 février 2021 un dossier présentant l'avancement des études et investigations réalisées depuis 2015 (ci-après nommé « dossier d'étape 2020 »), qui s'inscrit dans la continuité d'études remises en 2011 et en 2014, à la suite desquelles l'ASN avait formulé, le 2 septembre 2019, des demandes à Orano. Ce dossier d'étape 2020, qu'Orano positionne à un stade dit de « pré-faisabilité », présente l'avancement des études liées à la caractérisation, à l'inventaire et au traitement des déchets ainsi qu'à la caractérisation du site de Malvési et de son environnement immédiat, aux options de stockage étudiées et à l'évaluation des performances de tels stockages. Selon le calendrier prévu par Orano, les études se poursuivront jusqu'à la remise d'une étude de faisabilité, prévue en 2030, puis d'un avant-projet sommaire en 2035, l'avant-projet détaillé et le démarrage de la construction du stockage étant envisagés pour 2040, en vue d'une reprise des déchets et d'un démantèlement en 2045.

Par lettre citée en référence, vous demandez l'avis de l'IRSN sur le dossier d'étape 2020. Vous demandez notamment que soient examinés la suffisance et le caractère satisfaisant des données d'entrée (inventaire et caractéristiques des déchets, données géologiques et hydrogéologiques...), le caractère favorable du site et des formations géologiques étudiées pour accueillir le stockage en termes de capacité à limiter la dissémination des substances radioactives et chimiques ainsi que le programme d'investigations nécessaire pour évaluer la faisabilité du stockage.

Bien que le dossier examiné aborde l'ensemble des sujets relatifs aux demandes de l'ASN formulées en 2019, il ne vise pas, compte tenu de la nature des investigations qu'elles sous-tendent et du calendrier précité, à répondre de manière exhaustive à ces demandes. Aussi, la présente expertise de l'IRSN, qui complète son avis

de 2017 sur le dossier présenté par Orano en 2014, se focalise sur les principaux éléments nouveaux présentés dans le dossier d'étape 2020, sans préjuger des premiers résultats des autres études en cours dont le bilan sera présenté dans les futurs rapports d'étape.

## 1. INVENTAIRE ET CARACTERISATION DES DECHETS

Le dossier d'étape 2020 traite, conformément à l'article 7 du décret du 20 juillet 2015 et à la lettre de l'ASN du 2 septembre 2019 précités, de la gestion définitive des déchets entreposés dans l'INB ECRIN (cf. Figure 1 en annexe au présent avis) et prend en compte l'inventaire suivant :

- les déchets historiques, d'un volume de 331 000 m<sup>3</sup>, constitués principalement par les résidus de traitement de la conversion de l'uranium (RTCU) produits avant le 1<sup>er</sup> janvier 2019, entreposés sous formes de boues dans les anciens bassins de décantation B1 et B2, par les terres et matériaux de carrière mélangés à ces déchets, par les matériaux de carrière utilisés pour réaliser une couverture sur ces déchets, ainsi que par la partie historique des boues de décantation contenues dans les bassins B5 et B6, destinées à être reprises au sein d'une alvéole dénommée PERLE de 27 000 m<sup>3</sup> créée dans le périmètre de l'INB ECRIN ;
- les stériles et résidus miniers de l'ancienne mine de soufre, présents sous les bassins B1 et B2, potentiellement contaminés par l'exploitation passée de ceux-ci (appelés « stériles miniers contaminés » dans le présent avis), dont le volume est estimé à ce stade par Orano à 300 000 m<sup>3</sup>.

Les analyses radiologiques et chimiques des différentes familles de déchets historiques présentées en 2011 et 2014 par Orano indiquent des activités massiques totales de l'ordre de quelques centaines de Bq/g dans les boues entreposées dans les bassins B1 et B2, les principaux contributeurs à ces activités étant les isotopes naturels de l'uranium et du thorium. Les radionucléides artificiels, pour l'essentiel des isotopes du plutonium, représentent environ 1 % de l'activité totale dans les boues des bassins B1 et B2. Les autres déchets composant l'inventaire sont également marqués en <sup>238</sup>U et en <sup>230</sup>Th, de l'ordre de quelques Bq/g à quelques centaines de Bq/g. Les substances chimiques contenues sont pour l'essentiel des nitrates (ensemble des déchets), des sulfates et des métaux (boues des bassins B1 et B2).

Le rapport d'étape 2020 présente des analyses supplémentaires réalisées sur des échantillons prélevés dans les différentes composantes du massif (sol de couverture, mélange sols et boues, boues et résidus miniers) au niveau des bassins B1 et B2. Ces analyses, qui confirment les ordres de grandeur des caractéristiques radiologiques et chimiques globales mentionnées ci-avant, montrent que la radioactivité est majoritairement associée aux particules fines, d'un diamètre inférieur à 80 µm. Sur cette base, Orano indique qu'un déclassement en déchets TFA (activité massique inférieure à 100 Bq/g) d'une fraction importante de ces déchets pourrait être envisagé. L'IRSN convient que les données acquises montrent que des composantes du massif ou des fractions granulométriques de composantes présentent des activités massiques inférieures à 100 Bq/g. Sous réserve de la confirmation de la représentativité de cette étude granulométrique et selon sa propre analyse des résultats présentés, qui tient compte de la remise en équilibre du <sup>230</sup>Th et de ses descendants, l'IRSN estime qu'environ un tiers du volume des déchets historiques pourrait être concerné. Au regard des gains potentiels qui pourraient être obtenus en termes de réduction du volume de déchets à prendre en compte pour la conception d'un stockage de déchets FA-VL sur le site de Malvézi, **l'IRSN estime que la stratégie d'Orano visant d'une part à consolider la représentativité des résultats obtenus dans le cadre de cette première étude granulométrique et d'autre part, à établir la faisabilité d'une méthode de tri granulométrique à une échelle industrielle des déchets entreposés dans l'INB ECRIN, est pertinente.**

## 2. SITE DE MALVESI ET SON ENVIRONNEMENT

Pour les déchets dits « historiques » entreposés dans l'INB ECRIN ainsi que pour les stériles et résidus miniers contaminés situés sous les bassins de décantation, Orano privilégie un stockage situé à proximité du site de Malvési. Aussi, le dossier d'étape 2020 rappelle les connaissances acquises sur le site de Malvési et son environnement immédiat lors d'observations de terrain, de campagnes de géophysique et d'investigations en forages réalisées avant 2014, existantes dans la littérature ou provenant d'investigations conduites par Orano, et synthétise les compléments apportés par six nouveaux forages réalisés en 2017 et 2018 par Orano.

Les connaissances acquises avant ces nouveaux forages ont permis d'établir que le site de Malvési est situé dans un bassin qui s'est déposé lors de l'ouverture du Golfe du Lion à partir de l'Oligocène, sur les calcaires du Jurassique (cf. Figure 2 en annexe au présent avis). Ces calcaires abritent un aquifère karstique exploité pour l'irrigation et l'eau potable. Les couches de l'Oligocène sus-jacentes, peu perméables, sont essentiellement constituées d'une "Série grise" (OG) et d'une "Série rouge" (OR), étudiées comme roches hôtes potentielles pour accueillir l'installation de stockage des déchets. Ces formations constituent la base d'une nappe libre développée au sein des alluvions récentes du Quaternaire et drainée par l'Aude. Le secteur de Malvési est composé de deux sous-bassins versants, « nord-ouest » et « sud-est », séparés par le dôme du Mont Laurès. La faille au sud-est du dôme du Mont Laurès borde le sous-bassin sud-est, sur lequel est implantée la majeure partie du site. Cette faille traverse le site de Malvési et met en contact, avec un rejet vertical de l'ordre de 200m, l'OG sub-affleurant à l'ouest avec l'OR sub-affleurant à l'est. Le sous-bassin nord-ouest est bordé par une autre faille majeure (non visible en surface) et coupé en dominos par de plus petites failles, dont certaines, présentant jusqu'à plusieurs dizaines de mètres de rejet, ont été reconnues sur le site de Malvési au niveau du bassin de rétention (ancienne mine de soufre à ciel ouvert située au nord-ouest du site).

Les six nouveaux forages réalisés en 2017 et 2018, dont trois dans l'OG (deux d'entre eux atteignant les calcaires sous-jacents) et trois dans l'OR, visent à préciser la nature lithologique de ces couches de l'Oligocène ainsi que leurs propriétés hydrogéologiques. Orano indique que ces investigations confirment que l'OG est constitué de marnes feuilletées avec des niveaux plus ou moins carbonatés et des passées de soufre et de gypse alors que l'OR comprend des niveaux argileux homogènes et quelques passées conglomératiques et sableuses. Les analyses géochimiques menées sur les carottes extraites de ces forages conduisent Orano à conclure que les marnes rouges et grises présentent de bonnes capacités de sorption des radionucléides, avec une efficacité générale en faveur des marnes rouges tandis que les marnes grises retiennent mieux le radium. Par ailleurs, des venues d'eau ont été relevées dans les forages au niveau des séries grises et rouges. Ainsi, l'OR présente des niveaux argileux homogènes peu perméables mais la présence de niveaux gréseux ou conglomératiques peut expliquer, selon Orano, les perméabilités les plus élevées mesurées sur certains intervalles (mesures de perméabilité de  $10^{-6}$  à  $10^{-10}$  m/s sur des intervalles d'ordre métrique) ainsi que par pompage global (autour de  $10^{-7}$  m/s). Les perméabilités mesurées en forage dans l'OG sur des intervalles d'ordre métrique ( $10^{-8}$  à  $10^{-7}$  m/s) sont également plus faibles que celles obtenues par pompage global, représentatives de toute la colonne d'eau (de l'ordre de  $10^{-6}$  m/s). L'IRSN convient que les perméabilités les plus élevées mesurées correspondent probablement à des niveaux détritiques plus drainants que les lits argileux. Par ailleurs, l'IRSN observe des passées avec du soufre et du gypse sur les relevés de forages traversant l'OG, qui peuvent aussi constituer des niveaux plus perméables. En outre, l'IRSN relève que les logs de certains forages de campagnes antérieures dans l'OG font mention de « nombreuses failles et microfailles normales », de nature à amplifier le caractère transmissif de tels niveaux.

De manière générale, l'IRSN constate que les connaissances acquises à ce stade par Orano permettent de décrire la lithologie des couches de l'Oligocène et d'identifier des caractéristiques structurales et hydrogéologiques principales du site de Malvési et de son environnement immédiat. Ainsi, plusieurs failles sont cartographiées sur la base de travaux anciens, avec des informations qui restent toutefois parcellaires ou inexistantes en termes de localisation précise, de nature et de propriétés hydrogéologiques (caractère drainant ou non par exemple) de ces discontinuités. L'IRSN considère en outre possible que d'autres failles de rejet pluridécamétrique affectent

les couches de l'Oligocène sans avoir pu être identifiées par les investigations conduites à ce stade. S'agissant des propriétés de ces formations géologiques, la campagne récente de forages réalisée par Orano constitue des travaux de terrain de qualité, qui mériteront d'être plus finement interprétés, synthétisés et exploités, en particulier pour constituer le modèle hydrogéologique du site décrivant les interactions entre la nappe alluviale, les formations oligocènes et l'aquifère jurassique. En outre, l'IRSN considère que les valeurs de perméabilité et de coefficient de sorption des radionucléides mesurées confirment qu'il existe dans l'OG comme dans l'OR des niveaux marneux avec des caractéristiques d'intérêt vis-à-vis du confinement hydraulique et chimique des solutés. L'épaisseur et l'extension de ces niveaux marneux restent toutefois méconnues à ce stade. De plus, les propriétés de sorption présentées à ce stade pour les formations Oligocènes apparaissent bonnes pour le plutonium et le thorium, mais relativement faibles pour l'uranium et le radium (20 à 50 L/kg pour l'uranium et 8 à 30 L/kg pour le radium) au regard des valeurs habituellement constatées dans les milieux naturels (jusqu'à 70 000 L/kg pour l'uranium et jusqu'à 95 000 L/kg pour le radium dans les sols et sédiments<sup>1</sup>).

A cet égard, l'IRSN rappelle que la note d'orientations générales de sûreté en vue d'une recherche de site pour le stockage de déchets FA-VL, éditée en 2008 par l'ASN, préconise le choix d'une formation hôte présentant une très faible perméabilité et une implantation du stockage au sein d'un volume de roche exempt de grandes failles susceptibles de constituer des voies de circulation hydraulique privilégiée. Aussi, la présence de failles sur le site de Malvési et son environnement immédiat ainsi que de niveaux transmissifs dans les formations de l'OG et de l'OR constituent des faiblesses potentielles vis-à-vis de l'implantation d'une installation de stockage de déchets FA-VL dans ces formations géologiques. Celles-ci ne sont pas nécessairement compensées par une forte capacité des marnes de l'Oligocène à retenir les principaux radionucléides présents dans l'inventaire des déchets. **Par conséquent, l'IRSN considère qu'Orano devra, en vue d'établir la faisabilité d'un stockage dans les couches de l'Oligocène étudiées, vérifier s'il existe localement des intervalles argileux exempts de niveaux et de failles transmissifs, suffisamment épais et étendus pour accueillir l'inventaire des déchets FA-VL à gérer et, dans le cas contraire, montrer que l'installation de stockage peut être conçue de manière à compenser ces caractéristiques peu favorables de la roche hôte en termes de capacité de confinement des substances radioactives et chimiques.**

### 3. OPTIONS DE STOCKAGE

Au stade du précédent rapport d'étape (2014), Orano présentait deux concepts de stockage : un stockage en surface et un stockage en sub-surface sous 10 à 15 m de couverture remaniée, implanté dans les marnes de l'Oligocène gris « OG » ou dans celles de l'Oligocène rouge « OR » à environ 40 m de profondeur. L'IRSN rappelle que l'ASN avait indiqué que le stockage en surface de l'ensemble des déchets issus du site de Malvési ne répondait pas, compte tenu de la nature des déchets et de la configuration du site, aux exigences de sûreté à long terme.

Le concept de stockage en sub-surface est désormais le seul retenu par Orano au stade du dossier d'étape 2020, avec les deux mêmes options d'implantation (OG de la partie nord-ouest du site dans l'excavation de l'ancienne mine de soufre à ciel ouvert, ou OR dans une excavation à créer au sud-est du site). Il consiste en sept alvéoles réalisés sur deux niveaux, d'une hauteur maximale de 10 m chacun, positionnés sur une couche de matériaux drainants placée dans le fond de l'excavation (cf. Figure 3 en annexe au présent avis). Les déchets y sont conditionnés sous forme de boue consolidée dans des tubes géosynthétiques empilés dans chaque alvéole, chacun d'entre eux permettant de stocker entre 50 000 et 60 000 m<sup>3</sup> de déchets. L'espace entre les alvéoles serait occupé par les 300 000 m<sup>3</sup> de stériles et résidus miniers contaminés. Le volume occupé par les alvéoles de stockage et le remblai constitué par les stériles et résidus miniers constitue le « casier », situé entre 20 et 45 m

---

<sup>1</sup> d'après le document *Technical Reports Series* No. 472 de l'Agence Internationale pour l'Energie Atomique (AIEA)

de profondeur et recouvert par une couverture remaniée de 15 à 20 m d'épaisseur de roche excavée (OG ou OR), elle-même surmontée d'une couche d'une épaisseur d'ordre métrique de matériaux drainants visant à reconstituer la plaine alluviale.

Orano indique que la sûreté passive du stockage serait assurée par i) la présence du remblai composé de stériles et résidus miniers contaminés, jouant le rôle de barrière ouvragée géochimique dans la mesure où leur teneur en sulfates favoriserait la rétention du radium 226, ii) les propriétés géochimiques du milieu encaissant qui atténuerait la diffusion des contaminants vers l'environnement et iii) l'épaisseur de la couverture, qui permettrait d'isoler les déchets des phénomènes d'érosion.

L'IRSN relève qu'Orano a écarté le conditionnement des déchets par cimentation présenté au stade du précédent rapport d'étape et convient que, compte tenu du volume important de déchets à conditionner (plusieurs centaines de milliers de mètres cubes) et de l'augmentation du volume de l'inventaire une fois les déchets conditionnés, le bien-fondé de cette option n'était pas manifeste. Le transfert des boues par voie humide (pompage) dans des tubes géosynthétiques, qui permet la gestion industrielle de volumes conséquents sans accroître significativement ce volume *in fine* (après drainage), bénéficie quant à lui du retour d'expérience acquis par Orano lors des opérations d'aménagement de l'alvéole PERLE au sein d'ECRIN. En revanche, l'IRSN s'interroge sur l'évolution à long terme de ces tubes géosynthétiques, en termes de tassements une fois recouverts ainsi que sur l'impact potentiel de matières complexantes qui constituent ces contenants sur la migration des radionucléides.

Par ailleurs, l'IRSN constate que le complément de barrière ouvragée mentionné dans le précédent rapport d'étape, formé par un matériau de type bentonite entre les déchets et la formation hôte pour accroître la capacité du système à retarder les contaminants, n'apparaît plus dans le concept actuellement retenu, sans justification particulière. Compte tenu des faiblesses potentielles du site mentionnées ci-avant, cette évolution peut paraître prématurée.

Enfin, l'IRSN note qu'aucune fonction liée à la limitation du risque d'intrusion humaine banale n'est associée à ce stade à la couverture du stockage. A cet égard, l'avis du GPD relatif à l'élaboration d'un guide pour le stockage de déchets FA-VL du 23 mars 2021 indique qu'une profondeur de l'ordre de 30 m devrait être retenue pour représenter de manière conventionnelle les intrusions humaines banales. L'IRSN rappelle en outre que l'épaisseur de la couverture qui sera consommée par les phénomènes de surface, notamment l'érosion, doit être ajoutée à cette profondeur de 30 m, et note à cet égard qu'Orano prévoit de préciser l'épaisseur à considérer pour ces phénomènes à long terme au stade du rapport d'étape de 2025. **En tout état de cause, l'épaisseur de couverture prévue à ce stade par Orano, comprise entre 15 et 20 mètres, ne permet pas d'exclure un scénario d'intrusion dans le stockage. Il sera donc nécessaire, en vue d'établir la faisabilité du concept de stockage, de procéder à une évaluation des conséquences pour l'homme et l'environnement en cas d'intrusion humaine.**

De manière générale, l'IRSN rappelle que la démonstration de la faisabilité d'un stockage nécessite de travailler en amont sur un ou des concepts génériques pour établir les fondements de la sûreté du système de stockage, à savoir identifier les fonctions qui doivent être assurées et préservées (telles que la stabilité mécanique, la limitation des intrusions humaines ou de leur conséquences, le confinement des contaminants radiologiques et chimiques...) et sur cette base, définir le système de barrières à mettre en place et les performances associées. Or Orano n'a défini à ce stade ni l'ensemble des fonctions de sûreté, ni les propriétés des composants du stockage. Aussi, comme en 2017, **il n'est pas possible à ce stade d'évaluer le bien-fondé, d'un point de vue de la faisabilité, des options de conception retenues par Orano** et *a fortiori* celui des évolutions relatives au conditionnement des déchets et à la barrière ouvragée.

## 4. EVALUATION DE SURETE APRES FERMETURE DU STOCKAGE

Orano présente dans le dossier d'étape 2020 une première évaluation de l'impact radiologique et chimique pour les deux options de stockage proposées, basée sur des modélisations en transport réactif du transfert des principaux contaminants dans l'environnement du stockage. Ces modélisations s'appuient sur les données disponibles dans la littérature et acquises dans le cadre des campagnes de mesure menées par Orano sur le site de Malvési. Dans le cadre de cette première évaluation, les concentrations des principaux radionucléides et toxiques chimiques en solution sont estimées sur la base de calculs à l'équilibre eau-roche, en tenant compte explicitement des processus de sorption et de coprécipitation. Le transport de ces espèces dans l'environnement du stockage est ensuite estimé sur la base d'un modèle hydrogéologique simplifié, puis l'impact radiologique et chimique est calculé en prenant l'hypothèse d'une ingestion quotidienne de l'eau issue d'un captage dans le Quaternaire et dans l'Oligocène situé à 100 m à l'aval hydraulique du stockage. Les résultats obtenus sont jugés encourageants par Orano, les deux options de stockage se montrant efficaces vis-à-vis de la rétention des principales substances chimiques et radiologiques. Le concept de stockage au sein de l'OR apparaît selon Orano globalement moins performant et conduit à un impact radiologique supérieur à 1 mSv au-delà de 10 000 ans, le <sup>226</sup>Ra étant le contributeur principal, tandis que l'impact radiologique estimé pour le concept au sein de l'OG reste très inférieur à la valeur de 1 mSv, prise à ce stade comme valeur de référence par Orano. Toutefois, les seuils de potabilité sont atteints pour plusieurs toxiques chimiques (molybdène, manganèse, nitrates) au sein de la nappe des alluvions dans les deux cas.

**L'IRSN considère suffisant le scénario d'exposition pris en compte pour une première estimation de l'impact radiologique et chimique. Compte tenu du stade encore très préliminaire du projet, l'IRSN convient que les doses calculées ne sont pas réhivitoires et considère que cette première évaluation d'impact ne conduit pas à écarter le concept proposé ni à privilégier l'une ou l'autre des options étudiées par Orano.** L'IRSN observe toutefois que les évaluations présentées par Orano correspondent à la situation d'évolution du système de stockage dite de « référence » préconisée par la note d'orientations de 2008 précitée et qu'elles devront être complétées par la prise en compte de situations dites altérées ainsi que de situations dites d'intrusions humaines involontaires. En outre, l'IRSN note qu'Orano utilise la valeur réglementaire de limitation des expositions d'1 mSv/an comme valeur de référence pour vérifier que la conception satisfait les objectifs de radioprotection. Bien que pertinente en ordre de grandeur pour apprécier le risque radiologique encouru, l'IRSN rappelle que la note d'orientations de 2008 préconise de retenir une valeur plus faible, soit 0,25 mSv/an, pour cette appréciation, afin de tenir compte de la présence possible de plusieurs sources d'exposition dans le futur. Il conviendra qu'Orano retienne ce critère dans ses prochaines évaluations.

S'agissant de la méthodologie retenue par Orano pour l'estimation de l'impact radiologique et chimique après fermeture, l'IRSN estime que l'approche retenue, qui tient compte de l'ensemble des données disponibles et s'appuie sur une modélisation de la circulation des eaux souterraines et de la migration des substances radioactives en solution, est pertinente sur le plan des principes. L'IRSN souligne toutefois que le modèle hydrogéologique est à ce stade très préliminaire (rôle des failles et niveaux transmissifs méconnu, exutoires non identifiés...). L'IRSN attire en outre l'attention sur le choix des données géochimiques (phases minéralogiques porteuses, bases de données thermodynamiques...) utilisées en support à une modélisation en transport réactif, qui peut avoir un poids significatif sur les résultats obtenus. Compte tenu des incertitudes encore importantes liées à la faible quantité et au caractère hétérogène des mesures géochimiques disponibles pour modéliser les boues des bassins B1 et B2, **il conviendra qu'Orano consolide sa démonstration du caractère conservatif des hypothèses retenues dans les futurs dossiers d'étape**, par exemple sur la base d'analyses de sensibilité aux paramètres de modélisation géochimiques retenus.

## 5. CALENDRIER ET PROGRAMME D'ETUDES

Orano présente dans le dossier d'étape 2020 les grands axes de son programme d'études, qui consiste en une liste de sujets à étudier, afin d'améliorer la caractérisation des déchets, de renforcer la caractérisation du site et de son environnement, de concevoir l'installation de stockage et d'évaluer son impact radiologique et chimique. Le dossier précise, pour chaque demande formulée par l'ASN en 2019, l'étape de développement (pré-faisabilité en 2025, faisabilité en 2030, avant-projet sommaire en 2035, avant-projet détaillé en 2040) à laquelle la réponse sera apportée.

L'IRSN estime que le programme prévu par Orano est de nature à répondre aux demandes de l'ASN. Toutefois, la plupart des études afférentes sont associées à l'échéance de démonstration de la faisabilité de la solution retenue, prévue par Orano pour 2030. A cet égard, l'IRSN appelle l'attention sur l'importance du prochain rapport d'étape en 2025 en vue de montrer que la faisabilité pourra être établie en 2030. Dans le cas contraire, des options de stockage alternatives devront être développées pour qu'*in fine* l'échéance de reprise des déchets entreposés à partir de 2045 puisse être tenue. Aussi, comme indiqué ci-avant, **l'IRSN estime nécessaire d'établir en premier lieu les fondements de la sûreté du système de stockage (concepts de stockage, fonctions de sûreté des barrières, performances visées) et, sur cette base, prioriser le programme d'études (acquisition de données, modélisation...) pour que des éléments structurants pour la démonstration de faisabilité soient disponibles dès le rapport d'étape prévu en 2025.** En outre, Orano indique qu'il justifiera que les matériaux et méthodes mis en œuvre sont adaptés aux performances souhaitées au stade des études d'avant-projet sommaire (2035). L'IRSN rappelle l'importance de montrer, au stade de la démonstration de faisabilité (en 2030), que les matériaux retenus ainsi que leur mise en œuvre permettront d'atteindre les performances attendues, notamment pour les composants clés comme la couverture. Ces éléments sont nécessaires pour justifier qu'un système de stockage confinant sur les temps longs est industriellement faisable.

Par ailleurs, au regard des incertitudes relatives au site de Malvési et à son environnement immédiat, en particulier s'agissant de l'existence de blocs de formation géologique qui présentent des caractéristiques favorables au confinement des solutés, l'IRSN considère que le maintien des deux formations étudiées (OG et OR) dans la poursuite du développement du projet donne une flexibilité qui pourrait permettre de composer avec les faiblesses potentielles de ces formations si celles-ci sont confirmées. La mise en œuvre combinée des deux options de stockage pourrait ainsi réduire la contrainte liée aux dimensions des blocs de roche hôte disponibles pour implanter une installation de stockage. Le tri granulométrique des déchets, retenu par Orano comme un axe d'investigation majeur, constitue une autre piste pour réduire cette contrainte en diminuant le volume de déchets FA-VL à stocker. Les deux options de stockage permettraient ainsi de répartir les déchets de l'inventaire selon leur nature et leur activité, en fonction des propriétés de transport et de rétention de chaque formation géologique hôte, voire d'envisager un concept complémentaire pour les déchets TFA le cas échéant. Ces voies d'optimisation pourraient en outre permettre à Orano de consacrer une part significative du volume disponible pour la mise en place de barrières ouvragées supplémentaires et pour une implantation du stockage de déchets FA-VL garantissant le maintien d'une épaisseur de garde supérieure suffisante pour limiter les risques liés à l'érosion et à l'intrusion humaine.

## CONCLUSION

L'examen par l'IRSN des deux options retenues par Orano pour le stockage des déchets de l'INB ECRIN au stade du dossier d'étape 2020, à savoir le stockage dans les marnes de l'Oligocène inférieur gris au nord-ouest du site dans l'excavation de l'ancienne mine de soufre et le stockage dans les marnes de l'Oligocène supérieur rouge dans une excavation à créer au sud-est du site, montre des avancées en termes d'acquisition de connaissances, notamment concernant la caractérisation des déchets et celle des deux formations marneuses.

L'IRSN considère que les estimations préliminaires des impacts sanitaires pour ces deux options ne mettent pas en évidence à ce stade des niveaux rédhibitoires à la poursuite des études de pré-faisabilité menées par Orano.

A cet égard, l'IRSN estime nécessaire que, dès le rapport d'étape prévu en 2025, Orano définisse les fondements de la sûreté du système de stockage (fonctions, barrières et performances associées) et priorise sur cette base son programme d'études afin de montrer que la démonstration de faisabilité des deux options est accessible.

Par ailleurs, l'IRSN relève la présence de failles sur le site de Malvési et de niveaux transmissifs au sein des deux formations marneuses étudiées. Aussi, il est nécessaire qu'Orano vérifie, en vue d'établir la faisabilité du stockage dans ces formations de l'inventaire des déchets FA-VL à gérer, s'il existe localement des intervalles argileux exempts de ces faiblesses potentielles ou montre que la conception de l'installation de stockage peut être développée de manière à compenser les propriétés de confinement peu favorables de la roche hôte. Enfin, l'épaisseur de couverture actuellement envisagée ne permet pas d'écarter la possibilité d'une intrusion humaine banale dans le stockage. Dans le cas où cette épaisseur de couverture serait conservée, une évaluation des conséquences de ce scénario pour l'homme et l'environnement est attendue au stade de la démonstration de faisabilité.

IRSN  
Le Directeur général  
Par délégation  
Delphine PELLEGRINI  
Adjointe au Directeur de l'environnement



## ANNEXE



Figure 1 – Vue aérienne de la partie INB ECRIN du site de Malvési en février 2020, en phase de vidange des bassins B5 et B6 pour constituer les alvéoles PERLE et CERS.

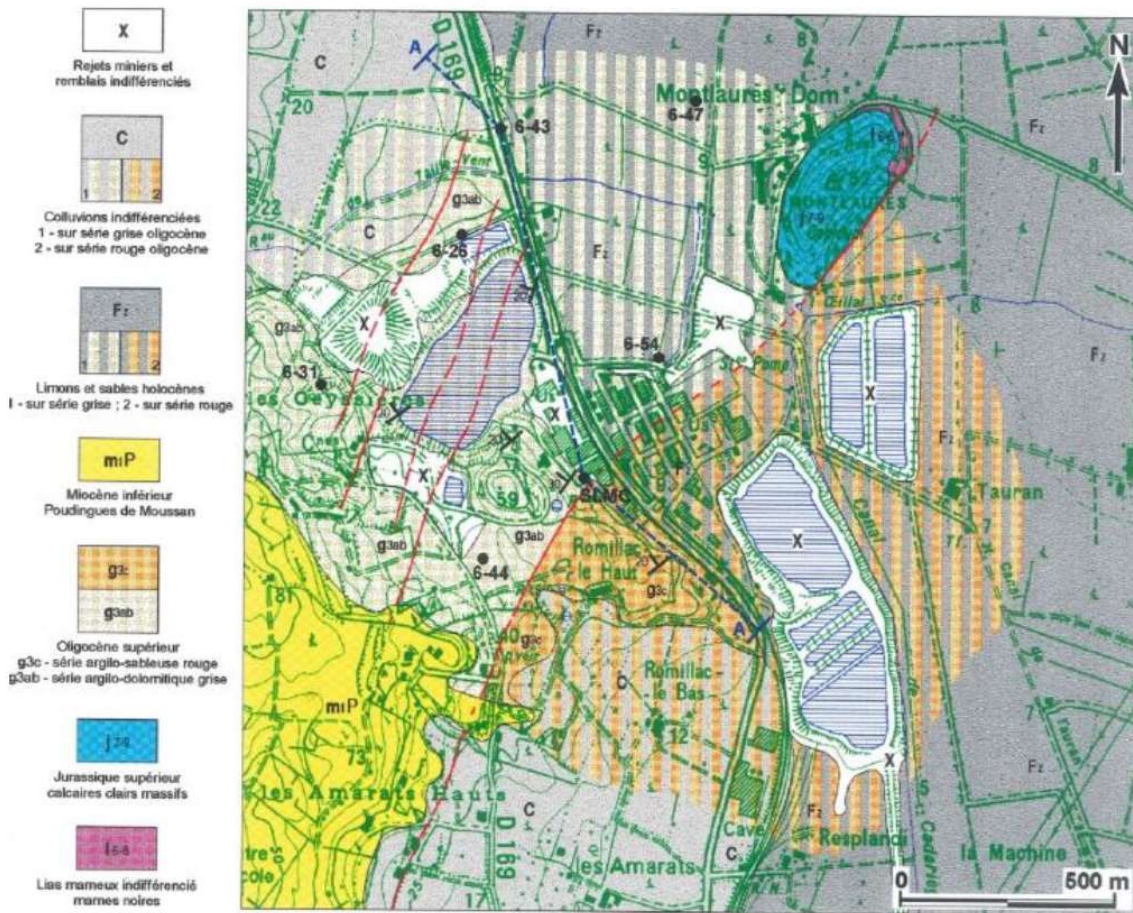


Figure 2 – Contexte géologique du site montrant la compartimentation des séries grise et rouge de l’Oligocène, séparées par une faille d’axe NE-SW. Les zones hachurées représentent l’emplacement, dans les années 2000, des bassins B1 et B2 (actuelle INB ECRIN) au centre, bordés par les bassins de décantation au sud et au nord-est, ainsi que le bassin de l’ancienne mine de soufre à ciel ouvert au nord-ouest.

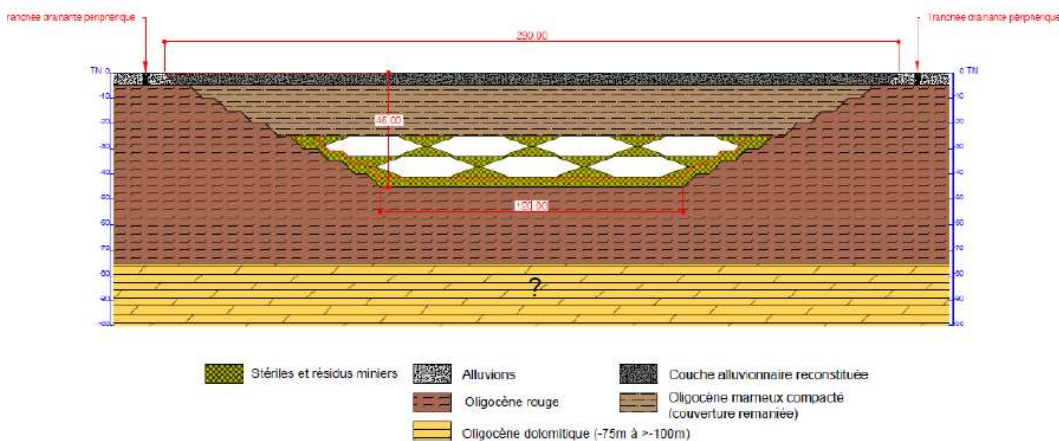


Figure 3 – Concept de stockage en sub-surface - Option d’implantation dans l’Oligocène rouge après mise en place de la couverture.