ASNR Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Monsieur le chef de l'unité interdépartementale Loire Haute-Loire
Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement Auvergne-Rhône-Alpes

Fontenay-aux-Roses, le 19 juin 2026

AVIS D'EXPERTISE Nº 2026-00065 DU 19 JUIN 2026

Objet : **Réaménagement du site des Bois Noirs Limouzat**

Référence : Lettre UID4243-DSSSP-025-462 du 15 décembre 2025

Par lettre citée en référence, vous demandez l'avis de la Direction de la recherche et de l'expertise en environnement de l'ASNR (PSE-ENV) sur le dossier de demande d'autorisation environnementale déposé par Orano Mining le 1er juillet 2025 concernant son projet de réaménagement du site des Bois Noirs Limouzat situé à Saint-Priest-La-Prugne (Loire). Ce projet prévoit de remplacer la lame d'eau de couverture du stockage des résidus de traitement du minerai d'uranium par une couverture solide et de réduire la hauteur de l'ouvrage de ceinture du stockage, actuellement classé grand barrage.

Vous demandez que PSE-ENV examine :

- la démarche retenue par Orano Mining pour évaluer la stabilité à long terme de l'ouvrage de ceinture après réaménagement au regard de celle décrite dans le rapport (version de mai 2024) du groupe de travail mis en place dans le cadre du Plan National de Gestion des Matières et Déchets Radioactifs (PNGMDR) ;
- l'efficacité de la couverture des résidus pendant les travaux et à l'issue du réaménagement au regard de la limitation des flux de rayonnement gamma et de radon ;
- les modalités de surveillance, en particulier de l'air et des eaux, prévues par Orano Mining pendant les travaux et à l'issue du réaménagement, dans l'objectif de mesurer et de limiter l'impact des travaux et du site réaménagé sur les riverains et l'environnement ;
- les modalités de gestion des boues et des zéolithes issues du traitement des eaux pendant les travaux et à l'issue du réaménagement

Adresse du siège social : 15 rue Louis Lejeune - 92120 Montrouge
Adresse postale : BP 17 - 92262 Fontenay-aux-Roses cedex

Tél. : +33 (0)1 58 35 88 88 - Courriel : asnr-courrier@asnr.fr

1. CONTEXTE

De 1954 à 1980, Orano Mining a exploité un gisement d'uranium par travaux miniers souterrains (TMS) et par une mine à ciel ouvert (MCO) sur le site des Bois Noirs Limouzat. Les résidus générés par l'extraction de l'uranium entre 1960 et 1980 ont fait l'objet d'une séparation granulométrique. Les résidus grossiers ont servi au remblayage des TMS tandis que les résidus fins ont été placés dans l'ancien lit de la Besbre et y sont retenus mécaniquement par un ouvrage de ceinture (ou digue). Ces résidus fins (1,4 millions de tonnes) ont été recouverts d'une lame d'eau formant le Grand Bassin, l'ensemble constituant un stockage d'une superficie d'environ 18 hectares relevant de la rubrique 1735 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Depuis 1981, une station de traitement chimique (dite station basse) traite les eaux de mine et les eaux s'écoulant des drains de la digue avant leur rejet dans la Besbre. En 2020, une seconde station (dite station haute) a été mise en service pour traiter les eaux du Grand Bassin par passage sur des zéolithes. Les boues et zéolithes usagées issues de ces traitements respectifs sont stockées avec les résidus.

En réponse à l'arrêté préfectoral n°271-DDPP-22 du 28 juin 2022 relatif au réaménagement du site, Orano Mining a déposé en juillet 2025 un dossier d'autorisation environnementale en vue du remplacement de l'actuelle lame d'eau de couverture du stockage par une couverture solide. Ce projet, prévu sur une durée de cinq ans (démarrage mi-2027), prévoit le remodelage des résidus sous eau afin de former un léger dôme en partie sud du stockage actuel puis l'évacuation des eaux du Grand Bassin vers la Besbre après traitement sur des zéolithes en station haute. Cette dernière sera redimensionnée pour être en mesure de traiter le volume important d'eau à évacuer. Il prévoit également la mise en place, sur les résidus, d'une couverture solide ainsi qu'un arasement de la digue d'environ 8 m. A l'issue des travaux de couverture, un nouveau bassin de zéolithes sera installé en aval de la digue pour traiter les eaux au contact des résidus et les ouvrages de la station haute seront démolis. Les boues et zéolithes usagées produites par le traitement des eaux pendant et après le réaménagement seront stockées dans une alvéole dédiée classée ICPE qui sera construite sur le site à proximité de la station basse. Enfin, l'ensemble du site fera l'objet d'une revégétalisation et d'aménagements paysagers visant à favoriser son intégration dans l'environnement, notamment par la constitution d'une zone humide située entre le stockage des résidus et le nouveau tracé de la Besbre au nord.

Le présent avis d'expertise traite successivement, en cohérence avec votre demande : (i) de la démarche d'évaluation de la stabilité à long terme de l'ouvrage de ceinture après réaménagement, (ii) de l'efficacité de la couverture vis-à-vis du flux de rayonnement gamma et de radon, (iii) des modalités de gestion des eaux, des boues et des zéolithes issus du traitement des eaux et (iv) des modalités de la surveillance de l'air et des eaux.

2. STABILITE DE L'OUVRAGE DE CEINTURE

L'ouvrage de ceinture du stockage de résidus de traitement du minerai d'uranium des Bois Noirs est construit avec des remblais constitués de stériles miniers[1] (matériaux granitiques de granulométrie variée). Ses fondations s'appuient sur une couche fine d'alluvions sablo-argileuses reposant sur un substratum granitique altéré et fracturé. L'ouvrage présente un linéaire de 508 mètres de long et une hauteur maximale de 42 mètres. Sa largeur est de 10,5 mètres en crête et de 170 mètres au niveau du terrain naturel. Les pentes moyennes amont et aval sont de 2H / 1V. L'ouvrage est équipé de dispositifs de sécurité comprenant notamment un dispositif de vidange, constitué d'une digue submersible traversée par des conduites débouchant dans un sas suivi d'un ouvrage de pompage et d'un évacuateur de crue dimensionné pour assurer la gestion des événements hydrauliques extrêmes. Comme indiqué ci-avant, cet ouvrage sera arasé d'environ 8 mètres pendant les travaux de réaménagement.

Au stade de la demande d'autorisation environnementale, l'expertise de PSE-ENV a porté essentiellement sur l'adéquation de la démarche retenue par Orano Mining avec les préconisations du rapport du groupe de travail mis en place dans le cadre du PNGMDR (nommé rapport du GT ci-après), sur la disponibilité des données d'entrée

[1] Roches excavées pour accéder au minerai.

nécessaires aux calculs de stabilité au glissement et sur la démarche suivie pour évaluer l'aléa sismique qui sont les principaux enjeux techniques de l'évaluation de la stabilité de l'ouvrage de ceinture à long terme.

La démarche retenue par Orano Mining pour évaluer la stabilité de la digue à long terme repose sur l'analyse des risques d'érosion interne[2] et externe[3] de l'ouvrage, du risque de liquéfaction[4] des fondations sous-jacentes et des matériaux de remblais sous séisme ainsi que du risque de glissement. L'analyse du risque de glissement s'appuie sur l'étude de cinq situations du stockage (cf. Figure 1 en annexe au présent avis), combinant une condition statique (situation normale) ou dynamique (en cas de séisme) avec un niveau piézométrique dans l'ouvrage normal (correspondant à un drainage fonctionnel des eaux dans l'ouvrage), important (correspondant à un drainage fonctionnel dans des conditions de pluviométrie exceptionnelles) ou maximal (correspondant à un niveau d'eau affleurant dans les résidus en amont de l'ouvrage et un niveau affleurant en pied de digue, en l'absence de maintenance effective de l'ouvrage). En outre, conformément au rapport du GT, s'agissant de l'acquisition des mesures, les niveaux piézométriques au sein de l'ouvrage de ceinture sont actuellement suivis via un réseau de 30 piézomètres répartis sur l'ensemble de l'ouvrage et permettant de surveiller les hauteurs d'eau sur, au moins, sept profils distincts. **PSE-ENV estime que la démarche retenue par Orano Mining pour évaluer les risques précités puis sur cette base, conclure sur la stabilité de la digue à long terme, est conforme aux préconisations issues du rapport du GT.**

Pour l'étude des situations liées au risque de glissement, Orano Mining établit un modèle géotechnique représentant la géométrie de l'ouvrage et de ses fondations, les types et épaisseurs des différents matériaux les constituant et leurs caractéristiques géotechniques (nature granulométrique, caractéristiques mécaniques), sur la base de données d'essais en laboratoire réalisés sur des échantillons prélevés au cours des campagnes d'investigations géotechniques et d'essais *in situ* menés sur le site des Bois Noirs entre 1958 et 2024. Sur la base de ce modèle géotechnique, des niveaux d'eau issus de la surveillance piézométrique du stockage et du niveau d'aléa sismique retenu, Orano Mining évalue la stabilité de l'ouvrage au niveau de trois profils de calculs jugés représentatifs de l'ensemble de son linéaire. L'évaluation de chacune des cinq situations du stockage est comparée aux critères de sécurité retenus par le GT pour ces situations. **PSE-ENV estime que cette approche est conforme à l'état de l'art issu du rapport du GT.**

S'agissant des données d'entrée des calculs de stabilité, PSE-ENV constate que les niveaux piézométriques retenus pour les situations de piézométrie normale et importante sont fondés sur l'historique des niveaux d'eau mesurés dans la retenue d'eau actuelle. Ces niveaux piézométriques, pénalisants par rapport à la future configuration du stockage exempte de retenue d'eau, **apparaissent satisfaisants pour les évaluations de stabilité de l'ouvrage**. S'agissant de la situation de piézométrie maximale (cf. situations 4 et 5 de la Figure 1 en Annexe), Orano Mining considère un niveau d'eau extrême (affleurant) au sein des résidus en amont de l'ouvrage (cf. Annexe Figure 2), conformément à la préconisation du GT de retenir, pour l'évaluation relative à la phase d'absence de maintenance à partir de laquelle on ne peut plus compter sur une efficacité des dispositifs de drainage, le niveau piézométrique maximal dans l'ouvrage et au sein des résidus stockés. PSE-ENV note à cet égard que l'ouvrage de ceinture, constitué majoritairement de matériaux granitiques sablo-graveleux, voire de blocs rocheux, permettra malgré cela de maintenir un écoulement de l'eau du fait du contraste de perméabilité entre ces matériaux et les résidus stockés ; une absence totale de drainage sur l'ensemble du linéaire de l'ouvrage lui-même demeure ainsi très peu probable, même à long terme. Aussi, **PSE-ENV considère que le niveau piézométrique maximal retenu par Orano Mining pour cet ouvrage de ceinture est suffisant pour l'évaluation des situations considérant un niveau d'eau maximal préconisées par le GT.**

Concernant l'évaluation du niveau d'aléa sismique, Orano Mining s'appuie sur la démarche de l'Eurocode-8 et considère une période de retour de 10 000 ans, **ce qui est cohérent avec les préconisations du rapport du GT**. Orano Mining a également réalisé une étude probabiliste spécifique au contexte sismotectonique du site des

[2] L'érosion interne correspond au départ progressif de particules d'un sol sous l'action d'écoulements d'eau et peut conduire à sa ruine.
[3] L'érosion externe regroupe les mécanismes qui provoquent un départ de matériaux sous l'effet de sollicitations s'appliquant sur la surface extérieure d'un ouvrage (surverse, effets de courant sur les pentes ou les pieds de pente (affouillement), ruissellement des eaux météoritiques).
[4] La liquéfaction d'un sol sous séisme est un phénomène qui correspond à une augmentation de la pression d'eau dans le matériau qui amène à un affaiblissement significatif de sa résistance voire à son écoulement.

Bois Noirs Limouzat (non détaillée dans le présent dossier), ce qui sur le plan des principes est de nature à consolider l'évaluation du niveau de cet aléa.

Par ailleurs, PSE-ENV relève qu'à ce stade, les résultats de calculs de stabilité au glissement et les analyses de risques de liquéfaction et d'érosion interne réalisées par Orano concluent à la stabilité de l'ouvrage et note qu'Orano Mining prévoit de compléter l'analyse du risque d'érosion externe réalisée.

3. EFFICACITE DE LA COUVERTURE

Le stockage de résidus miniers contient des radionucléides à l'origine de flux de rayonnements gamma et de radon. L'épaisseur de la lame d'eau constituant la couverture liquide, variant de 2 à 6 mètres, permet d'assurer actuellement l'atténuation de ces flux et contribue ainsi à la limitation de l'exposition du public. Au cours du réaménagement, la couverture liquide sera progressivement remplacée par une couverture solide constituée de déblais excavés lors de la réalisation du nouveau tracé de la Besbre au nord du site[5]. Orano Mining indique avoir fondé le dimensionnement de la couverture solide définitive ainsi que la hauteur d'eau minimale à maintenir sur les résidus au cours de la vidange de l'eau du Grand Bassin à partir du calcul des facteurs d'atténuation du flux de rayonnement gamma et du flux de radon[6] pour différentes épaisseurs de couverture.

Sur la base du calcul des facteurs d'atténuation du rayonnement gamma, tenant compte de l'activité massique moyenne des résidus, ainsi que de l'épaisseur et de la densité des matériaux traversés, Orano Mining retient qu'une couverture liquide ou solide d'1 mètre d'épaisseur, permet d'atténuer de plus de 99,7% le rayonnement gamma émis par les résidus, **ce que PSE-ENV confirme sur la base de ses propres calculs**.

S'agissant du flux de radon, Orano Mining a calculé le flux surfacique au-dessus des résidus miniers à partir de l'activité en radium 226 et de la masse volumique des résidus ainsi que des coefficients d'émanation et de diffusion du radon dans les résidus. Pour évaluer l'atténuation de ce flux par une couverture solide de différentes épaisseurs et de différentes propriétés de diffusion, Orano Mining a appliqué un modèle de transport diffusif du radon à travers une épaisseur de couverture, conformément à l'approche définie par l'AIEA[7].

Pour ce qui concerne l'atténuation du flux de radon par une couverture liquide, les simulations numériques réalisées par Orano Mining montrent une atténuation totale dès 50 centimètres d'épaisseur. Pour tenir compte de paramètres susceptibles de réduire l'atténuation non considérés dans ces simulations, tels que le vent ou la température, Orano Mining retient une épaisseur de lame d'eau majorée d'un facteur deux, soit 1 mètre, lors de la mise en place d'une première couche de matériaux sur les résidus. Sur la base de ses propres calculs, s'appuyant sur le modèle de Nielson et Rogers[8] qui permet d'intégrer notamment les effets du vent et des perturbations engendrées par les travaux (turbulence, mélange et remisse en suspension des résidus dans l'épaisseur d'eau), PSE-ENV estime que l'atténuation du flux de radon est négligeable tant que l'épaisseur de la lame d'eau n'atteint pas 1 mètre, puis augmente progressivement pour devenir supérieure à 90% au-delà de 2 mètres.

Pour ce qui concerne l'atténuation du flux de radon par une couverture solide, Orano Mining a réalisé des calculs pour deux configurations, considérant la couverture totalement saturée ou insaturée en eau[9], cette seconde configuration étant la plus pénalisante au regard de la diffusion du radon. Les résultats obtenus montrent que dans la configuration pénalisante, une épaisseur de 5 mètres de matériau induit une atténuation du flux de radon de l'ordre de 98 % et, par conséquent, Orano Mining retient dans son projet une couverture finale d'épaisseur

[5] Une première étape durant laquelle la lame d'eau sera progressivement abaissée par pompage continu jusqu'à 1 mètre au-dessus du niveau des résidus pour une mise en place d'une première couche de couverture, puis une seconde lors de laquelle la première couche de la couverture sur les résidus sera alors entièrement émergée.
[6] Ces facteurs d'atténuation correspondent au rapport entre les flux au-dessus de la couverture et ceux au-dessus des résidus.
[7] Technical Reports Series No. 474.
[8] Nielson, K.K. and Rogers, V.C., 1986, Surface water hydrology considerations in predicting radon releases from water-covered areas of uranium tailings ponds. Geotechnical and Geohydrological Aspects of Waste Management (Proc. Symp. Fort Collins, 1986), Balkema, Rotterdam (1986) 215–222.
[9] Les coefficients de diffusion retenue par Orano Mining sont de $2{,}5.10^{-7}$ m^2/s pour les matériaux de couverture saturé et $3.10^{-6} m^2/s$ pour les matériaux de couverture non saturé ce qui est cohérent avec les valeurs de la littérature.

comprise entre 5 et 8 m. Sur la base de ses propres calculs, **PSE-ENV estime que l'épaisseur de couverture solide retenue par Orano Mining est suffisante**.

Au regard des éléments examinés, PSE-ENV considère que l'atténuation apportée par la nouvelle couverture solide, d'une épaisseur finale comprise entre 5 et 8 mètres sera équivalente à celle assurée par l'actuelle lame d'eau. PSE-ENV soulève toutefois un point de vigilance concernant la hauteur d'eau d'1 mètre qu'a choisi de maintenir Orano Mining sur les résidus au cours de la vidange de l'eau car l'atténuation du flux de radon par cette hauteur d'eau pourrait être faible, en raison de l'agitation de l'eau et la possible remise en suspension de résidus, tant qu'une première couche de matériaux n'aura pas été mise en place. **Bien que cette configuration soit temporaire, PSE-ENV considère qu'Orano Mining devrait évaluer la faisabilité opérationnelle de maintenir une épaisseur d'eau minimale supérieure à 1 mètre. A défaut, une attention particulière devra être apportée à l'exposition des travailleurs intervenant à proximité immédiate du Grand Bassin lors de cette phase des travaux.**

Orano Mining ajoute qu'une surveillance des tassements de la couverture du stockage sera réalisée par un suivi topographique annuel et par des inspections visuelles à fréquence bimensuelle pendant trois ans, puis à fréquence annuelle ensuite. **PSE-ENV considère que ces dispositions sont pertinentes et pourraient être utilement complétées par des cartographies périodiques du rayonnement gamma afin de suivre l'évolution de l'efficacité de la couverture dans le temps.**

4. MODALITES DE GESTION DES EAUX, DES BOUES ET DES ZEOLITHES

GESTION DES EAUX

Actuellement, un pompage est mis en œuvre afin de diriger le surplus d'eau du Grand Bassin vers la station haute, où il est traité dans un bassin contenant un lit de zéolithes d'une capacité de traitement de 100 m^3/h, avant rejet dans la Besbre. La station basse, quant à elle, traite les eaux de mine collectées au niveau du travers-banc[10] TB0, correspondant aux eaux issues des TMS et aux eaux de ruissellement et d'infiltration dans la MCO, par coprécipitation puis décantation dans son bassin sud (cf. Annexe Figure 3). La station basse traite également les eaux s'écoulant en pied de digue au niveau de cinq drains par simple décantation dans son bassin nord, accolé au bassin sud. Les eaux issues des bassins nord et sud se rejoignent et sont rejetées dans la Besbre après ajustement de leur pH. Des eaux ne présentant aucun marquage radiologique s'écoulent d'un sixième drain, localisé à mi-pente de la digue en rive gauche et sont rejetées directement dans la Besbre.

Le réaménagement du site des Bois-Noirs va impliquer une modification substantielle des modalités de gestion des eaux du Grand Bassin et dans une moindre mesure des eaux de drains de la digue, sans modification des modalités de gestion des eaux provenant des TMS et de la MCO pendant et après la mise en place de la couverture solide.

Lors du remplacement de la couverture liquide par une couverture solide

Orano Mining indique que le remplacement de la couverture liquide par une couverture solide imposera le traitement d'environ 905 000 m^3 d'eau en station haute avant rejet dans la Besbre. Afin de permettre le traitement de ces volumes dans le respect des normes de rejet[11], Orano Mining prévoit le redimensionnement de la station haute par l'ajout de trois nouveaux bassins de zéolithes, d'une capacité de traitement de 100 m^3/h chacun, en complément du bassin existant, les quatre bassins étant conçus pour fonctionner en parallèle. Par ailleurs, Orano Mining prévoit l'ajout d'étapes de décantation et de filtration des eaux du Grand Bassin dans le bassin annexe (utilisé historiquement pour la décantation des effluents miniers) avant leur entrée dans les bassins de zéolithes.

PSE-ENV estime que les volumes très importants d'eaux à traiter avant leur rejet dans la Besbre font porter un enjeu majeur à la maîtrise de l'efficacité du traitement, dans un contexte de travaux susceptible d'accroître les

[10] Ancienne galerie d'accès au gisement.
[11] Arrêtés préfectoraux du 28 juin 2022 et du 10 mars 2025.

concentrations en matières en suspension pouvant induire une perte d'efficacité du traitement par zéolithes et donc un rejet non conforme aux seuils prescrits. Sur ce point, Orano Mining a évoqué au cours de l'expertise des pistes pour améliorer l'efficacité du traitement des eaux (bassins de traitement disposés en série, réduction des débits d'alimentation afin d'augmenter le temps de contact entre l'eau et les zéolithes), et limiter les risques de colmatage liés aux matières en suspension (dispositifs successifs de décantation et de filtration associé à un contrôle de la turbidité des eaux avant d'entrer dans les bassins de traitement sur zéolithes). En outre, sur la base du retour d'expérience du fonctionnement actuel de la station haute (dépassements ponctuels de la concentration en radium dans le rejet, mise en place d'actions correctives telles que la réduction du débit d'injection, le brassage et le renouvellement des zéolithes) et de tests en laboratoire à partir d'autres types de zéolithes, Orano Mining prévoit la mise en place d'un pilote expérimental visant à tester la zéolithe d'un nouveau fournisseur et à évaluer l'intérêt d'un fonctionnement en série des bassins de traitement. **PSE-ENV considère que les modalités et dispositifs évoqués et prévus par Orano Mining pour améliorer l'efficacité du traitement des eaux du Grand Bassin sont pertinents sur le plan des principes.** En revanche, PSE-ENV note qu'à ce stade, Orano Mining n'a pas défini de domaine de fonctionnement nominal de la station de traitement sur zéolithes (paramètres de pilotage clefs et gamme de variation) permettant de garantir l'efficacité du traitement. A cet égard, PSE-ENV considère que le pilote expérimental envisagé par Orano Mining constitue une étape essentielle pour établir ce domaine de fonctionnement dans les conditions représentatives des différentes étapes de remplacement de la couverture liquide par une couverture solide. **Ainsi, PSE-ENV estime qu'Orano Mining devrait définir le domaine de fonctionnement normal du dispositif de traitement des eaux du Grand Bassin au cours de leur vidange sur la base des résultats du pilote expérimental ainsi que la conduite à tenir en cas de sortie de ce domaine de fonctionnement.**

A l'issue de la mise en place de la couverture solide

Une fois l'eau du Grand Bassin évacuée et la couverture solide achevée, la station haute sera supprimée. Les eaux susceptibles d'être radiologiquement marquées, à savoir les eaux au contact des résidus, les eaux de ruissellement et les eaux infiltrées dans la couverture du stockage (collectées par des tranchées drainantes) ainsi que les eaux de drains de digue seront dirigées vers une nouvelle station de traitement sur zéolithes implantée en pied de digue (cf. Annexe Figure 4). Orano Mining indique que cette station, d'une capacité de traitement de 100 m³/h au maximum, devrait recevoir des débits estimés à environ 10 m³/h. Après traitement, les eaux seront acheminées gravitairement vers la canalisation de rejet de la station basse. PSE-ENV considère que la mise en place d'une nouvelle station de traitement de ces eaux est adaptée, au regard de leur potentiel marquage radiologique. Toutefois, les caractéristiques des eaux à traiter dans cette nouvelle station seront potentiellement différentes de celles des eaux du Grand Bassin, en raison des modifications des conditions géochimiques locales induites par le passage d'une couverture liquide à une couverture solide**.** Au cours de l'expertise, Orano Mining a indiqué prévoir des études spécifiques sur la réactivité des résidus dans les nouvelles conditions de stockage, en complément de l'étude sur le pilote expérimental de traitement sur zéolithes mentionnée ci-avant, ce que PSE-ENV considère satisfaisant. **PSE-ENV estime que ces études devront permettre de définir, comme pour la station haute, le domaine de fonctionnement garantissant l'efficacité du traitement de la nouvelle station en pied de digue.** En tout état de cause, PSE-ENV estime que la surveillance de la qualité des eaux en entrée de station constitue une information d'intérêt pour le pilotage de cette station de traitement.

Pour ce qui concerne la station basse, son fonctionnement pendant et après les travaux n'est modifié qu'à la marge avec l'ajout du traitement des eaux du sixième drain de digue et des eaux circulant sous les bassins nord et sud de la station. **Ces modifications mineures n'appellent pas de commentaires de la part de PSE-ENV**.

GESTION DES BOUES ET DES ZEOLITHES

Actuellement, les boues et zéolithes usagées issues du traitement des eaux sont stockées avec les résidus dans le Grand Bassin. A compter du démarrage des travaux de couverture, les boues produites à la station basse seront

déshydratées[12] avant d'être stockées, avec les zéolithes usagées issues de la nouvelle station de traitement située en pied de digue (cf. *supra*), dans une alvéole dédiée classée ICPE, implantée en bordure nord de l'ancienne MCO. D'une emprise au sol d'environ 2 500 m^2, cette alvéole sera constituée de 17 rangées de 3 cellules de 150 m^3 chacune, pour une capacité totale de 7 650 m^3. Cette capacité a été dimensionnée par Orano Mining pour un fonctionnement de 50 ans de l'alvéole, en supposant la production de 150 m^3/an de boues « déshydratées » et de zéolithes usagées. L'estimation par Orano Mining du volume de boues déshydratées repose d'une part sur le retour d'expérience des six dernières années de production de boues de décantation (production maximale de 790 m^3/an) pour retenir un volume majoré de 900 m^3/an, d'autre part sur des essais pilotes de déshydratation réalisés en 2024, permettant d'estimer que la conversion de ces 900 m^3/an conduira à la production de 80 à 120 m^3/an de boues déshydratées. Pour l'estimation du volume de zéolithes usagées, Orano Mining fait l'hypothèse d'un remplacement complet du bassin de zéolithes de 30 m^3 chaque année. PSE-ENV constate que les estimations d'Orano Mining sont basées sur des retours d'expérience opérationnel et sur un essai pilote, ce qui est satisfaisant sur le plan des principes. En outre, PSE-ENV relève que les hypothèses retenues pour la production des boues de décantation, le volume annuel de zéolithes à stocker et le rendement du procédé de déshydratation sont à priori majorantes. **Ainsi PSE-ENV estime que le dimensionnement prévu de l'alvéole est suffisant pour permettre une durée de fonctionnement de 50 ans.**

Concernant l'inventaire radiologique et chimique des boues et zéolithes usagées destinées à être stockées dans l'alvéole, Orano Mining a transmis, au cours de l'expertise, des résultats de la caractérisation radiologique et chimique des boues déshydratées issues de prélèvements réalisés à l'occasion des essais pilotes de déshydratation considérées comme représentatives de celles qui seront stockées. Orano Mining a également transmis les résultats de la caractérisation de zéolithes usagées prélevées à la station haute durant un renouvellement. Sur la base de ces premiers résultats, **PSE-ENV estime qu'Orano Mining dispose des connaissances nécessaires pour établir une première estimation de l'inventaire prévisionnel radiologique et chimique du contenu de l'alvéole à sa fermeture.** PSE-ENV note qu'Orano Mining n'a pas indiqué prévoir une caractérisation systématique des boues et zéolithes usagées à chaque mise en place dans l'alvéole, or la tenue d'un inventaire radiologique et chimique actualisé est nécessaire pour la traçabilité des matériaux stockés et faciliter leur suivi à l'issue de l'exploitation du stockage. **Ainsi, PSE-ENV estime qu'Orano Mining devrait caractériser le contenu chimique et radiologique des boues et zéolithes usagées à chaque mise en place dans l'alvéole.**

En outre, PSE-ENV note que, dans le cadre des travaux de réaménagement, Orano Mining prévoit le curage du bassin annexe, utilisé dans les premières années d'exploitation du site pour la décantation des effluents miniers, en vue de son utilisation pour la décantation des eaux du Grand Bassin avant traitement en station haute. PSE-ENV souligne que les boues issues du curage initial, ainsi que les boues générées par la décantation des eaux du Grand Bassin pendant les travaux, sont susceptibles d'être radiologiquement marqués compte tenu de l'usage historique et futur du bassin annexe. Au titre de l'amélioration des connaissances de l'inventaire radiologique du stockage de résidus miniers ou en vue d'évaluer l'opportunité de les transférer dans l'alvéole de stockage, **PSE-ENV estime qu'Orano Mining devrait réaliser une quantification du volume et une caractérisation radiologique et chimique des boues issues du bassin annexe.**

S'agissant de la conception de l'alvéole, les cellules de stockage seront constituées de casiers en béton, enterrés, intégrant une triple barrière de confinement composée d'un radier et de voiles en béton armé, d'une membrane d'étanchéité à base de bitume et d'une couche de faible perméabilité (de l'ordre de 10^{-9} m/s) d'1 mètre d'épaisseur à base d'argile (cf Annexe Figure 5). Un premier dispositif de drainage, constitué d'une couche drainante disposée en fond d'alvéole, permettra d'évacuer les lixiviats correspondant aux eaux d'essorage issues des boues et des zéolithes stockées, via une canalisation permettant un débit maximum de 300 m^3/h, vers la station basse pour traitement conjointement aux eaux du TB0. Un second dispositif de drainage, constitué de drains transversaux situés sous la couche d'argile, permettra de détecter les éventuels défauts d'étanchéité de l'alvéole, et, le cas

[12] Ces boues seront pressées avec une centrifugeuse containérisée installée une fois par an sur une aire dédiée proche de l'alvéole à remplir et les eaux issues de ce pressage seront envoyées en tête du système de traitement des eaux. La siccité (teneur en matière sèche) atteindrait alors 20 à 30%, à comparer avec la siccité actuelle des boues de décantation qui est de 2% environ.

échéant, de contrôler[13] les eaux collectées afin de les orienter, selon leurs caractéristiques radiologiques, vers le traitement à la station basse ou vers la Besbre. A l'issue de leur remplissage, chaque cellule sera fermée par une dalle de béton constituant une couverture provisoire. Une couverture définitive sera *in fine* mise en place progressivement, constituée d'une membrane bitumineuse, d'une couche d'étanchéité de perméabilité de l'ordre 10^{-9} m/s sur 1 mètre d'épaisseur, et enfin de matériaux d'arène arénitiques sur 1 mètre d'épaisseur visant à faciliter le drainage des eaux superficielles. **PSE-ENV considère que le concept de stockage proposé, reposant sur l'approche multi-barrières et intégrant des dispositifs de drainage, est conforme aux bonnes pratiques en matière de confinement des substances nocives et de gestion des lixiviats**. PSE-ENV relève également positivement (i) la capacité offerte par ce concept de suivre le niveau de confinement (étanchéité) du stockage, (ii) sa conception en grande partie souterraine la rendant plus stable sur le long terme et (iii) le dimensionnement *a priori* suffisant du dispositif d'évacuation des lixiviats pour écarter le risque d'un « effet baignoire » au sein de l'alvéole de stockage. PSE-ENV souligne toutefois, étant donné la durée d'exploitation de 50 ans envisagée pour l'alvéole, que des réflexions devront être menées dans quelques dizaines d'années sur les modalités de gestion des boues et zéolithes usagées au-delà de cette période.

Enfin, Orano Mining justifie de ne pas localiser l'alvéole sur le stockage de résidus pour ne pas altérer sa couverture du fait notamment de la mise en place des dispositifs de drainage évoqués *supra,* **ce qui est pertinent**.

5. MODALITES DE SURVEILLANCE DE L'AIR ET DES EAUX

Actuellement Orano Mining réalise la surveillance de la qualité de l'air sur le site et dans l'environnement proche, des eaux du site (Grand Bassin, eaux de mine, eaux des drains de la digue et rejets), des eaux de l'environnement et des eaux souterraines conformément aux prescriptions des arrêtés préfectoraux du 28 juin 2022 et du 10 mars 2025. Orano Mining propose une adaptation de cette surveillance pendant les travaux et après le réaménagement.

SURVEILLANCE DE LA QUALITE DE L'AIR

Orano Mining réalise des mesures du radon, du débit de dose et de l'activité des poussières sur le site (au niveau de la station basse, à proximité de l'ancienne MCO et au nord du Grand Bassin) et dans l'environnement (en zone habitée et en milieu naturel) (cf. Annexe Figure 6) et utilise les résultats pour calculer la Dose Efficace Annuelle Ajoutée (DEAA) des groupes de populations supposés être les plus exposés en termes d'exposition externe aux rayonnements gamma et d'inhalation de radon et de poussières.

Pendant les travaux, Orano Mining prévoit le déplacement de stations de surveillance sur site (ancienne MCO et au nord du Grand Bassin) à proximité de la future alvéole de stockage et à l'entrée du site. Dans l'environnement, Orano Mining prévoit de compléter la surveillance réglementaire par des mesures du radon ainsi que de l'activité des poussières sur des périodes de 30 jours consécutifs dans les hameaux les plus proches (Les Peux, Cherblanc, Le Vernois, Moulin Thiennon et nord-ouest de Saint-Priest-la-Prugne). **PSE-ENV considère qu'une surveillance complémentaire pendant les travaux au niveau des villages les plus proches est pertinente dans l'objectif d'apprécier l'impact des travaux**. PSE-ENV note que l'analyse des activités des poussières dans les hameaux les plus proches avant le début des travaux, qui pourrait permettre une meilleure appréciation de l'impact des travaux, n'est pas mentionnée par Orano Mining dans son dossier. A l'issue de l'expertise, Orano Mining a précisé que ces mesures seront bien réalisées avant le démarrage des travaux.

A l'issue des travaux, une nouvelle station de mesure du radon et du débit de dose sera implantée sur le stockage, à un emplacement non défini à ce stade. PSE-ENV attire l'attention sur le choix du positionnement de cette station afin qu'elle permette bien d'obtenir une mesure représentative du radon émis par l'ensemble du stockage. S'agissant de la surveillance du radon dans l'environnement, en plus de la surveillance réglementaire actuelle, Orano Mining prévoit de la poursuivre au niveau de la station des Peux pendant trois ans après les travaux. Par ailleurs, Orano Mining prévoit l'arrêt des mesures de débit de dose considérant que l'impact radiologique devient négligeable au-delà de 100 mètres du stockage après mise en place de la couverture solide. PSE-ENV convient

[13] Les paramètres suivis seront le débit, le pH, la conductivité, les teneurs en sulfates ainsi que le radium 226 et l'uranium soluble.

de la faible pertinence des mesures de débit de dose à distance des sources d'émission du rayonnement gamma présentes sur le site. Toutefois, pour éviter un arrêt brutal de cette surveillance de façon concomitante aux modifications induites par le réaménagement et au titre de l'information du public, **PSE-ENV encourage le maintien de la surveillance du débit de dose dans l'environnement proche *a minima* pendant un à deux ans après la fin du réaménagement**.

SURVEILLANCE DE LA QUALITE DES EAUX DE SITE, DES EAUX ENVIRONNEMENTALES ET DES EAUX SOUTERRAINES

S'agissant des eaux de site, Orano Mining réalise une surveillance portant sur la qualité radiologique et physico-chimique des eaux : i) du Grand Bassin, ii) en sortie du traitement à la station haute, iii) avant rejet dans la Besbre au niveau de l'évacuateur de crue (cf. Annexe Figure 3 et Figure 7) et iv) au niveau de la station basse. Les opérations de vidange conduiront notamment au déplacement du point de surveillance du Grand Bassin juste avant l'entrée du bassin annexe, ainsi qu'à une augmentation de la périodicité de surveillance en ce point et avant rejet dans la Besbre. A l'issue des travaux de réaménagement, la surveillance actuelle en station basse sera maintenue et un nouveau point de surveillance sera ajouté à l'exutoire de la nouvelle station de traitement par zéolithes en pied de digue.

Pendant les travaux, le volume important d'eau issue du Grand Bassin à traiter avant rejet dans la Besbre impose de pouvoir détecter rapidement un éventuel dépassement des seuils de rejet autorisés. En effet, Orano Mining indique que la confirmation de la conformité des eaux rejetées ne peut être obtenue qu'a posteriori, en raison des délais incompressibles nécessaires à l'analyse des paramètres réglementés. Par ailleurs, Orano Mining précise qu'un entreposage des eaux traitées conduirait à des rejets par bâchées dans la Besbre, susceptibles d'avoir un impact sur les écosystèmes aquatiques. Orano Mining utilise actuellement l'émanométrie pour l'analyse du radium 226 ; bien que précise, cette méthode nécessite 4 à 6 semaines pour l'obtention des résultats. Dans ce contexte, Orano Mining envisage de recourir à l'ICP-MS afin de disposer sous 2 semaines de résultats analytiques en sortie de la station haute avec une limite de quantification (0,1 Bq/L) adaptée à un suivi opérationnel de la station de traitement. A l'issue de l'expertise, Orano Mining a indiqué qu'une seconde analyse du radium 226 par ICP-MS permettra d'atteindre une limite de quantification comparable à celle associée à l'émanométrie (0,02 Bq/L) en vue d'établir un bilan de la quantification du radium rejeté. **PSE-ENV considère que cette stratégie répond de manière satisfaisante à l'impossibilité d'entreposer les volumes d'eau traités dans l'attente des résultats d'analyses avant rejet, tout en permettant l'établissement d'un bilan représentatif des quantités de radium 226 rejetées dans la Besbre pendant les travaux**.

S'agissant des eaux de surface environnementales, Orano Mining réalise la surveillance de la qualité radiologique et physico-chimique des eaux de la Besbre en amont et en aval du site et de deux sources localisées dans le secteur du Paradou (cf. Annexe Figure 7), ainsi qu'une surveillance d'indicateurs d'état écologique (détermination de l'indice biologique global) et de la qualité radiologique des sédiments dans la Besbre en amont et en aval du site. Pendant les travaux, Orano Mining prévoit d'augmenter la périodicité de surveillance de la qualité physico-chimique et radiologique des eaux en aval du site, ainsi que la surveillance écologique et sédimentaire en amont et en aval du site. La fréquence de suivi sera portée de cinq à deux ans pour l'indice biologique global et de deux ans à un an pour les sédiments. A la demande de Vichy Communauté, un nouveau point de surveillance dans la Besbre sera également mis en place à une quinzaine de kilomètres en aval du site, juste avant le plan d'eau de Saint-Clément. Après les travaux, ces fréquences de surveillance seront maintenues pendant deux ans à l'aval du site et dans le secteur du Paradou. **PSE-ENV considère que les modifications de la surveillance proposées par Orano Mining pendant et après les travaux sont pertinentes sur le plan des principes.** Toutefois, PSE-ENV souligne que, compte tenu de la fixation préférentielle des radionucléides sur les sédiments fins et de la variabilité entre les prélèvements, la surveillance des sédiments devrait être accompagnée de données granulométriques afin d'en faciliter l'interprétation.

S'agissant enfin des eaux souterraines, Orano Mining réalise leur surveillance dans trois piézomètres implantés en amont du stockage de résidus, en aval du site et sur le site (cf. Annexe Figure 8). Pendant les travaux, Orano Mining prévoit l'implantation pérenne de quatre nouveaux piézomètres en pied de stockage, dans la zone humide (cf. Annexe Figure 9). Compte tenu de l'effet de drainage hydrogéologique apporté par le futur cours de la Besbre

au nord du site et de la zone humide, **PSE-ENV considère que l'ajout de piézomètres dans la zone humide, en aval hydraulique du stockage réaménagé, est pertinent.**

Enfin, PSE-ENV note que les changements de localisation de certains points de surveillance n'entrainent pas systématiquement un changement d'appellation (par exemple, points de surveillance nommé GBZ2, GB1, BESB A, cf. Annexe Figure 7). Afin de disposer de résultats de surveillance lisibles et cohérents **PSE-ENV estime qu'Orano Mining devrait attribuer une nouvelle appellation aux points de surveillance dont la localisation est modifiée.**

6. CONCLUSION

PSE-ENV considère que les éléments techniques présentés par Orano Mining relatifs aux points examinés dans le cadre du présent avis d'expertise sont globalement satisfaisants. Ainsi, la démarche suivie par Orano Mining pour évaluer la stabilité à long terme de l'ouvrage de ceinture du stockage de résidus des Bois Noirs Limouzat après réaménagement est conforme aux préconisations du groupe de travail mis en place dans le cadre du PNGMDR. Les dispositions de gestion des eaux, des boues et des zéolithes, ainsi que les dispositions de surveillance de la qualité de l'air et de l'eau sont adaptées aux enjeux de radioprotection des travailleurs, du public et de l'environnement, durant et après les travaux de réaménagement. En outre, l'épaisseur de la couverture solide définitive est correctement dimensionnée au regard de sa fonction d'atténuation des flux de rayonnement gamma et de radon.

En revanche, l'épaisseur de lame d'eau d'1 mètre qu'Orano Mining envisage de maintenir pendant les travaux de réaménagement pourrait ne pas procurer une atténuation suffisante du flux de radon. En outre, le domaine de fonctionnement des stations de traitement des eaux sur zéolithes et les paramètres de pilotage associés restent à définir. Des remarques sont ainsi formulées dans le présent avis en vue d'améliorer les points examinés, en particulier sur ces deux sujets.

Le directeur de la recherche et de l'expertise en environnement

SIGNATURE ÉLECTRONIQUE ASNR

Signature numérique de Marc GLEIZES
Date : 2026.06.19 17:52:17 +02'00'

Marc GLEIZES

ANNEXE A l'AVIS Nº 2026-00065 DU 19 JUIN 2026

Les figures ci-après sont issues du dossier de demande d'autorisation environnementale déposé par Orano Mining.

Situation	Phase de vie du stockage	Niveau d'eau dans l'ouvrage	Aléas naturels
1	« Maintenance effective »	**Normal** (drains fonctionnels)	**Sans aléa**
2		**Normal** (drains fonctionnels)	**Séisme** associé à une période de retour de 10 000 ans, ou à une évaluation déterministe (séisme de niveau SMS ou paléoséisme)
3		Piézométrie **importante** (niveau d'eau élevé lié aux infiltrations très importantes)	**Pluviométrie exceptionnelle** débit de ruissellement, calculé à partir des pluies centennales, majoré d'un facteur 2
4	« Absence de maintenance »	Piézométrie **maximale** (liée à l'inefficacité des drains)	**Sans aléa**
5 (en sensibilité)		Piézométrie **maximale** (liée à l'inefficacité des drains)	**Séisme** associé à une période de retour de 10 000 ans, ou à une évaluation déterministe (séisme de niveau SMS ou paléoséisme)

Figure 1 : Situations et aléas à considérer pour les études de stabilité

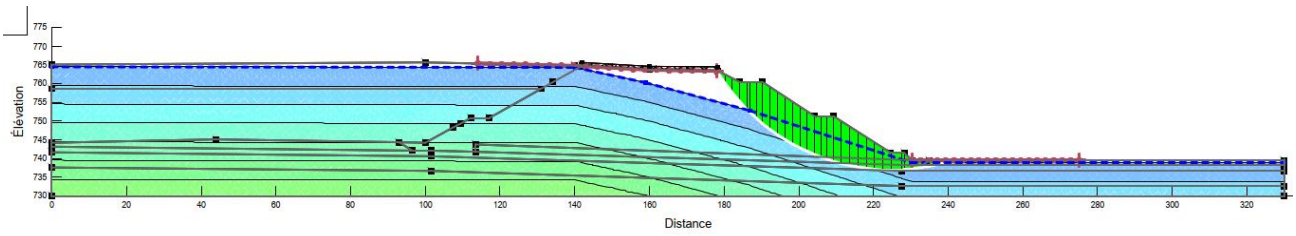


Figure 2 : Niveau d'eau (pointillés bleus) retenus par Orano Mining au niveau du Profil 1 pour la situation de piézométrie maximale en phase post-travaux

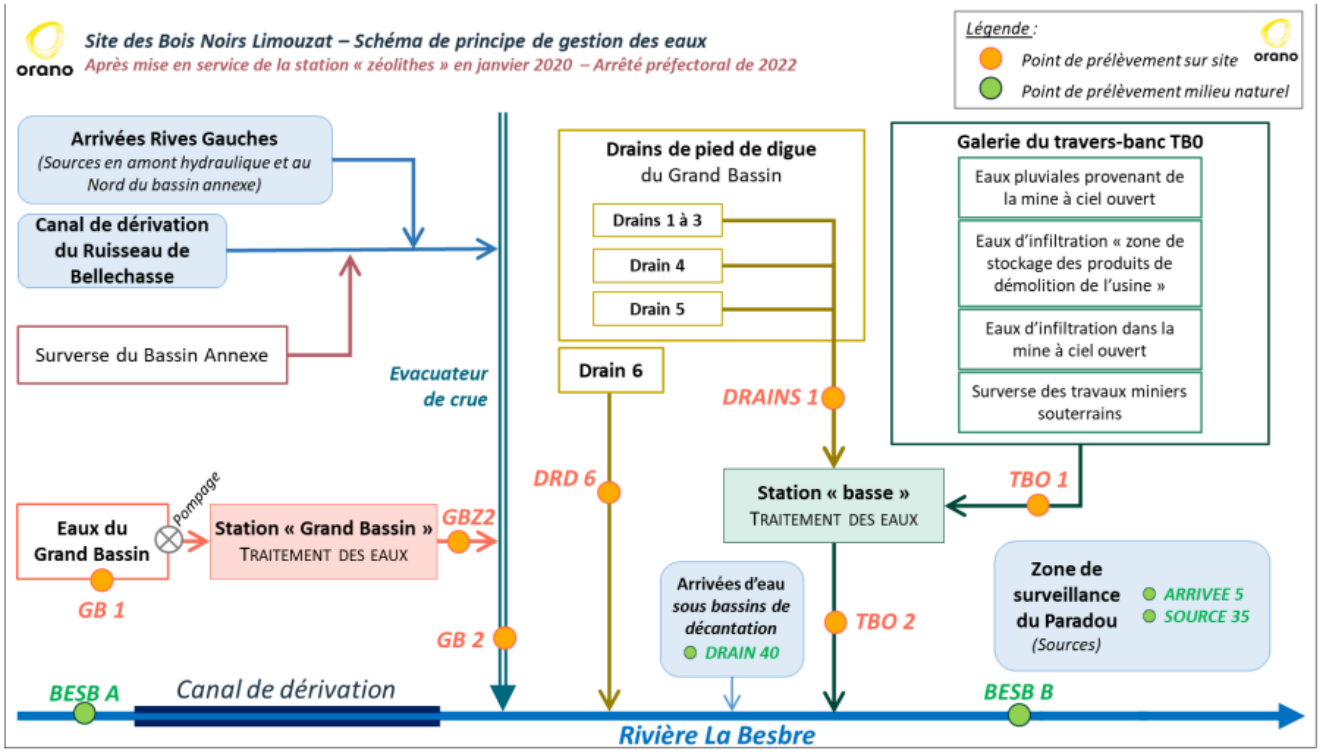


Figure 3 : Schéma de principe de gestion actuelle des eaux de surface

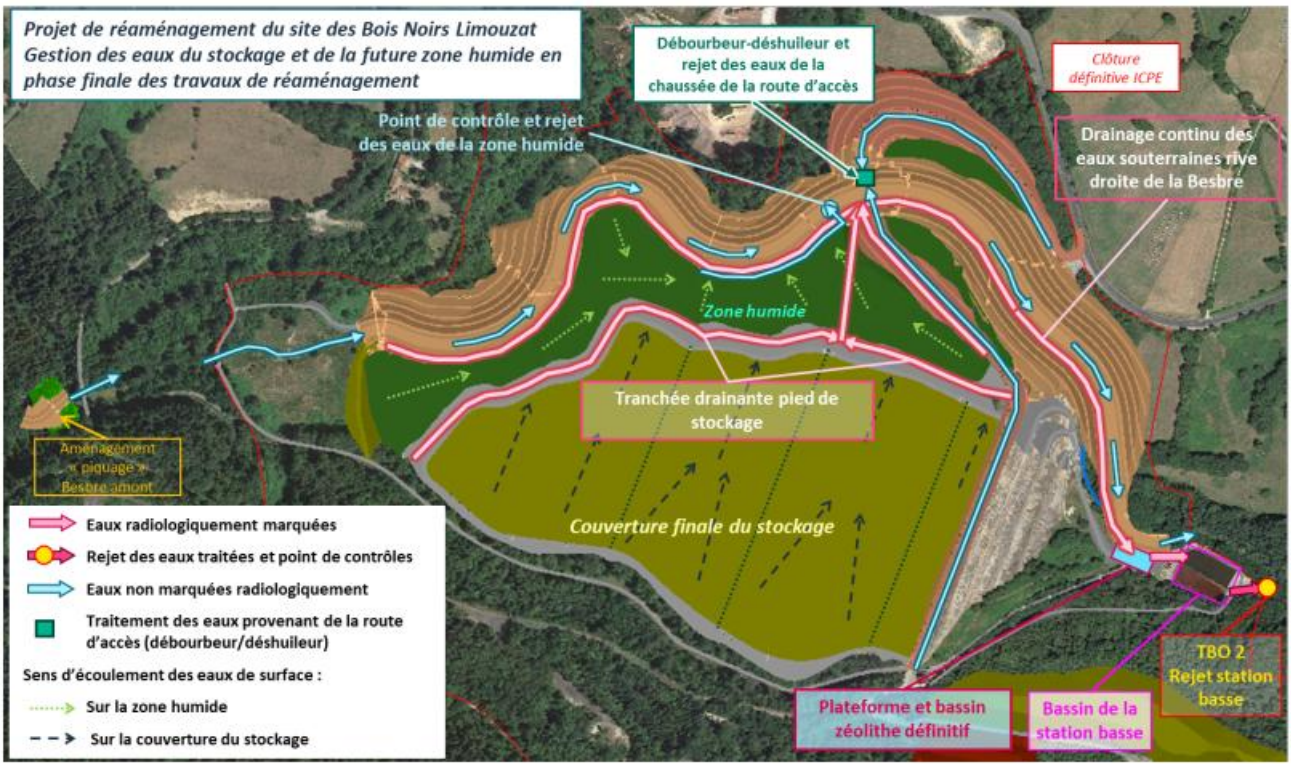


Figure 4 : Gestion des eaux de ruissellement et de la future zone humide en phase finale des travaux de réaménagement du site

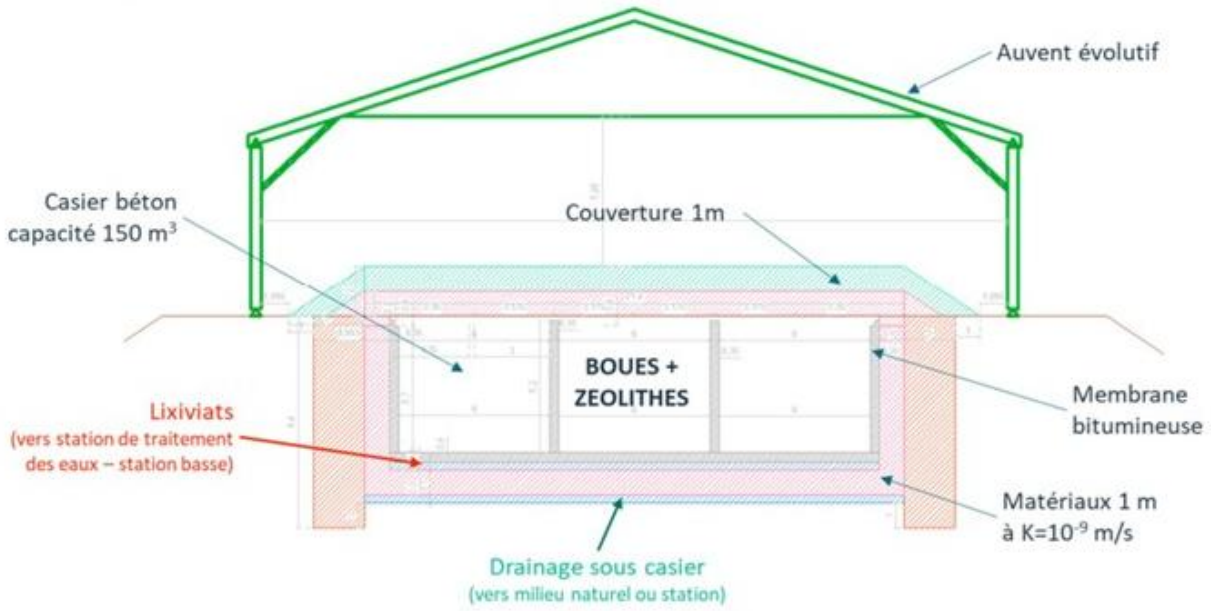


Figure 5 : Coupe de principe de l'alvéole de stockage des boues et zéolithes usagées issues du traitement des eaux

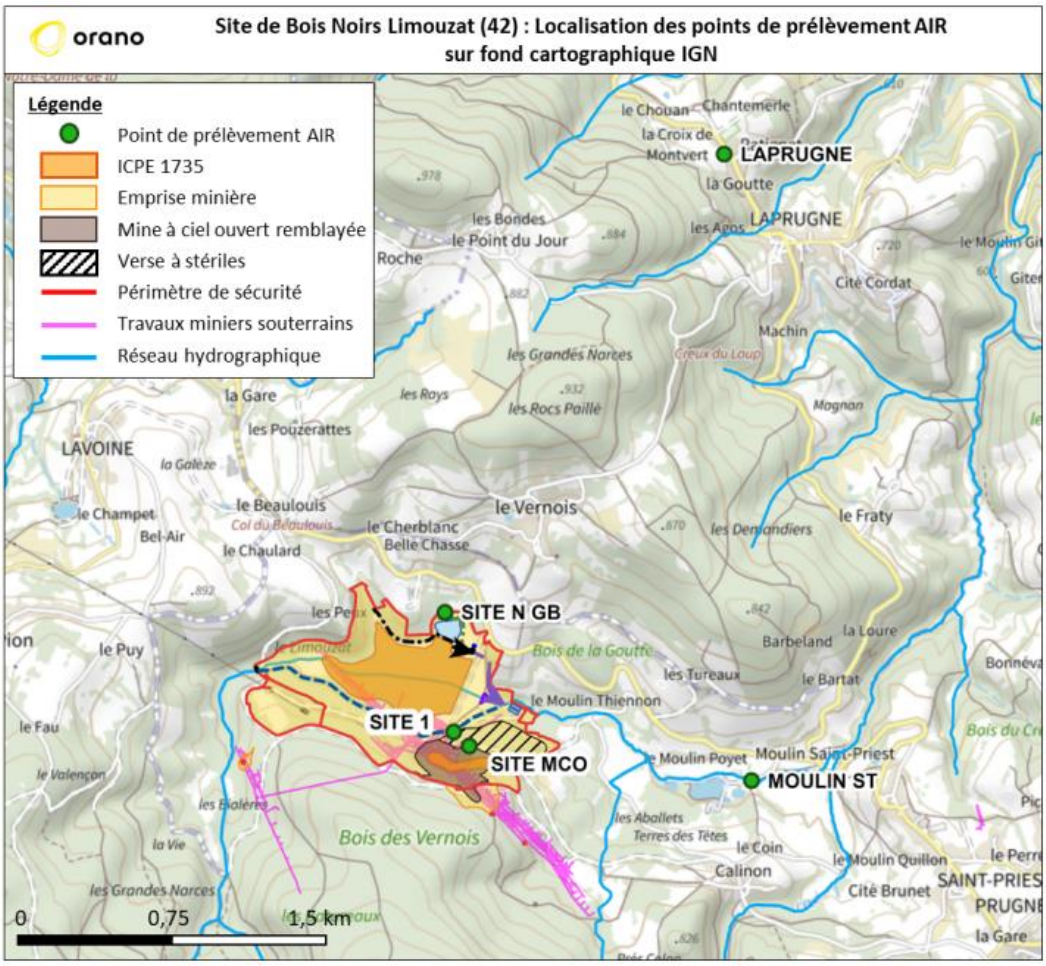


Figure 6 : Localisation actuelle des points de prélèvement AIR sur et dans l'environnement proche du site des Bois Noirs Limouzat

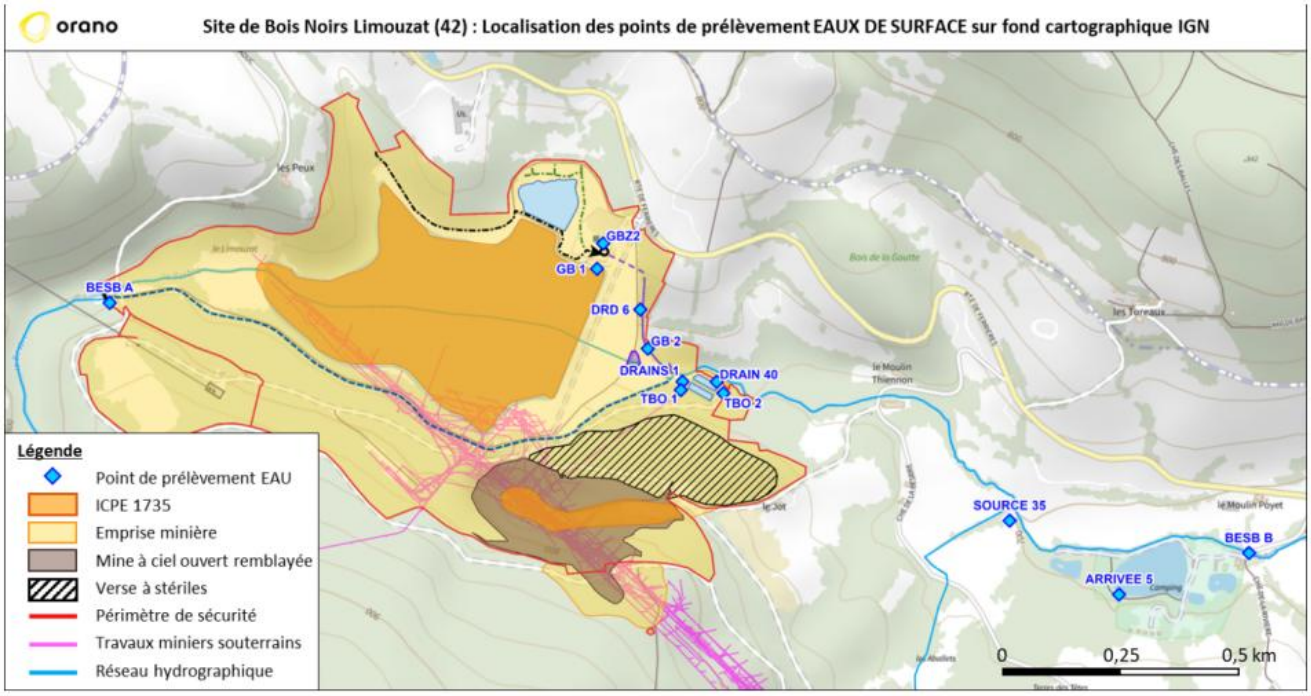


Figure 7 : Localisation actuelle des points de prélèvements "Eaux de surface" sur fond cartographique

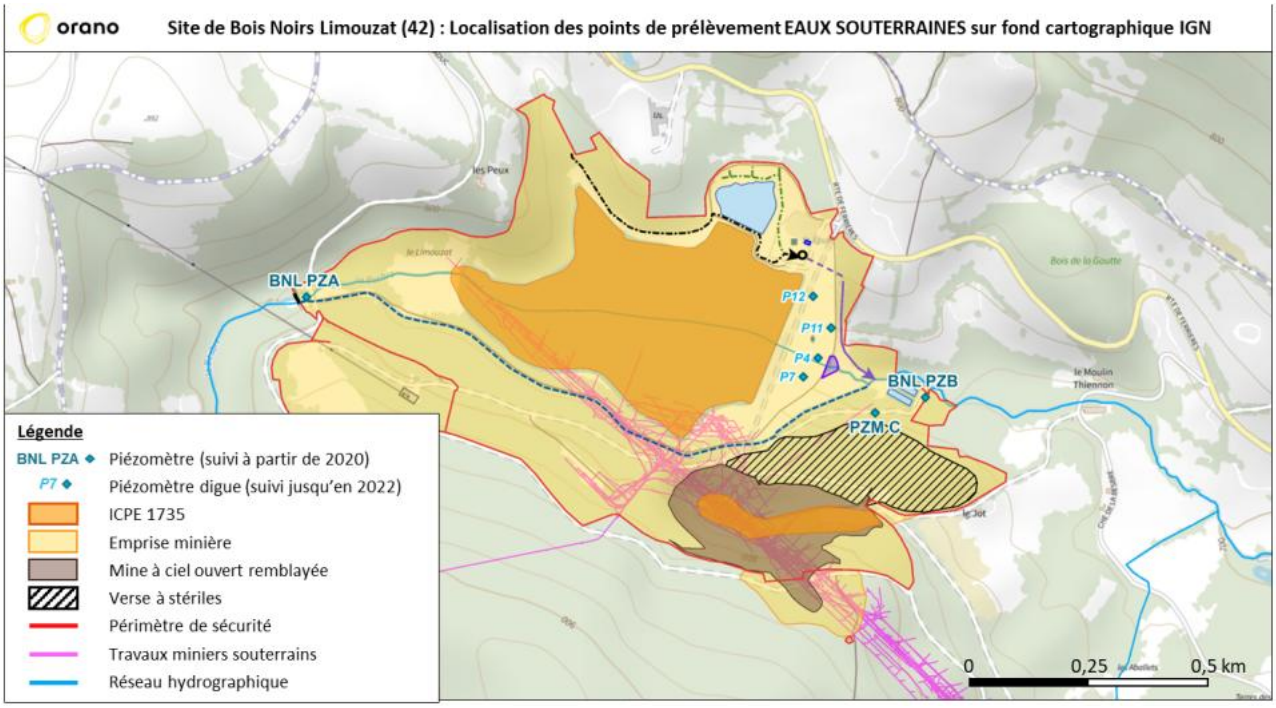


Figure 8 : Localisation actuelle des piézomètres dédiées à la surveillance environnementales des eaux souterraines

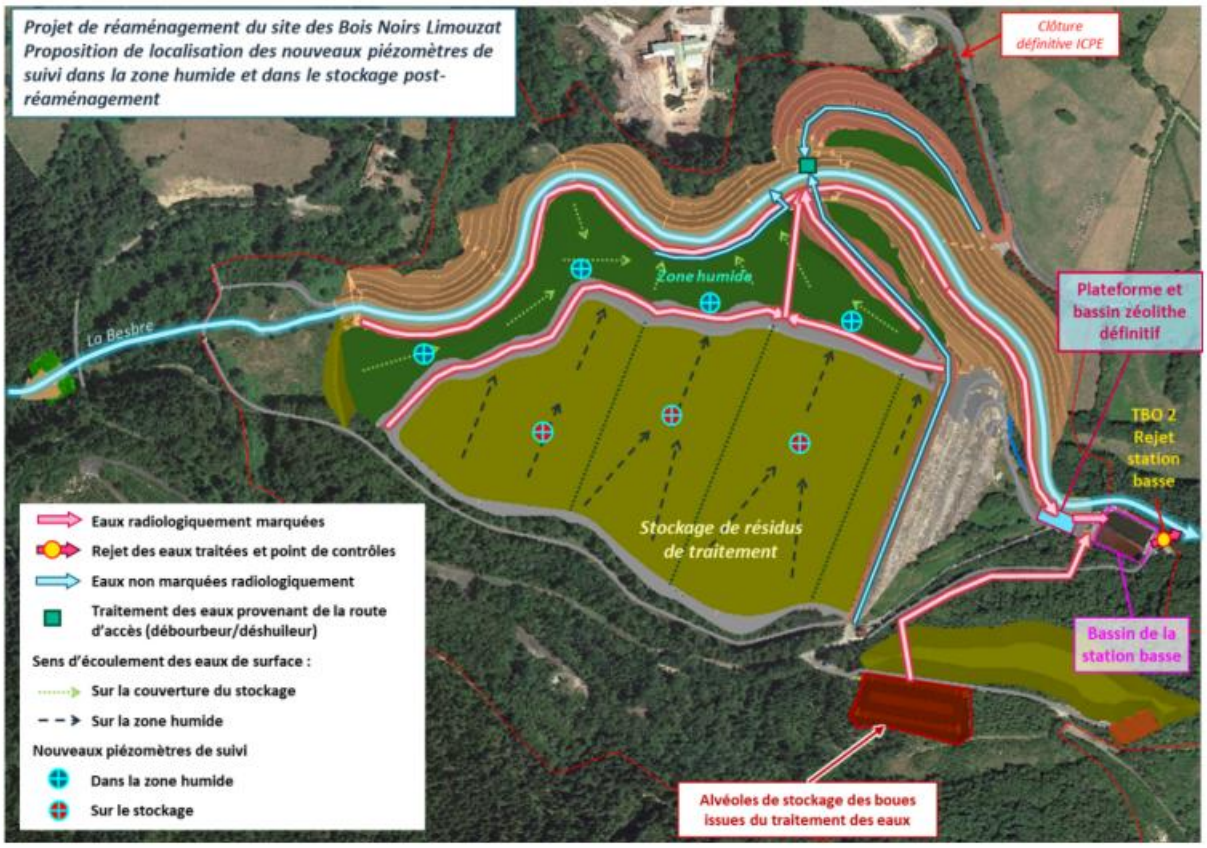


Figure 9 : Proposition de localisation de nouveaux piézomètres en pied du stockage (zone humide) et sur le stockage