

# Etude de la relation entre les flux rejetés par le site des Bois Noirs et l'accumulation des sédiments dans le lac Saint-Clément

Michaël DESCOSTES

ORANO Mining, Environmental R&D Dpt, Chatillon, France

12/04/2023, GT PNGMDR

# Détail de la demande PNGMDR

- Article 65 de l'arrêté du 23 février 2017
  - « Areva complète l'étude portant sur la relation entre les flux rejetés par le site de Bois Noirs Limouzat et l'accumulation des sédiments marqués dans le lac de Saint-Clément avec les résultats de caractérisations microbiologiques et des analyses des eaux interstitielles des sédiments du lac de Saint Clément. »
- Avis n° 2021-AV-0374 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 4 février 2021
  - L'ASN rappelle « que les résultats des caractérisations microbiologiques et des analyses des eaux interstitielles des sédiments du lac de Saint Clément, nécessaires à l'évaluation des processus mis en jeu lors de l'accumulation sédimentaire en aval des sites, n'ont pas été transmis, et ont été reportés par Orano Mining à fin 2020, par lettres du 10 décembre 2018 et du 19 décembre 2019 susvisées ; que ces éléments sont indispensables à la prise de décision sur la gestion de ces sédiments » et recommande ainsi « qu'Orano Mining finalise l'étude portant sur la relation entre les flux rejetés par le site des Bois Noirs-Limouzat et l'accumulation des sédiments marqués dans le lac de Saint-Clément. »

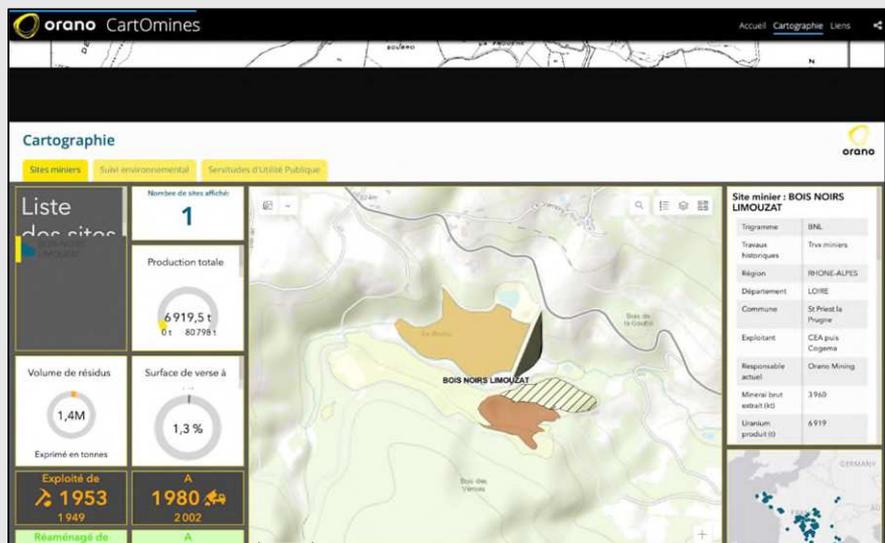
# 01

## ***Rappel précédents résultats***

- Phommavanh, V.; Descostes, M.; Nos, J.; de Boissezon, H.; Reile, B. (2014). Relation entre les flux rejetés par le site de Bois Noirs-Limouzat et l'accumulation de sédiments marqués à Saint-Clément. Rapport technique AREVA Mines AMS-DEXP-DRD-RT-0044.
- Descostes, M.; Wattinne, A.; Guiollard, P.C.; Patrier, P. (2017). Relation entre les flux rejetés par le site de Bois Noirs-Limouzat et l'accumulation de sédiments marqués dans le lac de Saint-Clément. Second rapport d'avancement . Rapport technique AREVA Mines AMS-DOP-DRD-NT-0101.

# Rappel résultats précédents

- Mine des **Bois Noirs Limouzat (BNL)** exploitée de **1953 à 1980** par le CEA puis COGEMA (production 6919 tU), aujourd'hui réaménagée faisant l'objet d'une surveillance environnementale dédiée (eau/air/sédiment/chaîne alimentaire – 377 points de prélèvement).
- **Lac de Saint-Clément** alimenté par la **Besbre** localisé ~20 km en aval est une retenue d'eau artificielle (30ha – 1500 m de long – 15 m de profondeur maximale) alimentant un barrage EDF depuis **1931** présentant ainsi l'opportunité d'un enregistrement sédimentaire avant, pendant et après l'exploitation de la mine des Bois Noirs Limouzat.
- **Existe-t-il une accumulation d'U et de  $^{226}\text{Ra}$  en aval du site de BNL? Pourquoi? Demain?**
- **Etude pluri-disciplinaire** pilotée par la R&D environnement d'ORANO Mining en collaboration avec des partenaires académiques (Université de Bruxelles (Belgique), Université de Grenade (Espagne), Université de Poitiers (France), CEA (France), CREGU (France), Sorbonne Université (France))



# Rappel résultats précédents

- **Aucun marquage radiologique n'est observé dans les eaux du lac de St-Clément :** les rejets actuels de la mine de BNL n'ont pas d'influence sur la qualité de ces eaux ; les concentrations en **U** et **<sup>226</sup>Ra** sont **comparables** au **bruit de fond naturel** en milieu granitique (Lartigue *et al.*, 2020).
- Des prélèvements de **sédiments au sein du lac** ont permis de déterminer **les valeurs de bruit de fond naturel** en **<sup>238</sup>U** (50-2000 Bq/kg m.s.) **et <sup>226</sup>Ra** (50-800 Bq/kg m.s.) qui sont fonction de la nature des sédiments. Ces valeurs sont liées au lessivage des roches granitiques du bassin versant de la Besbre.
- Aucun marquage radiologique en aval du lac de St-Clément n'est constaté. Il en va de même dans les premiers 50 centimètres des sédiments en zones amont et intermédiaire. Ce résultat témoigne de l'**absence de marquage radiologique actuel lié aux activités de l'ancien site minier.**
- **Un marquage radiologique localisé sur une très faible épaisseur** de l'ordre de quelques centimètres a été confirmé dans les parties amont et intermédiaire du lac, avec un pic en **<sup>238</sup>U** et descendants vers 50-80 cm de profondeur (**<sup>238</sup>U max. = 8348 Bq/kg m.s.**; **<sup>226</sup>Ra max. = 3268 Bq/kg m.s.**). Ce **marquage est corrélé à l'historique de rejet de BNL** (maximum de rejets en U vers 1981, au moment de la fermeture et réaménagement du site, et du noyage naturel consécutif des travaux miniers souterrains).

$$[U]_{\text{eau St Clément}} = 1 \mu\text{g/L}$$
$$[^{226}\text{Ra}]_{\text{eau St Clément}} = 0,03 \text{ Bq/L}$$

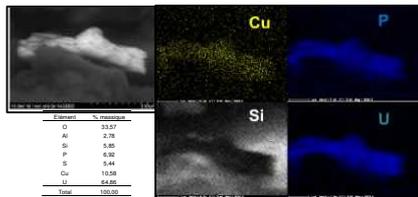
$$[U]_{\text{séd. St Clément}} = 4\text{-}156 \text{ ppm}$$
$$[^{226}\text{Ra}]_{\text{séd. St Clément}} = 1\text{-}21 \text{ ppt}$$

$$[U]_{\text{séd. max}} = 671 \text{ ppm}$$
$$[^{226}\text{Ra}]_{\text{séd. max}} = 89 \text{ ppt}$$

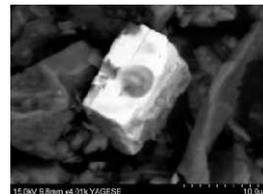
# Rappel résultats précédents

- Les **phases porteuses** identifiées de **U** et de **<sup>226</sup>Ra** au sein des sédiments **sont stables**, quelles que soient les conditions d'oxydo-réduction (phases minéralogiques très peu solubles).

Phosphate U<sup>VI</sup>-Cu



Barytine



- Les activités radiologiques dans les niveaux superficiels où vivent la majorité des invertébrés benthiques sont relativement faibles (165-700 Bq/kg pour la fraction de <sup>238</sup>U détritique et 0-1350 Bq/kg pour la fraction d'origine dissoute). C'est pourquoi en l'état actuel, **aucun risque radiologique n'est identifié**.
- Un niveau polymétallique à des concentrations exceptionnelles est également observé dans les 50 premiers cm des sédiments. Ce niveau mis en place au début des années 2000 est constitué de résidus de traitement issus de l'ancienne mine polymétallique de Charrier (Cu, Sn, Pb) localisée entre la mine de BNL et le lac.

**0-50 cm: Milieu oxydant** zircon, monazite et phosphates d'U<sup>VI</sup>  
**> 50 cm : Milieu réducteur** zircon, monazite, uraninite et phosphates d'U<sup>IV</sup>

**Fraction détritique:** 13-56 ppm  
**Fraction dissoute:** 0-100 ppm

**Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ~30 %**  
**Zn, Cu, Sn ~ 1000 ppm**



# 02

## *Résultats complémentaires*

- Descostes, M. (2022). Relation entre les flux rejetés par le site de Bois Noirs-Limouzat et l'accumulation de sédiments marqués dans le lac de Saint-Clément. Rapport final. Rapport technique ORANO Mining IDF-DT-009551.

# Livrable ORANO

## ■ Rapport ORANO

- Descostes, M. (2022). Relation entre les flux rejetés par le site de Bois Noirs-Limouzat et l'accumulation de sédiments marqués dans le lac de Saint-Clément. Rapport final. Rapport technique ORANO Mining IDF-DT-009551.

## ■ Questions

- « Est-ce que les populations microbiennes observées dans les sédiments du lac de Saint Clément peuvent apporter des contraintes sur les conditions géochimiques prévalentes au sein des sédiments? »
- « Est-ce que la mesure des concentrations en U et  $^{226}\text{Ra}$  au sein des eaux interstitielles des sédiments du lac de Saint Clément peuvent apporter des contraintes sur la mobilité de ces éléments? »
- « Quelles sont les implications des nouveaux résultats sur la mobilité de l'U et du  $^{226}\text{Ra}$  au sein des sédiments du lac de Saint-Clément en fonction des différents scénarios de gestion de ces sédiments ?»

Orano - BU Mines  
DSSER/ORDE

Ref : IDF-DT-009551

Titre : Relation entre les flux rejetés par le site de Bois Noirs-Limouzat et l'accumulation de sédiments marqués dans le lac de Saint-Clément. Rapport final.

Mots clés : Rejets, Sédiments, Bois Noirs-Limouzat, St-Clément, Mines, Uranium, Radium, Cu, Sn, Changer, chrome, Plan National de Gestion des Matières et Déchets Radioactifs, PNMGR

Diffusion Limitée Orano

	Nom	Signature
Rédacteur	DESCOSTES Michaël	DESCOSTES Michaël
Vérificateurs	CROCHON Philippe	CROCHON Philippe
	MASSET Olivier	MASSET Olivier
Approbateur	PIQUET Carine	PIQUET Carine

Révision n°	Date	Nature des modifications
01	03/01/2022	Première émission

# Caractérisations microbiologiques

## Question 1

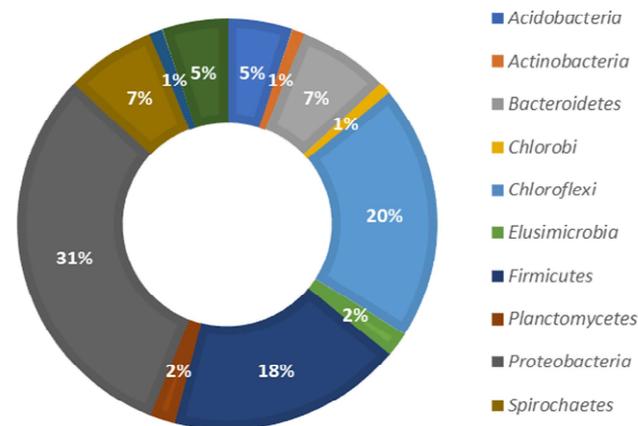
- « Est-ce que les populations microbiennes observées dans les sédiments du lac de Saint Clément peuvent apporter des contraintes sur les conditions géochimiques prévalentes au sein des sédiments? »
- « Peut on distinguer des conditions favorables à l'immobilisation de l'uranium, c'est-à-dire des conditions anoxiques et réductrices? »

## Réponse

- Approche rendue caduque par la présence d'un niveau polymétallique
- Mais observation sur niveau inférieur de minéraux traduisant l'activité de populations bactériennes de type sulfato-réductrice
- Identification de plusieurs populations microbiennes (embranchements Acidobacteria, Clostridia, Chlorobi, Firmicutes, Proteobacteria) confirmant la présence de conditions anoxiques**



Cliché MEB d'une pyrite framboïdale délimitant les zones réduites des sédiments de Saint-Clément localisée entre 40 et 70 cm de profondeur



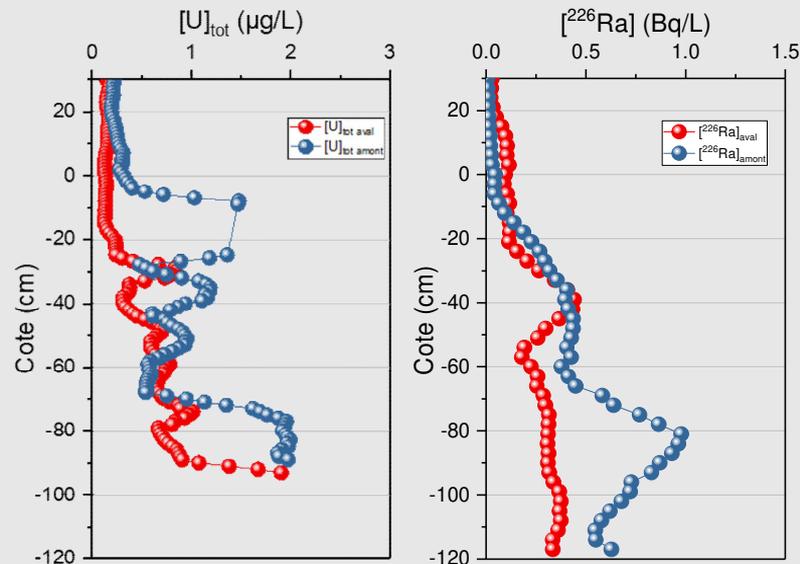
# Eaux interstitielles

## Question 2

- « Est-ce que la mesure des concentrations en U et  $^{226}\text{Ra}$  au sein des eaux interstitielles des sédiments du lac de Saint Clément peuvent apporter des contraintes sur la mobilité de ces éléments? »

## Réponse

- Mesures effectuées avant découverte niveau polymétallique en amont et aval du lac de Saint Clément et rendues difficiles par l'importance des concentrations importantes en Fe, Sn, Zn et Cu
- Valeurs enregistrées très faibles:**  $[\text{U}] < 2\mu\text{g/L}$  et  $[\text{}^{226}\text{Ra}] < 1\text{Bq/L}$
- Mais supérieures aux concentrations mesurées dans les eaux du lac ( $[\text{U}] = 0,2\mu\text{g/L}$  et  $[\text{}^{226}\text{Ra}] = 0,03\text{Bq/L}$ )
- Ces différences témoignent de l'enrichissement en métaux au sein des sédiments lors de diagenèse avec d'une part, une réduction des teneurs en eau par compaction, et d'autre part une réactivité chimique exacerbée par l'activité microbienne à laquelle se rajoute dans le cas présent la présence du niveau polymétallique.



# 03

## ***Conclusions et recommandations sur la gestion des sédiments du lac de Saint Clément***

Ces recommandations ne concernent pas les concentrations élevées en métaux issues du marquage polymétallique provenant de la mine de Charrier

# Implications sur la gestion des sédiments du lac de St Clément

## ■ Scénario 1 : aucune perturbation des sédiments

- **Favorable à l'immobilisation** de U et <sup>226</sup>Ra et à l'absence de risque radiologique

## ■ Scénario 2 : curage/dragage des sédiments

- **Pas de risque radiologique en aval** où la puissance sédimentaire est la plus élevée (faibles activités radiologiques). En zones intermédiaires et amont du lac où sont observés les marquage polymétallique et radiologique, risque de remobilisation
- **Curage limité aux couches superficielles**, idéalement au-dessus du niveau sédimentaire riche en métaux, pour ne pas perturber les niveaux sous-jacents en conditions réduites.

## ■ Scénario 3 : baisse du niveau d'eau / vidange

- Une baisse du niveau d'eau du lac, suffisamment importante pour entraîner la mise à l'air des sédiments, comporte un risque important d'oxydation des sédiments et donc de **remobilisation de U**.
- Même si les teneurs en fer particulièrement élevées induiront la précipitation d'hydroxydes de fer sur lesquels U peut s'adsorber, ces particules/colloïdes sont susceptibles de migrer.

## ■ Scénario 4 : augmentation du niveau d'eau ou crue importante

- Le bassin versant de la Besbre est régulièrement soumis à des crues subites de forte intensité. D'après les observations actuelles de la colonne sédimentaire en zone amont, **aucun impact n'a été observé jusqu'à présent sur la stabilité des niveaux radiologiquement marqués**.
- Cependant, un **apport important de matériaux provenant de l'ancien bassin de décantation de la mine de Charrier** localisé en bordure de la Besbre entre le site de BNL et le lac de St-Clément peut se produire.

# Conclusion

## ■ Ces nouveaux résultats confirment

- Les précédentes conclusions quant à **l'absence de marquage radiologique actuel lié à l'activité de la mine de BNL.**
- La **faible mobilité de l'U et du  $^{226}\text{Ra}$  issus du marquage radiologique historique** localisé en profondeur sur quelques cm au sein des sédiments du lac de Saint Clément.
- Enfin, **l'absence également de risque d'exposition radiologique.**

## ■ Gestion des sédiments du lac de Saint Clément

- La localisation et l'identification des phases porteuses de U et  $^{226}\text{Ra}$  dans les sédiments de St-Clément permettent de prévoir le comportement de ces radioéléments en fonction de différents scénarios opérationnels ou d'évolution naturelle de ce lac.
- Actuellement, le marquage radiologique est limité aux zones amont et intermédiaire, et localisé vers 50 à 80 cm de profondeur. Aucun marquage radiologique n'est observé dans les sédiments superficiels, ni dans les eaux du lac. Ainsi, étant donné la stabilité dans le temps des phases porteuses de U et  $^{226}\text{Ra}$  sans perturbation des sédiments (*i.e.* conservation des conditions réductrices), **il est recommandé d'éviter leur remaniement au-delà de 40-50 cm de profondeur** (*i.e.* début des conditions réductrices et du pic radiologique).
- Par conséquent, le déplacement des sédiments marqués est une opération comportant un risque de remobilisation des radionucléides et donc de migration encore en aval via les eaux (comme cela a pu être observé lors du curage du lac de St-Pardoux).



**orano**

Donnons toute sa valeur au nucléaire