

GESTION DE L'EAU SUR LES ANCIENS SITES MINIERES URANIFÈRES FRANÇAIS

Audrey GIBEAUX

AREVA Mines
Après-Mine France
2, route de Lavaugrasse
87250 Bessines sur Gartempe
France
audrey.gibeaux@areva.com

L'exploitation minière de l'uranium en France a duré près de 50 ans. Elle a débuté à l'issue de la seconde guerre mondiale et a pris fin en 2001 avec la fermeture du site de Jouac (Haute-Vienne). Pendant un demi-siècle, près de 250 sites, répartis sur 26 départements et 12 régions, ont fait l'objet, à des degrés divers, de travaux de recherche ou d'exploitation, qui ont abouti à la production d'environ 80 000 tonnes d'uranium.

Au niveau environnemental, la gestion des eaux constitue un point essentiel de l'après-mine. Après l'arrêt des activités minières et industrielles, le noyage des travaux miniers et la percolation des eaux météoriques à travers les versants à stériles et les résidus de traitement du minerai peuvent induire un marquage radiologique et/ou chimique des eaux, ainsi que, dans certains cas, une baisse du pH. Afin de respecter les limites réglementaires en vigueur, relatives aux rejets aqueux, et le principe ALARA (As Low As Reasonably Acceptable), AREVA Mines exploite aujourd'hui 14 stations de traitement des eaux, dont :

- 10 utilisent des procédés classiques de précipitation et coagulation – floculation – décantation ;
- 1 utilise des résines échangeuses d'ions (cas de Lodève, 34);
- 3 utilisent des drains calcaires.

Ces stations de traitement des eaux traitent de 60 000 m³ à 1 000 000 de m³ par an

Le procédé de précipitation et coagulation – floculation – décantation consiste, dans un premier temps, à ajouter des réactifs chimiques permettant de favoriser la précipitation puis la coagulation – floculation – décantation des éléments à traiter (le radium pour la majorité des stations et/ou l'uranium, l'aluminium et le fer pour certaines). Les réactifs chimiques ajoutés dans les stations de traitement des eaux sont souvent les mêmes (sulfate d'alumine, chaux ou soude, chlorure de baryum, floculant), mais le sulfate d'alumine et la chaux ou la soude possèdent plusieurs propriétés, et sont utilisés différemment en fonction des caractéristiques géochimiques propres à chaque eau à traiter.

Ainsi, l'ajout de sulfate d'alumine, grâce à la présence d'ions aluminium (Al³⁺) favorise la coagulation puis la décantation des matières en suspension. Toutefois, son efficacité pour traiter l'uranium est proportionnelle à la concentration en fer (ou en manganèse) des eaux à traiter, permettant préalablement à l'uranium de se sorber sur des particules en suspension, et ainsi de décanter. La présence d'ions sulfate (SO₄²⁻), couplée à l'ajout de chlorure de baryum, permet de former un co-précipité de sulfate de baryum et de radium. Enfin, la présence des ions sulfate et la formation d'acide sulfurique (H₂SO₄), entraîne la diminution du pH de l'eau, qui peut nécessiter une neutralisation ultérieure par l'ajout de soude ou de chaux. La décantation des particules solides se fait ensuite :

- soit par passage à travers des bassins successifs, et repose alors sur le principe du temps de séjour ;
- soit par passage à travers un lit de boue (cas du site de l'Ecarpière, 44), qui présente notamment comme avantage de permettre une meilleure optimisation de la consommation des réactifs, dont la majeure partie reste active dans le lit de boue.

Ce procédé de précipitation / coagulation est le plus utilisé sur les anciens sites miniers en France et à l'étranger. Il présente des rendements satisfaisants, et permet de s'adapter aux variations saisonnières de débits et de caractéristiques géochimiques des eaux, qui, dans certains cas, peuvent être très importantes.

D'un point de vue environnemental, ses principaux inconvénients résident dans :

- la production de volumes importants de boues, qui nécessitent une gestion appropriée ;
- la consommation de produits chimiques (et notamment de chlorure de baryum pour traiter le radium présent à l'échelle des ultra-traces) ;
- la consommation d'électricité, particulièrement importante sur la majorité des sites qui, pour des raisons historiques ou de topographie, nécessitent une remontée des eaux, parfois sur plusieurs dizaines de mètres, pour être traitées ;

Enfin, il est requiert beaucoup de main d'œuvre (personnel en astreinte 24h/24, 7jours/7), et nécessite des opérations de gestion et de maintenance régulières (gestion des réactifs, des pompes...).

Certaines stations de traitement des eaux, dont les eaux à traiter contiennent naturellement des concentrations relativement élevées en fer, utilisent également, en partie, un procédé de traitement « passif » par piégeage de l'uranium ou du radium sur les hydroxydes de fer. Ce phénomène naturel repose sur des procédés semblables au traitement par précipitation et coagulation – floculation – décantation.

Au contact de l'air, le fer contenu dans les eaux d'exhaure précipite sous forme d'hydroxydes et d'oxy-hydroxydes de fer ferrique.

A pH modérément acide (pH = 6-7), la surface des hydroxydes de fer présentent des groupements de sorption favorables à la sorption de l'uranium, principalement sous forme UO_2^{2+} et UO_2OH^+ , par rapport aux ions H^+ . Des complexes uranium – hydroxydes de fer se forment ainsi et décantent.

Ce procédé « passif » s'avère efficace pour traiter l'uranium au niveau des bassins de réception des eaux d'exhaure minière des sites de l'Ecarpière (44) et du Site Industriel de Bessines (87). Son seul inconvénient réside dans la production de boues qui doivent être curées et gérées.

Pour le radium, à pH alcalin (pH = 9-10), la sorption à la surface des hydroxydes de fer devient favorable au radium, présent sous la forme Ra^{2+} . Toutefois, ce niveau de pH ne correspond pas aux pH des eaux collectées sur la grande majorité des sites miniers. Pour l'atteindre, l'ajout d'une base chimique est nécessaire, puis un acide chimique est ajouté pour neutraliser les effluents avant rejet. Ce procédé, utilisé pour traiter les eaux d'exhaure issues dans anciens travaux miniers souterrains du site des Bois-Noirs (42), a comme avantage d'éviter l'utilisation de chlorure de baryum pour traiter le radium.

Les résines échangeuses d'ions constituent un matériau solide capable d'éliminer, par adsorption, des ions d'une certaine charge (cations ou anions) des effluents à traiter. Ceux-ci sont alors remplacés par une quantité totale d'ions de charge équivalente, initialement présents à la surface de la résine. Il existe deux types de résines échangeuses d'ions : des résines échangeuses de cations et des résines échangeuses d'anions.

Dans le cas de la station de traitement des eaux de Lodève (34), où ce procédé est utilisé, les eaux ont un pH alcalin, et l'uranium est présent sous forme de complexes chargés négativement, principalement $UO_2(CO_3)_2^{2-}$. Le site utilise ainsi des résines échangeuses d'anions (ions nitrates, NO_3^-).

Ce procédé présente un certain nombre d'avantages. Les cinétiques en jeu sont rapides et l'efficacité du traitement est élevée. Il n'y a pas d'ajout de réactifs chimiques sur le lieu du traitement, ni de production de boues. Il s'agit d'un procédé dynamique qui peut s'adapter à des variations de débit importantes (dans une certaine limite).

Toutefois, ce procédé requiert une étape de filtration, sur filtre à sable, avant passage sur les résines.

D'un point de vue environnemental, ses principaux inconvénients résident dans :

- la saturation et la nécessaire régénération des résines. Une fois tous les ions échangés à la surface des résines, celles-ci doivent être régénérées. Dans le cas des résines à échanges d'ions nitrates de Lodève, la régénération est réalisée à l'acide nitrique. Cette opération ne se déroule pas sur le site minier, mais sur le site de COMURHEX Malvézi (11).
- la présence de nitrates dans les effluents de la station de traitement ;
- la consommation d'électricité (pour l'agitation et le pompage).

Ce procédé permet de valoriser l'uranium produit. Toutefois, sur le site de Lodève, le coût de cette valorisation dépasse le prix actuel de l'uranium sur le marché.

Le procédé de traitement des eaux par drains calcaires a été mis en œuvre sur le site de Beaurepaire (85), en 2001, pour traiter l'aluminium et le fer, et sur les sites du Cellier (48), en 2006, et de Cérilly (03) en 2007, pour neutraliser le pH des eaux et réduire les risques d'incidents environnementaux en remplacement de l'utilisation de soude.

Dans le cas des drains calcaires, le pH est neutralisé par dissolution de la calcite jusqu'à atteindre l'équilibre calco-carbonique (état chimique dans lequel les concentrations en CO_2 , HCO_3^- et CO_3^{2-} sont à l'équilibre), qui se situe à un pH ~ 8. D'autre part, l'augmentation du pH par dissolution de la calcite permet la précipitation du fer ou de l'aluminium sous forme d'hydroxydes.

D'un point de vue environnemental, les principaux avantages des drains calcaires sont :

- absence de risque d'obtenir, en sortie de station de traitement des eaux, un effluent trop basique (pH > 9) ;
- aucun ajout de réactif chimique ;
- pas de consommation d'électricité.

Toutefois, l'efficacité des drains calcaires pour traiter l'uranium est relative. Les principales raisons seraient un faible temps de séjour des effluents au contact des oxydes formés, et des différences de cinétique de formation des précipités et complexes entre CaCO_3 et U.

D'autre part, ce procédé n'est pas complètement passif. La précipitation des hydroxydes, notamment de fer, entraîne la production de boues et à terme colmate les calcaires. Ceux-ci doivent donc être périodiquement nettoyés, et les boues produites gérées.

Depuis le début des années 90, AREVA Mines a mené de nombreux travaux de recherche visant à améliorer et optimiser le fonctionnement des stations existantes ; et identifier et développer des traitements alternatifs, actifs ou passifs, permettant de réduire l'empreinte environnementale globale du traitement des eaux.

Ces travaux ont notamment abouti, dans les années 2000, à la mise en œuvre du procédé de traitement des eaux par drains calcaires au niveau de 3 anciens sites miniers.

En 2014, un nouveau procédé « passif » de gestion des eaux par wetland (zone humide artificielle) a été mis en œuvre, à l'échelle industrielle, au niveau de l'ancien site minier d'Henriette (87). Le suivi de cette installation dans le temps permettra de mieux comprendre les phénomènes physico-chimiques, biologiques et les mécanismes réactionnels associés aux interactions entre la matière organique (dans le cas, ici, d'un bassin artificiel) et l'uranium et le radium. Il devrait permettre de définir des voies d'optimisation du fonctionnement et de la gestion des zones humides artificielles sur le long terme.

D'autres études et travaux de recherche se poursuivent, visant notamment à :

- optimiser le traitement des eaux par précipitation et coagulation – floculation – décantation en fonction des caractéristiques géochimiques de chaque eau à traiter (et notamment optimiser la consommation de réactifs pour réduire l'impact environnemental global du traitement) ;
- développer de nouveaux types de résines échangeuses d'ions ;
- mieux comprendre les phénomènes et les plantes à l'origine de la phytoaccumulation de l'uranium et du radium.