

CRIIRAD

Commission de Recherche
et d'Information Indépendantes
sur la Radioactivité

Site : www.criirad.org
Tel : + 33 (0)4 75 41 82 50
Fax : + 33 (0)4 75 81 26 48
E-mail : laboratoire@criirad.org

Valence le 8 avril 2010.

Rapport CRIIRAD N°10-47

Contrôles radiologiques dans l'environnement des anciennes mines d'Uranium de la Ribière, Montagaud et Hyverneresse en Creuse

Etude effectuée pour la DRIRE du Limousin

1 / Contexte, objectifs et méthodologie

Selon le rapport intitulé « AREVA / Bilan de fonctionnement Creuse » rédigé par AREVA conformément à l'arrêté N°2008-0081 du 21 janvier 2008 du préfet de la Creuse, le département de la Creuse comporte **20 sites miniers uranifères**, une ancienne aire de lixiviation statique du minerai et un stockage de résidus de traitement statique du minerai (site de la Ribière).

Demande de la DRIRE du Limousin

Dans le cadre de ses actions de contrôles, la DRIRE du Limousin a programmé pour la fin de l'année 2009 la réalisation de **contrôles inopinés** sur d'anciennes mines d'uranium du département de la Creuse.

Par courrier en date du 14 septembre 2009, la DRIRE a sollicité le laboratoire de la CRIIRAD pour la réalisation des échantillonnages in situ et des analyses en laboratoire.

Comme indiqué en Annexe 1, le laboratoire de la CRIIRAD est agréé par l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) pour un certain nombre d'analyses radiologiques.

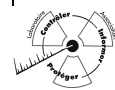
Des extraits de la demande de la DRIRE sont reproduits ci-dessous :

« Depuis plusieurs années la DRIRE du Limousin met en œuvre des contrôles inopinés sur les anciennes installations minières uranifères de la région ; jusqu'alors, ces contrôles se sont déroulés sur les installations du département de la Haute-Vienne, à partir de 2009, nous envisageons de procéder à une campagne par département, avec une fréquence annuelle.

Les contrôles inopinés consistent à effectuer –sur une demi à 1 journée – des prélèvements et des analyses radiologiques et chimiques sur 4 sites, pour les compartiments « eau » et « sédiments » ; la date retenue et le département ciblé sont communiqués à l'exploitant et au laboratoire retenu environ une semaine à l'avance mais, bien entendu, le plan de prélèvements et le type d'analyses à réaliser ne sont connus des parties prenantes que le jour-même.

En général, chaque prélèvement d'eau fait l'objet d'analyses radiologiques (uranium 238 soluble et non soluble, radium 226 soluble et non soluble, plomb 210 et, le cas échéant, radon, alpha ou bêta total voire un spectre plus large) et physico-chimiques (pH, température, matières en suspensions, demande chimique en oxygène, sulfates et, le cas échéant, baryum et aluminium).

En ce qui concerne les sédiments, les analyses portent habituellement sur les paramètres radiologiques : uranium 238, radium 226, plomb 210 ».



Recommandations de la CRIIRAD

Dans le cadre des discussions préparatoires qu'il a eues avec monsieur Dominique Bergot, Adjoint du Chef de Service Environnement de la DRIRE, monsieur Bruno Chareyron, responsable du laboratoire de la CRIIRAD, a indiqué qu'il pouvait répondre favorablement à cette demande de prestation à condition que les aspects méthodologiques suivants soient pris en compte :

- Pour le contrôle des eaux, ajouter aux paramètres classiques (uranium 238, radium 226, plomb 210), le **radon 222 dissous**. La CRIIRAD inclut en effet systématiquement sa mesure dans les analyses d'eau issues de secteurs miniers uranifères. En effet, bien que ce contrôle ne soit pas imposé par la réglementation actuelle, les études réalisées antérieurement par le laboratoire de la CRIIRAD ont permis de constater dans de nombreux cas, que ce gaz dissous peut conduire à un impact dosimétrique important, parfois supérieur à celui lié à tous les autres métaux lourds radioactifs présents dans l'eau.
- Pour les eaux, prévoir une caractérisation chimique élargie aux **principaux anions et cations** et à une **quarantaine de métaux lourds**. Il est en effet important de déterminer, si, outre les radionucléides associés au minerai d'uranium, d'autres substances chimiques endogènes (liées au minerai) ou exogènes (produits chimiques utilisés pour la lixiviation, le traitement des eaux d'exhaure, etc) sont à des concentrations significatives. Dans la mesure où le dosage de chacune de ces substances représenterait des budgets élevés, la CRIIRAD fait réaliser par un laboratoire spécialisé un dépistage chimique semi-quantitatif qui permet d'identifier plusieurs dizaines de substances et d'effectuer une première évaluation de leur concentration. En fonction de ces premiers résultats une liste précise de substances chimiques à contrôler peut être proposée.
- Prévoir de remplacer, en fonction des conditions du terrain, l'échantillonnage des sédiments proprement dits par celui des terres de berges. En effet, les études conduites par le laboratoire de la CRIIRAD depuis 1993 sur l'impact des sites miniers uranifères, ont montré que dans, de très nombreux cas, la contamination radiologique des terres de berge des ruisseaux et zones d'écoulement est plus importante que celle des sédiments du cours d'eau lui-même. Ceci est lié au fait que, lors des débordements, les eaux potentiellement contaminées stagnent en surface des sols ce qui facilite le dépôt et l'accumulation des métaux lourds radioactifs.
- Choisir la station d'échantillonnage de sédiments ou de terres de berges sur la base du niveau de rayonnement gamma mesuré in situ à quelques centimètres au dessus du sol. En effet ; s'il existe des critères visuels pour choisir les sites d'échantillonnage (granulométrie, topographie, couleur), dans le cas de l'étude de l'impact des écoulements radioactifs liés aux mines d'uranium, la mesure directe du niveau de rayonnement (en particulier gamma) est une technique très sensible.
- Inclure dans le rapport d'analyse un commentaire et une interprétation des résultats.

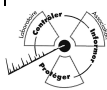
Monsieur Dominique Bergot a donné son accord de principe sur ces points.

Limitation de l'étude

La CRIIRAD avait indiqué en outre qu'il n'était pas possible d'effectuer de contrôles radiométriques et radiologiques approfondis en ne passant que une à 2 heures sur chaque site.

La surface d'un site minier est en général de plusieurs hectares et la simple lecture du terrain (repérage des versées à stériles, des limites du site, des chemins d'accès, des écoulements diffus) requiert de nombreuses heures.

On conçoit que la réalisation de mesures radiométriques représentatives et la sélection des stations d'échantillonnages peut requérir, pour un seul site plusieurs journées sur le terrain. Sur ce point, la DRIRE a maintenu son objectif de traiter 4 sites en une journée et d'effectuer un échantillonnage d'eau et un échantillonnage de sédiments par site. Cette limitation méthodologique doit être gardée à l'esprit. Les contrôles effectués dans ce cadre sont très ponctuels et ne peuvent être considérés que comme des « sondages » préliminaires.



Choix des sites

Le choix des sites a été effectué par la DRIRE. La CRIIRAD n'est pas intervenue dans le choix. Le programme initial comportait au départ 4 sites :

- La Ribière : commune de Domeyrot, Mine à ciel ouvert et stockage de résidus miniers
- Hyverneresse, commune de Croze, grande mine à ciel ouvert avec travaux souterrains et exhaure
- Montagaud, commune des Roches, Mine à ciel ouvert et travaux miniers souterrains
- Coussat, commune de Bonnat, mine à ciel ouvert.

Le choix des 2 derniers sites tient compte, a priori, des demandes formulées par des associations de protection de l'environnement lors de la réunion de CLIS du 11 décembre 2009.

Les sites de La Ribière, Coussat et Montagaud sont situés au nord du département de la Creuse, à quelques kilomètres de Guéret.

Le site d'Hyverneresse est situé dans le sud du département, près de Gioux.

Réalisation des prélèvements

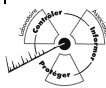
Compte tenu des conditions météorologiques très défavorables (neige et verglas) subies le jour de la mission (**16 décembre 2009**), le programme a dû être réduit à 3 sites sur 4 : **La Ribière, Montagaud et Hyverneresse.**

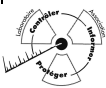
Les principales caractéristiques des sites sont présentées dans le tableau T1 ci-dessous (données AREVA).

T1 / principales caractéristiques des 3 sites contrôlés

| Site minier | La Ribière | Montagaud | Hyverneresse |
|-------------------------|---|--|--|
| Commune | Domeyrot | Roches | Gioux et Croze |
| Surface | 14 hectares | 4 hectares | 17 hectares |
| Type d'exploitation | Mine à ciel ouvert, | Mine à ciel ouvert et travaux souterrains (1 puits P1 et 12 montages) | Mine à ciel ouvert et travaux souterrains (1 puits, 3 travers-banc et 1 montage) |
| Activité de lixiviation | stockage de résidus de traitement du minerai (192 000 tonnes en MCO et 5 000 tonnes en stalles), aire de lixiviation statique | Non | Non |
| Période d'exploitation | 1959 à 1985 | 1957 à 1966 | 1963 à 1985 |
| Hydrographie | A l'est du site, ruisseau le Verraux, affluent de la Petite Creuse | Talweg rejoint le ruisseau de Prébourgnon, affluent de la Petite Creuse | Plusieurs ruisseaux dont Ruisseau de la Brousse puis Creuse |
| Réaménagement | De 1991 à 1992 : comblement de la fosse principale avec les résidus puis couverture de 1 à 3 mètres avec des stériles / Mise en place de 2 drains enterrés pour récupérer les eaux d'infiltration de la MCO / Reprofilage des stalles de lixiviation et recouvrement de 5 000 tonnes de résidus par 30 à 70 cm de stériles puis 30 cm de terre végétale | MCO en eau : irrigation agricole et possibilité de plongée | Comblement partiel MCO sur 10 m environ |
| Verse à stériles | Remodelée entre 1991 et 1992 | plusieurs verses | verse remodelée |
| Zone stockage minéral | Couverture de 60 cm de stériles et terre végétale | - | Verse à minéral pauvre recouverte de stériles |

Le travail réalisé a souffert de nombreuses limitations. La présence de neige a rendu difficile la « lecture du terrain » et le temps « effectif » passé sur chaque site par le technicien CRIIRAD a été limité à environ 1 heure du fait des trajets entre les sites rendus plus longs à cause des conditions de circulation





La mission de terrain a été réalisée par monsieur Christian Courbon (technicien spécialisé du laboratoire CRIIRAD) en présence des représentants de la DRIRE Limousin (M Dominique Bergot et Mme Marion Centofanti) et d'AREVA (Mme Gwénaëlle Cadoret, adjointe au responsable du service environnement à AREVA NC CESAAM).

Pour chaque site, le travail a consisté à se rendre directement au niveau du **principal écoulement connu** :

- La Ribière : zone humide en aval d'un drain qui s'écoule vers le ruisseau du Verraux et constitue le principal rejet liquide identifié (d'après la fiche de site AREVA, il s'agirait de l'ancien bassin de décantation).
- Montagnaud : écoulement d'un drain dans une terre agricole au sud du site. Les écoulements rejoignent ensuite le ruisseau du Prébournon, affluent de la Petite Creuse.
- Hyverneresse : rejet d'exhaure du travers banc.

Les « **sédiments** » ont été échantillonnés à proximité de l'écoulement (sauf Montagnaud) après détermination de la gamme de variation du flux de rayonnement gamma au moyen d'un scintillomètre DG5 de marque Novelec.

Les résultats sont donnés en coups par seconde (c/s) et sont reportés dans les tableaux T3 (eau) et T6 (sédiments).

Dans le cas de la Ribière et Montagnaud, le lieu exact d'échantillonnage a été pris au niveau des zones les plus actives sans retenir la valeur maximale.

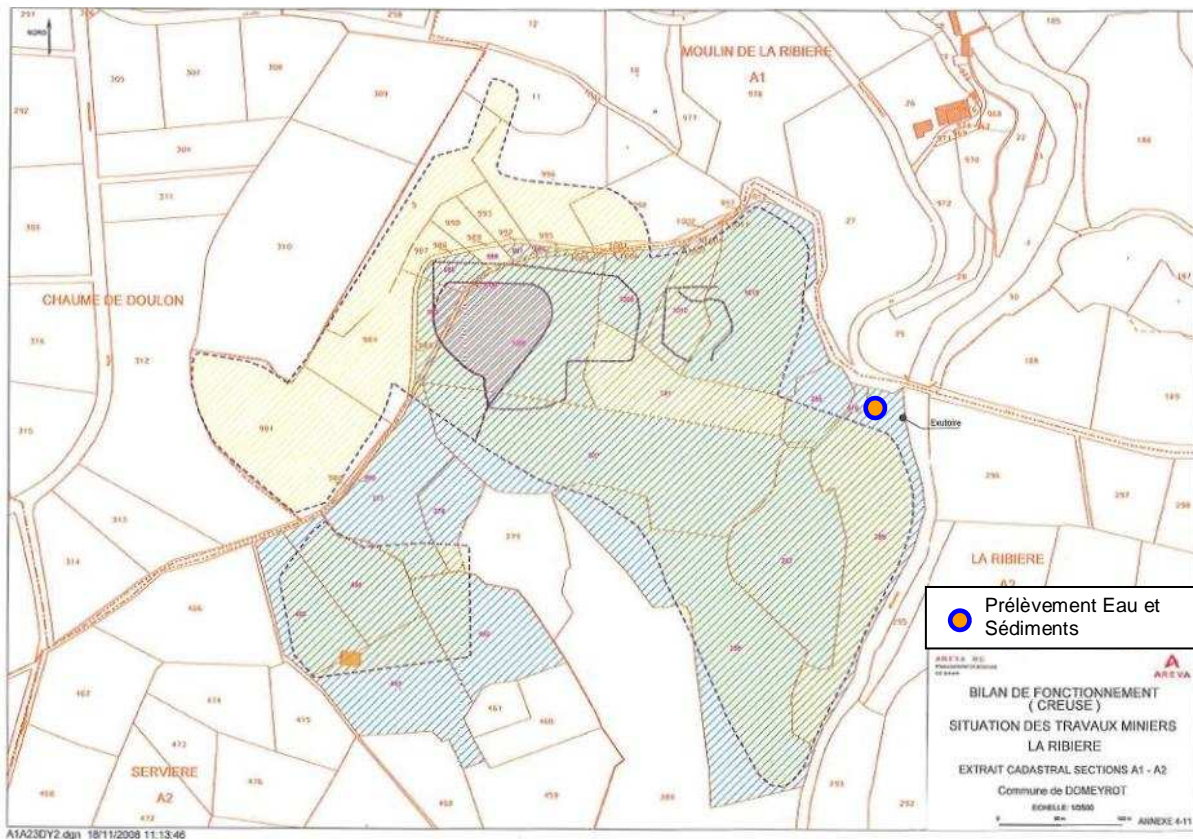
Pour la Ribière, l'échantillon est prélevé au droit d'un secteur dont le flux de rayonnement gamma est de 850 c/s alors que l'on mesure jusqu'à 1 100 c/s aux alentours.

Pour Montagnaud, le sédiment est prélevé en fond de fossé à sec, en pied de verse, au sud-est du site, au droit d'un secteur dont le flux de rayonnement gamma est de 1 600 c/s, alors que l'on mesure jusqu'à 2 000 c/s aux alentours. Ce point est situé en aval d'une buse qui pourrait être la surverse de la MCO en eau. Ce point a été retenu car le niveau de rayonnement gamma au fond du fossé en pied de verse (1 600 c/s) était notablement supérieur à celui mesuré (650 c/s) dans le fossé en aval du drain où a été échantillonnée l'eau.

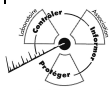
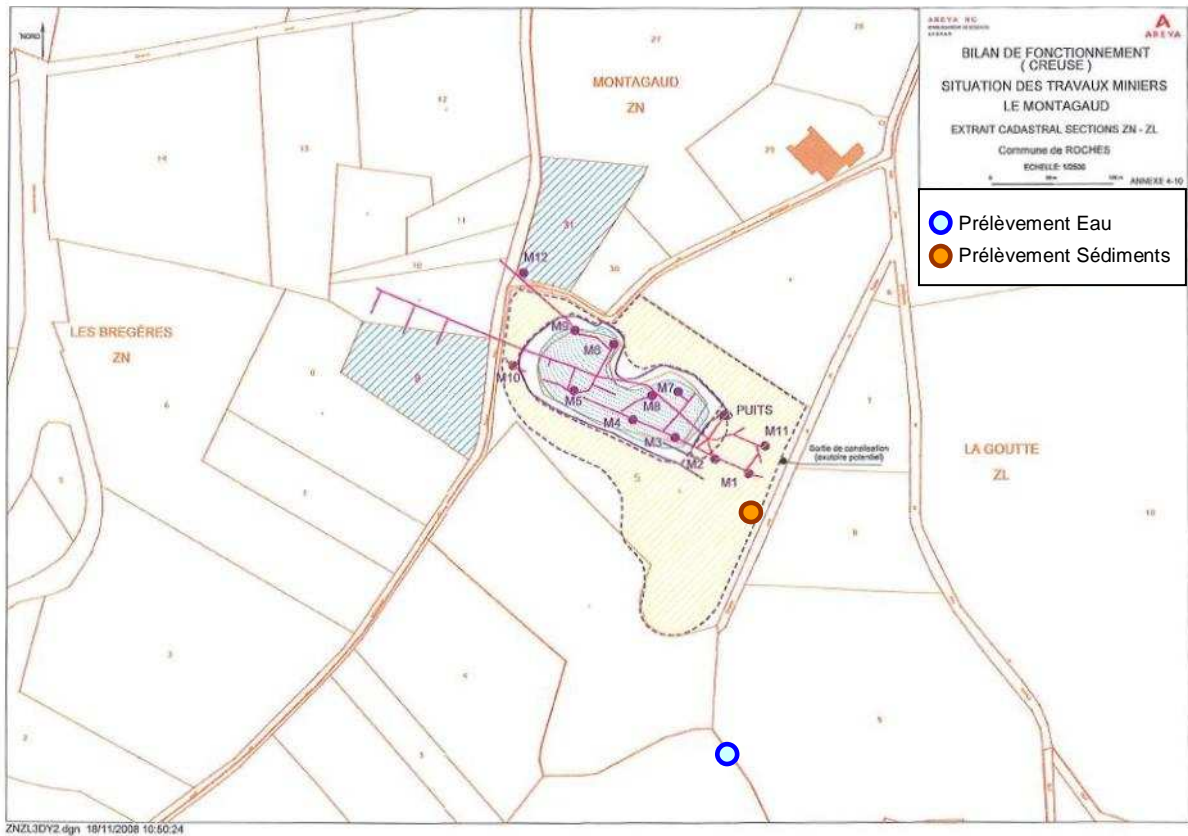
Les coordonnées GPS des sites d'échantillonnage sont reproduits dans les tableaux de synthèse T3 (eau) et T6 (sédiments) ci-après.

La localisation effectuée à partir des coordonnées GPS est précisée sur les cartes C1 à C3 ci-après sur la base des plans cadastraux élaborés par AREVA.

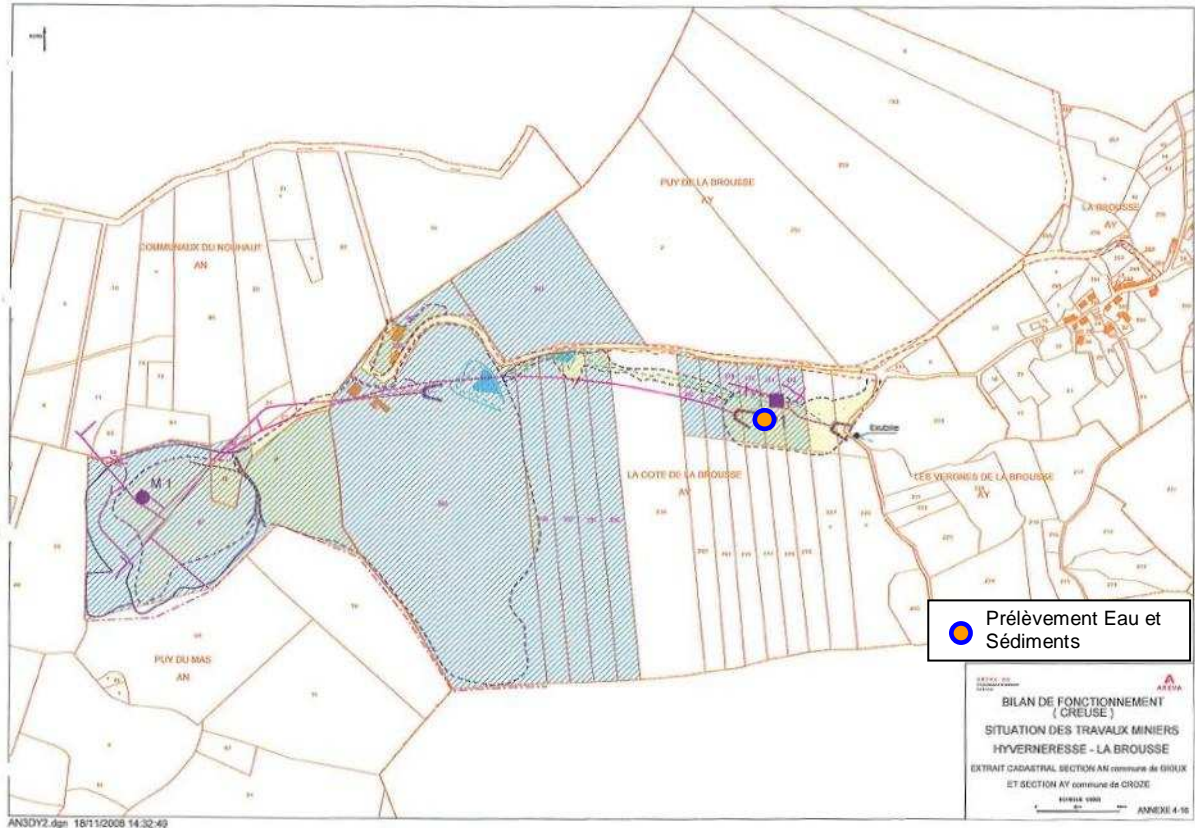
Carte C1 / Prélèvement CRIIRAD / La Ribière



Carte C2 / Prélèvement CRIIRAD / Montagaud



Carte C3 / Prélèvement CRIIRAD / Hyverneresse



Réalisation de contrôles radiamétriques succincts

Dans le cas de La Ribière et Montagaud, le technicien CRIIRAD a effectué des mesures du flux de rayonnement gamma ambiant sur le trajet effectué à pied entre le point de stationnement du véhicule et la zone d'échantillonnage.

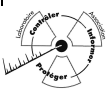
Par manque de temps, il n'a pas été possible de réaliser ce type de mesures pour le dernier site contrôlé (Hyverneresse).

Les mesures radiamétriques effectuées avec le scintillomètre DG5 sont reportées dans le tableau T2.

T2 / Mesures du flux de rayonnement gamma effectuées au contact du sol (DG5, CRIIRAD)

| Site minier | La Ribière | Montagaud |
|--|--|--|
| Niveau ambiant classique | 200 c/s (chemin de terre entre chemin et rivière) | Non mesuré |
| Exemple de flux gamma élevé sur trajet véhicule / secteur d'échantillonnage de l'eau | 600 à 1 700 c/s sur le chemin d'accès / 450 à 1 100 c/s au niveau de la zone humide en aval du drain | 2 000 c/s en contrebas du chemin côté versés, 650 c/s au niveau sortie de drain dans la terre agricole |
| Flux gamma au niveau du prélèvement de sédiments | 850 c/s | 1 600 c/s au fond du fossé |

On remarque en de nombreux secteurs, que le flux de rayonnement gamma au contact du sol est plus de 3 fois supérieur au niveau naturel habituel et qu'il peut être 10 fois supérieur (verses de Montagaud).



2 / Résultats des analyses radiologiques sur les eaux

Les conditions de traitement et d'analyse des échantillons d'eau sont indiquées en Annexe 4. Les rapports d'essai détaillés (analyses par spectrométrie gamma) avec mention des marges d'incertitude et limites de détection sont reproduits en Annexe 2. Les principaux résultats des analyses par spectrométrie gamma effectuées par le laboratoire de la CRIIRAD sont reportés dans le tableau T3 ci-dessous avec les résultats du dosage de l'uranium total et de l'uranium soluble (en µg/l) effectués par le laboratoire LDA 26.

Les résultats concernant le potassium 40 et les radionucléides de la chaîne du thorium 232 sont inférieurs aux limites de détection et ne sont pas intégrés au tableau T3.

Une comparaison est effectuée avec les résultats de l'auto-surveillance réalisée par AREVA sans proposer d'analyse du dispositif d'autosurveillance lui-même.

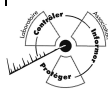
Tableau T3 / Analyses radiologiques sur eau / Laboratoire CRIIRAD et LDA26

| Code | CR E1 | CR E2 | CR E3 |
|---|------------------------------|--|----------------------|
| Site minier | La Ribière | Montagaud | Hyverneresse |
| Commentaire | Zone humide, sortie de drain | Drain sortie terre agricole, prélèvement dans cuvette aménagée au droit du drain | Sortie Travers Banc |
| Flux gamma DG5 Contact (c/s) | 800 à 1100 c/s | 650 c/s | 930 c/s (sur eau) |
| Coordonnées GPS | N46 15.864 E2 06.617 | N46 17.861 E1 57.966 | N45 49.453 E2 08.876 |
| Heure de prélèvement le 16/12/2009 | 10H40 | 11H25 | 16H35 |
| N° Enregistrement au laboratoire | 211209B1 | 211209B2 | 211209B3 |
| Flux gamma SPP2 au laboratoire (c/s) le 21/12/09 | 65 | 50 | 50 |
| pH | 5,5 | 4,8 | 7,7 |
| Conductivité à 20 °C (µs/cm) | 723 | 468 | 297 |
| Radon 222 (Bq/kg) | 920 +/- 130 | 207 +/- 38 | 128 +/- 28 |
| Uranium 238 (thorium 234) insoluble (Bq/kg) | < 0,29 | 0,72 +/- 0,14 | 0,66 +/- 0,18 |
| Uranium 238 (thorium 234) soluble (Bq/kg) | < 0,36 | 3,7 +/- 0,6 | 8,6 +/- 1,0 |
| Uranium 238 soluble (µg/l) | 36,5 | 336,4 | 984,1 |
| Vérification : calcul U238 soluble (Bq/l) à partir de la mesure : Uranium 238 soluble | 0,46 | 4,2 | 12,3 |
| Uranium total dans l'eau brute (µg/l) | 44,6 | 406,1 | 981,2 |
| Uranium total insoluble calculé (µg/l) | 8,1 | 69,7 | -2,9 |
| U238 insoluble (Bq/l) déduit de Uranium total insoluble calculé (µg/l) | 0,10 | 0,9 | -0,04 |
| Uranium 238 soluble / uranium total en % | 81,8% | 82,8% | 100,3% |
| Radium 226 insoluble (Bq/kg) | < 0,016 | < 0,012 | < 0,025 |
| Radium soluble (Bq/kg) | 0,27 +/- 0,05 | 0,175 +/- 0,038 | < 0,07 |
| Plomb 210 insoluble (Bq/kg) | 0,19 +/- 0,07 | < 0,08 | 0,30 +/- 0,08 |
| Plomb 210 soluble (Bq/kg) | < 0,12 | < 0,12 | < 0,08 |

Radon 222

Pour les 3 échantillons, on remarque des concentrations en radon 222 dissous supérieures à 100 Bq/l. La valeur la plus élevée **920 Bq/l** est mesurée sur l'eau en sortie de drain à La Ribière.

La réglementation française n'impose pas la mesure du radon 222 dans les eaux ce qui constitue une grave lacune des plans de surveillance environnementale et sanitaire, et en particulier lorsqu'il s'agit de déterminer l'impact des mines d'uranium. La CRIIRAD a déjà interpellé les autorités sur ce point dans le cadre d'études antérieures.



En effet, les eaux qui s'écoulent au contact de matériaux riches en uranium 238 et en radium 226 sont susceptibles de se charger en radon 222, gaz radioactif produit par la désintégration du radium 226. Dans le cas de l'eau de la Ribière on remarque que l'activité du radon 222 est 3 400 fois supérieure à celle du radium 226.

Uranium 238

L'uranium a été mesuré sur échantillon brut (uranium total = soluble et insoluble) et sur la fraction soluble.

En ce qui concerne l'uranium total, On mesure de **44,6 µg/l** (La Ribière) à **981 µg/l** (Hyverneresse).

Dans le cas d'Hyverneresse, l'uranium est en totalité sous forme soluble.

Pour les sites de la Ribière et Montagnaud, la concentration en uranium 238 soluble est respectivement de 36,5 µg/l et 336,4 µg/l ce qui représente environ 82 % de l'uranium total.

Ces résultats peuvent être comparés avec les mesures d'uranium 238 soluble fournies par AREVA pour les contrôles de 2008 et, le cas échéant, les années antérieures.

- La Ribière : au niveau de la buse (pas d'eau en mars 2008). Le seul résultat disponible est celui de la campagne d'avril 2004 : 21 µg/l. Cette valeur est du même ordre de grandeur que la mesure CRIIRAD (36,5 µg/l).
- Montagnaud : au niveau du Talweg récepteur du rejet, affluent du Prébournon : **23 µg/l** en 2008 (et 22 µg/l dans la MCO). Ces valeurs sont 14 fois plus faibles que la mesure de la campagne CRIIRAD de décembre 2009 : **336,4 µg/l**. Cette valeur obtenue par spectrométrie de masse correspond à une activité volumique en uranium 238 de 4,2 Bq/l. Ce résultat est confirmé par le dosage par spectrométrie gamma effectué par la CRIIRAD : 3,7 Bq/l. La disparité entre les résultats AREVA et CRIIRAD peut provenir d'un point d'échantillonnage différent ou illustrer de fortes variations temporelles.
- Hyverneresse : les mesures AREVA de 2008 indiquaient 223 µg/l à l'exutoire du site (rejet dans le ruisseau de la Brousse). Les prélèvements de 1997 à 2002 étaient effectués en d'autres stations et donnaient : **810 à 1 040 µg/l** au niveau du rejet TMS-travers banc N-45 et **60-80 µg/l** en 2001 et 2002 au niveau du ruisseau de la Brousse, en aval du site (pour la période 1997 à 2000 la limite de détection de la méthode utilisée était élevée : 50 à 100 µg/l). La valeur de **984 µg/l** (U 238 soluble) mesurée en décembre 2009 au niveau du travers banc est comparable à celles des suivi AREVA de 1997 à 2002. Ces données confirment que les eaux du travers banc de la mine sont environ 500 fois plus chargées en uranium que les eaux des 3 ruisseaux voisins (En 2008, AREVA mesurait 2 µg/l au niveau du ruisseau du Mas et < 1 µg/l au niveau des ruisseaux des Matroux et de Chabalenas).

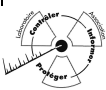
Thorium 230

L'activité du thorium 230 est inférieure aux limites de détection pour les 3 échantillons analysés, tant dans la fraction insoluble (< 0,15 à < 0,30 Bq/l) que soluble (< 0,35 à < 0,7 Bq/l).

Radium 226

L'activité du radium 226 insoluble est inférieure aux limites de détection dans les 3 échantillons analysés (< 0,012 à < 0,025 Bq/l)

L'activité du radium 226 soluble est inférieure à la limite de détection pour l'eau d'Hyverneresse (< 0,07 Bq/l). Elle est de **0,17 Bq/l à Montagnaud** et **0,27 Bq/l à la Ribière**.



Ces résultats peuvent être comparés avec les mesures de radium 226 soluble fournies par AREVA pour les contrôles de 2008 :

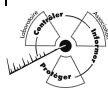
- La Ribière : au niveau de la buse (pas d'eau en mars 2008). Le seul résultat disponible est celui de la campagne d'avril 2004 : **0,09 Bq/l**. Cette valeur est 3 fois plus faible que la mesure CRIIRAD de décembre 2009 (**0,27 Bq/l**) dont le niveau est comparable à celui mesuré par AREVA en 2008 dans le secteur correspondant à l'ancien bassin de décantation, en amont de l'exutoire (**0,3 Bq/l**).
- Montagnaud : au niveau du Talweg récepteur du rejet, affluent du Prébournon : **0,04 Bq/l** en 2008 (et 0,19 Bq/l dans la MCO). La mesure CRIIRAD de décembre 2009 : (**0,17 Bq/l**) est comparable à la valeur mesurée par AREVA dans la MCO.
- Hyverneresse : les mesures AREVA de 2008 indiquaient 0,06 Bq/l à l'exutoire du site (rejet dans le ruisseau de la Brousse). Les prélèvements de 1997 à 2002 étaient effectués en d'autres stations et donnaient : **0,14 à 0,28 Bq/l** au niveau du rejet TMS-travers banc N-45 et **0,02 à 0,07 Bq/l** au niveau du ruisseau de la Brousse, en aval du site. La mesure CRIIRAD de décembre 2009 au niveau du travers banc est inférieure à la limite de détection (< 0,07 Bq/l). Les données AREVA de 1997 à 2002 indiquent que les eaux du travers banc de la mine étaient plus de 7 à 14 fois plus chargées en radium 226 que les eaux des 3 ruisseaux voisins (En 2008, AREVA mesurait < 0,02 Bq/l au niveau des ruisseaux du Mas, des Matroux et de Chabalenas).

Plomb 210

L'activité du plomb 210 soluble est inférieure aux limites de détection pour les 3 échantillons analysés (< 0,08 à < 0,12 Bq/l).

Le plomb 210 est détecté dans la fraction insoluble de l'eau de la Ribière (**0,19 Bq/l**) et d'Hyverneresse (**0,30 Bq/l**).

Ces résultats montrent que, compte tenu de la très forte radiotoxicité par ingestion du plomb 210 (et de son descendant le polonium 210), la surveillance environnementale ne doit pas faire l'impasse sur ce radionucléide et inclure le suivi spécifique de sa forme insoluble (en plus de sa forme soluble).



3 / Résultats des analyses chimiques sur les eaux

Les conditions de traitement et d'analyse des échantillons d'eau sont indiquées en Annexe 4. Les principaux résultats des dépistages chimiques sont reportés dans les tableaux T4 (anions-cations) et T5 (métaux) ci-dessous.

Tableau T4 / Dépistages anions et cations sur eau brute / Laboratoire LDA 26

| Code | CR E1 | CR E2 | CR E3 |
|------------------------------------|------------------------------|--|---------------------|
| Site minier | La Ribière | Montagaud | Hyverneresse |
| Commentaire | Zone humide, sortie de drain | Drain sortie terre agricole, prélèvement dans cuvette aménagée au droit du drain | Sortie Travers Banc |
| Heure de prélèvement le 16/12/2009 | 10H40 | 11H25 | 16H35 |
| Ammonium µg/l | < LD | < LD | < LD |
| Bromates µg/l | < LD | < LD | < LD |
| Bromures µg/l | 50 | 70 | 10 |
| Calcium mg/l | 125 | 42 | 42 |
| Chlorates µg/l | < LD | 20 | < LD |
| Chlorites µg/l | < LD | < LD | < LD |
| Chlorures mg/l | 6,7 | 26 | 3,5 |
| Fluorures mg/l | 1,4 | 3,97 | 0,505 |
| Lithium µg/l | 140 | 40 | 20 |
| Magnesium mg/l | 22 | 19 | 19 |
| Nitrates mg/l | < LD | 96 | 1,5 |
| Nitrites µg/l | < LD | < LD | < LD |
| Orthophosphates µg/l | < LD | < LD | 120 |
| Potassium mg/l | 2,9 | 13 | 2 |
| Sodium mg/l | 20 | 13 | 8,4 |
| Sulfates mg/l | 411 | 111 | 90 |

A titre purement indicatif, ces résultats peuvent être comparés aux limites et aux références de qualité pour les eaux destinées à la consommation humaine (Décret n°2001-1220), on remarque un dépassement de la valeur de référence qualité pour :

- les **nitrates** (50 mg/l) pour les eaux de Montagaud
- les **sulfates** (250 mg/l) pour les eaux de la Ribière

Les résultats de ce dépistage montrent qu'une attention particulière doit être portée aux **sulfates**. Le fait que la concentration en sulfates au niveau de la Ribière soit 4 fois supérieure à celle des 2 autres sites pourrait être liée à la présence des résidus d'extraction de l'uranium sur ce site.

Les sulfates, ont déjà été remarqués par la CRIIRAD en concentrations anormales, par rapport à des eaux naturelles locales, dans les eaux issues d'autres sites miniers réaménagés (cf. Note CRIIRAD, octobre 2004).

Le phénomène d'oxydation de la pyrite et d'autres minéraux sulfurés constitue une des explications possible de l'accroissement des teneurs en sulfates.

Cette oxydation est provoquée par la perturbation du sous-sol qu'engendre la mise en exploitation des minéralisations (déconfinement, accroissement notable des échanges roche/air, roche/eau).

Elle se produit également, et s'auto-entretient, au sein des dépôts de déchets miniers (stériles, résidus) provoquant l'acidification des eaux vue précédemment (Bril et Floc'h 2001, AEN 2002, Panak et al 1998).

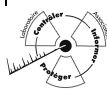


Tableau T5 / Dépistages métaux sur eau brute / Laboratoire LDA 26 (valeurs en µg/l)

| |
|---|
| Code |
| Site minier |
| Commentaire |
| Heure de prélèvement le 16/12/2009 |

| CR E1 | CR E2 | CR E3 |
|------------------------------|--|---------------------|
| La Ribière | Montagaud | Hyverneresse |
| Zone humide, sortie de drain | Drain sortie terre agricole, prélèvement dans cuvette aménagée au droit du drain | Sortie Travers Banc |
| 10H40 | 11H25 | 16H35 |

| |
|----|
| Ag |
| Al |
| As |
| B |
| Ba |
| Be |
| Cd |
| Co |
| Cr |
| Cu |
| Fe |
| Mn |
| Mo |
| Ni |
| Pb |
| Sb |
| Se |
| Sn |
| Te |
| Ti |
| Tl |
| U |
| V |
| W |
| Zn |

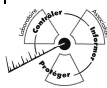
| | | |
|-------|-------|-------|
| < LD | < LD | < LD |
| 818,7 | 2 642 | 15,9 |
| 1,7 | 0,5 | 5,8 |
| 3,9 | 6,6 | 6,2 |
| 24,3 | 108,1 | 12,6 |
| 9,8 | 31,9 | 0,6 |
| < LD | 1,0 | < LD |
| 8,4 | 27,2 | < LD |
| < LD | 0,2 | < LD |
| 1,2 | 1,3 | 0,6 |
| 594 | 124,3 | 23,8 |
| 1 025 | 862,4 | 2,6 |
| < LD | < LD | 0,8 |
| 24,5 | 41,2 | 0,2 |
| < LD | < LD | < LD |
| 0,2 | < LD | 0,6 |
| < LD | 0,7 | 0,7 |
| < LD | < LD | < LD |
| < LD | < LD | < LD |
| 5,4 | 2,6 | 3,0 |
| < LD | < LD | < LD |
| 44,6 | 406,1 | 981,2 |
| < LD | < LD | < LD |
| < LD | < LD | 0,4 |
| 27,5 | 30,1 | 0,6 |

A titre indicatif, nous proposons ci-dessous une comparaison avec les références et limites de qualité pour les eaux destinées à la consommation humaine, sachant que la question de l'uranium a été traitée au paragraphe 2.

Ces résultats montrent notamment, sous réserve de leur confirmation par des analyses plus précises :

- des teneurs élevées en **aluminium** dépassant pour la Ribière et Montagaud de 4 à 13 fois la référence de qualité pour les eaux destinées à la consommation humaine (200 µg/l - Décret n°2001-1220),
- des teneurs élevées en **fer** dépassant pour la Ribière près de 3 fois la valeur de 200 µg/l retenue comme référence de qualité pour les eaux destinées à la consommation humaine),
- des teneurs élevées en **manganèse** excédant, respectivement pour Montagaud et la Ribière, 17 et 20 fois la valeur de référence pour les eaux destinées à la consommation humaine (50 µg/l),
- des teneurs en **nickel** excédant à La Ribière et Montagaud de 1,2 à 2 fois la limite de qualité pour les eaux destinées à la consommation humaine (20 µg/l).

On remarque également des teneurs élevées en **zinc** (près de 30 µg/l) à La Ribière et Montagaud.



Une étude réalisée par le laboratoire de la CRIIRAD sur les eaux minières des bassins versants des étangs de la Crouzille et de Gouillet en Limousin – sites soumis à l'impact d'anciennes mines d'uranium - a montré que le **manganèse** et le **zinc** constituaient des marqueurs de l'activité minière d'extraction de l'uranium dans le contexte géologique des ces retenues (note CRIIRAD octobre 2004), ces éléments étant en surconcentrations notables par rapport aux eaux de référence¹. Ceci était également constaté par la CRIIRAD dans le cas de l'ancien site minier uranifère de Saint-Pierre, dans le Cantal (rapport CRIIRAD N°07-68).

Les résultats de ce dépistage indiquent donc que des transferts d'éléments chimiques marqueurs potentiels des activités minières s'opèrent par les eaux à partir des anciens sites. Ceci est particulièrement significatif pour les eaux de la Ribière et Montagaud qui proviennent de drains (contrairement à la surverse de la mine d'Hyverneresse) et présentent une certaine acidité (pH 4,8 et 5,5).

Cette mobilisation d'éléments chimiques et d'éléments traces métalliques est bien connue en aval d'anciennes exploitation minières. Elle est due à l'oxydation de la pyrite et l'acidification des eaux qui en résulte et provoque une contamination parfois importante du milieu en aval (Bril et Floc'h 2001, AEN 2002).

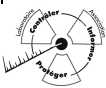
4 / Résultats des analyses radiologiques sur les sédiments

Les conditions de traitement et d'analyse des échantillons de sédiments sont indiquées en Annexe 3. Les rapports d'essai détaillés (analyses par spectrométrie gamma) avec mention des marges d'incertitude et limites de détection sont reproduits en [Annexe 2](#). Les principaux résultats concernant l'uranium 238 et ses descendants, ainsi que d'autres radionucléides naturels sont reportés dans le tableau T6 ci-dessous.

Tableau T6 / Analyses radiologiques sur sédiments / Laboratoire CRIIRAD

| Code | CR S1 | CR S2 | CR S3 |
|---|--|----------------------|-----------------------------|
| Site minier | La Ribière | Montagaud | Hyverneresse |
| Commentaire | Zone humide sortie de drain / Sédiment sur "berge", beaucoup de matière végétale | Sédiment fossé | Terre de berge travers banc |
| Flux gamma DG5 Contact (c/s) | 850 c/s | 1 600 c/s | 1 500 c/s |
| Coordonnées GPS | N46 15.864 E2 06.617 | N46 17.962 E1 57.977 | N45 49.453 E2 08.876 |
| Heure de prélèvement | 10H40 | 11H25 | 16H35 |
| N° Enregistrement au laboratoire | 211209B4 | 211209B5 | 211209B6 |
| Flux gamma SPP2 au laboratoire (c/s) | 90-95 | 180 | 220 |
| Uranium 238 (thorium 234) (Bq/kg sec) | 28 900 +/- 3 400 | 23 000 +/- 2 700 | 9 400 +/- 1 200 |
| Thorium 230 (Bq/kg sec) | < 600 | 1 700 +/- 800 | 8 300 +/- 1 800 |
| Radium 226 (Bq/kg sec) | 2 960 +/- 330 | 1 800 +/- 200 | 4 190 +/- 450 |
| Plomb 210 (Bq/kg sec) | 2 910 +/- 400 | 1 680 +/- 240 | 7 700 +/- 900 |
| Uranium 235 (Bq/kg sec) | 1 430 +/- 290 | 1 120 +/- 210 | 460 +/- 140 |
| Actinium 228 (Bq/kg sec) | 75 +/- 38 | 55 +/- 24 | 88 +/- 31 |
| Potassium 40 (Bq/kg sec) | < 280 | 1 300 +/- 200 | 1 480 +/- 230 |
| Ratio U 238 / U 235 (calculé) | 20,2 | 20,5 | 20,4 |
| Activité massique totale chaîne U 238 (Bq/kg sec) | 142 090 | 109 540 | 94 140 |

¹ Des teneurs importantes en manganèse sont, par ailleurs, citées par plusieurs études concernant d'anciens sites d'extractions de l'uranium (Noller et al 1996, Fernandes et Franklin 2001, AEN 2002).



Les teneurs en **potassium 40** des sédiments de Montagnaud et la Ribière sont proches (1 300 Bq/kg et 1 480 Bq/kg) et classiques pour des sols en milieu granitique.

L'activité du potassium 40 dans les sédiments de la Ribière est inférieure à la limite de détection (< 280 Bq/kg) ce qui montre qu'il s'agit de matériaux particuliers (couleur orangée, beaucoup de matière végétale et de fines).

Pour les 3 échantillons, les teneurs en radionucléides de la chaîne du **thorium 232** sont normales (actinium 228 = 55 à 88 Bq/kg)

On observe par contre des teneurs élevées en uranium 238 et descendants, ainsi qu'uranium 235 et descendants. Le ratio U 238 / U 235 est dans la fourchette attendue (autour de 20) pour de l'uranium d'origine naturelle, c'est-à-dire ni enrichi, ni appauvri.

L'activité de l'**uranium 238** (déterminée à partir de celle de son premier descendant le thorium 234) est de **9 400 Bq/kg** à Hyverneresse, **23 000 Bq/kg** à Montagnaud (pied de verse) et **28 900 Bq/kg** à la Ribière (sortie de drain).

L'activité des descendants de l'uranium 238 (thorium 230, radium 226, plomb 210) est inférieure à celle de l'uranium 238. Ce déséquilibre est particulièrement prononcé dans le cas de La Ribière et Montagnaud où l'on détecte environ 10 fois plus d'uranium 238 que de radium 226 ou de plomb 210. Ces forts déséquilibres dans les chaînes et les niveaux d'activité relevés illustrent une situation liée à un impact minier.

L'échantillon **de la Ribière** est de ce point de vue tout-à-fait particulier comme le montre le fait que, dans la chaîne de l'uranium 235, l'activité des **descendants de l'uranium 235** (thorium 227, radium 223, radon 219 et plomb 211) dépasse 2 000 Bq/Kg alors que celle de l'uranium 235 est de 1 430 Bq/kg et celle du protactinium 231 inférieure à la limite de détection (< 140 Bq/kg).

Ce déséquilibre est atypique et nécessiterait une expertise spécifique, d'autant plus nécessaire que le précurseur du thorium 227, l'actinium 227 (émetteur bêta de période 21,8 ans) est un radionucléide très radiotoxique par ingestion et par inhalation (coefficient de dose par inhalation environ 5 fois supérieur à celui du Plutonium 238).

Un recomptage de l'échantillon effectué 62 jours après le premier comptage confirme que l'activité massique du thorium 227 n'a pas décré (on mesure 2310 +/- 300 Bq/kg sec contre 2 070 +/- 280 Bq/kg sec lors du premier comptage). La période du thorium 227 étant de 18,7 jours, son activité devrait être divisée par 9,9 au bout de 62 jours. Le fait que son activité n'a pas décré de manière significative démontre qu'il est régénéré par son précurseur l'actinium 227. Cette vérification démontre que l'actinium 227 est bien présent dans l'échantillon et que son activité massique est a priori supérieure à 2 000 Bq/kg. Il serait utile d'effectuer une mesure spécifique de cet élément et de déterminer quel mécanisme physico-chimique ou biologique conduit à son accumulation spécifique dans les sédiments.

5 / Conclusions

Mise en évidence de pollutions sur le plan radiologique et chimique

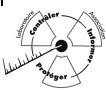
Les contrôles effectués en décembre 2009 par le laboratoire de la CRIIRAD à la demande de la DREAL Limousin (DRIRE) ont porté sur des échantillons d'eau et sédiments dans l'environnement de 3 sites miniers uranifères : La Ribière, Montagnaud et Hyverneresse.

Ces mesures montrent que les **eaux** issues de ces anciennes mines transportent des substances radioactives et des éléments chimiques vers l'environnement ce qui entraîne une pollution.

En ce qui concerne les substances **radioactives**, on notera en particulier la présence de l'uranium soluble, du radium 226 soluble, du plomb 210 insoluble et du radon 222.

Si l'on considère que la concentration naturelle² en uranium dans les eaux de surface de la région est de l'ordre de 1 à 2 µg/l, on peut estimer que la charge en uranium des

² Valeur estimée à partir des mesures publiées par AREVA en 2008 pour les ruisseaux du Mas (2 µg/l), les Matroux et Chabanelas (< 1 µg/l) dans le secteur de la mine d'Hyverneresse. Il n'est pas exclu cependant que ces ruisseaux soient sous influence de la mine et que les niveaux naturels soient encore plus faibles. L'IRSN estime le niveau naturel d'uranium 238 sur la division minière de la Crouzille (Haute-Vienne) à 0,01 Bq/l soit 0,8 µg/l.



écoulements miniers analysés est au moins 18 fois (La Ribière) à 492 fois (Hyverneresse) supérieure au bruit de fond naturel.

Les mesures **chimiques** montrent en outre, particulièrement pour les rejets des sites de Montagaud et/ou La Ribière, des teneurs élevées en nitrates, sulfates, aluminium, fer, manganèse, nickel, et zinc à des niveaux qui – pour comparaison indicative – dépassent les références de qualité pour les eaux destinées à la consommation humaine. Contrairement aux eaux d'exhaure de la mine d'Hyverneresse, il s'agit, pour La Ribière et Montagaud, d'eaux de drainage dont l'acidité (pH 4,8 à 5,5) et les fortes teneurs en sulfates suggèrent qu'il s'agit d'un phénomène bien connu de drainage minier acide.

Les mesures radiologiques effectuées dans le cadre de cette campagne montrent que les écoulements miniers entraînent le dépôt de métaux lourds radioactifs sur les **sédiments** et terres soumis aux écoulements.

L'activité massique naturelle de l'uranium 238 dans les sols et sédiments est de l'ordre de 40 Bq/kg (moyenne de l'écorce terrestre) et de l'ordre de 100 à 200 Bq/kg dans les zones granitiques. En aval des 3 mines contrôlées les valeurs mesurées sont au moins 47 à 144 fois supérieures.

Insuffisances du bilan de fonctionnement rédigé par AREVA

Les résultats obtenus dans le cadre de ces contrôles inopinés contrastent avec le bilan de fonctionnement des anciens sites miniers uranifères de la Creuse établi par AREVA.

Ce document ne rend pas correctement compte de la problématique de la contamination du milieu aquatique en aval des sites miniers. Il pose en effet, page 59, en introduction du chapitre 7.1 Impact sur le vecteur eau : « *Les débits faibles estimés au cours de la campagne de terrain 2008 (< 10 m³/h) semblent plaider, a priori, en faveur d'un faible impact radiologique sur ce compartiment sédimentaire* ».

On s'attendrait à ce que cette hypothèse soit confrontée à la réalité à travers l'analyse de prélèvements. Or le rapport d'AREVA ne donne aucun résultat concernant la radioactivité des sédiments en aval des mines de La Ribière et Hyverneresse.

Les mesures effectuées par la CRIIRAD montrent, pour ces 2 sites, un impact qui ne peut être qualifié de faible, compte tenu des fortes accumulations en uranium 238 dans les sédiments prélevés en aval des écoulements, à la Ribière (28 900 Bq/kg sec) et Hyverneresse (9 400 Bq/kg sec).

Pour le site de Montagaud, le rapport d'AREVA indique page 61 : « *La qualité des eaux de la MCO présente une faible charge en uranium 238 (22 µg/l soit 0,27 Bq/l) et en radium 226 (0,20 à 0,38 Bq/l) détectable dans les eaux du talweg affluent du Prébourgnon pour l'uranium 238 (23 µg/l soit 0,28 Bq/l), mais sans impact sur les sédiments prélevés (< 130 Bq/kg de matière sèche en U238, Ra 226 et Pb 210)* ». Les mesures effectuées par la CRIIRAD montrent un impact très net pour les sédiments du fossé qui recueille les eaux de ruissellement de la verse (23 000 Bq/kg pour l'uranium 238). Ceci est d'autant plus significatif que la CRIIRAD n'a pas échantillonné les secteurs les plus actifs.

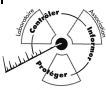
Ces résultats posent la question de la représentativité des stations d'échantillonnage retenues par AREVA.

Une réglementation très insuffisante

En dépit des pollutions constatées, les caractéristiques radiologiques des eaux contrôlées ne sont pas en infraction avec les critères réglementaires.

AREVA précise à ce propos : « *Les limites de rejets sont fixées par arrêtés préfectoraux, conformément aux limites fixées par le décret N°90-222, soit en concentrations moyennes annuelles :*

- 3 700 Bq/m³ pour le radium 226 insoluble,
- 1 800 mg/m³ pour l'uranium 238 soluble,



- Pour le radium 226 soluble :
 - 370 Bq/m³ si l'eau doit être traitée, c'est-à-dire si l'eau brute a une concentration en radium 226 soluble supérieure à 740 Bq/m³,
 - 740 Bq/m³ si la concentration en radium 226 soluble de l'eau brute est inférieure à 740 Bq/m³ et si la dilution du rejet par le cours d'eau récepteur est supérieure à 5 ».

Les concentrations en radium 226 insoluble (< 0,025 Bq/l), radium 226 soluble (< 0,07 Bq/l à 0,27 Bq/l) et uranium 238 soluble (36,5 à 984,1 µg/l) mesurées dans les 3 écoulements sont donc bien conformes aux prescriptions du décret N°9 0-222.

Le problème est que ce texte ne tient pas compte des évolutions scientifiques et réglementaires.

Le décret 90-222 se réfère en particulier à la directive n° 80-836 Euratom du 15 juillet 1980, modifiée par la directive n° 84-467 Euratom du 3 septembre 1984 et au décret n° 66-450 du 20 juin 1966 modifié, relatif aux principes généraux de protection contre les rayonnements ionisants, eux-mêmes basés sur la CIPR 26 de 1977.

Les connaissances sur les effets des faibles doses de radiation sur la santé ont beaucoup évolué ces dernières décennies, la CIPR 60 remplaçant la CIPR 26, la directive Euratom 96/29 de mai 1996 remplaçant celles de 1980 et 1984. Ce remaniement des normes de radioprotection a progressivement été transcrit en droit français à partir des années 2000. Le décret 90-222 du 9 mars 1990 n'a jamais été abrogé et mis en conformité avec ces évolutions du Code de la Santé Publique.

Le maintien de ce texte et des limites qu'il définit est à l'origine d'un certain nombre de dysfonctionnements. On peut citer l'exemple du seuil de gestion des « produits solides » :

« Les dépôts de minerais et de déchets ayant une teneur en uranium supérieure à 0,03 p. 100, de minerais lixiviés, de résidus des opérations de traitement, de produits provenant des bassins de réception des eaux ou de leur voisinage, doivent être établis conformément à un plan de gestion de ces produits qui précise les dispositions prises pour limiter, pendant la période de l'exploitation et après son arrêt définitif, les transferts de radionucléides vers la population. »

Or une teneur en uranium de 0,03 % correspond à une activité massique de l'ordre de **3 700 Bq/kg** soit une valeur 18 fois supérieure à l'activité classique des granites.

Le décret N°90-222 a ainsi permis d'exonérer les industriels de pratiquer une bonne gestion des stériles miniers, c'est-à-dire des déchets de la mine présentant un niveau de radioactivité inférieur à 3 700 Bq/kg, mais dont la radioactivité est loin d'être négligeable sur le plan de la radioprotection.

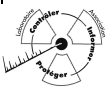
Les problèmes posés par la réutilisation de stériles uranifères ont été mis en évidence ces dernières années sur de nombreux sites pour lesquels des travaux de décontamination ont dû être engagés (école de Lachaux, scierie à Lavoine dans l'Allier, etc.).

En ce qui concerne le présent dossier, les problèmes concernent l'absence de limites (cas de la contamination des sédiments) ou la fixation de limites trop élevées ou mal conçues (cas de la gestion des eaux).

Les eaux

Dans le décret N°90-222, seuls deux éléments radioactifs (uranium et radium) sont recherchés et réglementés pour les eaux issues des sites miniers. Certains radionucléides présents dans les rejets miniers (comme le radon 222, le plomb 210, le polonium 210, l'actinium 227, etc.), ne sont pas pris en compte.

Ceci conduit à sous-estimer de plusieurs ordres de grandeur l'impact de ces eaux sur l'environnement et sur la santé en cas d'utilisation pour l'irrigation ou la consommation humaine.



Afin d'illustrer ce point nous pouvons comparer les résultats des calculs de dose pour un adulte qui consommerait 2 litres par jour d'une eau présentant les caractéristiques radiologiques des eaux du rejet du site de la Ribière.

La dose serait de 87,5 microSieverts par an, si l'on ne tient compte que de l'uranium et du radium 226 solubles réglementés par le décret 90-222.

Elle serait doublée (183 microSieverts par an) si l'on ajoute la contribution du plomb 210 insoluble et multipliée par³ 29 à 79 (2 533 à 6 903 microSieverts par an) si l'on tient compte du radon 222.

En outre, le décret N°90-222 fixe des limites de rejets beaucoup trop élevées eu égard à la radiotoxicité et à la très longue période physique des radionucléides associés à l'uranium (la période de l'uranium 238 est de 4,5 milliards d'années). Ces métaux lourds radioactifs peuvent s'accumuler dans l'environnement (sédiments, faune et flore aquatique) à des niveaux très élevés.

Cette contamination est attestée dans le cadre de la présente étude dans la mesure où, du fait des écoulements miniers, l'activité totale liée à l'uranium 238 et ses descendants dans les sédiments (entre **94 000 Bq/kg** pour Hyverneresse et **142 000 Bq/kg** pour La Ribière) correspond à la catégorie des déchets TFA à Vie Longue.

Les sédiments

Le décret N°90-222 ne fixe pas de limite pour la contamination des sédiments.

Par défaut, on peut se référer aux seuils d'exemption fixés par la directive Euratom 96/29.

Les activités massiques de l'uranium 238 et ou de ses descendants mesurées dans les sédiments soumis aux écoulements des 3 sites miniers contrôlés sont supérieures à ces seuils.

Or le dépassement des seuils d'exemption impose dans des environnements professionnels la mise en place de mesures de radioprotection.

A fortiori, ces valeurs - et même des valeurs nettement inférieures - doivent s'appliquer dans un environnement accessible à tous publics.

6 / Recommandations

La présente étude est très partielle et limitée dans ses objectifs. Elle ne porte en effet que sur la question de la contamination du milieu aquatique de surface pour seulement 3 des 20 sites miniers uranifères de la Creuse et n'a consisté, pour chaque site minier, qu'à analyser 2 échantillons seulement.

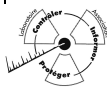
Néanmoins, sur la base de ces premières constatations, confortées par les résultats d'autres expertises réalisées par le laboratoire de la CRIIRAD depuis 1992 dans l'environnement des sites miniers uranifères, on peut rappeler ici les recommandations qui devraient être appliquées pour améliorer la connaissance de l'impact des anciens sites miniers uranifères et en limiter les impacts sur le milieu aquatique.

Améliorer la connaissance des impacts (milieu aquatique)

Pour chaque site minier doit être dressé un état des lieux complet comportant :

1. Des mesures du flux de rayonnement gamma au contact du sol en bordure des zones d'écoulement de manière à identifier les secteurs présentant une radioactivité anormalement élevée pouvant être l'indication d'une accumulation de métaux lourds radioactifs liés aux écoulements. Cette cartographie radiométrique permettra de concevoir un plan d'échantillonnage de sédiments et terres de berges afin de vérifier, au travers des déséquilibres entre l'uranium 238 et ses descendants, s'il s'agit d'un phénomène de transfert eau-sédiments.

³ Les calculs sont effectués respectivement avec les facteurs de dose proposés par la NRC et l'UNSCEAR.



2. Un recensement des puits et sources dans la zone d'influence minière, avec échantillonnage des eaux.
3. La priorité doit être donnée au contrôle des eaux utilisées pour l'irrigation (MCO de Montagaud) ou susceptible d'affecter des captages utilisés pour l'alimentation humaine ou animale. Les populations locales et leurs représentants devraient être associés à l'identification de ces zones prioritaires.
4. Plusieurs campagnes annuelles d'échantillonnage des eaux de surface et souterraines en fonction des conditions météorologiques
5. L'analyse dans les eaux de tous les marqueurs radiologiques et chimiques pertinents sans oublier le radon 222 dissous.
6. Des échantillonnages de sédiments dans les retenues d'eau en aval des écoulements miniers du fait des mécanismes spécifiques d'accumulation susceptibles de s'y dérouler. On citera pour le site de Montagaud les étangs des Brousses et du Prébournon et pour le site d'Hyverneresse deux petits plans d'eau situés en aval d'écoulements potentiels.
7. L'analyse radiologique des sédiments effectuée par spectrométrie gamma de manière à quantifier les principaux radionucléides des chaînes de l'uranium 238 (thorium 234, thorium 230, radium 226, plomb 210) et de l'uranium 235 (uranium 235, protactinium 231, thorium 227, radium 223, radon 219, plomb 211). En effet des phénomènes de transfert et de bioaccumulation sélectifs peuvent conduire à des accumulations spécifiques de certains descendants de l'uranium.
8. S'agissant du milieu aquatique, des contrôles de bioaccumulation doivent être effectués sur la faune et la flore aquatique. De ce point de vue, le bilan décennal publié par AREVA est très insuffisant puisqu'il ne donne que des résultats de mesure de poissons et pour un seul des 20 sites miniers uranifères de la Creuse (Grands Champs).

Limiter les impacts

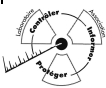
Il est nécessaire de limiter les transferts de polluants à la source en améliorant le confinement des déchets miniers (impermeabilisation des verses, par exemple) et de mettre en place une collecte des écoulements et un traitement adéquats des eaux avant rejet, ainsi qu'un assainissement des terrains contaminés par ces écoulements.

Bien que la présente campagne de mesure n'ait pas porté spécifiquement sur les impacts concernant l'irradiation externe, la radioactivité de l'air ambiant et le contrôle de la chaîne alimentaire, les quelques mesures de flux de rayonnement gamma effectuées montrent que le niveau de rayonnement gamma en proximité des verses à stériles et des zones d'écoulement peut être très nettement supérieur au bruit de fond naturel. La réalisation de plans compteurs radiométriques à maille serrée et au contact du sol est nécessaire pour repérer les zones présentant des concentrations en radionucléides anormalement élevées. Une fois repérées, ces zones doivent être traitées de manière à limiter l'exposition des populations.

De ce point de vue, on notera que le bilan décennal établi par AREVA pour les sites miniers de la Creuse ne présente des calculs d'impact dosimétrique que pour 2 des 20 sites miniers de la Creuse (La Ribière et Grands Champs), et selon une méthodologie inadaptée (mesure de débit de dose gamma ambiant et activité du radon dans l'air ambiant en 1 seul point, insuffisance des contrôles sur l'eau et la chaîne alimentaire, etc). Cette méthodologie doit être mise à niveau.

Rédaction : Bruno CHAREYRON, ingénieur en physique nucléaire, responsable du laboratoire de la CRIIRAD / bruno.chareyron@criirad.org

Approbation : Corinne CASTANIER, directrice de la CRIIRAD.



ANNEXE 1 / Agréments du laboratoire de la CRIIRAD

Le laboratoire de la CRIIRAD est agréé par l'Autorité de sûreté nucléaire pour les mesures de radioactivité de l'environnement. La portée détaillée de l'agrément est disponible sur le site internet de l'Autorité de sûreté nucléaire.

Une liste actualisée⁴ est présentée ci-dessous :

1 / Matrice **eaux** : émetteurs gamma d'énergie inférieure à 100 keV et d'énergie supérieure à 100 keV (agrément valable jusqu'au 01/08/2010) et tritium (agrément valable jusqu'au 30/06/2014).

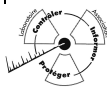
2 / Matrice **sols** : émetteurs gamma d'énergie supérieure à 100 keV (agrément valable jusqu'au 10/7/2011), uranium et descendants, thorium et descendants, Ra 226 et descendants, Ra 228 et descendants (agrément valable jusqu'au 01/08/2010).

3 / Matrices **biologiques** : émetteurs gamma d'énergie inférieure à 100 keV et d'énergie supérieure à 100 keV (agrément valable jusqu'au 30/06/2014).

4 / Matrices **gaz** : émetteurs gamma d'énergie inférieure à 100 keV et d'énergie supérieure à 100 keV et gaz halogénés (agrément valable jusqu'au 01/02/2012).

En outre, le laboratoire de la CRIIRAD est agréé pour la mesure du radon dans les lieux ouverts au public (niveaux 1 et 2 ; validité jusqu'au 15 septembre 2011).

⁴ Décision n°DEP-DEU-0705-2009 du 8 décembre 2009 de l'Autorité de sûreté nucléaire portant prorogation d'agrément de laboratoires de mesures de la radioactivité de l'environnement et Décision n°DEP-DEU-0704-2009 du 8 décembre 2009 de l'Autorité de sûreté nucléaire portant agrément de laboratoires de mesures de la radioactivité de l'environnement.

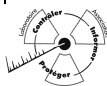


ANNEXE 2 / Résultats des analyses par spectrométrie gamma

Laboratoire de la CRIIRAD

- Eau de surface CR E1, la Ribière,
- Eau de surface CR E2, Montagaud
- Eau de surface CR E3, Hyverneresse

- Sédiments CR S1, La Ribière
- Sédiments CR S2, Montagaud
- Sédiments CR S3 Hyverneresse



DRIRE - MINE CREUSE
RÉSULTATS DES ANALYSES EN SPECTROMÉTRIE
GAMMA EFFECTUÉES PAR LA CRIIRAD

CR-E1

211209B1

Nature du prélèvement : Eau de surface - La Ribière
Lieu de prélèvement : E1
Date de prélèvement : 16/12/2009 10:40
Mode de prélèvement :
Quantité prélevée : 2x5 litres + 1 x 1 litre

Activités exprimées en Becquerels par Kg de liquide (Bq/Kg)

| TYPE D'ANALYSE | PRELIMINAIRE (eau brute) | FILTRES (fraction insoluble > 0,45 µm) | FILTRAT CONCENTRE (fraction soluble < 0,45 µm) |
|-----------------------|--------------------------|--|--|
| N° d'analyse | C 24842 | C 24927 | B 24959 |
| Date d'analyse | 21/12/09 | 22/01/10 | 4/02/10 |
| Temps de comptage (s) | 1 800 | 230 828 | 112 527 |
| Géométrie | Marinelli | Pétri | Marinelli |
| Masse analysée (g) | 579,8 | 10290,24 | 9759,24 |

Radioactivité naturelle

Chaine de l'Uranium 238

| | | | |
|-------------------|-----------|-------------|---------------|
| Thorium 234* | NM | < 0,29 | < 0,36 |
| Protactinium 234m | NM | < 1,0 | < 0,9 |
| Thorium 230* | NM | < 0,15 | < 0,7 |
| Radium 226** | NM | < 0,016 | 0,27 ± 0,05 |
| Radon 222 * | 920 ± 130 | NM | NM |
| Plomb 214 | NM | < 0,016 | 0,29 ± 0,05 |
| Bismuth 214 | NM | < 0,023 | 0,256 ± 0,050 |
| Plomb 210** | NM | 0,19 ± 0,07 | < 0,12 |

Chaine de l'Uranium 235

| | | | |
|------------------|----|---------|---------|
| Uranium 235 | NM | < 0,05 | < 0,06 |
| Protactinium 231 | NM | < 0,06 | < 0,18 |
| Thorium 227 | NM | < 0,015 | < 0,045 |
| Radium 223 | NM | < 0,028 | < 0,08 |
| Radon 219 | NM | < 0,018 | < 0,05 |
| Plomb 211 | NM | < 0,040 | < 0,10 |

Chaine du Thorium 232

| | | | |
|--------------|----|---------|---------|
| Actinium 228 | NM | < 0,032 | < 0,03 |
| Plomb 212 | NM | < 0,007 | < 0,011 |
| Thallium 208 | NM | < 0,008 | < 0,008 |

| | | | |
|--------------|----|---------|---------|
| Potassium 40 | NM | < 0,10 | < 0,26 |
| Béryllium 7 | NM | < 0,012 | < 0,032 |

Eléments radioactifs artificiels

| | | | |
|------------|----|----------|----------|
| Césium 137 | NM | < 0,0018 | < 0,0045 |
| Césium 134 | NM | < 0,0014 | < 0,0036 |

Légende :

± : marge d'incertitude

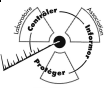
< : limite de détection

NM : non mesuré

Les activités sont ramenées à la date de prélèvement pour la radioactivité artificielle et à la date d'analyse pour la radioactivité naturelle.

* : Le Radium 226 est évalué à partir de ses descendants Plomb 214 et Bismuth 214 à l'équilibre.

** : L'activité du radon 222 est exprimée à la date de prélèvement et déterminée à partir de la valeur moyenne sur ses descendants : Plomb 214 et Bismuth 214.



DRIRE - MINE CREUSE
RÉSULTATS DES ANALYSES EN SPECTROMÉTRIE
GAMMA EFFECTUÉES PAR LA CRIIRAD

CR-E2

211209B2

Nature du prélèvement : Eau de surface - Montagnaud
 Lieu de prélèvement : CR-E2
 Date de prélèvement : 16/12/2009 11:25
 Mode de prélèvement :
 Quantité prélevée : 2x5 litres + 1 x 1 litre

Activités exprimées en Becquerels par Kg de liquide (Bq/Kg)

| TYPE D'ANALYSE | PRELIMINAIRE (eau brute) | FILTRES (fraction insoluble > 0,45 µm) | FILTRAT CONCENTRE (fraction soluble < 0,45 µm) |
|-----------------------|--------------------------|--|--|
| N° d'analyse | B24843 | B24928 | C24962 |
| Date d'analyse | 21/12/09 | 22/01/10 | 5/02/10 |
| Temps de comptage (s) | 1 800 | 231 139 | 230 187 |
| Géométrie | Marinelli | Pétri | Marinelli |
| Masse analysée (g) | 557,93 | 10305,31 | 10305,31 |

Radioactivité naturelle

Chaîne de l'Uranium 238

| | | | |
|-------------------|----------|-------------|---------------|
| Thorium 234* | NM | 0,72 ± 0,14 | 3,7 ± 0,6 |
| Protactinium 234m | NM | 1,1 ± 0,8 | < 5 |
| Thorium 230* | NM | < 0,30 | < 0,35 |
| Radium 226** | NM | < 0,012 | 0,175 ± 0,038 |
| Radon 222 * | 207 ± 38 | NM | NM |
| Plomb 214 | NM | < 0,023 | 0,183 ± 0,037 |
| Bismuth 214 | NM | < 0,012 | 0,167 ± 0,039 |
| Plomb 210** | NM | < 0,08 | < 0,12 |

Chaîne de l'Uranium 235

| | | | |
|------------------|----|---------|---------|
| Uranium 235 | NM | < 0,09 | < 0,37 |
| Protactinium 231 | NM | < 0,09 | < 0,09 |
| Thorium 227 | NM | < 0,020 | < 0,022 |
| Radium 223 | NM | < 0,036 | < 0,038 |
| Radon 219 | NM | < 0,022 | < 0,025 |
| Plomb 211 | NM | < 0,048 | < 0,06 |

Chaîne du Thorium 232

| | | | |
|--------------|----|----------|---------|
| Actinium 228 | NM | < 0,020 | < 0,07 |
| Plomb 212 | NM | < 0,007 | < 0,010 |
| Thallium 208 | NM | < 0,0043 | < 0,010 |

| | | | |
|--------------|----|---------|---------|
| Potassium 40 | NM | < 0,20 | < 0,5 |
| Béryllium 7 | NM | < 0,015 | < 0,018 |

Eléments radioactifs artificiels

| | | | |
|------------|----|----------|----------|
| Césium 137 | NM | < 0,0021 | < 0,0025 |
| Césium 134 | NM | < 0,0019 | < 0,0021 |

Légende :

± : marge d'incertitude

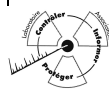
< : limite de détection

NM : non mesuré

Les activités sont ramenées à la date de prélèvement pour la radioactivité artificielle et à la date d'analyse pour la radioactivité naturelle.

* : Le Radium 226 est évalué à partir de ses descendants Plomb 214 et Bismuth 214 à l'équilibre.

** : L'activité du radon 222 est exprimée à la date de prélèvement et déterminée à partir de la valeur moyenne sur ses descendants : Plomb 214 et Bismuth 214.



DRIRE - MINE CREUSE
RÉSULTATS DES ANALYSES EN SPECTROMÉTRIE
GAMMA EFFECTUÉES PAR LA CRIIRAD

CR-E3

211209B3

Nature du prélèvement : Eau de surface - Hyverneresse, sortie travers banc
Lieu de prélèvement : CR-E3
Date de prélèvement : 16/12/2009 16:35
Mode de prélèvement :
Quantité prélevée : 2x5 litres + 1 x 1 litre

Activités exprimées en Becquerels par Kg de liquide (Bq/Kg)

| TYPE D'ANALYSE | PRELIMINAIRE (eau brute) | FILTRES (fraction insoluble > 0,45 µm) | FILTRAT CONCENTRE (fraction soluble < 0,45 µm) |
|-----------------------|--------------------------|--|--|
| N° d'analyse | C24844 | C 24932 | B 24963 |
| Date d'analyse | 21/12/09 | 26/01/10 | 5/02/10 |
| Temps de comptage (s) | 1 800 | 142 344 | 230 179 |
| Géométrie | Marinelli | Pétri | Marinelli |
| Masse analysée (g) | 563,7 | 10277,39 | 9748,57 |

Radioactivité naturelle

Chaîne de l'Uranium 238

| | | | |
|-------------------|----------|-------------|------------|
| Thorium 234* | NM | 0,66 ± 0,18 | 8,6 ± 1,0 |
| Protactinium 234m | NM | < 1,6 | 11,6 ± 2,3 |
| Thorium 230* | NM | < 0,20 | < 0,6 |
| Radium 226** | NM | < 0,025 | < 0,07 |
| Radon 222 * | 128 ± 28 | NM | |
| Plomb 214 | NM | < 0,026 | < 0,08 |
| Bismuth 214 | NM | < 0,025 | < 0,07 |
| Plomb 210** | NM | 0,30 ± 0,08 | < 0,08 |

Chaîne de l'Uranium 235

| | | | |
|------------------|----|---------|-------------|
| Uranium 235 | NM | < 0,06 | 0,49 ± 0,14 |
| Protactinium 231 | NM | < 0,08 | < 0,13 |
| Thorium 227 | NM | < 0,019 | < 0,029 |
| Radium 223 | NM | < 0,038 | < 0,05 |
| Radon 219 | NM | < 0,021 | < 0,032 |
| Plomb 211 | NM | < 0,05 | < 0,06 |

Chaîne du Thorium 232

| | | | |
|--------------|----|---------|---------|
| Actinium 228 | NM | < 0,034 | < 0,038 |
| Plomb 212 | NM | < 0,007 | < 0,009 |
| Thallium 208 | NM | < 0,011 | < 0,006 |

| | | | |
|--------------|----|---------|---------|
| Potassium 40 | NM | < 0,19 | < 0,25 |
| Béryllium 7 | NM | < 0,016 | < 0,021 |

Éléments radioactifs artificiels

| | | | |
|------------|----|----------|----------|
| Césium 137 | NM | < 0,0023 | < 0,0029 |
| Césium 134 | NM | < 0,0020 | < 0,0025 |

Légende :

± : marge d'incertitude

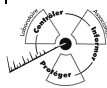
< : limite de détection

NM : non mesuré

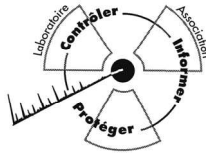
Les activités sont ramenées à la date de prélèvement pour la radioactivité artificielle et à la date d'analyse pour la radioactivité naturelle.

* : Le Radium 226 est évalué à partir de ses descendants Plomb 214 et Bismuth 214 à l'équilibre.

** : L'activité du radon 222 est exprimée à la date de prélèvement et déterminée à partir de la valeur moyenne sur ses descendants : Plomb 214 et Bismuth 214.



LABORATOIRE DE LA CRIIRAD



Site internet : www.criirad.org
E-mail : laboratoire@criirad.org

Laboratoire agréé par les ministères chargés de la santé et de l'environnement pour les mesures de radioactivité de l'environnement – portée détaillée de l'agrément disponible sur demande ou consultable sur www.criirad.org.

Méthode d'essai : spectrométrie gamma en containers de géométrie normalisée.
DéTECTEUR semi-conducteur au germanium hyperpur refroidi à l'azote liquide.
Efficacité relative de 22 à 24 %. Résolution de 1,7 keV pour la raie à 1,33 MeV.

RAPPORT D'ESSAI N° 24960-2 PAGE 1 / PAGE 1 RESULTATS D'ANALYSE EN SPECTROMETRIE GAMMA

Identification de l'échantillon analysé

Etude **DRIRE MINE CREUSE**

Code Prélèvement **CR-S1**
Code Enregistrement **211209B4**
N° d'analyse **C 24960**

Nature de l'échantillon **Sédiments**

Taux de matière sèche **14,7%**

Lieu de prélèvement **Creuse (23)**
Localisation du prélèvement **La Ribière**
Zone humide
Sédiments sur "berge"

Code de l'unité territoriale (NUTS) **FR632**
Latitude, longitude (degrés minutes) **N46 15.864 E2 06.617**

Rapport N°24960 Sédiments CR S1 LA RIBIERE

Valence, le 17 mars 2010

Prélèvement

Date et heure de prélèvement **16/12/2009 10:40**
Opérateur de prélèvement **CRIRAD (C Courbon)**
Mode de prélèvement **Pelle de prélèvement**

Pré-traitement

Date de préparation **14/01/2010**
Délai avant analyse (j) **22**
Conditions de préparation **Etuvage à 105°C**
Tamisage à 2 mm

Analyse en spectrométrie gamma

Date de mesure **04/02/2010 18:07**
Géométrie de comptage **Pétri**
Etat de l'échantillon à l'analyse **Sec**
Masse analysée (g) **27,21**
Temps de comptage (s) **53 813**

Le présent rapport comporte 1 page et ne concerne que l'échantillon soumis à l'analyse.
La reproduction de ce rapport n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

Activités exprimées en Becquerels par kilogramme sec (Bq/kg sec)

| Eléments radioactifs naturels* | Activité et incertitude ou limite de détection si < | |
|---|---|-------|
| Chaîne de l'Uranium 238 | | |
| Thorium 234** | 28 900 ± | 3 400 |
| Protactinium 234m | 27 000 ± | 6 000 |
| Thorium 230** | < | 600 |
| Radium 226*** | 2 960 ± | 330 |
| Plomb 214 | 3 490 ± | 380 |
| Bismuth 214 | 2 430 ± | 280 |
| Plomb 210** | 2 910 ± | 400 |
| Chaîne de l'Uranium 235 | | |
| Uranium 235 | 1 430 ± | 290 |
| Protactinium 231 | < | 140 |
| Thorium 227 | 2 070 ± | 280 |
| Radium 223 | 2 640 ± | 420 |
| Radon 219 | 2 580 ± | 360 |
| Plomb 211 | 2 800 ± | 500 |
| Chaîne du Thorium 232 | | |
| Actinium 228 | 75 ± | 38 |
| Plomb 212 | 66 ± | 16 |
| Thallium 208 | 22 ± | 11 |
| Potassium 40 | < | 280 |
| Béryllium 7 | < | 27 |
| Eléments radioactifs artificiels | | |
| Césium 137 | < | 3,9 |
| Césium 134 | < | 3,6 |

Activités ramenées à la date de prélèvement

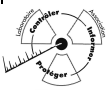
* Eléments radioactifs existant à l'état naturel. Leur présence dans l'échantillon peut être naturelle ou liée à des activités humaines.

** S'agissant de raies gamma à basse énergie (< 100 keV), les valeurs publiées constituent des valeurs par défaut, compte tenu des phénomènes d'autoatténuation possibles au sein de l'échantillon.

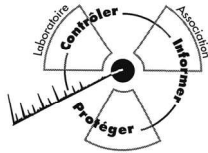
*** Le Radium 226 est évalué à partir de ses descendants le Plomb 214 et le Bismuth 214 à l'équilibre, soit plus de 21 jours après conditionnement de l'échantillon.

Stéphane PATRIGEON
Technicien de laboratoire

Bruno CHAREYRON
Responsable du laboratoire



LABORATOIRE DE LA CRIIRAD



Site internet : www.criirad.org
E-mail : laboratoire@criirad.org

Laboratoire agréé par les ministères chargés de la santé et de l'environnement pour les mesures de radioactivité de l'environnement – portée détaillée de l'agrément disponible sur demande ou consultable sur www.criirad.org.

Méthode d'essai : spectrométrie gamma en containers de géométrie normalisée.
DéTECTEUR semi-conducteur au germanium hyperpur refroidi à l'azote liquide.
Efficacité relative de 22 à 24 %. Résolution de 1,7 keV pour la raie à 1,33 MeV.

RAPPORT D'ESSAI N° 24964-2 PAGE 1 / PAGE 1 RESULTATS D'ANALYSE EN SPECTROMETRIE GAMMA

Identification de l'échantillon analysé

Etude **DRIRE MINE CREUSE**

Code Prélèvement **CR-S2**
Code Enregistrement **211209B5**
N° d'analyse **C 24964**

Nature de l'échantillon **Sédiments**
Sédiments d'un fossé

Taux de matière sèche **63,2%**

Lieu de prélèvement **Creuse (23)**
Localisation du prélèvement **Montagaud**

Code de l'unité territoriale (NUTS) **FR632**
Latitude, longitude (degrés minutes) **N46 17.962 E1 57.977**

RAPPORT N°24964 Sédiments CR S2 MONTAGAUD

Valence, le 17 mars 2010

Prélèvement

Date et heure de prélèvement **16/12/2009 11:25**
Opérateur de prélèvement **CRIRAD (C Courbon)**
Mode de prélèvement **Pelle de prélèvement**

Pré-traitement

Date de préparation **14/01/2010**
Délai avant analyse (j) **25**
Conditions de préparation **Etuvage à 105°C**
Tamisage à 2 mm

Analyse en spectrométrie gamma

Date de mesure **08/02/2010 9:06**
Géométrie de comptage **Pétri**
Etat de l'échantillon à l'analyse **Sec**
Masse analysée (g) **68,47**
Temps de comptage (s) **30 983**

Le présent rapport comporte 1 page et ne concerne que l'échantillon soumis à l'analyse.
La reproduction de ce rapport n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

Activités exprimées en Becquerels par kilogramme sec (Bq/kg sec)

| Eléments radioactifs naturels* | Activité et incertitude ou limite de détection si < | |
|---|---|-------|
| Chaîne de l'Uranium 238 | | |
| Thorium 234** | 23 000 ± | 2 700 |
| Protactinium 234m | 23 200 ± | 5 000 |
| Thorium 230** | 1 700 ± | 800 |
| Radium 226*** | 1 800 ± | 200 |
| Plomb 214 | 1 880 ± | 210 |
| Bismuth 214 | 1 730 ± | 200 |
| Plomb 210** | 1 680 ± | 240 |
| Chaîne de l'Uranium 235 | | |
| Uranium 235 | 1 120 ± | 210 |
| Protactinium 231 | < | 80 |
| Thorium 227 | 94 ± | 37 |
| Radium 223 | < | 37 |
| Radon 219 | 170 ± | 70 |
| Plomb 211 | < | 60 |
| Chaîne du Thorium 232 | | |
| Actinium 228 | 55 ± | 24 |
| Plomb 212 | 71 ± | 13 |
| Thallium 208 | 20 ± | 6 |
| Potassium 40 | 1 300 ± | 200 |
| Béryllium 7 | < | 17 |
| Eléments radioactifs artificiels | | |
| Césium 137 | < | 2,3 |
| Césium 134 | < | 2,0 |

Activités ramenées à la date de prélèvement

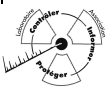
* Eléments radioactifs existant à l'état naturel. Leur présence dans l'échantillon peut être naturelle ou liée à des activités humaines.

** S'agissant de raies gamma à basse énergie (< 100 keV), les valeurs publiées constituent des valeurs par défaut, compte tenu des phénomènes d'autoatténuation possibles au sein de l'échantillon.

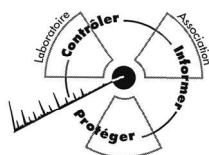
*** Le Radium 226 est évalué à partir de ses descendants le Plomb 214 et le Bismuth 214 à l'équilibre, soit plus de 21 jours après conditionnement de l'échantillon.

Stéphane PATRIGEON
Technicien de laboratoire

Bruno CHAREYRON
Responsable du laboratoire



LABORATOIRE DE LA CRIIRAD



Site internet : www.criirad.org
E-mail : laboratoire@criirad.org

Laboratoire agréé par les ministères chargés de la santé et de l'environnement pour les mesures de radioactivité de l'environnement – portée détaillée de l'agrément disponible sur demande ou consultable sur www.criirad.org.

Méthode d'essai : spectrométrie gamma en containers de géométrie normalisée.
DéTECTEUR semi-conducteur au germanium hyperpur refroidi à l'azote liquide.
Efficacité relative de 22 à 24 %. Résolution de 1,7 keV pour la raie à 1,33 MeV.

RAPPORT D'ESSAI N° 24961-2 PAGE 1 / PAGE 1 RESULTATS D'ANALYSE EN SPECTROMETRIE GAMMA

Identification de l'échantillon analysé

| | |
|--------------------------------------|--|
| Etude | DRIRE MINE CREUSE |
| Code Prélèvement | CR-S3 |
| Code Enregistrement | 211209B6 |
| N° d'analyse | C 24961 |
| Nature de l'échantillon | Sédiments |
| Taux de matière sèche | 56,7% |
| Lieu de prélèvement | Creuse (23) |
| Localisation du prélèvement | Bordure rejet travers banc Hyverneresse |
| Code de l'unité territoriale (NUTS) | FR632 |
| Latitude, longitude (degrés minutes) | N45 49.453 E2 08.876 |

Le présent rapport comporte 1 page et ne concerne que l'échantillon soumis à l'analyse.
La reproduction de ce rapport n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

Activités exprimées en Becquerels par kilogramme sec (Bq/kg sec)

| Eléments radioactifs naturels* | Activité et incertitude ou limite de détection si < | |
|---|---|-------|
| Chaîne de l'Uranium 238 | | |
| Thorium 234** | 9 400 ± | 1 200 |
| Protactinium 234m | 9 100 ± | 2 800 |
| Thorium 230** | 8 300 ± | 1 800 |
| Radium 226*** | 4 190 ± | 450 |
| Plomb 214 | 4 430 ± | 480 |
| Bismuth 214 | 3 950 ± | 430 |
| Plomb 210** | 7 700 ± | 900 |
| Chaîne de l'Uranium 235 | | |
| Uranium 235 | 460 ± | 140 |
| Protactinium 231 | 410 ± | 220 |
| Thorium 227 | 400 ± | 90 |
| Radium 223 | 480 ± | 130 |
| Radon 219 | 450 ± | 110 |
| Plomb 211 | 410 ± | 180 |
| Chaîne du Thorium 232 | | |
| Actinium 228 | 88 ± | 31 |
| Plomb 212 | 68 ± | 13 |
| Thallium 208 | 29 ± | 8 |
| Potassium 40 | 1 480 ± | 230 |
| Béryllium 7 | < | 19 |
| Eléments radioactifs artificiels | | |
| Césium 137 | < | 2,5 |
| Césium 134 | < | 2,6 |

* Eléments radioactifs existant à l'état naturel. Leur présence dans l'échantillon peut être naturelle ou liée à des activités humaines.

** S'agissant de raies gamma à basse énergie (< 100 keV), les valeurs publiées constituent des valeurs par défaut, compte tenu des phénomènes d'autoatténuation possibles au sein de l'échantillon.

*** Le Radium 226 est évalué à partir de ses descendants le Plomb 214 et le Bismuth 214 à l'équilibre, soit plus de 21 jours après conditionnement de l'échantillon.

RAPPORT N°24961 Sédiments CR S3 HYVERNERESSE

Prélèvement

| | |
|------------------------------|----------------------|
| Date et heure de prélèvement | 16/12/2009 16:35 |
| Opérateur de prélèvement | CRIRAD (C Courbon) |
| Mode de prélèvement | Pelle de prélèvement |

Pré-traitement

| | |
|---------------------------|------------------------------------|
| Date de préparation | 14/01/2010 |
| Délai avant analyse (j) | 22 |
| Conditions de préparation | Etuvage à 105°C Tamisage à 2 mm |

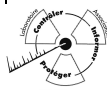
Analyse en spectrométrie gamma

| | | |
|-----------------------------------|------------|------|
| Date de mesure | 05/02/2010 | 9:11 |
| Géométrie de comptage | Pétri | |
| Etat de l'échantillon à l'analyse | Sec | |
| Masse analysée (g) | 61,03 | |
| Temps de comptage (s) | 26 881 | |

Activités ramenées à la date de prélèvement

Stéphane PATRIGEON
Technicien de laboratoire

Bruno CHAREYRON
Responsable du laboratoire



ANNEXE 3 / conditions de traitement et d'analyse des échantillons de sédiments au laboratoire de la CRIIRAD

A réception au laboratoire de la CRIIRAD, les échantillons de sédiments ont subi le traitement suivant :

- Mesure du flux de rayonnement gamma au contact (scintillomètre SPP2) à travers l'emballage d'origine et enregistrement des échantillons.

Pour les 3 échantillons de sédiments, le flux de rayonnement gamma au contact du flacon de prélèvement contenant de 2 à 2,5 kg de matière était 2 à 5 fois supérieur au bruit de fond du laboratoire (95 à 220 c/s pour un bruit de fond de 45 c/s).

- Tri manuel (enlèvement de la matière végétale).
- Dessiccation en étuve à 105 °C et détermination du taux de matières sèches.
- Homogénéisation, tamisage à 2 mm et conditionnement en géométrie de comptage calibrée (boîte de Pétri) pour analyse par spectrométrie gamma au laboratoire de la CRIIRAD après un délai de 21 jours minimum permettant la mise à l'équilibre du radium 226 et de ses descendants émetteurs gamma (plomb et bismuth 214) utilisés pour la détermination d'activité.

Les conditions de traitement sont adaptées pour garantir la protection radiologique du personnel : limiter au maximum la manipulation des échantillons, travail sous hotte ventilée lors du traitement de l'échantillon et de son transfert vers la géométrie de comptage, port de masque respiratoire, port de gants, port du dosimètre passif, décontamination systématique des paillasses, ustensiles et géométries de conditionnement au moyen de TFD4, réalisation de frottis de contrôle sur les paillasses après traitement des échantillons.

ANNEXE 4 / conditions de traitement et d'analyse des échantillons d'eau au laboratoire de la CRIIRAD

A réception au laboratoire de la CRIIRAD, les échantillons d'eau ont subi les traitements successifs suivant s :

Contrôle radiométrique

Mesure du flux de rayonnement gamma au contact des flaconnages (scintillomètre SPP2) et enregistrement des échantillons.

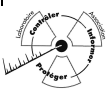
Seules les eaux de La Ribière présentaient un flux de rayonnement gamma au contact nettement supérieur au bruit de fond naturel (65 c/s).

Mesure de l'activité du radon 222 dissous

Chaque échantillon est dans un premier temps conditionné en pot Marinelli 560 cc (après décantation préalable si nécessaire) pour analyse préliminaire par spectrométrie gamma HpGe, afin de mettre en évidence les radioéléments à courte période ou gazeux (entre autres le **radon 222** : période de 3,8 jours ou l'**iode 131** : période de 8 jours).

Les résultats de mesure sont systématiquement corrigés de la décroissance radioactive entre la date de prélèvement et la date de mesure de façon à exprimer l'activité au moment du prélèvement.

S'agissant en particulier du radon 222, il faut garder à l'esprit que les activités mesurées constituent une évaluation par défaut (dégazage possible d'une partie du radon lors du prélèvement) et ne sont valables que pour les échantillons contrôlés. En effet, les niveaux de radon 222 sont susceptibles de fortes variations naturelles.



L'évaluation de l'activité du radon 222 est toujours délicate compte tenu également de la possibilité d'un dégazage partiel lors du transvasement⁵ du pot de prélèvement vers la géométrie de comptage. Afin de tenir compte de ce phénomène, le comptage est réalisé systématiquement dans les minutes qui suivent le transvasement pendant 1 800 secondes. Dans ces conditions, la mesure de l'activité du plomb 214 et du bismuth 214 qui sont toujours à l'équilibre avec le radon 222 présent dans le liquide avant transvasement permet de déterminer l'activité du radon 222 dans le flaconnage d'origine.

Dosages chimiques sur eau brute

Un litre d'eau brute a été apporté au laboratoire Départemental d'Analyse de la Drôme (LDA 26, situé à Valence) pour réalisation des mesures chimiques :

- pH (NF T 90 008).
- Conductivité (NF EN 27 888).
- Composition ionique semi-quantitative par chromatographie ionique.

Les résultats sont le produit d'une recherche rapide non normalisée, semi-quantitative, dans le but d'orienter d'éventuelles recherches quantitatives. Cette recherche contient deux risques d'erreur : interférences matricielles (que le laboratoire essaie de limiter au maximum) et non détection de concentrations faibles (pour certains éléments, les nitrites par exemple, le seuil de détection est supérieur à la CMA).

- Recherche qualitative multi-élémentaire par mesure d'émission sur torche à plasma (ICP).

Les résultats sont le produit d'une recherche rapide non normalisée, semi-quantitative, dans le but d'orienter d'éventuelles recherches quantitatives. Cette recherche contient deux risques d'erreur : interférences matricielles (que le laboratoire essaie de limiter au maximum) et non détection de concentrations faibles (pour certains éléments, cadmium, sélénium par exemple, le seuil de détection est supérieur à la CMA).

Filtration

Les échantillons d'eau brute (5 à 10 litres) sont homogénéisés (sur le volume total) et subissent une double filtration au laboratoire de la CRIIRAD: filtres 8 microns, puis filtre **0,45 microns** (pompe à vide).

Les filtres sont conditionnés en boîtes de pétri (polystyrène : 65 cc), et analysés par spectrométrie gamma.

Dosage de l'uranium soluble

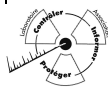
Afin de déterminer la concentration en uranium 238 soluble, 250 cc de liquide filtré a été apporté au laboratoire Départemental d'Analyse de la Drôme (LDA 26, situé à Valence). Le dosage est effectué selon la norme NF EN ISO 17294-2.

Concentration et analyse du filtrat concentré

Au laboratoire de la CRIIRAD, l'échantillon de liquide filtré est ensuite acidifié (HNO₃ à 2 %). Puis environ 10 litres sont concentrés sur plaque chauffante (80 °C max). Le filtrat concentré est conditionné en géométrie Marinelli.

⁵ La Norme probatoire NF M60-761-1 (Mesure de la radioactivité dans l'environnement – eau / Partie 1 : Le radon 222 et ses descendants à vie courte dans l'eau : leurs origines et les méthodes de mesure), recommande d'effectuer le comptage directement sur le container calibré dans lequel l'échantillon a été conditionné in situ.

Les campagnes de tests comparatifs réalisés par la CRIIRAD avec les 2 méthodologies (comptage direct sur le container de prélèvement / comptage dans un container Marinelli après transfert au laboratoire) ont montré des résultats comparables (aux marges d'incertitudes près). Cependant le flaconnage utilisé pour le prélèvement est plus approprié pour le transport des échantillons.



L'analyse des filtres et filtrats est réalisée 3 semaines après le conditionnement des échantillons. Au bout de ce temps en effet, l'évaluation du radium 226 - difficile à mesurer directement par spectrométrie gamma - est possible sur ses descendants plomb 214 et bismuth 214, qui sont alors en équilibre avec lui.

