



Fiche GT1-1

Étude du fonctionnement hydrogéochimique du site de Bellezane

1. Introduction

Le site minier de Bellezane, exploité de 1975 à 1993 en mine à ciel ouvert (MCO) et en travaux miniers souterrains (TMS), a fourni 3800 tonnes d'uranium. Il a, au cours de son exploitation, été utilisé comme site de stockage de résidus de traitement du minerai provenant de l'usine de Bessines. Deux mines à ciel ouvert, la MCO 105 et la MCO 68 sont ainsi actuellement partiellement remblayées par 1,5 millions de tonnes de ces résidus. Plus récemment, en 2006 le site a été rouvert pour y entreposer les boues de curage du lac de Saint Pardoux, puis celles de l'étang de la Cruzille et de deux étangs privés.

Le site de Bellezane fait actuellement l'objet d'une surveillance environnementale de la part d'Areva NC qui s'exerce notamment sur les eaux superficielles et les eaux souterraines. Les effluents du site qui ne sont pas conformes aux autorisations de rejet sont traités pour abaisser leur concentration en uranium et en radium avant d'être relâchés dans le réseau hydrographique au niveau d'un ruisseau affluent de la rive gauche de la Gartempe.

La configuration générale du site et de son dispositif de surveillance est schématisée sur la Figure 1, avec une indication des circuits de circulation des eaux tels qu'ils résultent de l'interprétation qui va suivre.

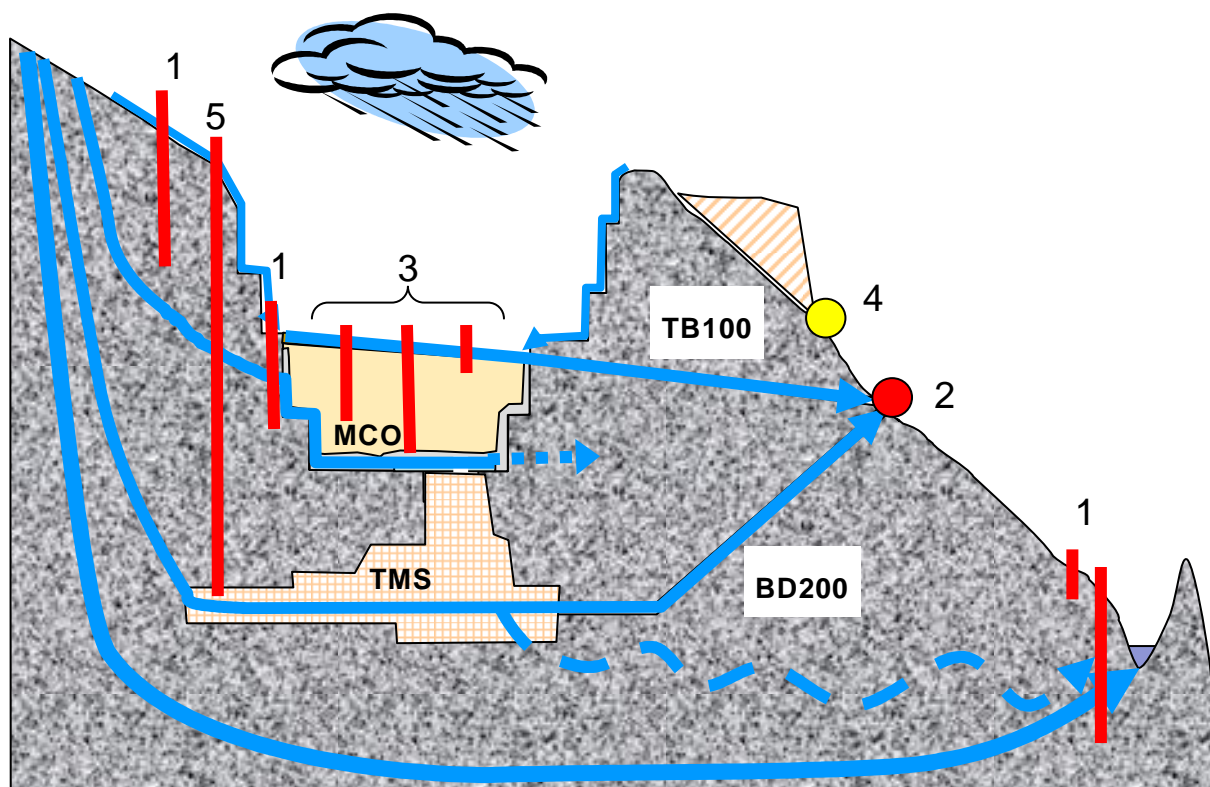


Figure 1 : Schéma de circulation des eaux et du dispositif de surveillance sur le site de Bellezane

1 : prélèvement des eaux souterraines du massif granitique, 2 : exhaure du réservoir minier, 3 : prélèvement des eaux de résidus miniers, 4 : prélèvement des eaux de verses à stériles, 5 : prélèvement des eaux du réservoir minier

Les différents aspects caractéristiques de ce site, à savoir :

- La taille du site vis-à-vis de l'extension des travaux miniers, des tonnages produits et de la quantité de matériaux rocheux déplacés qui en font l'un des sites les plus importants de la division minière de la Crouzille ;
- La présence sur un même site de la plupart des objets sources potentielles de danger selon la définition qu'en a donnée le GEP au cours de son analyse des sites miniers du Limousin, en particulier la présence de résidus de traitement du minerai ;
- L'existence d'un réseau de suivi des eaux surveillé par l'exploitant depuis l'arrêt des travaux miniers ayant produit bon nombre de données expérimentales ;
- La configuration topographique et hydrogéologique permettant de bien circonscrire le site sur les plans hydraulique et hydrochimiques malgré sa taille ;

ont conduit le GEP à recommander l'étude détaillée afin d'établir les bases d'une méthodologie de caractérisation du comportement hydro-géochimique des sites miniers et de prévision de leur évolution à long terme.

Après la mise en place d'un complément au réseau de surveillance recommandé à l'issue de la tierce expertise de l'IRSN et validé par le GEP, l'étude entreprise repose sur les tâches suivantes :

- acquisition de données géochimiques et radiologiques sur les eaux du site et de son environnement à l'aval et à l'amont hydraulique ;
- suivi piézométrique en continu (au pas de temps de 6h) des niveaux d'eau dans les résidus et dans le réservoir minier ;
- identification des pôles géochimiques des eaux et modélisation thermodynamique des mélanges ;
- établissement d'un bilan couplé hydraulique et chimique du site ;

- simulations exploratoires du comportement à long terme.

L'exécution de ces différentes tâches repose sur l'analyse des nouvelles données en cours d'acquisition, mais également sur l'exploitation des données de suivi environnemental par Areva NC, concernant notamment les débits de débordement des travaux miniers.

La présente note fait état des premières conclusions de l'étude en octobre 2009 après près de dix-huit mois d'observation. Ces conclusions concernent essentiellement la caractérisation géochimique et radiologique des eaux et le suivi piézométrique.

2. Hydrogéochimie du site de Bellezane

2.1. Approche générale

2.1.1. Campagnes de mesures et de prélèvement

Le fonctionnement du site de Bellezane a été abordé à partir d'une étude détaillée de deux états hydrochimiques :

- Un état en très hautes eaux (printemps) avec une campagne de prélèvements et de mesures réalisée du 21 au 24 avril 2008 (36 prélèvements) ;
- Un état en basses eaux (début d'automne) réalisé du 30 septembre au 3 octobre 2008 (30 prélèvements).

Les prélèvements ont été effectués aux mêmes points et dans les mêmes conditions, lors des deux campagnes, en utilisant toutefois un assez large éventail de méthodes adaptées au contexte de chaque objectif :

- par puisage direct pour les eaux de surface ;
- par préleveur manuel de type 'bailer' pour les puits fermiers ;
- par préleveur pneumatique pour les ouvrages profonds donnant accès aux travaux miniers ;
- par pompe Watera pour les piézomètres de petit diamètre (prééquipés) implantés dans la fosse de stockage des résidus ;
- par pompe immergée Grundfoss MP1 pour les piézomètres de surveillance environnementale situés à la périphérie du site, jusqu'à renouvellement de 1,5 volumes de l'eau contenue dans l'ouvrage, ou stabilisation des paramètres physico-chimiques.

Dans les minutes suivant le prélèvement, chaque échantillon prélevé a fait l'objet sur le terrain, des mesures classiques suivantes : température, pH, Eh, conductivité électrique (EC), oxygène dissous, et dosage d'alcalinité (sur 100 mL de fraction filtrée).

Les échantillons pour analyse chimique ont été filtrés sur place et acidifiés (pour la fraction destinée au dosage des cations et des métaux), et pour la fraction (1,5L) destinée au dosage des radioéléments dissous et 'insolubles' transportés et filtrés en fin de journée au laboratoire du CESAAM.

2.2.2. Méthodes d'interprétation

L'exploitation (encore en cours) des données de terrain et des résultats analytiques de ces deux campagnes comprend différentes étapes :

- Caractérisation à partir des mesures physico-chimiques de terrain de manière à définir les principaux pôles hydrochimiques correspondant d'une part aux eaux naturelles, d'autre part aux différents termes sources du marquage hydrochimique des eaux ;
- Expertise thermodynamique (spéciation, fugacités des gaz, équilibre vis-à-vis des phases minérales, ...) et interprétation de ces différents pôles, et de quelques points d'eau singuliers ;
- Analyse du fonctionnement hydrochimique du stockage des résidus et de son environnement immédiat en hautes et basses eaux ;
- Analyse du comportement du réservoir minier profond, et des contributions parvenant aux différents exutoires du site ;
- Analyse des impacts observés dans l'environnement.

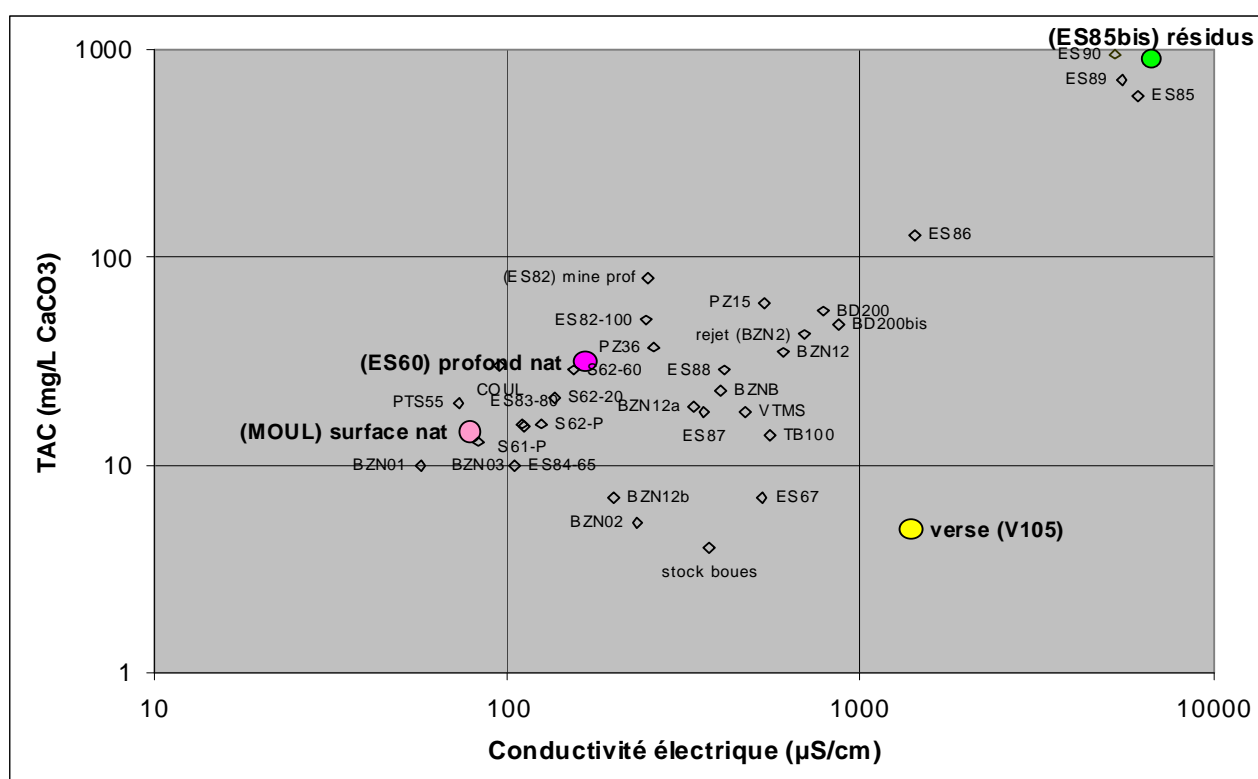


Figure 2: Définition des pôles hydrochimiques dans le diagramme alcalinité/conductivité

(mesures de la campagne hautes eaux - le diagramme obtenu en basses eaux est inchangé pour les pôles eux-mêmes. Couleur mauve : pôle eaux naturelles, couleur jaune : pôle stériles miniers, couleur verte : pôle résidus)

2.2. Reconnaissance et caractéristiques des différents pôles hydrochimiques

2.2.1. Définition des pôles à partir des mesures de terrain

La conductivité électrique (EC) et l'alcalinité (TAC) sont deux types de mesures physico-chimiques de terrain qui permettent une première interprétation de l'origine des eaux. La conductivité électrique exprimée en Siemens/cm (ou mS/cm, ou $\mu\text{S}/\text{cm}$), mesurée à l'aide d'un conductivimètre de terrain, est grossièrement proportionnelle à la charge totale dissoute (TDSmg/L $\sim 0,688 \times \text{EC}\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20°C). La proportionnalité n'est pas parfaite, notamment du fait que les espèces non ioniques, comme SiO_2 , ne participent pas à la conductivité. L'alcalinité d'une solution reflète sa capacité à neutraliser un acide fort. Les principales espèces contribuant à l'alcalinité sont les ions hydrogène-carbonate HCO_3^- et carbonate CO_3^{2-} , mais d'autres espèces (hydroxyl etc.) peuvent aussi contribuer à l'alcalinité totale de la solution. On détermine cette alcalinité totale sur le terrain par une méthode de titration, et elle est habituellement exprimée en mg/L de CaCO_3 équivalent.

Une eau très peu chargée aura donc à la fois une très faible conductivité et une très faible alcalinité; une eau de drainage acide riche en sulfate une forte conductivité et une alcalinité nulle, tandis qu'une eau équilibrée avec des roches carbonatées ou silicatées, par exemple, présentera une conductivité moyenne mais une forte alcalinité.

Le report de l'ensemble des mesures dans un diagramme Alcalinité (TAC en log mg/L CaCO_3) vs Conductivité électrique (log $\mu\text{S}/\text{cm}$) permet de mettre en évidence de façon claire différents pôles hydrochimiques qui sont le reflet de l'évolution de l'interaction chimique entre l'eau et le milieu environnant :

- Les eaux superficielles naturelles (échantillon MOUL) à conductivité et alcalinité très faibles ;
- Les eaux profondes naturelles à conductivité et alcalinité modérées (échantillon E60) ;
- Les eaux en contact avec les résidus de traitement à conductivité et alcalinité très élevées (échantillon E85bis) ;
- Les écoulements des versants à stériles qui présentent une conductivité forte mais une très faible alcalinité (échantillon V105).

Le même diagramme obtenu pour les prélèvements de la campagne de basses eaux montre un positionnement absolument inchangé de ces différents pôles.

Tableau 1 : Principales caractéristiques hydrochimiques des eaux naturelles (campagne hautes eaux -caractères droits ; et basses eaux -italique)

		pH	Eh mV	TDS mg/L	log f CO_2	Faciès	Cortège métallique	U diss $\mu\text{g}/\text{L}$	Ra diss Bq/L
MOUL	eaux de surface	6,5 <i>6,9</i>	470 <i>236</i>	55	-2,61	(chloruré) bicarbonaté sodique	(Fe, Mn)	3,0 <i>7,0</i>	0,04 <i>0,04</i>
ES60	Eaux profondes	6,4 <i>6,3</i>	320 <i>320</i>	125	-2,14	bicarbonaté calco-sodique	Fe, Mn, Zn	5,0 <i>4,0</i>	0,84 <i>0,76</i>
ES 82	Travaux TMS 201	6,4 <i>6,7</i>	435 <i>460</i>	220	-1,80	bicarbonaté calcique	Mn, Fe, Cu, Al	8,0 <i>6,4</i>	0,38 <i>0,40</i>

2.2.2. Les pôles 'Eaux naturelles'

Leurs principales caractéristiques sont rassemblées dans le Tableau 1.

Les eaux superficielles sont représentées par l'échantillon 'MOUL', qui correspond à un ruisseau sur substratum granitique, tributaire de rive droite de la Gartempe au niveau du Moulin de Coulerolles, dans une zone totalement dépourvue de travaux miniers. C'est une eau faiblement acide, très peu chargée, de faciès hydrochimique peu marqué bicarbonaté (accessoirement chloruré) sodique, bien typique des eaux de subsurface en domaine cristallin tempéré.

Les eaux naturelles profondes sont représentées par l'échantillon ES60 (prélevé en pompage dans le piézomètre de référence situé en amont piézométrique de la MCO de Bellezane). C'est une eau de faciès chimique identique à la précédente, mais un peu plus minéralisée, correspondant à un rééquilibrage un peu plus marqué avec l'encaissant cristallin. Elle présente par ailleurs lors des deux campagnes, des traces de zinc, ainsi qu'une concentration relativement élevée en radium qui doit résulter d'un contexte naturel particulier.

L'échantillon ES82, provenant du réservoir minier profond TMS 201, présentait lors de la campagne hautes eaux, des caractéristiques voisines des eaux naturelles profondes, et se plaçait bien sur la droite de mélange entre les eaux naturelles superficielles et profondes dans le diagramme de la Figure 2, mais sa chimie sera rediscutée ultérieurement.

Tableau 2 : Principales caractéristiques des eaux des verses à stériles
(campagne hautes eaux -caractères droits ; et basses eaux -italique)

		pH	Eh mV	TDS mg/L	log f CO ₂	Faciès	Cortège métallique	U diss µg/L	Ra diss Bq/L
V 105	conduite V 105	4,7 <i>4,5</i>	431 <i>583</i>	1000	-2,71	sulfaté calco-magnésien	Al, Mn, Fe, Zn, Ni, Co	277 <i>502</i>	0,28 <i>0,25</i>
V TMS	bassin verse TMS	6,3 <i>6,7</i>	466 <i>152</i>	311	-2,40	sulfaté calcique	Al, Mn, (Fe, Cu)	245 <i>200</i>	0,23 <i>0,32</i>

2.2.3. Le pôle 'Stériles miniers'

Ce pôle est représenté par l'eau prélevée à la conduite recueillant les effluents de la verse V105 (Tableau 2). C'est une eau acide et oxydante, à charge dissoute élevée, de faciès sulfaté calco-magnésien. Ces caractéristiques sont typiques des eaux de drainage minier acide. Le cortège métallique est classiquement assez riche, mais on note aussi une concentration en fluor relativement élevée (25 mg/L), dont l'origine reste à déterminer. Ce cortège d'éléments en traces se retrouve, avec des concentrations plus élevées en basses eaux.

Les eaux provenant du bassin 'Verse TMS' situé en aval site, sont de type voisin mais elles sont moins acides et moins chargées, ce qui peut indiquer une neutralisation par la matrice rocheuse plus importante, et/ou un drainage acide moins marqué.

Tableau 3 : Principales caractéristiques des eaux des résidus
(campagne hautes eaux -caractères droits ; et basses eaux -italique)

		pH	Eh mV	TDS mg/L	log f CO ₂	Faciès	Cortège métallique	U diss µg/L	Ra diss Bq/L
ES 85	cœur des résidus	6,3 <i>6,2</i>	191 <i>188</i>	8000	-0,8	sulfaté magnésien	Fe, Mn, Al, Ni, Co, F	2380 <i>3100</i>	0,6 <i>1,0</i>
ES 86	base résidus	6,4 <i>6,7</i>	227 <i>234</i>	1217	-1,7	sulfaté calco-magnésien	Fe, Mn, Al, Co	685 <i>1000</i>	0,87 <i>0,87</i>
ES 87	tranche supérieure	6,5 <i>6,3</i>	351 <i>333</i>	224	-2,5	sulfaté calco-magnésien	Mn, Al, Fe	39 <i>68</i>	1,30 <i>1,10</i>
ES 88	granite encaissant	6,2 <i>6,0</i>	295 <i>343</i>	276	-2,2	sulfaté calco-magnésien	Mn, Fe, Al	32 <i>24</i>	0,18 <i>0,16</i>
SBC	effluent boues	5,3	413	250	-2,8	sulfaté calcique	Fe, Mn, Zn, Co	41	0,21

2.2.3. Le pôle 'Résidus'

Le pôle résidus est représenté par les prélèvements réalisés sur le piézomètre ES85, ainsi que les ES89 et 90, tous implantés au cœur des résidus de traitement respectivement dans la MCO 105 et dans la MCO 68.

Les eaux sont faiblement oxydantes, à tendance réductrice, très fortement chargées (~8 g/L), de faciès sulfaté magnésien. Leur pCO₂ est exceptionnellement élevée. Ce chimisme apparaît pratiquement exempt de variations saisonnières. Le cortège métallique est assez riche avec des concentrations en fer, en manganèse, et en aluminium fortes (respectivement de l'ordre de 300, 50, et 1 mg/L). La concentration en U dépasse 2 mg/L (24Bq/L), mais l'activité en radium reste modérée.

Le marquage des autres échantillons du stockage, et le fonctionnement de celui-ci, seront discutés ultérieurement.

2.2.4. Les autres types d'eau

Deux autres types d'eau constituent également des termes sources potentiels :

- L'effluent du stockage des boues de curage de la retenue de Saint Pardoux (SBC,

Tableau 3) ; c'est une eau qui apparaissait lors de notre campagne peu chargée mais bien typée, de faciès sulfaté calcique, mais l'écoulement correspondant est très faible et intermittent.

- L'eau du rejet de la station de traitement de Bellezane (BZN2), qui constitue l'exutoire ultime du site, elle aussi de faciès sulfaté calcique et sur laquelle nous reviendrons ultérieurement au § impact.

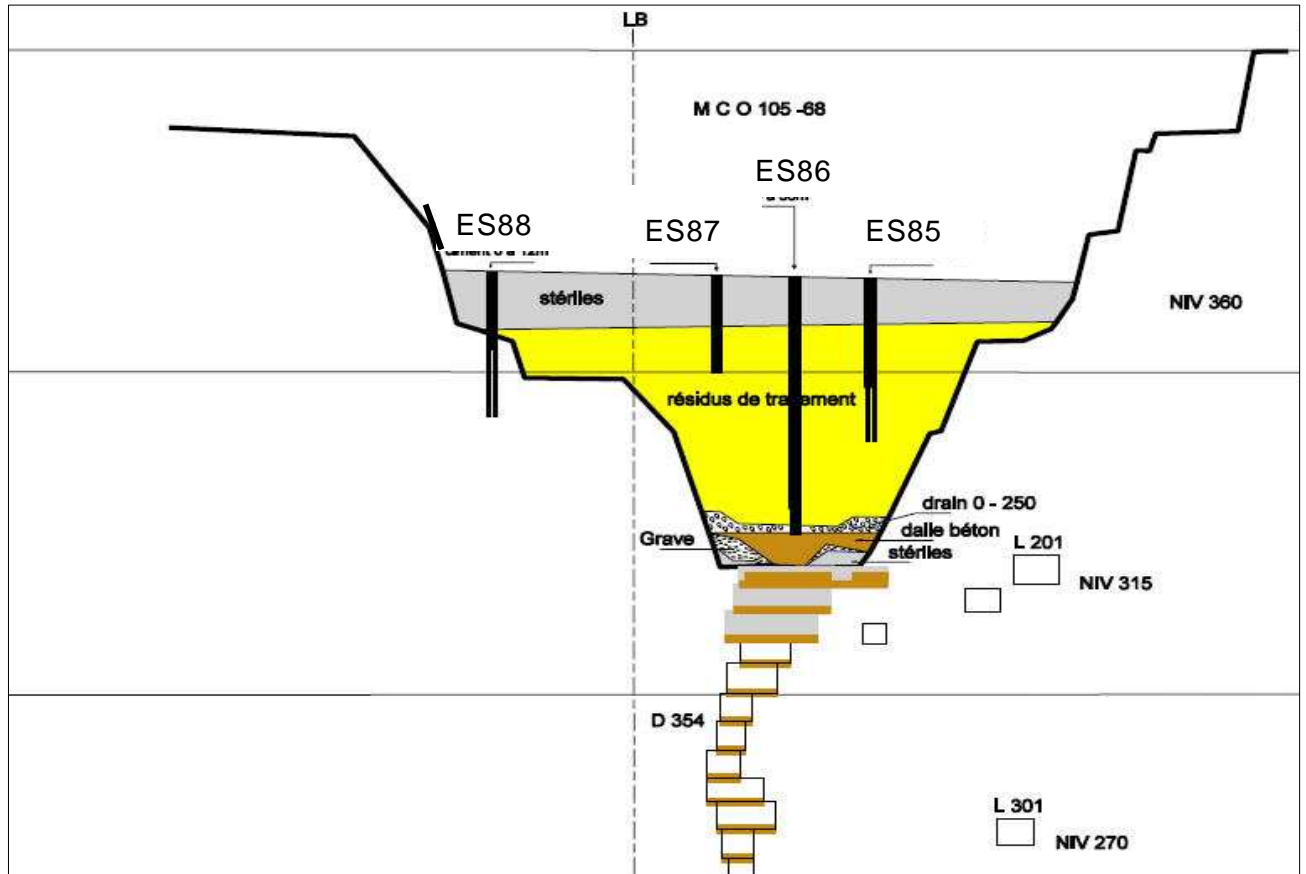


Figure 3 : Coupe du stockage des résidus de la MCO105 et position des piézomètres (document AREVA)

2.3. Fonctionnement hydrogéochimique du site

2.3.1. Le stockage des résidus et son environnement immédiat

La configuration du stockage de résidus de traitement de Bellezane est rappelée Figure 3. Une ligne de 4 piézomètres permet d'en suivre la piézométrie et le fonctionnement hydrochimique ainsi que l'impact sur l'encaissant immédiat.

- **Les eaux de la partie superficielle**

Les eaux de la partie superficielle des résidus sont observables dans le piézomètre ES87. Ces eaux sont de faciès chimique proche de celles du cœur des résidus, mais paraissent toujours beaucoup plus diluées.

En régime de hautes eaux (

Tableau 3), le taux de dilution calculé sur la base de la concentration en sulfate est de l'ordre de 36. En régime de basse eaux, ce taux de dilution apparente n'est que de 11. La fugacité de CO₂ est beaucoup plus proche de celle des sols ou de l'atmosphère, et l'eau nettement plus oxydante que celle du 'pôle résidu'.

La partie supérieure des résidus apparaît donc soumise à la percolation d'eaux météoriques, la dilution apparente qui en résulte étant évidemment plus marquée en période de fortes précipitations.

Les concentrations en uranium et métaux paraissent aussi enregistrer cette dilution dans les mêmes proportions. Ce n'est pas le cas en revanche des concentrations en radium, celui-ci étant 15 à 20 fois plus concentré dans l'eau de la tranche superficielle que dans le cœur du stockage. Ce phénomène est en cours d'étude, mais traduit une remise en solution (à partir de gypse radifère par exemple, ou d'une autre phase) du radium immobilisé dans la phase solide des résidus.

- **Les eaux de la couche de base des remblais**

Les eaux qui baignent la couche drainante de stériles à la base du stockage (ES86) sont toujours de même faciès chimique, mais apparaissent elles aussi nettement diluées vis-à-vis des eaux du pôle résidu pur. Le potentiel redox et la fugacité de CO₂ indiquent cette fois une contribution d'eaux plus réductrices et de signature plus profonde, donc très probablement une contribution du réservoir minier sous-jacent.

Le taux de dilution calculé sur la base des concentrations en sulfate semble peu variable, mais curieusement un peu plus élevé en période de basses eaux (6,3) qu'en période de hautes eaux (5). Le bilan en radium ne pourra être précisé que lorsque l'ensemble des résultats analytiques sera disponible, mais sa mobilisation paraît faible dans ce cas.

- **Les eaux de l'encaissant**

Les eaux observées dans l'encaissant granitique au voisinage du stockage (ES 88) ont un faciès proche de celles de la tranche supérieure des résidus.

Si l'on raisonne en terme de mélange, et toujours sur la base du sulfate, ces eaux semblent résulter d'une dilution du pôle résidu pur par des eaux oxydantes plutôt d'origine météorique, avec un taux de dilution proche de 27 en régime de hautes eaux, et de 22 en régime de basses eaux. Aucune libération sensible de radium n'est observée.

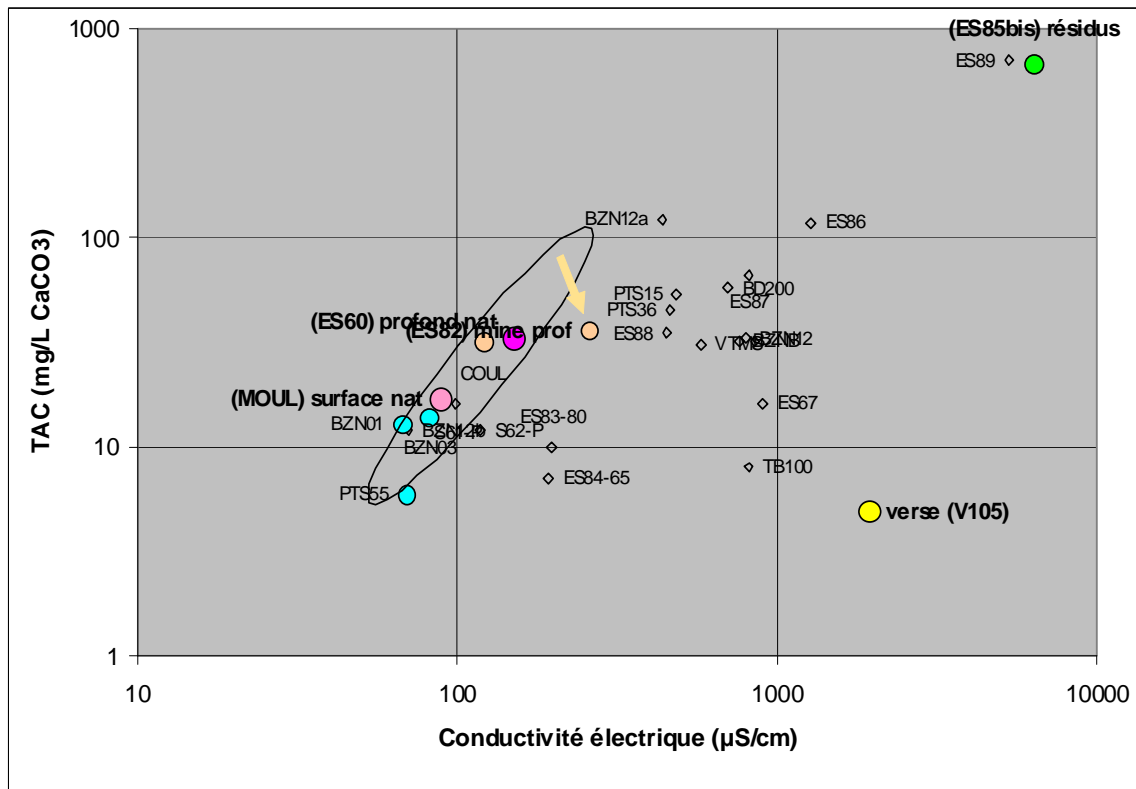


Figure 4 : Diagramme TAC/EC pour la campagne de basses eaux
(la flèche indique le déplacement apparent de l'eau du réservoir profond)

2.3.2. L'eau du réservoir profond

Un seul ouvrage (ES82) donne un accès direct au réservoir minier profond, dans le quartier 201 situé au SE de la fosse de stockage des résidus.

En régime de hautes eaux, l'eau du réservoir profond (cf Tableau 1) est une eau modérément minéralisée de faciès bicarbonaté calcique. Elle se place parfaitement sur la droite de mélange entre les eaux naturelles profondes et superficielles, et ne présente pas de concentrations anormales en métaux ni même en radioéléments compte-tenu du contexte géologique. Ceci signifie que le réservoir minier draine pour l'essentiel les eaux de l'encaissant granitique profond, sans contribution importantes ni d'eaux marquées par les résidus ou les verses, ni d'eaux vraiment superficielles.

En régime de basses eaux, on note toutefois (Figure 4) un léger déplacement du point représentatif dans le diagramme TAC/EC. Ce déplacement correspond à une légère augmentation des concentrations en sulfate et à une chute de l'alcalinité que l'on pourrait attribuer à une contribution minime (moins de 2%) d'eaux de type verse. On tentera de vérifier ce point lorsque la totalité des résultats sera disponible.

Tableau 4 : Principales caractéristiques hydrochimiques des eaux d'exhaure
(campagne hautes eaux -caractères droits ; et basses eaux -italique)

		pH	Eh mV	TDS mg/L	log f CO ₂	Faciès	Cortège métallique	U diss µg/L	Ra diss Bq/L
BD 200	niveaux noyés inférieurs	6,6 6,6	440 448	560	-2,03	sulfaté calcique (magnésien)	Al, Mn	568 632	0,68 0,71
TB 100	niveau 360 + apports	5,86 5,87	419 387	390	-2,36	sulfaté calco-magnésien	Mn, Zn, Fe, (Co, Ni)	274 333	0,43 0,55
BZN 2	rejet station	6,7 7,9	442 280	560	-2,23	sulfaté calcique	Al, Mn, Fe et Cu	319 350	0,22 0,15

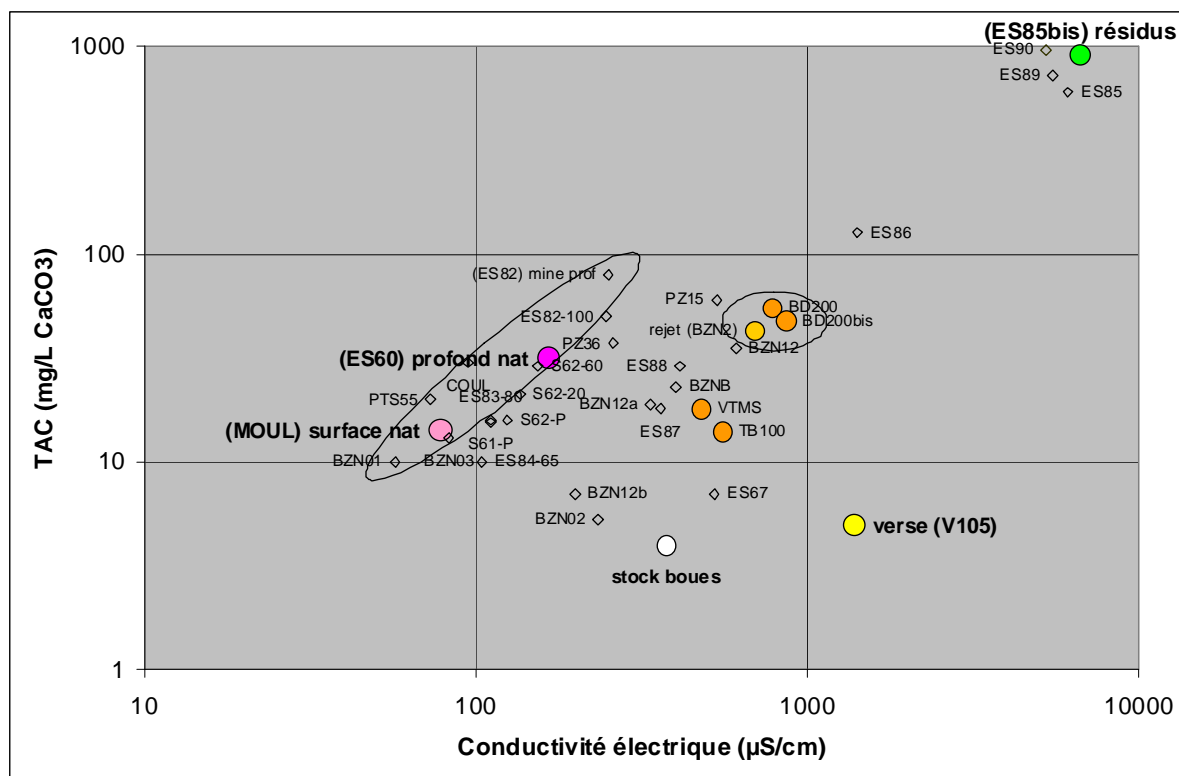


Figure 5: Position des eaux d'exhaure et de rejet dans le diagramme TAC/EC (points en jaune foncé) (campagne hautes eaux)

2.3.3. Les eaux du BD 200

Les eaux de l'exutoire BD200 sont des eaux sulfatées calciques et magnésiennes, assez riches en uranium et en radium (Tableau 4). Leur conductivité électrique et leur alcalinité sont assez élevées, et leur position dans le diagramme TAC/EC (Figure 5) indique une contribution triple du pôle 'eau profonde naturelle', du pôle 'résidus' et du pôle 'verse'. Cette position est quasi inchangée en période de basses eaux.

La concentration en radium observée en hautes eaux peut indiquer un apport d'eaux provenant de la tranche superficielle, ou de la couche drainant la base des résidus. On peut calculer sur la base des concentrations en sulfate et en radium par exemple, les proportions du mélange alimentant le BD200, soit :

- 33% d'eau du réservoir profond + 30% d'eau superficielle des résidus + 37% d'eau de verse

Des proportions un peu différentes seraient obtenues en admettant une contribution provenant plutôt de la base des résidus.

La contribution précise des différents pôles devra être réexaminée et précisée à la lumière de l'analyse hydrogéologique et des données analytiques de basses eaux.

2.3.4. Les eaux du TB100

L'eau du TB100 est une eau modérément acide, sulfatée calco-magnésienne, avec une concentration relativement élevée en uranium.

En régime de hautes eaux (Figure 5) comme en régime de basses eaux, le point représentatif de l'exutoire du TB100 se place en position intermédiaire sur l'axe 'eaux du réservoir minier' - 'eau des verses'. Cette position exclut pratiquement toute contribution notable de l'eau des résidus à l'exutoire TB100.

Sur la base de la concentration en sulfate on calcule que les termes du mélange sont :

- En régime de hautes eaux : 71% réservoir minier + 29% verses
- En régime de basses eaux : 70% réservoir minier + 30% verses

Les proportions du mélange apparaissent donc peu variables au cours de l'année. L'élévation des concentrations en sulfate de l'eau du TB100 en régime de basses eaux résultant plutôt de l'élévation parallèle de cette concentration de l'eau du pôle 'verses'.

2.4. Impacts observés en aval site

2.4.1. Impacts sur les eaux superficielles

- **Talweg du ruisseau de Belzanes**

Le marquage des eaux superficielles a été recherché dans le talweg du Ruisseau de Belzanes, et dans le talweg du Ruisseau des Petites Magnelles, en aval des verses et de la station de traitement.

Dans le talweg du ruisseau de Belzanes, la source ES 67, est un exutoire déjà identifié et surveillé qui montre des eaux d'origine très superficielle, assez acides, mais à charge dissoute relativement élevée, de faciès sulfaté calco-magnésien. Ce marquage est bien typique des 'verses à stériles', qui constituent effectivement l'amont immédiat de cet exutoire. Aucune anomalie en U et radium n'est en revanche observée.

En régime de hautes eaux, le marquage de cette source se répercute un peu à l'aval sur un tributaire du ruisseau de Belzanes mais sans effet notable sur ce dernier. En régime de basses eaux, la source présente un écoulement très faible, qui se perd immédiatement en aval.

- **Talweg des Petites Magnelles**

Le ruisseau des Petites Magnelles naît dans un pré situé en aval du bassin 'Verse TMS', mais en amont du rejet station.

Le point le plus amont correspond à une zone humide clairement marquée par le pôle 'verse' en régime de hautes eaux. Ce marquage disparaît en basses eaux : le bassin verse TMS est alors quasi asséché, et l'eau de la zone humide présente des caractéristiques proches d'une eau souterraine profonde naturelle.

Les eaux du ruisseau en aval du point de rejet station, sont évidemment marquée par celui-ci et présentent un faciès sulfatée calcique, avec la présence d'uranium et de radium. Une évaluation plus précise de cet impact en aval en régime de hautes comme de basses eaux sera réalisée ultérieurement.

2.4.2. Impacts sur les eaux souterraines

L'impact sur les eaux souterraines dans l'environnement du site a été analysé à partir de trois puits fermiers d'une part, et des piézomètres de surveillance d'autre part.

L'un des puits fermier (PTS55) est situé en amont du site. Il présente une eau très peu minéralisée de faciès bicarbonaté calco-sodique sans aucun marquage évident. Aucune variation saisonnière sensible n'est observée.

Les deux puits PTS15 (Hameau des Grandes Magnelles), et PTS36 (Hameau des Petites Magnelles) présentent tous deux des eaux assez peu chargées de faciès original chloruré bicarbonaté sodi-

potassique, là aussi sans variation saisonnière sensible. Aucune évidence de marquage par le site minier n'est décelable. Une concentration relativement élevée en potassium est la seule particularité de ces eaux vis-à-vis des eaux naturelles ; son origine est inconnue mais paraît plutôt liée à d'autres activités humaines.

Les deux piézomètres aval-site, ES61 et ES62 présentent un faciès chloruré-bicarbonaté calco-sodique ; cette composition paraît typique des eaux naturelles souterraines de moyenne profondeur, là aussi sans marquage évident.

Tableau 5 : Points de surveillance des eaux souterraines
(campagne hautes eaux -caractères droits ; et basses eaux -italique)

		pH	Eh mV	TDS mg/L	log f CO ₂	Faciès	Cortège métallique	U diss µg/L	Ra diss Bq/L
ES 61	piézo aval court	5,7 <i>5,5</i>	435 <i>443</i>	65	-2,25	chloruré bicarbonaté calco-sodique	Fe, Mn, Al	5,0 <i>5,0</i>	0,10 <i>0,18</i>
ES 62	piézo aval long	5,7 <i>6,4</i>	430 <i>405</i>	65	-2,26	chloruré bicarbonaté calco-sodique	Mn, Fe, Al	10 <i>10</i>	0,21 <i>0,17</i>
ES 67	source Gdes Magnelles	5,2 <i>5,2</i>	410 <i>374</i>	390	-2,60	sulfaté calco- magnésien	Al, Mn, Fe, Cu (Ni, Co)	4,0 <i>2,0</i>	0,08 <i>0,12</i>
PTS 15	puits Gdes Magnelles	6,5	450 <i>420</i>	340	-1,95	chloruré bicarbonaté sodi- potassique	Al, (Fe, Cu)	2,0 <i>3,6</i>	0,10 <i>0,28</i>
PTS 36	puits Petites Magnelles	6,2 <i>6,3</i>	460 <i>410</i>	167	-2,03	chloruré bicarbonaté sodi- potassique	Al, Mn, (Fe, Cu)	6,0 <i>6,6</i>	0,09 <i>0,23</i>

3. Comportement hydrodynamique du stockage de résidus miniers

L'analyse du comportement hydrodynamique du stockage de résidus miniers est basée sur le suivi piézométrique avec un pas de temps de 6 heures sur les quatre piézomètres suivants :

- ES85 placé au sein des résidus de la MCO 105 ;
- ES86 placé dans le dispositif drainant à la base des résidus de la MCO 105 au contact avec les TMS ;
- ES87 placé en superficie du stockage à la base de la couverture de stériles miniers ;
- ES88 implanté dans le massif granitique en bordure du stockage ;
- ES82 reprenant un ancien sondage technique de la mine et permettant d'accéder au réservoir minier dans le quartier de la MCO 201.

La surveillance piézométrique est en place depuis mi-avril 2008 au moyen d'enregistreurs de niveaux OTT Orpheus mini permettant de discriminer le centimètre d'eau. Les résultats sont représentés sur la Figure 6 en regard de la précipitation journalière observée à Bessines. Ces chroniques sont établies à partir des valeurs délivrées par les enregistreurs automatiques après correction de la dérive instrumentale calée sur une année et demie à partir des mesures manuelles trimestrielles.

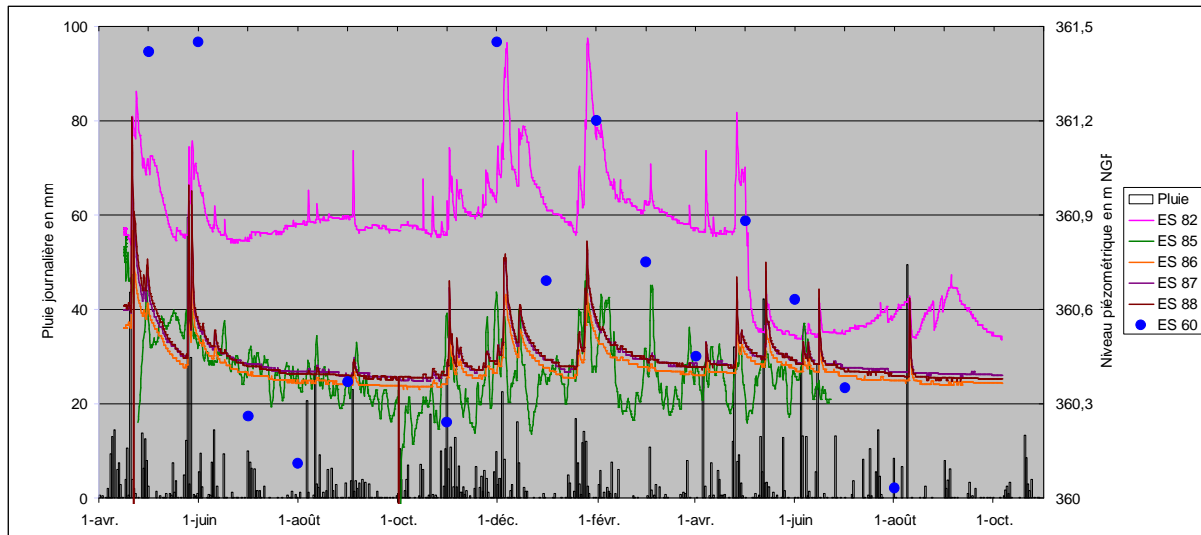


Figure 6 : Chroniques piézométriques et pluviométrie observées sur le site de Bellezane d'avril 2008 à octobre 2009

ES 82 : réservoir minier, *ES85 à ES88* : piézomètres de la MCO 105, *ES60* : piézomètre au granite en amont hydraulique du site

On constate sur la chronique que les niveaux des piézomètres ES86-87 et 88 sont très proches les uns des autres et varient de manière simultanée. Le piézomètre ES86, le plus profond, est cependant systématiquement plus bas de quelques centimètres, indiquant une tendance à un écoulement descendant depuis la surface vers la profondeur ; les piézomètres réagissent bien aux précipitations et l'on constate que les pluies d'hiver sont plus efficaces que les pluies d'été, ce qui reflète, de manière tout à fait normale, le rôle de l'évaporation plus importante pendant la période chaude. Les niveaux du piézomètre ES88 situé dans le parement granitique sont quasiment confondus avec ceux du piézomètre ES87 qui capte les stériles de couverture, traduisant le fait que le massif granitique est bien perméable au voisinage immédiat des résidus, ce qui est vraisemblablement dû à l'endommagement des parements sous l'effet de l'excavation. Le piézomètre ES85 situé au cœur des résidus suit la même tendance générale que les autres mais avec un signal beaucoup plus bruité. La Figure 7 montre que les variations de niveaux de ce piézomètre sont parfaitement corrélées à la pression atmosphérique, avec un coefficient d'efficacité barométrique¹ proche de un, ce qui est une preuve de la très faible perméabilité des résidus.

Le piézomètre ES60 qui capte l'aquifère granitique en amont hydraulique de la mine ne bénéficie que de mesures trimestrielles manuelles qui sont en bon accord avec les autres mesures.

¹ Le coefficient d'efficacité barométrique est le rapport entre la variation de pression atmosphérique exprimée en hauteur d'eau et la variation de niveau piézométrique ; lorsqu'il est proche de un, cela signifie que le piézomètre se comporte comme un baromètre.

Comparaison piézométrie de ES85/Pression atmosphérique

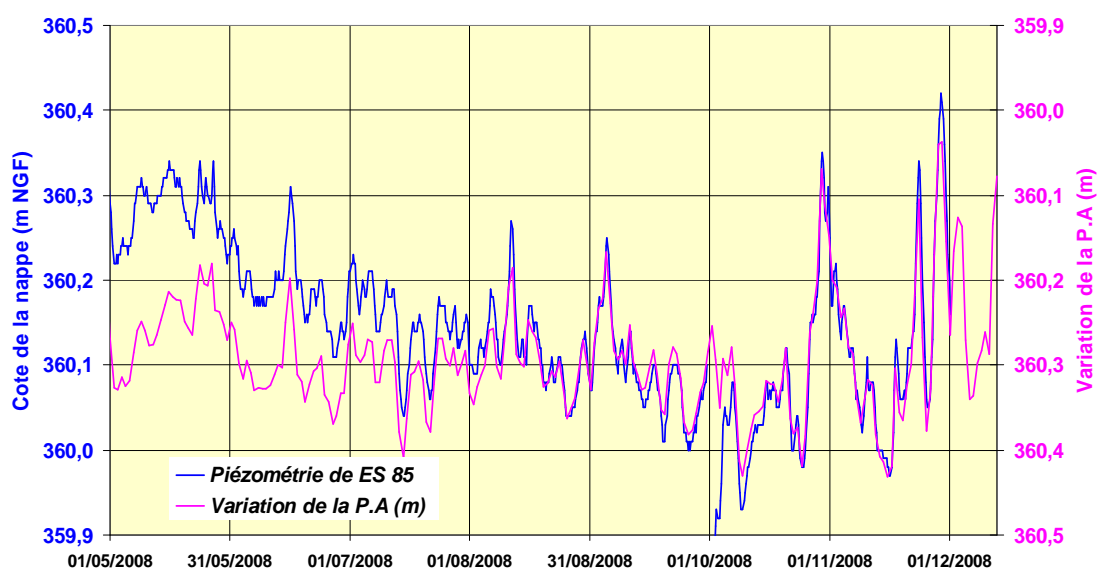


Figure 7 : Comparaison entre les fluctuations de niveau dans le piézomètre ES85 et les variations de pression atmosphérique

Le piézomètre ES82 accède au réservoir minier au niveau des travaux souterrains du 201, c'est-à-dire environ 500 m en amont hydraulique du point de drainage des TMS par la descenderie BD200. L'allure générale de la chronique piézométrique observée est identique à celle des autres avec toutefois quelques particularités remarquables :

- la piézométrie y est systématiquement plus élevée de 50 à 60 cm ; ceci n'est pas étonnant car le point de mesure se situe vers l'extrémité est du réservoir minier donc en amont hydraulique du point de drainage des TMS, mais ceci indique aussi que le niveau de remplissage n'est pas rigoureusement horizontal au sein des TMS et qu'il existe ainsi une faible perte de charge dans les vides miniers, vraisemblablement due à la présence des remblais et peut-être à des effondrements bouchant partiellement les galeries. Les piézomètres ES83 et ES84, dont les niveaux sont très proches l'un de l'autre, qui atteignent également les TMS dans le secteur de l'ancien puits de mine, montrent aussi un niveau légèrement plus élevé que dans la MCO 105, en moyenne de 361 m NGF ;
- l'amplitude des variations piézométriques dans ES82 sous l'effet des précipitations est plus grande que celle des piézomètres de la MCO105 ; ceci est vraisemblablement la conséquence du fait que le réservoir minier est alimenté essentiellement par l'aquifère granitique qui présente une porosité de fissures plus faible que celle des matériaux remblayant la MCO 105 et réagit donc de manière plus accentuée à un même apport par infiltration ;
- entre avril et décembre 2008, le niveau moyen dans le réservoir minier a tendance à s'élever alors que les niveaux sont en tarissement dans la MCO 105 ; a contrario, le niveau des TMS baisse brutalement en mai 2009 après un épisode pluvieux et les pluies suivantes semblent avoir, après cet événement, moins d'effet sur le niveau qu'au cours de la période précédente. En même temps le niveau des TMS se met à remonter doucement alors qu'ils descendent dans la MCO. Nous interpréterons ces faits en considérant que les propriétés hydrauliques du réservoir minier évoluent au cours du temps probablement sous l'effet de mouvement mécanique qui obstruent temporairement plus ou moins le passage de l'eau.

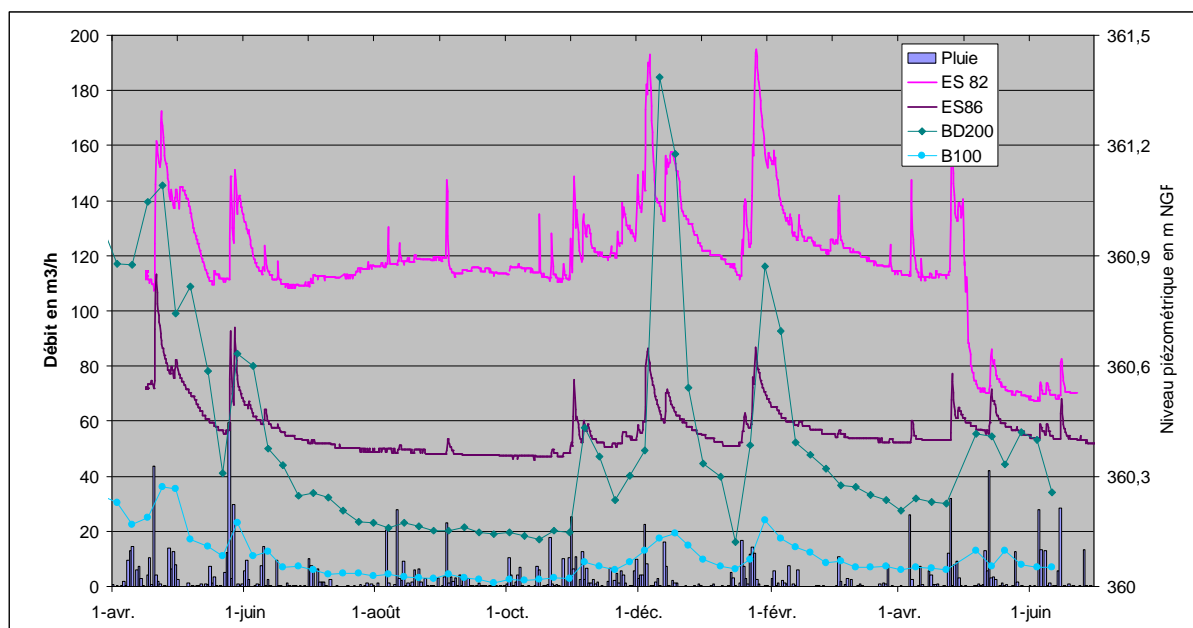


Figure 8 : Chronique observée des débits d'exhaure et des niveaux d'eau dans le réservoir minier en regard de la pluviométrie

La Figure 8 présente les débits de débordement des TMS en regard du niveau d'eau dans le réservoir minier. Les valeurs de débit du BD200 sont des moyennes hebdomadaires déterminées à partir des volumes passés par la station de traitement, tandis que celles du TB100 proviennent de mesures ponctuelles hebdomadaires. On constate une bonne corrélation entre les deux chroniques de débit et les chroniques piézométriques. L'événement noté en mai 2009 sur la piézométrie du réservoir minier semble correspondre à une augmentation du débit alors que la pluviométrie reste modeste, ce qui confirme qu'un phénomène anormal, probablement d'origine mécanique ayant conduit à une vidange rapide d'une partie du réservoir, a dû se produire durant cette période.

4. Conclusion

A ce stade de l'étude, le fonctionnement hydrogéologique du site de Bellezane a été caractérisé et les données concernant le fonctionnement hydrogéochimique ont fait l'objet d'un premier traitement.

Quelques résultats peuvent ainsi être dégagés :

- la situation de hautes eaux, comme celle de basses eaux, ont mis en évidence quatre pôles géochimiques pour les eaux ayant une origine bien caractérisée : les eaux superficielles naturelles, les eaux profondes naturelles, les eaux issues des écoulements des verses à stériles et les eaux ayant été en contact avec les résidus miniers ;
- les différentes eaux recueillies sur le site proviennent de mélange de ces quatre pôles avec une faible variabilité saisonnière ;
- les analyses réalisées dans les eaux interstitielles présentes dans les matériaux de remblayage de la MCO 105 indiquent un lessivage des résidus dans la partie supérieure du stock avec libération du radium et une libération plus limitée à la base du stock ;
- l'exutoire TB100 du système apparaît non marqué par les résidus miniers alors que la galerie de débordement BD200 révèle une contribution notable de ces mêmes résidus ;
- les travaux miniers souterrains sont ennoyés sur leur quasi-totalité jusqu'à la cote NGF 360 ; ce réservoir minier montre des variations de niveau faibles, inférieures à 1 m, influencées par la pluviométrie mais aussi vraisemblablement par des instabilités mécaniques des vides miniers qui modifient les modalités de circulation des eaux dans les travaux souterrains.

- les eaux interstitielles des remblais de la MCO 105 sont en continuité hydraulique avec les eaux des TMS qui fixent leur niveau de drainage à la cote 360 NGF. Ces remblais sont très peu perméables dans leur cœur constitué de résidus miniers et assez perméables en surface et au fond lorsqu'ils sont formés de stériles. Cette hétérogénéité de perméabilité privilégie les circulations d'eau en périphérie du stock de résidus au dépens des circulations en son sein.
- aucune évidence de marquage des eaux par les résidus miniers n'a été rencontrée dans les eaux souterraines, comme superficielles, en aval hydraulique du site, hormis dans l'exutoire BD200 qui est contrôlé par l'exploitant et qui constitue, dans la situation actuelle, l'exutoire unique d'eaux ayant été en contact avec des résidus.