

Chroniques semestrielles hors-série 2014-2015

Mines ennoyées du bassin ferrifère lorrain : du réseau de surveillance... ...au modèle numérique de prévision

Hors-série n°1 : Contexte de la création d'un réseau de surveillance

Hors-série n°2 : Définition d'un modèle conceptuel

Hors-série n°3 : Construction d'un modèle numérique de prévision

BRGM Grand Est – Mise à jour 2017



Chronique hors-série n°3 : introduction

On a constaté une dégradation progressive de la minière dans le bassin ferrifère à partir des années 1990. Cela a conduit à des modifications du régime des eaux souterraines et superficielles, ainsi que de leur qualité. Il en a résulté des impacts lourds vis-à-vis des usages (alimentation en eau), des risques naturels (variation du débit des cours d'eau) et des conditions de cours d'eau en période de sécheresse.

Ce constat a conduit les pouvoirs publics à initier en 2004 le SAGE du bassin ferrifère (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux). En 2005, le BRGM a été chargé par le Conseil Régional Lorrain, structure porteuse du SAGE du Bassin Ferrifère, de réaliser les deux premiers documents constitutifs du SAGE : l'état des lieux et le diagnostic du SAGE du bassin ferrifère. Au terme de plus de 10 ans de travaux menés par la Commission Locale de l'Eau (CLE) du SAGE, ce dernier a été adopté en 2016. Il constitue désormais un fil conducteur pour toutes les actions menées sur le bassin pour la préservation de la ressource et des milieux aquatiques.

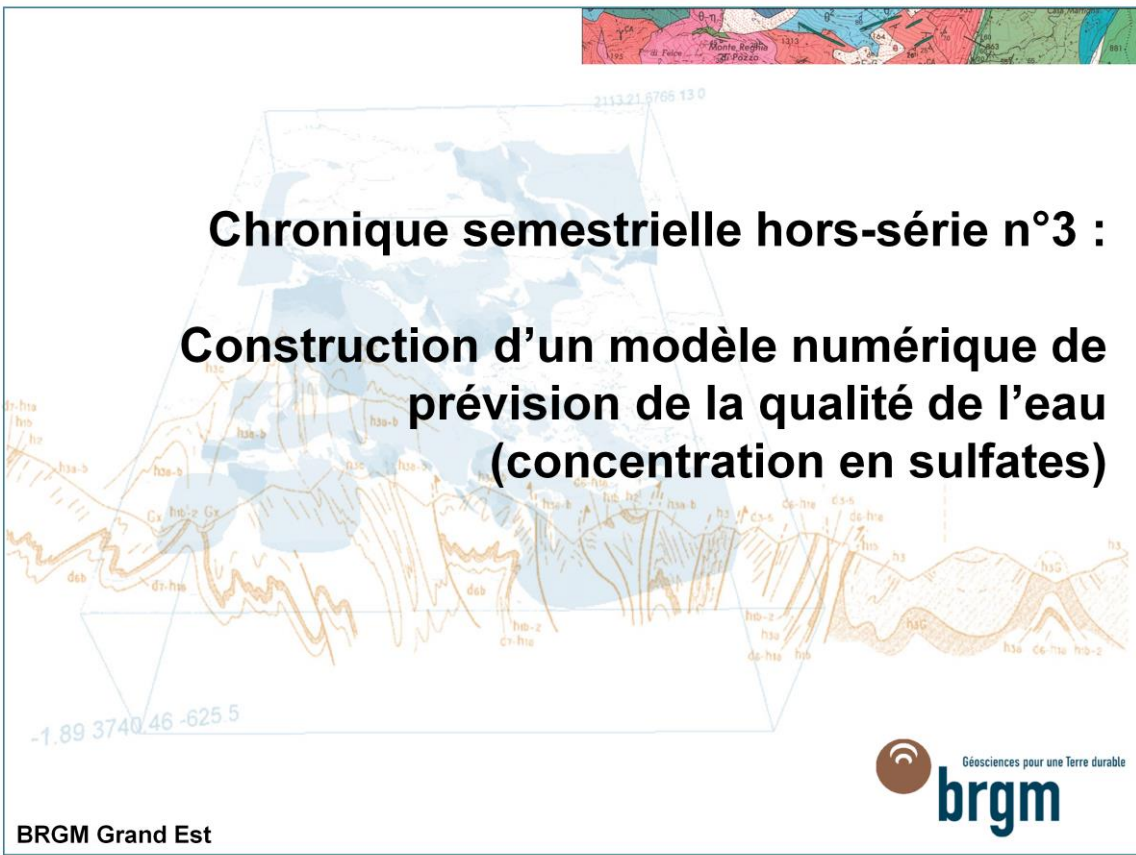
En parallèle, à partir de 1995, la surveillance en complément puis en substitution de la surveillance prescrite aux anciens exploitants pendant une durée limitée, le BRGM, en partenariat avec l'Agence de l'eau Rhin-Meuse, le Conseil Régional Lorrain et la

DREAL Lorraine, ont engagé des actions de connaissance et de protection de la ressource. Le BRGM assure depuis cette date la surveillance des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain, dans le cadre de ses activités de service public. En 2017, le réseau de surveillance est devenu un observatoire sous maîtrise de Rhin-Meuse. Le BRGM, cofinancé par la Région Grand Est et le BRGM.

Par ailleurs, le BRGM a contribué aux travaux de recherche du GISOS, Groupement scientifique de recherche sur la Sécurité des Ouvrages Souterrains, qui a eu pour objectifs entre 1999 et 2015 de contribuer à résoudre les problèmes posés dans le cadre de l'après-mine en France. Les travaux menés par le BRGM dans le cadre du GISOS ont contribué au développement d'un modèle numérique de prévision.

Cette chronique hors-série n°3 présente le modèle numérique de prévision de la qualité de l'eau qui a été construit à la base des résultats de la surveillance des eaux souterraines (hors-série n°1) et du modèle conceptuel de structure et de fonctionnement des réservoirs miniers ennoyés (hors-série n°2).

Chronique semestrielle hors-série n°3 : Construction d'un modèle numérique de prévision de la qualité de l'eau (concentration en sulfates)



BRGM Grand Est



Pourquoi un modèle numérique de prévision ?

La seule surveillance des eaux souterraines (cf chronique hors-série n°1) et des eaux de surface pas un objectif en soi : les mesures ne sont utiles que pour permettre dans un premier temps la compréhension et la description des phénomènes sous la forme d'un modèle conceptuel (cf chronique hors-série n°2), puis dans un deuxième temps pour alimenter des modèles numériques de comportement des réservoirs. Ces outils numériques sont des outils extrêmement utiles pour aider à la gestion de la ressource en eau.

Les ressources en eau souterraines du bassin ferrifère lorrain, évaluées à environ 450 millions de m³, constituent un enjeu important pour le nouveau développement de cette région. Or, tant que le retour à une qualité suffisamment bonne n'est pas réalisé, elles restent difficilement exploitables. La question principale est donc la suivante : à quelle date peut-on estimer que la concentration en sulfates de la limite de potabilité de 250 mg/L ? Lorsque c'est le cas, la minéralisation est très corrélée à la concentration en sulfates et sera compatible avec l'usage habituel des eaux souterraines.

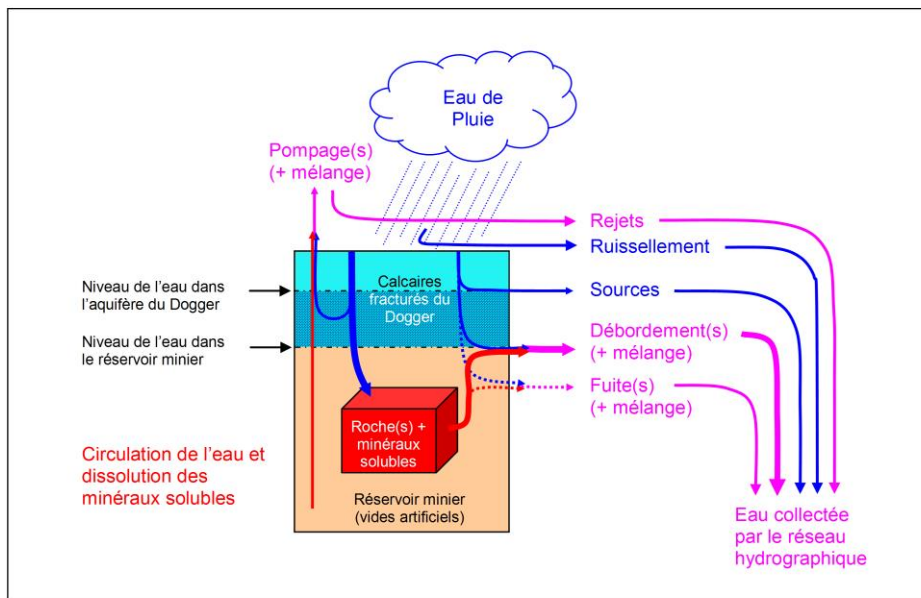
Suite aux travaux de modélisation réalisés par le BRGM entre 2000 et 2008 dans le cadre des travaux de recherche et développement du GISOS, de Rhin-Meuse, le Conseil Régional de Lorraine et le BRGM ont décidé de la construction et de la mise en simulateur hydrogéologique et chimique des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain (rapport BRGMRP-62998R).

La finalité était de disposer d'un outil opérationnel de gestion des ressources en eau souterraines du bassin ferrifère. Cet outil intégré devait permettre de prévoir notamment :

- “ les débits des points de débordement et de fuites des réservoirs
- “ les niveaux piézométriques des réservoirs
- “ l'évolution de la concentration en sulfates aux principaux points de prélèvement et de débordement des réservoirs.

Cette chronique hors-série n°3 présente la méthodologie de modélisation retenue, puis les résultats de la modélisation des 3 grands réservoirs Sud, Centre et Nord.

Approche de modélisation globale retenue pour chaque secteur de réservoir ennoyé : le « réacteur parfait »

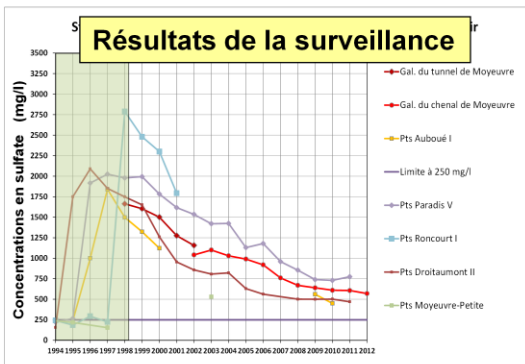


Approche de modélisation le « réacteur parfait »

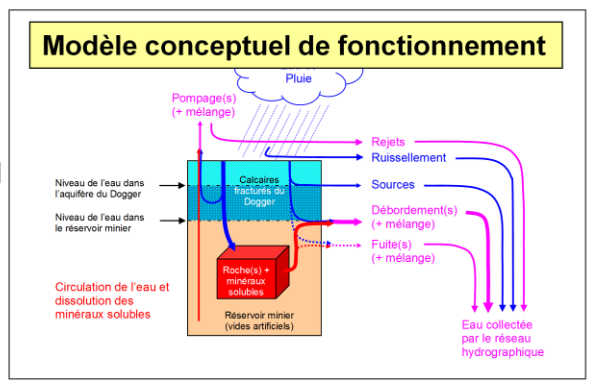
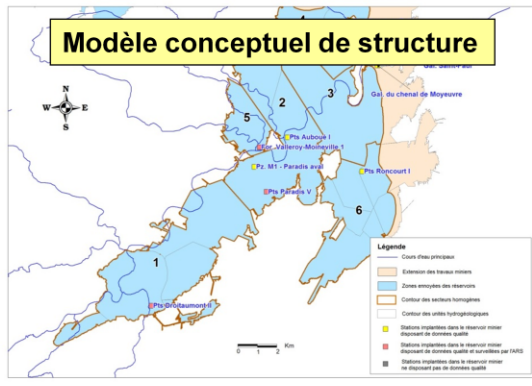
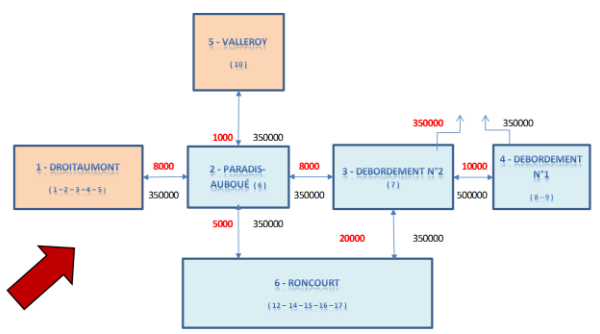
On rappelle que le bassin ferrifère lorrain a été exploité par la méthode de chambre et piliers, suivie fréquemment par le foudroyage des piliers résiduels sur environ 50% de la surface des travaux miniers. Le bassin ferrifère Lorrain est constitué de 3 grands réservoirs hydrauliquement dépendants : le réservoir Sud, Centre et Nord. Chacun des 3 grands réservoirs miniers est ainsi un « patchwork » de zones foudroyées et de zones de galeries. Lors de la recharge du réservoir, de recharge alimentée par les calcaires du Dogger susjacent, puis par les vides miniers essentiellement par les zones foudroyées et remplies en fin de progression des vides laissés par les réservoirs miniers. On sait aussi grâce aux travaux de recherche et développement du GISOS que les zones foudroyées sont le siège de réactions géochimiques de dissolution de gypse qui libèrent notamment des sulfates dans le réservoir. Les zones de galeries assurent ensuite la dilution des eaux devenues minéralisées. La complexité de la structure du système hydrologique à modéliser ainsi que de

données spatialisées impose la mise en œuvre d'une approche de modélisation « globale », basée sur des séries de données disponibles au démarrage de la modélisation. Dans cette approche (cf schéma ci-dessus), un secteur réservoir minier ennoyé est considéré comme un « réacteur » au fond d'un secteur dans lequel de la recharge pénètre par la limite supérieure perméable du réservoir, après avoir traversé les calcaires fissurés du Dogger. Lorsque la recharge pénètre dans le réacteur elle entre en contact avec des roches contenant une masse de sulfate cristallisé sous forme de gypse soluble, qui peut dissoudre. Le réacteur se comporte comme un « mélangeur parfait » du point de vue des concentrations. Tout changement de concentration se répercute instantanément dans tout le volume du secteur de réservoir. L'eau qui est entrée dans le secteur peut y être stockée ou ressortir par débordement (s) ou fuite(s) ou être pompée (s) ou échangée avec les secteurs voisins en transportant avec elle le sulfate dissous. Par cette approche, un réservoir minier entier peut être modélisé sous la forme d'un « réseau de réacteurs ».

Construction des modèles numériques (« simulateurs »)



Modèle numérique de prévision



Construction des modèles numériques (« simulateurs »)

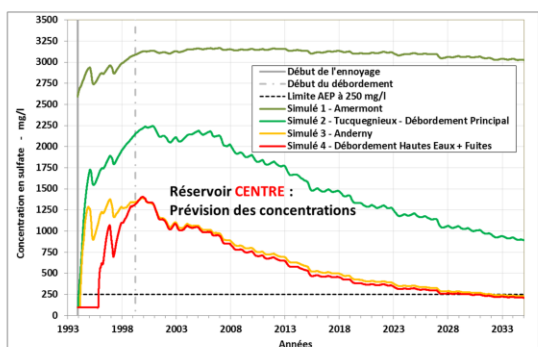
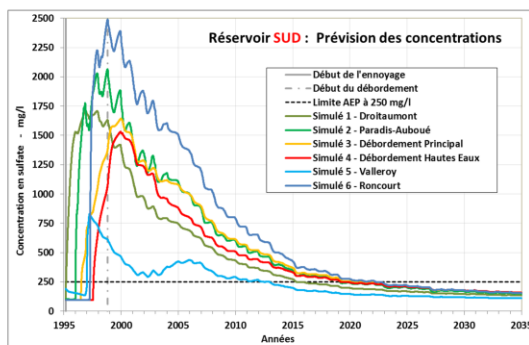
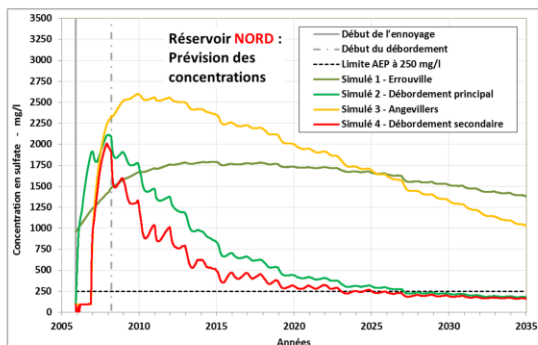
Trois modèles numériques de fonctionnement hydrologique et chimique (désignés par le terme « simulateurs » dans la suite) des trois grands réservoirs miniers ennoyés du bassin ferrifère lorrain (Sud, Centre et Nord) ont été construits à partir des données disponibles entre 1993 et 2011 (rapport BRGM RP-62998R). Ces simulateurs sont basés sur une modélisation globale de réacteurs en réseau décrite précédemment, chaque réacteur représentant un secteur réservoir minier ennoyé.

Le modèle numérique de prévision d'un réservoir est ainsi construit à partir des résultats de la surveillance, du modèle conceptuel de fonctionnement hydrogéochimique du réservoir, ainsi que de son modèle conceptuel de structure, ce que traduit en images la figure ci-dessus.

Les résultats du calage des 3 « simulateurs » de réservoirs sont présentés sur la page suivante. Le calage du modèle numérique consiste à reproduire avec le maximum de fidélité les observations disponibles. Lorsque cet objectif est atteint (avec une marge résiduelle inévitable), le modèle est considéré comme « calé » et apte à fournir des prévisions. Il suffit alors de le faire fonctionner avec des données estimées selon différents scénarios futurs (évolution future de la pluviométrie, de la demande de pluviométrie et des débits de pompage par exemple) pour obtenir des prévisions.

Les graphiques présentés sur la carte page suivante permettent de visualiser sur la période 1993-2015 les concentrations mesurées (en rouge) dans les ouvrages représentatifs des différents secteurs, et de les comparer aux concentrations calculées (en noir) par les simulateurs sur la même période. On peut constater sur les graphiques que les nouvelles données acquises entre 2012 et 2015 valident les tendances prévues par les simulateurs sur des points de mesure.

Prévisions d'évolution de la concentration



Réservoir	Sud	Centre	Nord
Scénario Moyen (calage 1993-2011)	2015-2022	2030-2032	2025-2027



Résultats des prévisions

Les simulateurs ont été utilisés à titre prédictif afin de connaître la date à partir de laquelle la concentration en sulfates dans chaque secteur de réservoir pourrait être inférieure à la limite de potabilité de 250 mg/l.

En 2013 on prévoyait ainsi que selon un scénario moyen de pluie, cette limite serait atteinte entre 2015 et 2022 selon les secteurs pour le réservoir Sud; entre 2030 et 2032 pour les 2 secteurs les mieux renouvelés en eau du réservoir Centre et entre 2025 et 2027 pour les 2 secteurs les mieux renouvelés en eau du réservoir Nord.

La marge évaluée en 2013 était de +/- 4 ans sur la date. Ces dates pourront être réévaluées pour prendre en compte de nouvelles connaissances de pluviométrie depuis 2012.

Les simulateurs peuvent aussi être utilisés pour connaître de nouveaux pompages sur les débits, les niveaux et les concentrations en sulfate.

Enfin, ces simulateurs sont modulables, il est possible de modifier la configuration du réseau de réacteurs afin de prendre en compte de nouvelles connaissances concernant les écoulements ou les concentrations de chaque réservoir.



Conclusion

Depuis 1995 le BRGM a mené de nombreuses études et travaux sur le bassin ferrifère lorrain, en partenariat avec le Département de Rhin-Meuse, le Conseil Régional Grand Est et la DREAL Grand Est.

Les objectifs de ces travaux étaient de :

- ” mettre en place un réseau de surveillance des eaux souterraines en définissant des méthodes adaptées
- ” définir un modèle conceptuel de structure et de fonctionnement hydrogéologique et hydrogéochimique en s'appuyant notamment sur l'analyse et l'interprétation des données de surveillance
- ” sur la base du modèle conceptuel et des données de surveillance, construire un modèle numérique de prévision des niveaux piézométriques, des débits de débordement et de la qualité de l'eau (par le biais d'indicateurs représentatifs la concentration en sulfates)

0 de connaissance de ce milieu très complexe aura ainsi permis de disposer d'un outil de protection et de gestion de cette ressource peu exploitée en raison de sa qualité insuffisante, mais qui sera précieuse.

La surveillance des eaux souterraines va se poursuivre pour que les parties prenantes puissent continuer de répondre aux enjeux du SAGE du Bassin Ferrifère et de la Directive Cadre européenne sur l'eau.