



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

L'arrêt progressif de l'exploitation minière dans le bassin ferrifère à partir des années 1990 a conduit à des modifications du régime des eaux souterraines et superficielles, ainsi qu'à l'altération 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 d'alimentation des cours d'eau en période d'étiage.

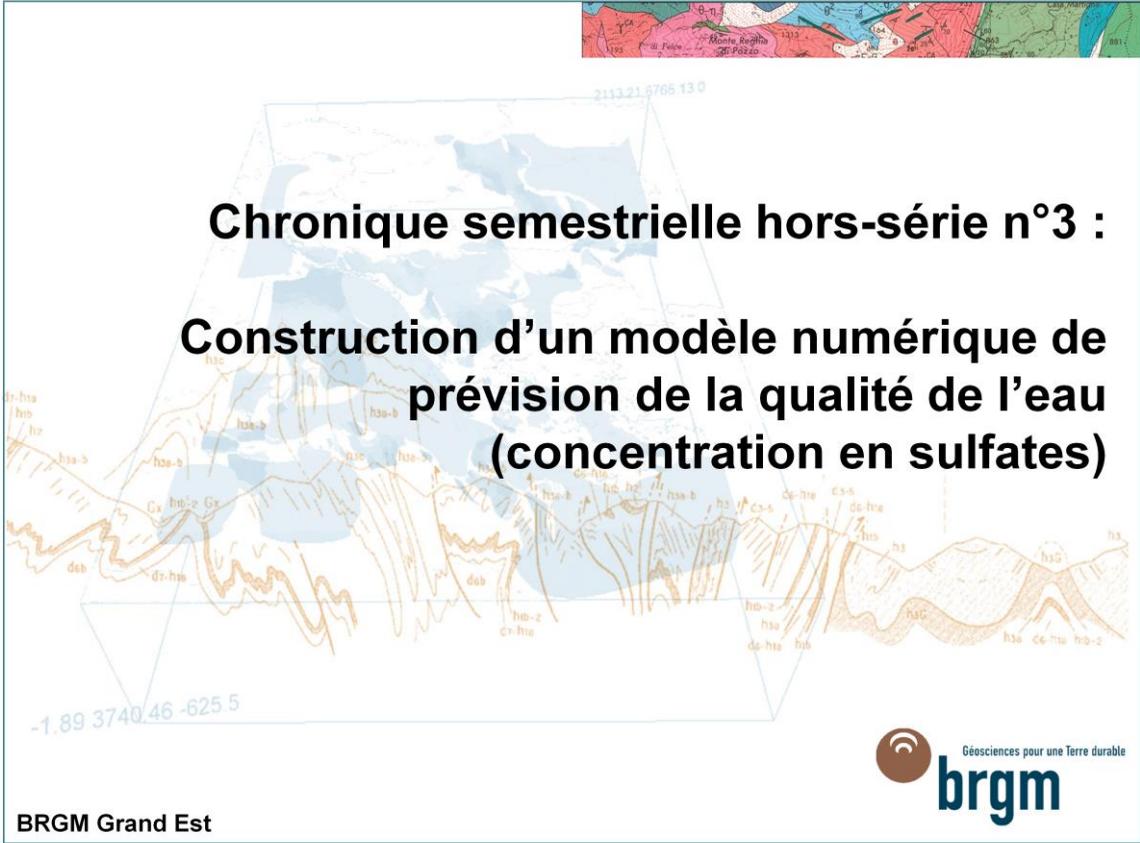
Ce constat a conduit les pouvoirs publics à initier en 2004 l'élaboration d'un SAGE du bassin ferrifère (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux. En 2005, le BRGM a été chargé par le Conseil Régional Lorrain, structure porteuse du SAGE du Bassin Ferrifère, de réaliser les deux premiers documents constitutifs de l'élaboration 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 l'eau et des milieux aquatiques.

En parallèle, à partir de 1995, d'abord 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 d'ouvrage du BRGM, cofinancé par l'Agence de l'eau Rhin-Meuse, la Région Grand Est et le BRGM.

Par ailleurs, le BRGM a contribué aux travaux de recherche du GISOS, Groupement d'intérêt scientifique de recherche sur l'Impact et la Sécurité des Ouvrages Souterrains, qui a eu pour objectifs entre 1999 et 2015 d'anticiper et 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 l'évolution de la qualité de l'eau qui a été construit sur 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 n'est 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 de l'eau 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 s'approchera de la limite de potabilité de 250 mg/L ? Lorsque ce sera le cas, la minéralisation de l'eau, très corrélée à la concentration en sulfates, sera compatible avec l'exploitation habituelle des eaux souterraines.

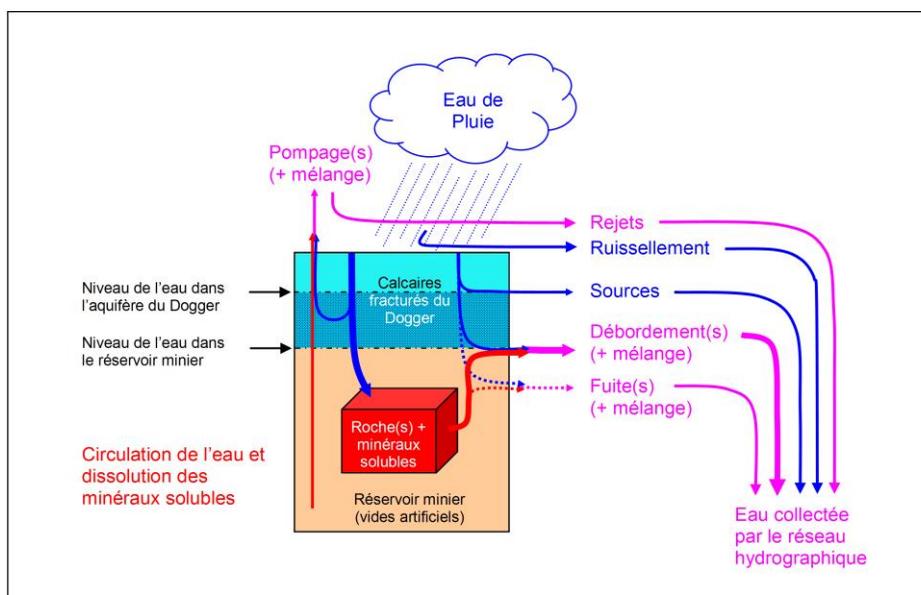
Suite aux travaux de modélisation réalisés par le BRGM entre 2000 et 2008 dans le cadre des travaux de recherche et développement du GISOS, l'Agence de l'eau Rhin-Meuse, le Conseil Régional de Lorraine et le BRGM ont décidé de la construction et de la mise en œuvre d'un simulateur hydrogéologique et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

La finalité de l'étude 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 sulfate 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 »



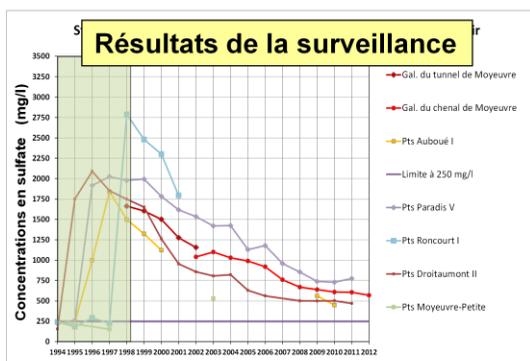
Approche de modélisation : le « réacteur parfait »

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 aujourd'hui constitué de 3 grands réservoirs hydrauliquement indépendants, les réservoirs Sud, Centre et Nord. Chacun des 3 grands réservoirs miniers est ainsi un « patchwork » de zones foudroyées et de zones de galeries. Lors de l'ennoyage d'un réservoir, l'eau de recharge alimente d'abord l'aquifère calcaire du Dogger sus-jacent, puis s'infiltre dans les vides miniers essentiellement par l'intermédiaire des zones foudroyées, et remplit enfin progressivement les vides laissés par l'homme dans les réservoirs miniers. On sait aussi grâce aux travaux de recherche et développement du GISOS que les zones foudroyées sont le siège des réactions géochimiques de dissolution du gypse qui libèrent notamment des sulfates dans l'eau du réservoir. Les zones de galeries assurent ensuite la dilution des eaux devenues minéralisées.

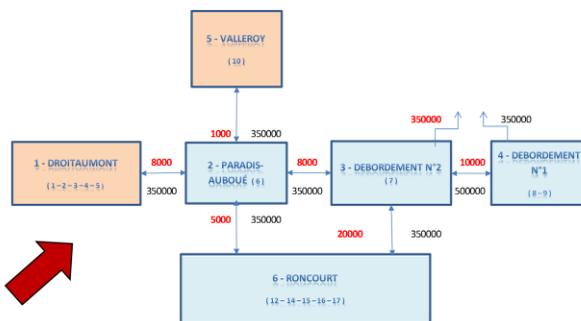
La complexité de la structure du système hydrologique à modéliser, ainsi que l'absence de

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

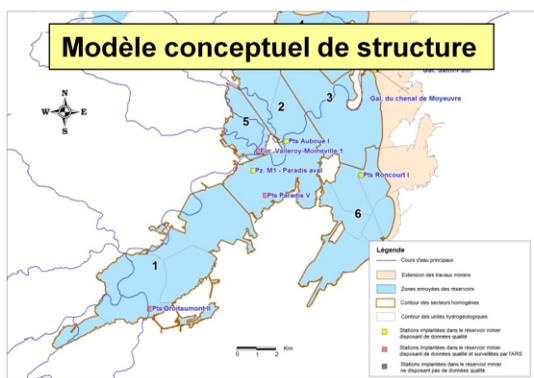
Construction des modèles numériques (« simulateurs »)



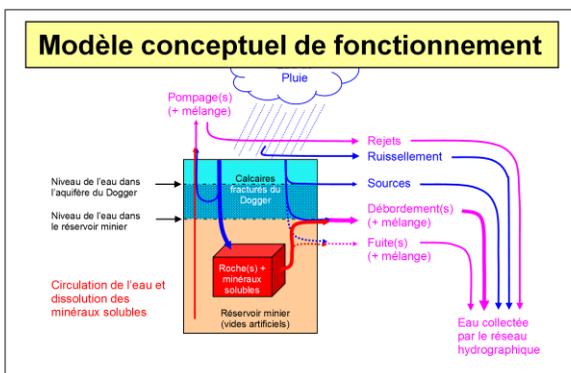
Modèle numérique de prévision



Modèle conceptuel de structure



Modèle conceptuel de fonctionnement



Construction des modèles numériques (« simulateurs »)

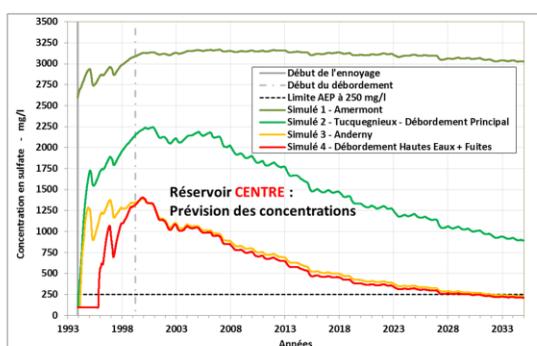
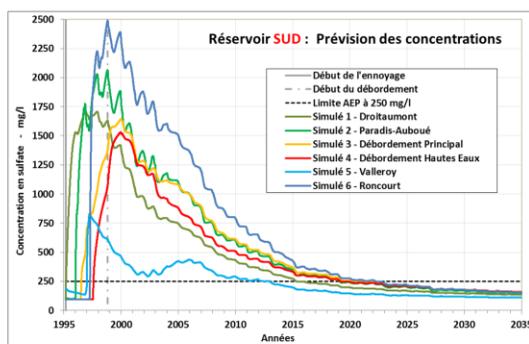
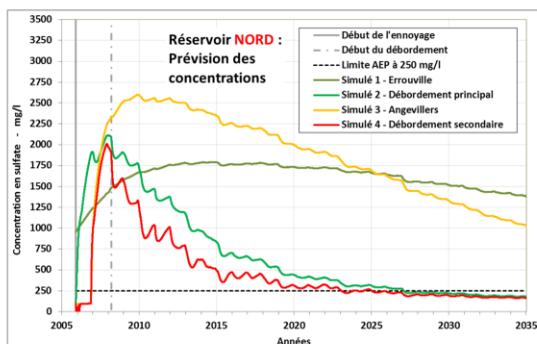
Trois modèles numériques de fonctionnement hydrologique et chimique (désignés par le terme « simulateurs » dans la suite) des trois grands réservoirs miniers ennoyés du bassin ferrifère lorrain (Sud, Centre, et Nord) ont été construits à partir des données disponibles entre 1993 et 2011 (rapport BRGM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

Le modèle numérique de prévision d'un réservoir est ainsi construit à l'aide 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 l'illustration ci-dessus.

Les résultats du calage des 3 « simulateurs » de réservoirs sont présentés sur la page suivante. Le calage d'un modèle numérique consiste à reproduire avec le maximum de fidélité les observations disponibles. Lorsque cet objectif est atteint (avec une marge d'incertitude résiduelle inévitable), le modèle est considéré comme « calé » et apte à fournir des prévisions : il suffit d'alimenter le modèle avec des données estimées selon différents scénarios futurs (évolution future de l'infiltration d'eau de pluie 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 l'ensemble 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 d'estimer la date à partir de laquelle la concentration en sulfates dans chaque secteur des réservoirs pourrait être inférieure à la limite de potabilité de 250 mg/l.

En 2013, on prévoyait ainsi que selon un scénario moyen d'infiltration d'eau 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 d'erreur évaluée en 2013 était de +/- 4 ans sur la date. Ces dates pourront être réévaluées pour prendre en compte l'infiltration d'eau de pluie réelle depuis 2012.

Les simulateurs peuvent aussi être utilisés pour connaître l'impact de nouveaux pompages sur les débits, les niveaux et l'évolution des 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 à l'intérieur de chaque réservoir.

Conclusion générale des chroniques hors-série n°1, 2 et 3

- > **Arrêt de l'activité minière** et des exhaures dans le Bassin Ferrifère Lorrain
- > **Mauvaise qualité des ressources en eau** qui ne sont plus exploitables : **comment les gérer et les valoriser ?**
 - **Surveiller l'évolution** de la quantité et de la qualité des eaux souterraines = **réseau de surveillance**
 - **Décrire le territoire** du bassin ferrifère : caractéristiques, fonctionnement hydrogéologique = **modèle conceptuel**
 - **Evaluer les tendances d'évolution** dans le futur, donc disposer d'un outil de prévision = **modèle numérique**



Conclusion

Depuis 1995, le BRGM a mené de nombreuses études et travaux sur le bassin ferrifère lorrain, en partenariat avec l'Agence de l'eau 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 d'échantillonnage adaptées ;
- définir un modèle conceptuel de structure et de fonctionnement hydrogéologique et hydrogéochimique, en s'appuyant notamment sur 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'un indicateur représentatif : la concentration en sulfates).

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

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.