



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°2 : 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°2 présente le modèle conceptuel de structure et de fonctionnement des réservoirs miniers ennoyés qui a été défini sur la base des résultats de la surveillance des eaux souterraines (hors-série n°1) et qui a permis la construction d'un modèle numérique de prévision de la qualité de l'eau (hors-série n°3).

Chronique semestrielle hors-série n°2 :

Définition d'un modèle conceptuel de structure et de fonctionnement des réservoirs miniers ennoyés

BRGM Grand Est

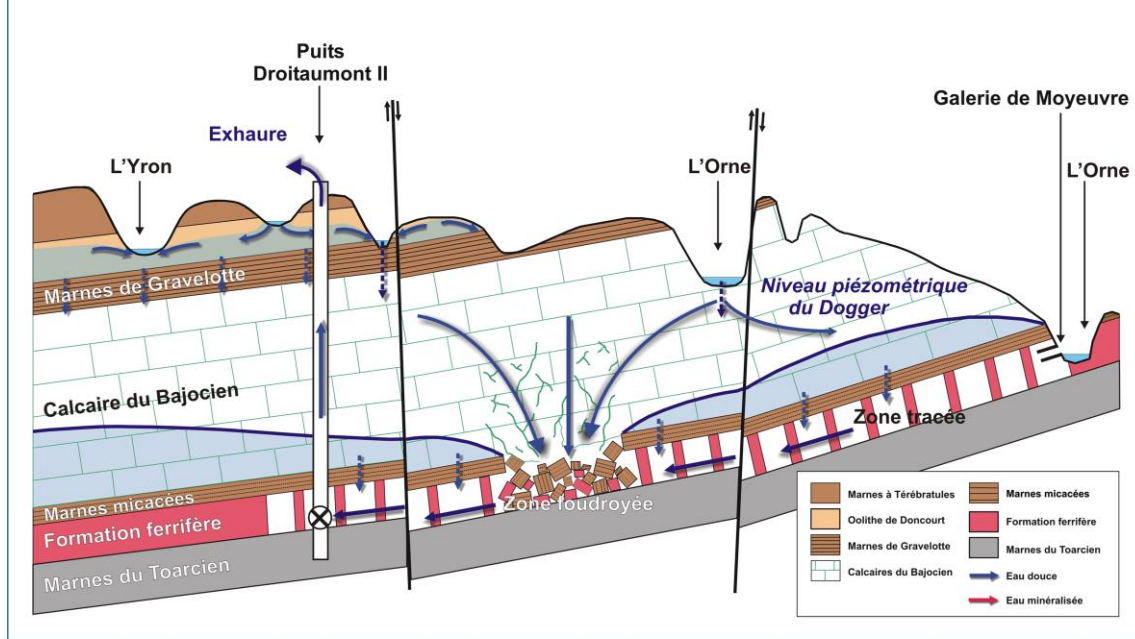


Pourquoi un modèle conceptuel ?

L'interprétation et la synthèse des résultats de mesure acquis depuis 1995 dans le cadre de la surveillance des eaux souterraines du bassin ferrifère, complétée par les résultats des expériences de laboratoire menés par le BRGM dans le cadre du GISOS, ont permis de décrire la structure et le fonctionnement hydrogéologique des réservoirs miniers, leurs relations hydrauliques avec la nappe des calcaires du Dogger sus-jacente, ainsi que les mécanismes géochimiques qui sont à l'origine de la minéralisation de de l'eau lors de leur ennoyage.

Les schémas de synthèse commentés présentés dans les pages suivantes condensent l'information disponible sous une forme graphique. Accompagnés des données de surveillance interprétées qui ont servi à les élaborer, ces schémas constituent ce que l'on appelle un modèle conceptuel. Un modèle conceptuel peut servir de base à l'interprétation de nouvelles données de surveillance, mais aussi et surtout à l'élaboration d'un modèle numérique permettant des prévisions.

Fonctionnement hydrogéologique pendant l'exploitation (exemple du bassin Sud)



Fonctionnement hydrogéologique pendant l'exploitation minière (exemple du réservoir Sud)

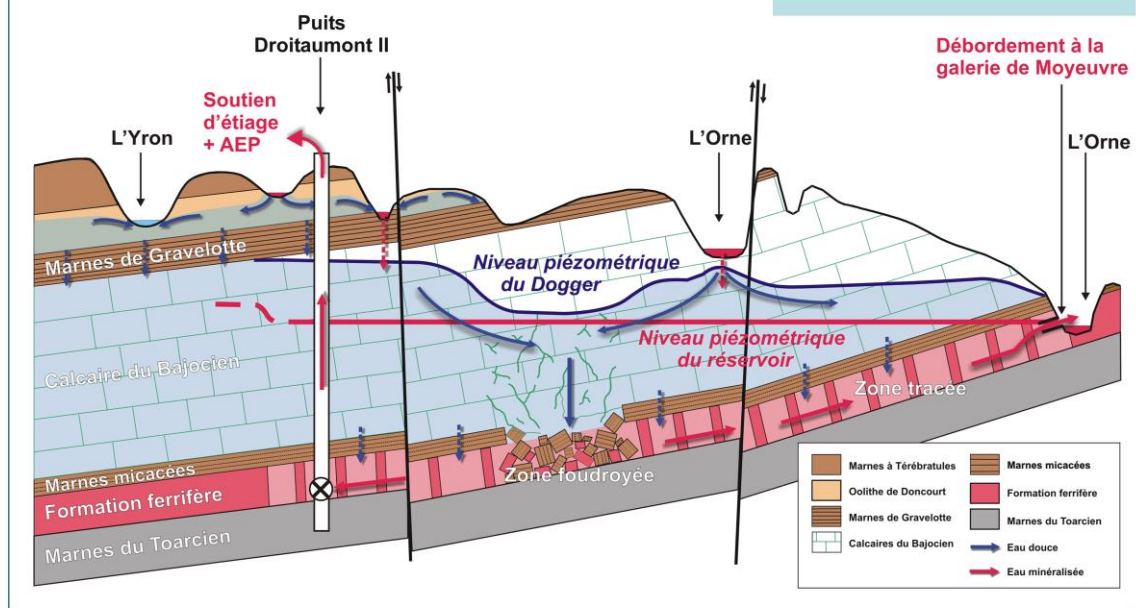
Pendant la période d'exploitation minière, au fur et à mesure que s'étendaient les travaux miniers, les foudroyages réalisés – ils concernent en moyenne 40 à 50 % de la surface des travaux miniers – provoquent la rupture de l'écran imperméable des marnes micacées qui supportait la nappe des calcaires du Dogger. L'eau de la nappe s'est alors infiltrée en grande quantité dans les galeries minières (à certaines périodes, jusqu'à près de 300 millions de m³ par an sur l'ensemble du bassin ferrifère), obligeant les exploitants miniers à mettre en place des systèmes de collecte (rigoles et galeries de drainage), de stockage (bassins de stockage temporaires, appelés albraques) et de pompage des eaux d'infiltration : c'était l'exhaure minière.

Au-dessus des travaux miniers, la nappe des calcaires du Dogger était généralement réduite à l'état de lambeaux, lorsqu'elle n'avait pas complètement disparu, au droit des zones foudroyées notamment. L'abaissement généralisé du niveau de la nappe au droit des travaux s'est propagé à plusieurs km à l'extérieur des limites des exploitations, constituant un cône de rabattement de la nappe de grande ampleur.

Fonctionnement hydrogéologique après l'ennoyage (exemple du bassin Sud)

Arrêt des exhaures minières :

- * Mai 1985 : Godbrange
- * Février 1994 : bassin Centre
- * Mars 1995 : bassin Sud
- * Décembre 2005 : bassin Nord



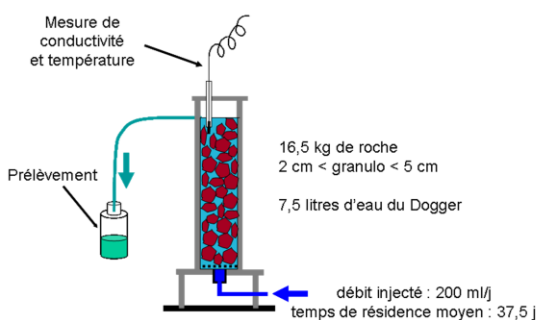
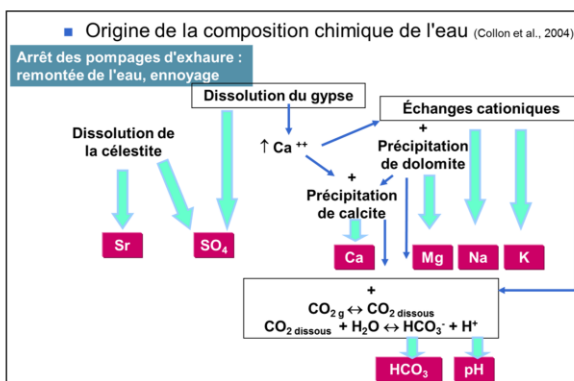
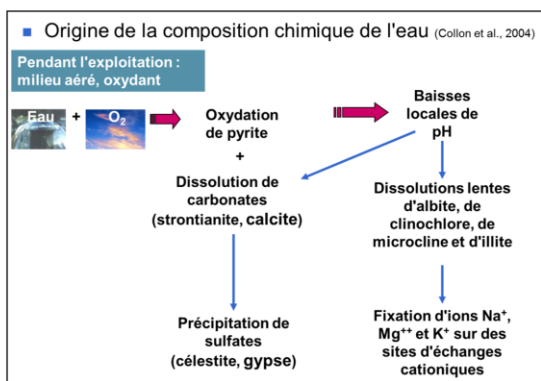
Fonctionnement hydrogéologique après l'ennoyage (exemple du réservoir Sud)

Après l'arrêt des exhaures, l'eau d'ennoyage a rempli les vides artificiels laissés par l'activité minière : les plus grands vides sont ainsi constitués par le réseau de galeries interconnectées ; les plus petits sont les pores de dimension variée se trouvant dans les amas rocheux des zones foudroyées. La remontée du niveau d'ennoyage des différents réservoirs a été limitée par la présence d'un ou plusieurs points de débordement, qui jouent le rôle de déversoirs des eaux d'ennoyage vers les cours d'eau. **Généralement, le niveau d'un réservoir ne peut pas dépasser de beaucoup la cote du seuil de son point de débordement le plus bas**, même en période de hautes eaux. En effet, la plupart des points de débordement sont aménagés pour laisser passer des débits de crue très importants, ce qui limite la possibilité d'élévation du niveau du réservoir. **La «nappe» d'un réservoir minier présente une autre particularité hydrogéologique : son niveau piézométrique est pratiquement identique en tout point du réservoir.** Le très faible gradient piézométrique du réservoir (c'est-à-dire la très faible «pente» du niveau de l'eau dans le réservoir) résulte de la très faible résistance à l'écoulement de l'eau dans le réseau de galerie :

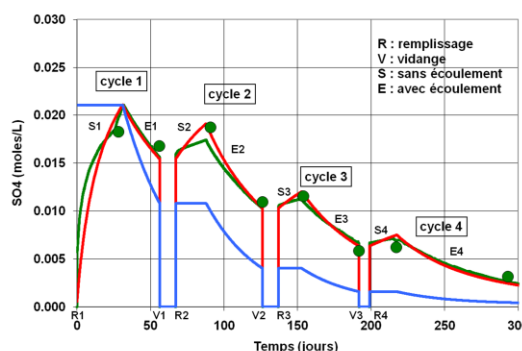
autrement dit, l'eau en mouvement dans les galeries n'est pas suffisamment «freinée» par les frottements sur les parois pour acquérir une «pente» importante (les pertes de charge à l'écoulement sont très faibles).

Lors de l'ennoyage, la remontée du niveau dans les réservoirs s'est accompagnée de la reconstitution de la nappe des calcaires du Dogger. Toutefois, cette reconstitution n'a été que partielle, puisque la remontée du niveau d'un réservoir est limitée par l'existence des points de débordement. D'autre part, la nappe des calcaires du Dogger continue à être en très forte relation avec les réservoirs miniers, par l'intermédiaire des zones foudroyées. **Le réservoir minier ennoyé conserve donc son rôle de drainage général de la nappe du Dogger.** Au-dessus des travaux miniers, la surface piézométrique de la nappe principale des calcaires du Dogger est déprimée, et présente un relief «bosselé» : les «creux» piézométriques correspondent aux zones où le drainage vers le réservoir minier sous-jacent est important (zones foudroyées ou fracturées), les «bosses» correspondent aux zones de drainage moindre (zones non foudroyées ou de perméabilité verticale plus faible).

Processus géochimiques de minéralisation de l'eau des réservoirs lors de leur ennoyage (travaux GISOS)



Source : Thèse P. Collon, ENSG, 2003



Les processus géochimiques de minéralisation de l'eau lors de l'ennoyage des réservoirs miniers

Lors de l'ennoyage des réservoirs miniers, **l'eau qui a rempli les galeries des anciennes mines de fer s'est minéralisée** en se chargeant très rapidement en sulfate, magnésium, sodium, calcium, potassium et bore, et, dans une moindre mesure, en strontium, manganèse, et chlorure. Son pH est resté compris entre 7 et 8. Si cette augmentation des concentrations a généralement rendu l'eau impropre à la consommation humaine au regard des concentrations maximales admissibles, ces éléments présents en excès ne sont, néanmoins, pas toxiques pour l'homme. De plus, dans le bassin ferrifère, le drainage minier est neutre. Ceci est un avantage puisque lorsque le drainage minier est acide (c'est le cas général de beaucoup de mines dans le monde), le phénomène se traduit par un pH bas qui favorise la mise en solution de métaux lourds toxiques pour l'homme et l'environnement.

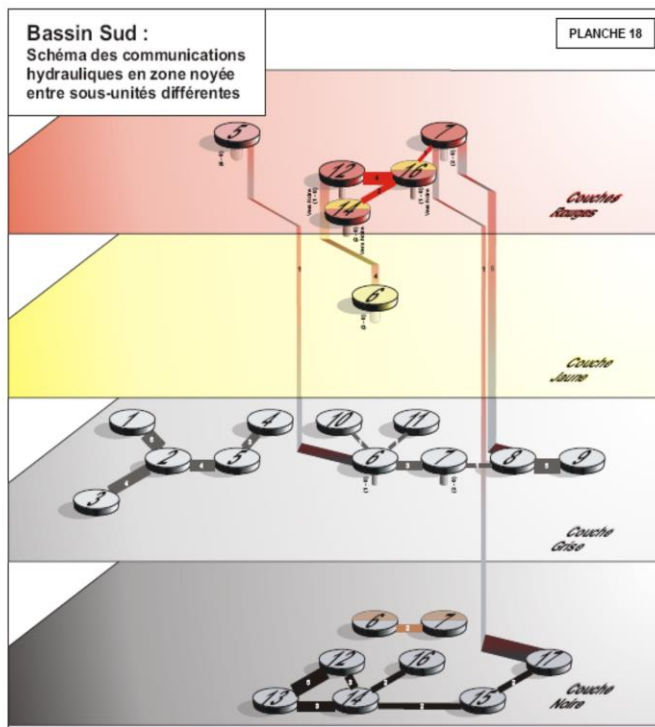
Les éléments chimiques en excès dans l'eau des réservoirs miniers du bassin ferrifère proviennent des réactions de mise en solution des sels minéraux (gypse notamment) issus de l'oxydation de la pyrite contenue dans les inter-bancs

marneux de la formation ferrifère (cf. les observations et expériences de laboratoire décrites en 2003 dans la thèse de doctorat de P. Collon et dans les publications associées, et illustrées ci-dessus). Ces sels se sont formés lors de l'exploitation minière, lorsque la pyrite a été mise en contact avec l'oxygène de l'air apporté par l'aération des mines. Ils sont dissous totalement quelques dizaines de jours après le début de l'ennoyage, et ce stock d'éléments pouvant être dissous ne se renouvelle pas en milieu insuffisamment oxygéné, tel qu'un réservoir ennoyé.

Ainsi, **cette situation est transitoire, jusqu'à ce que le stock d'eau minéralisée initial qui s'est formé lors de l'ennoyage soit évacué** par le jeu normal des circulations souterraines. Le temps nécessaire au renouvellement de l'eau du réservoir peut aller de quelques années à quelques dizaines d'années, si le temps de résidence de l'eau dans le réservoir est long.

Structure d'un réservoir ennoyé (exemple du réservoir Sud)

- > **L'analyse des plans miniers a permis de définir une structure simplifiée de chaque réservoir (sous-unités hydrogéologiques reliées par des galeries).**
- > **Ces sous-unités ont été regroupées en secteurs moins nombreux possédant au moins un point de surveillance.**
- > **Les secteurs peuvent ainsi être caractérisés par une tendance d'évolution de la concentration en sulfates.**



Structure des réservoirs et sectorisation

A partir de l'analyse cartographique des plans miniers, un modèle conceptuel détaillé de la structure de chaque réservoir minier ennoyé a été élaboré. L'analyse cartographique s'est déroulée en deux temps : dans un premier temps, l'analyse des plans d'exploitation de chaque couche a permis de délimiter des « sous-unités hydrogéologiques » dans la zone ennoyée des réservoirs, et de dénombrer les galeries de jonction entre sous-unités ; dans un deuxième temps, les communications verticales entre couches au sein d'une même sous-unité et entre les sous-unités ont été dénombrées aussi, afin de tenir compte de la configuration multicouche des exploitations minières. Les documents cartographiques produits permettent de visualiser l'ensemble des informations recueillies et analysées sous forme de cartes de synthèse (rapport BRGM RP53277-FR). A l'aide de ces informations, des schémas de synthèse ont été élaborés (cf. image ci-dessus) permettant la visualisation directe des communications

hydrauliques en trois dimensions. Ces schémas sont des outils précieux dans la compréhension du fonctionnement hydrogéologique de chaque réservoir, ainsi que dans l'analyse comparée de leurs fonctionnements.

Sur la base de ce travail de détail sur la structure des réservoirs, et afin de préparer le travail de modélisation ultérieur (cf. chronique hors-série n°3), un travail de simplification de la structure a été mené sur chacun des réservoirs Sud, Centre et Nord, de manière à identifier des secteurs plus grands possédant chacun au moins un point de surveillance. C'est ainsi que 4 à 6 secteurs représentatifs des évolutions observées des concentrations en sulfates ont été identifiés au sein de chaque grand réservoir. Chaque secteur est relié à un certain nombre de secteurs voisins par un nombre restreint de galeries de jonction, l'ensemble constituant un « réseau » de secteurs.