

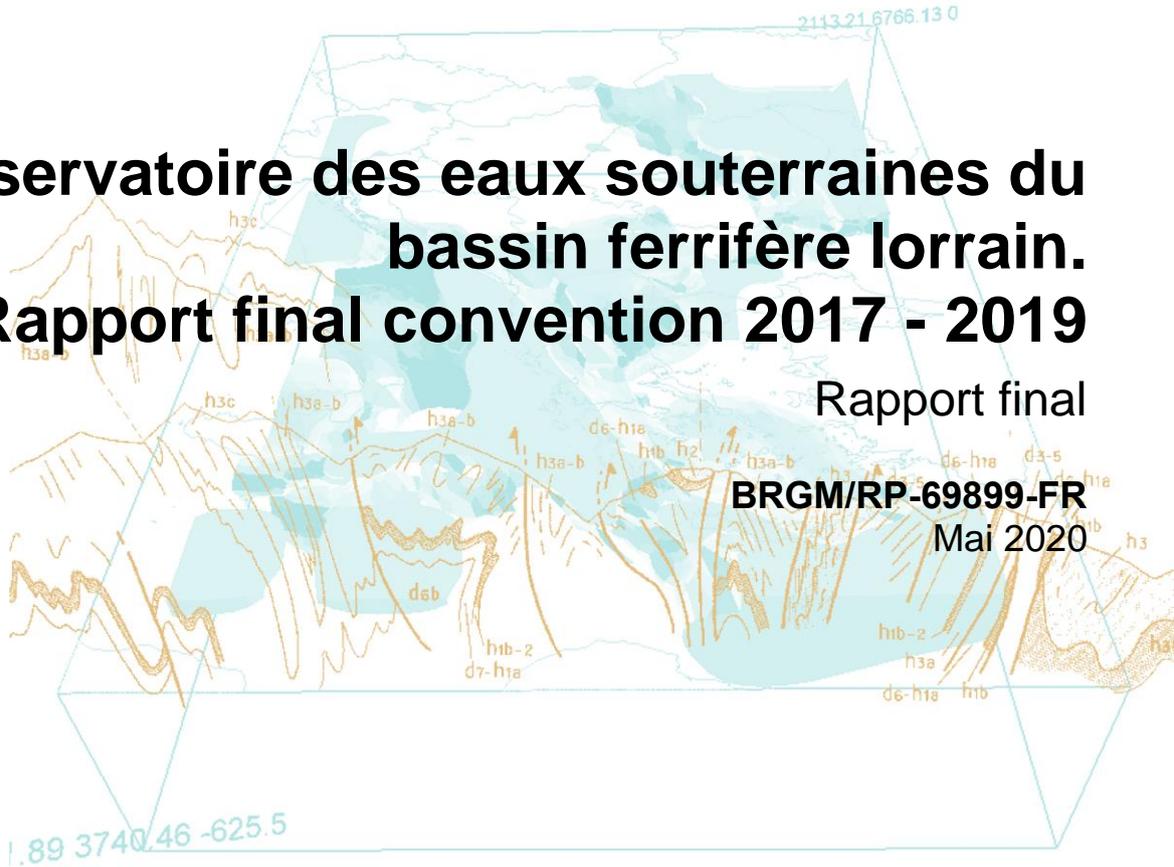


Observatoire des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain. Rapport final convention 2017 - 2019

Rapport final

BRGM/RP-69899-FR

Mai 2020



Observatoire des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain. Rapport final convention 2017 - 2019

Rapport final
BRGM/RP-69899-FR
Mai 2020

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM – AP17NCY034

S. Guignat

Vérificateur :

Nom : Laurent Vaute

Fonction : Hydrogéologue

Date : 12/05/20

Signature : 

Approbateur :

Nom : MIDOT

Fonction : Directeur Régional Grand Est

Date : 15/05/20

Signature : 

Le système de management de la qualité et de l'environnement
est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Contact : qualite@brgm.fr

Mots-clés : EAU SOUTERRAINE, BASSIN FERRIFERE LORRAIN, MINE ABANDONNEE, NAPPE DOGGER, RESEAU SURVEILLANCE, LORRAINE

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Guignat S. (2020) – Observatoire des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain. Convention 2017-2019. Rapport final. **BRGM/RP-69899-FR**, 77 p., 42 ill., 3 annexes, 1 cd-rom contenant les annexes.

Synthèse

Créé début 2017, l'observatoire du bassin ferrifère lorrain a pour objectif général l'amélioration de la connaissance du fonctionnement hydrogéologique et chimique des réservoirs miniers ennoyés. Il s'appuie sur le réseau de surveillance constitué depuis les années 1990 à l'arrêt de l'exploitation minière pour assurer le suivi de l'ennoyage et de la qualité des trois principaux réservoirs miniers du bassin ferrifère lorrain : réservoirs Nord, Centre et Sud. Ces réservoirs ennoyés constituent une réserve d'eau de plus de 450 millions de m³ (Mm³), aujourd'hui ciblée comme future ressource d'alimentation en eau potable (AEP) pour la région messine dans le Schéma d'Alimentation en Eau Potable du sillon Mosellan et comme ressource stratégique pour assurer l'autosuffisance en AEP du secteur du SAGE du bassin ferrifère.

L'observatoire permet d'assurer le suivi de l'évolution qualitative et quantitative des eaux souterraines et superficielles au droit du bassin de Briey-Longwy pour répondre aux enjeux réglementaires pour la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE 2000/60/CE) et aux objectifs du SAGE du bassin ferrifère lorrain (objectifs cités dans le Plan d'Aménagement et de Gestion Durable). Les résultats des surveillances qualitative et quantitative menées dans le cadre de la DCE (AERM et la DREAL) et du suivi des eaux destinées à l'AEP (ARS) sont intégrées et valorisées dans le cadre de cet observatoire.

Le programme de surveillance est défini par une convention trisannuelle de partenariat BRGM – Agence de l'eau – Région Grand Est couvrant la période 2017 à 2019. La DREAL Grand Est est intégrée à l'observatoire en tant que membre du comité de pilotage (COFIL) et partenaire technique. Les études et le programme d'actions mis en place dans le cadre de cette convention ont été validés à chaque étape du projet par le COFIL suite à leur présentation en réunion de démarrage (juin 2017), de bilan à mi-parcours (septembre 2018) et de fin de programme / définition des enjeux futurs (juin 2019). L'Agence Régionale de Santé a également été conviée aux réunions du COFIL en tant que producteur de données valorisées dans le cadre de ce programme et pour avis sur le programme analytique.

Au cours de cette convention, les résultats de la surveillance ont été diffusés au travers de six chroniques semestrielles de hautes et basses eaux (téléchargeables sur le site du SAGE du Bassin Ferrifère et sur le SIGES Rhin-Meuse <http://sigesrm.brgm.fr>) et ont été présentés à la CLE du SAGE du bassin ferrifère (novembre 2019). Deux rapports publics de gestion 2017 (BRGM/RP-68392-FR) et 2018 (BRGM/RP-69049-FR) et le présent rapport de fin de convention ont été édités.

La surveillance mise en place au cours de ce programme comprend l'acquisition des données et leur interprétation en termes de fonctionnement hydrogéologique et chimique. L'acquisition de données s'appuie sur un réseau opérationnel constitué de 45 ouvrages dont 11 piézomètres, 18 qualitomètres, 5 stations mixtes. L'interprétation des résultats des analyses chimiques des eaux souterraines est basée sur une analyse statistique de l'ensemble des résultats disponibles dans la Banque nationale d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines (ADES : <http://www.adeseaufrance.fr>) et sur l'analyse des chroniques d'évolution des paramètres.

La pérennisation de l'accès aux ouvrages a été renforcée par la signature de conventions de bail comprenant un état des lieux pour 16 stations appartenant à l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse. Pour les autres stations, les propriétaires publics et privés des parcelles sur lesquelles sont implantés les ouvrages sans convention ont été identifiés afin de mettre en place les futures conventions.

Le parc des stations a été modernisé par le renouvellement de l'équipement de six stations piézométriques, trois stations hydrométriques et deux préleveurs de fond. La télétransmission des données a été mise en place au niveau des stations piézométriques et hydrométriques.

Les niveaux piézométriques et les débits de débordement des réservoirs sont mesurés en continu par des centrales d'acquisition. Six tournées de maintenance préventive ont été réalisées à une fréquence semestrielle pour la récupération des données piézométriques et l'entretien des stations. Une soixantaine de mesures de débit en sortie de chenal des réservoirs ont été réalisées et ont permis d'évaluer les volumes de débordements des réservoirs.

Le suivi des niveaux piézométriques (nappe des calcaires du Dogger, formation ferrifère non exploitée et réservoirs miniers) permet d'affirmer que la nappe des calcaires du Dogger alimente toujours les réservoirs miniers par drainance descendante.

Entre 2017 et 2019, le débit moyen annuel de débordement cumulé des trois réservoirs était de 100 millions de m³ (Mm³), variant entre 58 Mm³ (2017) et 132 Mm³ (2018). Le réservoir Sud est le réservoir qui restitue le plus important volume d'eau au milieu superficiel avec 56 % du volume total de débit de débordement du bassin ferrifère. La contribution du réservoir Nord est de 33 % et celle du réservoir Centre de 11 %.

La surveillance qualitative a porté sur les réservoirs miniers avec un suivi annuel, l'aquifère des calcaires du Dogger et la formation ferrifère non exploitée avec un suivi trisannuel. Les analyses concernent les éléments majeurs (calcium, magnésium, sodium, potassium, sulfate, chlorure, bicarbonate), les composés azotés (ammonium, nitrate), certains éléments caractéristiques de l'eau d'ennoyage des réservoirs miniers (fer, manganèse, bore), et certains polluants potentiellement présents dans l'eau des réservoirs miniers (hydrocarbures totaux, indice phénol et produits phytosanitaires). Les données de surveillance ont été bancarisées dans ADES.

Au sein des trois réservoirs, on distingue des secteurs où l'eau est bien renouvelée et des secteurs peu renouvelés. Ce taux de renouvellement du stock d'eau minéralisée initialement formé lors de l'ennoyage des travaux miniers se traduit notamment par l'évolution des concentrations en sulfates mesurées dans les réservoirs depuis l'ennoyage. Celles-ci sont à la baisse dans les secteurs où l'eau est bien renouvelée et stables dans les autres secteurs. Les secteurs où l'eau est bien renouvelée représentent 60% de la surface totale. Le réservoir Sud présente une meilleure qualité de l'eau minière comparativement aux autres réservoirs vis-à-vis de ces éléments.

Des produits phytosanitaires, marqueurs d'une contamination anthropique d'origine externe aux réservoirs, ont été détectés. Suite à leur détection au niveau des points de débordement en 2017 et 2018, une campagne élargie au réservoir minier en profondeur, à la formation ferrifère non exploitée et à l'aquifère des calcaires du Dogger a été menée en août/septembre 2019. Leur détection a été confirmée à l'ensemble des réservoirs miniers, notamment dans les secteurs où l'eau est bien renouvelée.

Cette détection récente de substances caractéristiques d'une contamination de surface au niveau des points captant l'eau des réservoirs miniers réoriente les enjeux de surveillance. La compréhension des processus principaux qui contrôlent le niveau de contamination des réservoirs miniers par des polluants de surface nécessite la poursuite et la généralisation des analyses de phytosanitaires sur des stations captant directement l'eau minière (puits minier) et l'eau des calcaires du Dogger (aquifères alimentant le réservoir minier) ainsi que l'étude des conditions de recharge des réservoirs miniers afin de mettre en évidence l'évolution de ces polluants et identifier les sources en amont.

Sommaire

1. Contexte et objectifs de l'observatoire	11
1.1. CONTEXTE HISTORIQUE	11
1.2. OBJECTIFS ET GOUVERNANCE DE L'OBSERVATOIRE.....	12
1.3. PROGRAMME DE SURVEILLANCE	12
2. Gestion opérationnelle du réseau de surveillance.....	17
2.1. PRESTATIONS SOUS-TRAITEES	17
2.2. CONVENTIONS D'ACCES AUX STATIONS	17
2.3. TRAVAUX D'AMENAGEMENT ET RENOUELEMENT DES EQUIPEMENTS.....	19
2.3.1. Stations piézométriques et hydrométriques	19
2.3.2. Préleveur de fond	25
2.3.3. Actes de vandalisme.....	25
2.4. ACQUISITION ET BANCARISATION DES DONNEES.....	26
2.4.1. Surveillance quantitative	26
2.4.2. Surveillance Qualitative	28
2.4.3. Bancarisation des données.....	29
3. Résultat de la surveillance 2017 - 2019.....	31
3.1. SURVEILLANCE QUANTITATIVE	31
3.1.1. Réservoir Nord.....	31
3.1.2. Réservoir Centre.....	34
3.1.3. Réservoir Sud.....	37
3.1.4. Synthèse des débordements	40
3.2. SURVEILLANCE QUALITATIVE.....	41
3.2.1. Sectorisation des réservoirs miniers Nord, Centre et Sud	41
3.2.2. Evolution des sulfates	44
3.2.3. Cartographie des autres paramètres.....	58
3.2.4. Synthèse sur la qualité des réservoirs 2016/2018.....	66
3.2.5. Analyse des tendances	66
3.3. LES CHRONIQUES SEMESTRIELLES	72
4. Conclusion.....	73

Liste des figures

Illustration 1 :	Liste des stations des réseaux et type de surveillance	15
Illustration 2 :	Carte d'implantation des stations des réseaux de surveillance	16
Illustration 3 :	Liste des stations de l'observatoire avec convention.....	18
Illustration 4 :	Liste des stations sans convention avec identification des propriétaires	18
Illustration 5 :	Photographies avant et après aménagement des stations N20, N21, S14 et S15	22
Illustration 6 :	Equipement de la station du Woigot à Mancieulles	24
Illustration 7 :	Renouvellement préleveur de fond du puits N6 – puits Boulange grise.....	25
Illustration 8 :	Jaugeage au micromoulinet du Conroy	27
Illustration 9 :	Mesure de débit par bateau Doppler en sortie de galerie de Moyeuve-Grande	28
Illustration 10 :	Prélèvements directs sur les stations du Woigot et de la Paix	28
Illustration 11 :	Exemple de préleveur de fond	29
Illustration 12 :	Schéma du dispositif de débordement du réservoir Nord (Vaute, 2007)	32
Illustration 13 :	Evolution des niveaux du réservoir Nord depuis la fin de l'ennoyage	33
Illustration 14 :	Chroniques 2017, 2018 et 2019 du réservoir Nord et statistiques mensuelles	33
Illustration 15 :	Schéma très simplifié du dispositif de débordement du réservoir Centre (Vaute, 2007) .	35
Illustration 16 :	Evolution des niveaux du réservoir Centre depuis la fin de l'ennoyage	36
Illustration 17 :	Chroniques 2017, 2018 et 2019 du réservoir Centre et statistique mensuelle.....	36
Illustration 18 :	Evolution des niveaux du réservoir Sud	38
Illustration 19 :	Chroniques 2017, 2018 et 2019 du réservoir Sud et statistique mensuelle	38
Illustration 20 :	Corrélation entre niveau piézométrique et débit de débordement.....	39
Illustration 21 :	Synthèse des volumes annuels de débordement.....	40
Illustration 22 :	Sectorisation du réservoir Nord	42
Illustration 23 :	Sectorisation du réservoir Centre	43
Illustration 24 :	Sectorisation du réservoir Sud.....	44
Illustration 25 :	Indicateurs sulfates	45
Illustration 26 :	Secteurs du réservoir nord et évolution des concentrations en sulfates	47
Illustration 27 :	Secteurs du réservoir Centre et évolution des concentrations en sulfates	51
Illustration 28 :	Débits au point de débordement C5 et concentration en sulfates.....	53
Illustration 29 :	Secteurs du réservoir Sud et évolution des concentrations en sulfates	55
Illustration 30 :	Cartographie de la concentration en sulfates du bassin ferrifère lorrain – 2017/19.....	57
Illustration 31 :	Bornes et classes de l'écart relatif de la Mma aux valeurs seuils	58
Illustration 32 :	Valeurs seuils retenues pour les calculs de classes.....	59
Illustration 33 :	Classes de valeurs des moyennes des moyennes annuelles (Mma) calculées en fonction des valeurs seuils indicatives retenues.	61
Illustration 34 :	Diagramme en radar des classes de valeurs de Mma du réservoir Nord	63
Illustration 35 :	Diagramme en radar des classes de valeurs de Mma du réservoir Centre	64
Illustration 36 :	Diagramme en radar des classes de valeurs de Mma du réservoir Sud.....	65

Illustration 37 : Evolution des concentrations des majeurs depuis l'ennoyage au niveau d'un secteur renouvelé (puits N6, reservoir Nord).....	67
Illustration 38 : Evolution des concentrations des majeurs depuis l'ennoyage au niveau d'un secteur peu renouvelé (puits N7, reservoir Nord).....	68
Illustration 39 : Evolution des concentrations en métaux depuis l'ennoyage au niveau d'un secteur renouvelé (puits N6, reservoir Nord).....	69
Illustration 40 : Evolution des concentrations en composés azotés au niveau d'un secteur renouvelé (puits N6, reservoir Nord)	69
Illustration 41 : Chronique de la somme des concentrations en pesticides	70
Illustration 42 : Cartographie des concentrations en produits phytosanitaires (campagne 2019)	71

Liste des annexes (présentes sur le CD-Rom joint)

Annexe 1 : Liste des stations de l'Observatoire	75
Annexe 2 : Graphique d'évolution des paramètres analysés	
Annexe 3 : Chroniques semestrielles	

1. Contexte et objectifs de l'observatoire

1.1. CONTEXTE HISTORIQUE

Le bassin ferrifère Lorrain a été le siège d'une intense extraction de minerai de fer : 3 milliards de tonnes ont été extraites sur une période de près de 150 ans. L'exploitation de ces gisements est aujourd'hui arrêtée. La dernière exploitation minière a fermé en 1997.

Lors de l'exploitation du minerai de fer, le creusement de galeries et le foudroyage des piliers ont fracturé les marnes micacées, écran imperméable entre les vides miniers de la formation ferrifère et la nappe des calcaires du Dogger sus-jacente. Cette fracturation a provoqué d'importantes pertes d'eau de la nappe du Dogger vers les vides miniers. Des pompages d'exhaure ont dû être mis en place pour permettre à l'extraction du minerai de fer de se poursuivre. L'arrêt des exhaures minières, consécutives à la fermeture des sièges, a entraîné l'ennoyage du réservoir minier et a conduit à de nouvelles modifications du régime des eaux souterraines et superficielles. 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. D'anciens ouvrages miniers spécialement aménagés ont été retenus dans chaque réservoir comme points de débordement de la zone ennoyée, ou comme exutoires aux écoulements se produisant dans la zone située hors ennoyage.

L'arrêt progressif de l'exploitation minière dans le bassin ferrifère ces deux dernières décennies a ainsi conduit à de nouvelles modifications du régime des eaux souterraines et superficielles ainsi qu'à l'altération de leur qualité. Il en résulte des impacts lourds vis-à-vis des usages (alimentation en eau), des risques naturels (variation du débit des cours d'eau, remontée progressive de la nappe du Dogger) et des conditions d'alimentation des cours d'eau en période d'étiage.

Des réseaux de surveillance ont alors été constitués depuis les années 90 en vue d'assurer le suivi des phases d'ennoyage des différents réservoirs. Le suivi de ces réseaux, initialement confié aux exploitants miniers (suite à plusieurs arrêtés préfectoraux à l'ancien exploitant minier Lormines), a été transféré au BRGM à la demande de la DIREN et de l'Agence de l'eau Rhin-Meuse qui ont souhaité engager des actions de préventions et de protection de la ressource en complément de la surveillance prescrite par arrêtés préfectoraux. A partir de 2001 (date à laquelle Lormines a été dégagé de ses obligations concernant la surveillance des eaux souterraines) les points suivis par Lormines ont été intégrés au réseau de surveillance exploité par le BRGM. Ce réseau de surveillance est en constante évolution depuis sa création en 1995 : le suivi de certains points ayant pu être abandonné alors que d'autres points – beaucoup plus nombreux – ont au contraire été créés jusqu'en 2004. Un réseau de surveillance a ainsi été progressivement constitué jusqu'en 2014 où il comprenait 48 points. En 2014, une étude d'optimisation de la surveillance a réduit de 34 le nombre de points de suivi. Cette étude réalisée par le BRGM a permis de constituer deux réseaux de surveillance répondant à deux contextes réglementaires distincts : surveillance réglementaire pour la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE 2000/60/CE) et surveillance répondant aux enjeux du SAGE du bassin ferrifère lorrain (objectifs cités dans le Plan d'Aménagement et de Gestion Durable).

1.2. OBJECTIFS ET GOUVERNANCE DE L'OBSERVATOIRE

Créé début 2017, l'observatoire du bassin ferrifère lorrain a pour objectif général l'amélioration de la connaissance du fonctionnement hydrogéologique et chimique des réservoirs miniers ennoyés. Ces réservoirs constituent une réserve d'eau de plus de 450 millions de m³ (Mm³), aujourd'hui ciblée comme future ressource d'alimentation en eau potable pour la région messine dans le Schéma d'Alimentation en eau Potable du sillon Mosellan et comme ressource stratégique pour assurer l'autosuffisance en alimentation en eau potable du secteur du SAGE du bassin ferrifère. L'observatoire permet d'assurer le suivi de l'évolution qualitative et quantitative des eaux souterraines et superficielles au droit du bassin de Briey-Longwy pour répondre aux enjeux règlementaires pour la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE 2000/60/CE) et aux objectifs du SAGE du bassin ferrifère lorrain (objectifs cités dans le Plan d'Aménagement et de Gestion Durable).

Le programme de surveillance est formalisé par une convention trisannuelle 2017 – 2019 de partenariat BRGM – Agence de l'eau – Région Grand Est. La DREAL Grand Est est partenaire technique de cet observatoire. Les résultats des surveillances qualitative et quantitative menées dans le cadre de la DCE (AERM et la DREAL) et du suivi des eaux destinées à l'alimentation en eau potable (ARS) sont intégrées et valorisées dans le cadre de cet observatoire.

Les études et le programme d'actions mis en place dans le cadre de cette convention ont été validées à chaque étape du projet par le COPIL suite à leur présentation en réunion de démarrage (juin 2017), de bilan à mi-parcours (septembre 2018) et de fin de programme / définition des enjeux futurs (juin 2019). L'Agence Régionale de Santé a également été conviée aux réunions du COPIL en tant que producteur de données valorisées dans le cadre de ce programme et pour avis sur le programme analytique.

La surveillance mise en place dans le cadre de l'observatoire comprend l'acquisition des données et leur interprétation en termes de fonctionnement hydrogéologique et chimique et l'identification des enjeux futurs de surveillance. Elle porte sur les nappes des réservoirs miniers, de la formation ferrifère non exploitée, des calcaires du Dogger et des alluvions de la Fensch. Elle s'appuie sur un réseau opérationnel de surveillance constitué de 45 ouvrages dont de 18 qualimètres, 11 piézomètres et 5 stations hydrométriques mixtes (qualitatif et quantitatif) situées au niveau des points de débordements des réservoirs. 11 ouvrages sans surveillance correspondent aux ouvrages rétrocédés par les exploitants à l'AERM (puits minier du réservoir Nord) ou créé par l'AERM pour assurer le suivi des aquifères (piézomètres) puis écartés lors de l'étude d'optimisation du réseau de surveillance en 2014. Ces ouvrages sont conservés car ils constituent un pool de réserve.

1.3. PROGRAMME DE SURVEILLANCE

Les enjeux de la surveillance sont d'une part le suivi de l'évolution du niveau piézométrique des réservoirs miniers et des débits de débordement des trois principaux bassins (Nord, Centre et Sud) et d'autre part le suivi de l'évolution de leur qualité en éléments majeurs, composés azotés, certains éléments caractéristiques de l'eau d'ennoyage des réservoirs miniers et certains polluants potentiellement présents dans l'eau des réservoirs miniers.

L'envoyage du réservoir minier et la remontée de la surface piézométrique de la nappe du Dogger a entraîné la mise en communication hydraulique des aquifères en présence. Le réservoir minier envoyé conserve son rôle de drainage général de la nappe du Dogger. Ainsi sont surveillés dans le cadre de l'observatoire, outre le réservoir minier, l'aquifère du Dogger mis en communication hydraulique directe avec les réservoirs miniers au niveau des zones foudroyées et qui constituent les zones de recharge des réservoirs, les aquifères alluviaux présents au niveau des vallées en communication hydraulique avec l'aquifère du Dogger et la formation ferrifère non exploitée.

Le programme mis en place dans le cadre de la convention 2017/19 a consisté en la surveillance suivante :

- au niveau du réservoir minier :
 - o surveillance quantitative : niveaux piézométriques et débits de débordement ;
 - o surveillance qualitative : analyse « réduite » trimestrielle de l'eau en sortie du réservoir (point de débordement) et analyse « étendue » annuelle de l'eau minière en profondeur dans les galeries et en sortie du réservoir.
- au niveau de l'aquifère des calcaires du Dogger :
 - o surveillance quantitative : niveaux piézométriques ;
 - o surveillance qualitative : analyse « étendue » pluriannuelle.
- au niveau de l'aquifère alluvial de la Fensch :
 - o surveillance quantitative : niveaux piézométriques.
- au niveau de la formation ferrifère non exploitée :
 - o surveillance quantitative : niveaux piézométriques ;
 - o surveillance qualitative : analyse « étendue » pluriannuelle.
- au niveau des eaux superficielles du Conroy :
 - o surveillance quantitative : débit ;
 - o surveillance qualitative : mesure de la conductivité en continue.

Une analyse « étendue » correspond à la mesure de la concentration des composés suivants :

- paramètres physico-chimiques : température, conductivité, oxygène dissous et potentiel redox ;
- éléments majeurs : calcium, magnésium, sodium, potassium, sulfate, chlorure, hydrogénocarbonate ;
- composés azotés : ammonium, nitrate ;
- métaux : fer, manganèse, bore ;
- micropolluants organiques : hydrocarbures totaux, indice phénol ;
- produits phytosanitaires (campagne 2019).

Une analyse « réduite » correspond à la mesure de la concentration du paramètre sulfate et des paramètres physico-chimiques.

Les résultats des surveillances qualitative et quantitative menées dans le cadre de la Directive Cadre Européenne par l'AERM ainsi que du suivi des eaux destinées à l'alimentation en eau potable par l'ARS sont également intégrés et valorisés dans le cadre de ce projet.

Le tableau de l'illustration 1 recense les stations par bassin, aquifère surveillé et type de surveillance. Le code couleur s'applique aux différents aquifères surveillés : en fond vert les alluvions de la Fensch, sur fond bleu clair les calcaires du Dogger, sur fond orange la formation ferrifère non exploitée et en blanc le réservoir minier. La surveillance « hors observatoire » réalisée par d'autres organismes mais intégrée aux résultats apparaît sur fond gris dans la colonne type de surveillance du tableau. Les ouvrages sans surveillance sont signalés par leur champ vide pour les colonnes « surveillance ». Les points de débordement se distinguent par leur nom en caractère gras. La correspondance « dénomination », « indice BFL » et « code BSS » des points de surveillance est transmise dans le tableau de l'Annexe 1.

	DENOMINATION	COMMUNE	AQUIFERE_CAPTE	Surveillance	
				Quantitative	Qualitative
NORD	N15 - Pz Fensch aval	KNUTANGE	Alluvions de la Fensch	X	
	N16 - Pz Fensch amont	KNUTANGE	Alluvions de la Fensch	X	
	N10 - Pz. Errouville Brune	ERROUVILLE	Calcaires du Dogger		
	N12 - Pz Dogger supérieur	BOULANGE	Calcaires du Dogger	X	
	N13 - Pz Dogger inférieur	BOULANGE	Calcaires du Dogger	X	
	N20 - Pz Fontoy Nord	FONTOY	Calcaires du Dogger	X	
	N21 - Pz Fontoy Sud	FONTOY	Calcaires du Dogger	X	
	N1 - Pz François Grise	AUMETZ	Réservoir minier		
	N2 - Pz François Brune	AUMETZ	Réservoir minier		
	N3 - Pts Ferdinand Grise	TRESSANGE	Réservoir minier		AE
	N3bis - Puits Ferdinand Jaune	TRESSANGE	Réservoir minier		AE
	N5 - Puits Cheminée Sud Grise	BOULANGE	Réservoir minier	X	AE
	N6 - Puits Boulange Grise	BOULANGE	Réservoir minier		AE
	N7 - Pz Angevillers Grise	HAVANGE	Réservoir minier		AE
	N8 - Pts Havange Brune	FONTOY	Réservoir minier	X	
	N9 - Puits Bure Jaune Sauvage	TRESSANGE	Réservoir minier		
	N11 - Pz Cheminée Sud Zone Dépillée	BOULANGE	Réservoir minier - Zone foudroyée		
	N14bis - Gal. d'accès de Knutange (la Paix)	KNUTANGE	Réservoir minier	X	TR
N17 - Puits Errouville III	ERROUVILLE	Réservoir minier		AE	
N18 - Galerie de Metzange	THONVILLE	Réservoir minier		TR+AE	
BURBACH	Bu 1 galerie de Burbach	ALGRANGE	Réservoir minier		PE
CENTRE	C1 - Forage de la ferme de Mance	MANCE	Calcaires du Dogger		
	C11 - Pz P1 Saint Pierremont	AVRIL	Calcaires du Dogger	X	
	C12 - Pz P2 Saint Pierremont	AVRIL	Calcaires du Dogger	X	
	C6 - Pz A15 Avril amont	AVRIL	Calcaires du Dogger		
	C9 - Pz. M52 - Mance	MANCE	Calcaires du Dogger	X	PE
	C21 - Conroy - station hydrométrique	MOYEUVE-GRANDE	Cours d'eau Conroy	X	TR
	C10 - Pz Mance bis	MANCE	Formation ferrifère non exploitée		PE
	C7 - Pz A25 Avril aval	AVRIL	Formation ferrifère non exploitée		
	C8 - Pz. Chevillon artésien	AVRIL	Formation ferrifère non exploitée		AE
	C2 - Forage Route Blanche	FONTOY	Réservoir minier		AE
	C3 - Galerie de Bois d'avril	NEUFCHÉF	Réservoir minier	X	TR+AE
	C5 - Galerie du Woigot	MANCIEULLES	Réservoir minier	X	TR+AE
	C13 - Puits Amermont III	DOMMARY-BARONCOURT	Réservoir minier		AE
C14 - Puits Anderny II	TUCQUEGNIEUX	Réservoir minier		AE	
C16 - Pts St-Pierremont	MANCIEULLES	Réservoir minier	X	X	
HAYANGE SUD	Ha1 - Pz Hayange Sud	NEUFCHÉF	Réservoir minier		
SUD	S13 - Pz H1 Hatrize	HATRIZE	Calcaires du Dogger		PE
	S15 - Pz M2 Paradis aval	MOINEVILLE	Calcaires du Dogger	X	
	S16	VILLE-SUR-YRON	Calcaires du Dogger	X	
	S17 - Pz V19	VILLE-SUR-YRON	Calcaires du Dogger		
	S18 - Calcaires du Dogger à Verneville	VERNEVILLE	Calcaires du Dogger	X	
	S9 - Pz Briey A	BRIEY	Calcaires du Dogger		PE
	S10 - Pz Briey B	BRIEY	Formation ferrifère non exploitée		PE
	S11 - Pz Conroy aval	NEUFCHÉF	Formation ferrifère non exploitée		
	S23-PUITS RONCOURT I	RONCOURT	Réservoir minier		AE
	S4 - GALERIE DU CHENAL DE MOYEUVE	MOYEUVE-GRANDE	Réservoir minier	X	TR
	S14 - Pz M1 Paradis aval	MOINEVILLE	Réservoir minier - Zone foudroyée	X	
	S19 - Puits Auboué I	AUBOUÉ	Réservoir minier	X	
	S20 - Puits Droitauumont II	JARNY	Réservoir minier		X
	S2 - Forage Valleroy-Moineville 1	MOINEVILLE	Réservoir minier		X
	S22 - Puits Paradis V	MOINEVILLE	Réservoir minier		X
	S3 - For. Valleroy-Moineville 2	MOINEVILLE	Réservoir minier		X
	TR	trimestrielle réduite			
AE	annuelle étendue				
TR+AE	trimestrielle réduite et annuelle étendue				
PE	pluri-annuelle étendue				

Illustration 1 : Liste des stations des réseaux et type de surveillance

La carte de l'illustration 2 permet de localiser ces stations au sein des 3 bassins. Les étiquettes des stations suivies hors observatoire (DCE ou eau potable) possèdent un fond gris sur la carte.

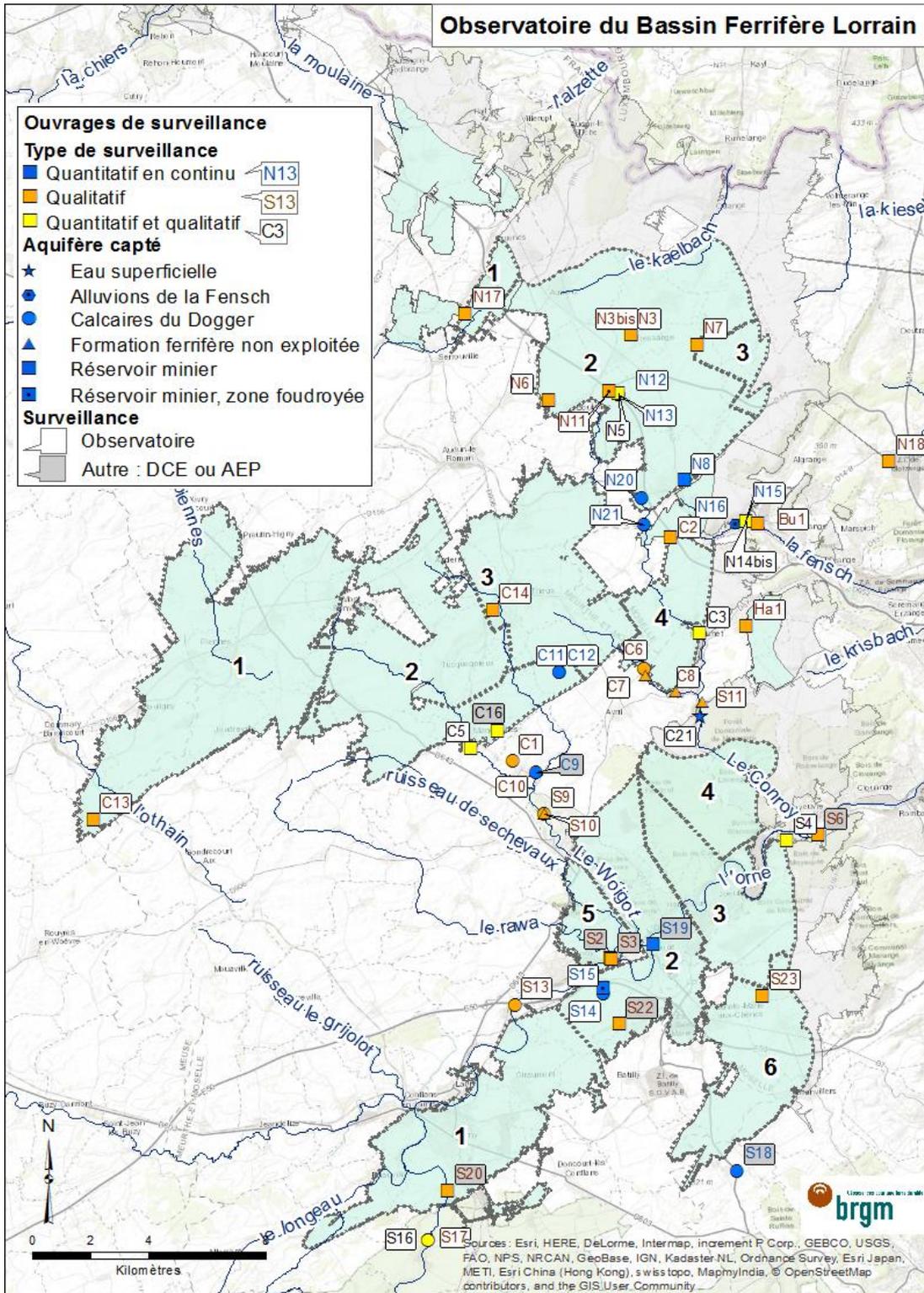


Illustration 2 : Carte d'implantation des stations des réseaux de surveillance

2. Gestion opérationnelle du réseau de surveillance

2.1. PRESTATIONS SOUS-TRAITEES

Certaines opérations du programme sont sous-traitées par le BRGM à des prestataires spécialisés.

Il s'agit de :

- la surveillance des points de débordement des 3 bassins, qui comprend les mesures de débits et la mise à jour des courbes de tarage, le prélèvement et l'analyse trimestrielle de l'ion sulfate ;
- la réalisation des analyses étendues annuelles ;
- l'équipement des stations piézométriques et hydrométriques.

Suite à l'analyse des offres après consultation des entreprises, le BRGM a attribué pour la durée de la convention la surveillance des points de débordement au bureau d'étude Gestion Hydro, la réalisation des analyses chimiques au laboratoire ALPA CAE et l'équipement des stations à HydroServices. En 2018, la filiale CAE, du groupe Alpa a été placée en redressement judiciaire en vue d'une cession et a été reprise par le groupe Carso. En 2019, l'AERM a pris en charge les analyses de la première campagne de recherche étendue de pesticides sur 19 points. Ces analyses ont été réalisées par le laboratoire EUROFINS.

2.2. CONVENTIONS D'ACCES AUX STATIONS

Les ouvrages de l'observatoire, équipés en station de mesure, appartiennent à des propriétaires privés ou publics. Les anciens puits miniers ont été rétrocédés par les exploitants miniers à des collectivités publiques comme les syndicats des eaux ou les communes. Certains forages ont été créés par l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse dans le cadre de la surveillance des aquifères. Les propriétaires des parcelles au droit desquelles sont implantés les ouvrages peuvent différer des propriétaires des ouvrages.

En 2018, l'accès et l'exploitation à des fins de réalisation de mesures sont contractualisés par une convention ou servitude de passage pour 26 stations. Le tableau de l'illustration 3 présente les stations avec convention. La correspondance « dénomination », « indice BFL » et « code BSS » des points de surveillance est transmise dans le tableau de l'Annexe 1. :

	INDICE BFL	TYPE OUVRAGE	NOM	COMMUNE	CONVENTION
NORD	N2	Piézomètre	François Brune	AUMETZ	occupation domaine public
	N3	Puits de mine	Puits Ferdinand Grise	TRESSANGE	occupation domaine public
	N3bis	Puits de mine	Puits Ferdinand Jaune	TRESSANGE	occupation domaine public
	N5	Puits de mine	Puits Cheminée Sud Grise	BOULANGE	occupation domaine public
	N6	Puits de mine	Puits Boulange Grise	BOULANGE	occupation domaine public
	N7	Piézomètre	Pz. Angevillers Grise	HAVANGE	contrat de bail privé
	N8	Puits de mine	Puits Havange Brune	FONTOY	contrat de bail privé
	N9	Puits de mine	Puits Bure Jaune Sauvage	TRESSANGE	occupation domaine public
	N10	Piézomètre	Errouville Brune	ERROUVILLE	contrat de bail privé
	N12	Piézomètre	Pz. Chem. Sud Dogger inf.	BOULANGE	contrat de bail privé
	N13	Piézomètre	Pz. Chem. Sud Dogger sup.	BOULANGE	contrat de bail privé
	N14bis	Galerie	Gal. des eaux de Knutange (la Paix)	KNUTANGE	contrat de bail privé
	N15	Piézomètre	Pz. Fensch aval 1	KNUTANGE	contrat de bail privé
	N16	Piézomètre	Pz. Fensch amont 2	KNUTANGE	occupation domaine public
N17 ou N10bis	Puits de mine	Puits Errouville III	ERROUVILLE	occupation domaine public	
CENTRE	C3	Galerie	Gal. de Bois d'Avril	NEUFCHÉF	servitude de passage
	C10	Piézomètre	Pz. Mance bis	MANCE	occupation domaine public
	C11	Piézomètre	Pz. P1 - St-Pierremont	AVRIL	servitude de passage
	C12	Piézomètre	Pz. P2 - St-Pierremont	AVRIL	servitude de passage
SUD	S4	Galerie	Gal. du chenal de Moyeuve	MOYEUVE-GRAN	servitude de passage
	S9	Piézomètre	Pz. Briey A	BRIEY	servitude de passage
	S10	Piézomètre	Pz. Briey B	BRIEY	servitude de passage
	S11	Piézomètre	Pz. Conroy aval	NEUFCHÉF	servitude de passage
	S13	Piézomètre	Pz. H1 - Hatrize	HATRIZE	servitude de passage
	S16	Piézomètre	Pz. V105 - Ville / Yron	VILLE-SUR-YRON	contrat de bail privé
	S17	Piézomètre	Pz. V19 - Ville / Yron	VILLE-SUR-YRON	contrat de bail privé

Illustration 3 : Liste des stations de l'observatoire avec convention

Des travaux de recherche des propriétaires ont été menés en 2018 pour les 20 stations sans convention. Ils ont abouti à l'identification des propriétaires des parcelles privés ou publics (Illustration 4 : Liste des stations sans convention avec identification des propriétaires) et constituent une base pour la préparation des futures conventions d'utilisation d'un puits ou d'un piézomètre pour le suivi piézométrique et qualitatif de l'observatoire.

	INDICE BFL	TYPE OUVRAGE	NOM	COMMUNE	Type
NORD	N1	Piézomètre	François Grise	AUMETZ	privé
	N11	Piézomètre	Pz. Cheminée Sud	BOULANGE	public
	N18	Galerie	Gal. de Metzange (Charles)	THIONVILLE	public
	N20	Piézomètre	Pz. Fontoy nord	FONTOY	privé
	N21	Piézomètre	Pz. Fontoy sud	FONTOY	public
BURBACH	Bu1	Galerie	Gal. de Burbach	ALGRANGE	privé
CENTRE	C1	Forage	For. Ferme de Mance	MANCE	privé
	C2	Forage	For. Route Blanche	FONTOY	public
	C5	Galerie	Gal. du Woigot	MANCIEULLES	privé
	C6	Piézomètre	Pz. A15 - Avril amont	AVRIL	public
	C7	Piézomètre	Pz. A25 - Avril aval	AVRIL	public
	C8	Piézomètre	Pz. Chevillon artésien	AVRIL	public
	C13	Puits de mine	Puits Amermont III	DOMMARY-BARONCOURT	public
	C14	Puits de mine	Puits Anderny II	TUCQUEGNIEUX	public
	C16	Puits de mine	Pts St-Pierremont	MANCIEULLES	public
C21	Cours d'eau	Conroy - station hydrométrique	MOYEUVE-GRANDE	public	
SUD	S14	Piézomètre	Pz. M1 - Paradis aval	MOINEVILLE	privé
	S15	Piézomètre	Pz. M2 - Paradis aval	MOINEVILLE	privé
	S23	Puits de mine	Puits Roncourt I	RONCOURT	public
HAYANGE SUD	Ha1	Piézomètre	Pz. Hayange Sud	NEUFCHÉF	privé

Illustration 4 : Liste des stations sans convention avec identification des propriétaires

2.3. TRAVAUX D'AMENAGEMENT ET RENOUVELLEMENT DES EQUIPEMENTS

Au cours de la convention 2017 - 2019, le parc des stations a été modernisé par le renouvellement de l'équipement de six stations piézométriques, 3 stations hydrométriques et deux préleveurs de fond. La télétransmission des données a été mise en place au niveau des stations piézométriques et hydrométriques.

Par ailleurs, on déplore la perte de matériel et de données suite à des actes de vandalismes commis sur le réseau.

2.3.1. Stations piézométriques et hydrométriques

Le matériel de mesure de six stations piézométriques et de trois stations hydrométriques a été remplacé entre juillet 2017 et novembre 2018. Ce remplacement a été l'occasion de mettre en place la télétransmission des données de mesure. Dorénavant, les données de mesure sont transmises via le GPRS (*General Packet Radio Service*) quotidiennement sur un compte ftp. Des supports spécifiques ont été dimensionnés et adaptés à la configuration de chaque station et le matériel de télétransmission est déporté sur un mât de support.

Ces aménagements concernent :

- les stations piézométriques des ouvrages C11 d'indice national 01373X0132/P01, C12 d'indice national 01373X0133/P02, N20 - code BSS 01137X0160/F, N21 - code BSS 01137X0159/F et S15 - code BSS 01377X0212/M02 qui captent les calcaires du dogger à Saint-Pierremont, Fontoy et Moineville ainsi que la station S14 - code BSS 01377X0211/M01 qui capte le réservoir minier dans sa partie foudroyée à Moineville ;
- les points de débordements C3 – galerie de Bois d'Avril à Neufchef et C5 – Galerie du Woigot à Mancieulles, les deux points de débordement du réservoir Centre. La station C5 a été équipée d'une sonde multiparamètres qui enregistre en continu la hauteur d'eau (convertie en débit grâce à une courbe de tarage vérifiée et éventuellement actualisée chaque année), la température et la conductivité ;
- la station hydrométriques C21 – station du Conroy à Moyeuve-Grande équipée d'une sonde multiparamètres qui enregistre en continu la hauteur d'eau (convertie en débit), la température et la conductivité.

L'illustration 5 présente une planche photographique des travaux d'aménagement de ces stations.

Photo de la station avant travaux



Sonde Dipper et module de télétransmission en place



C11 après travaux



C12 après travaux



N20 : Photo avant travaux



N20 : Photo après travaux d'aménagement



N21 : Photo avant travaux



N21 : Photo après travaux d'aménagement



S14 : Photo avant travaux



S14 : Photo après travaux d'aménagement



S15 : Photo avant travaux



S15 : Photo après travaux d'aménagement

Illustration 5 : Photographies avant et après aménagement des stations N20, N21, S14 et S15

Les photographies de l'illustration 6 présentent les équipements mis en place pour les stations hydrométriques des points de débordement et du Conroy.



Station du Conroy



Équipement de la station du Voigot





Photo avant travaux galerie du Bois d'Avril



Photo après travaux d'aménagement



Station du Conroy



Illustration 6 : Equipement de la station du Woigot à Mancieulles

2.3.2. Préleveur de fond

Deux préleveurs de fond ont été remplacés en octobre 2018 : le premier dans le puits Boulange Grise (N6) dont le tube usé avait rompu et le second dans le puits Anderny II à Tucquenieux (C14) dont le préleveur était colmaté. Les préleveurs, maintenus en surface par des pinces d'ancrage, ont été installés à 195 m de profondeur pour le puits C14 et 220 m de profondeur pour le puits N6. La photo de l'illustration 7 présente l'équipement installé au droit du puits N6.



Illustration 7 : Renouvellement préleveur de fond du puits N6 – puits Boulange grise

2.3.3. Actes de vandalisme

Au cours de l'année 2018, on déplore deux actes de vandalisme sur le réseau de surveillance affectant une sonde piézométrique et un préleveur de fond.

Le vol de la sonde piézométrique installée au droit de la station S14 - Pz M1 Paradis aval - Réservoir minier zone foudroyée à Moineville a entraîné une perte de données du 08/02/2018 au 12/07/2018 et a nécessité une nouvelle installation réalisée le 12/07/2018.

La perte du préleveur de fond installé en septembre 2018 au droit du puits N6 - Puits Boulange Grise – réservoir minier à Boulange a empêché son échantillonnage pour une campagne d'analyse et a nécessité une nouvelle installation réalisée en février 2019.

2.4. ACQUISITION ET BANCARISATION DES DONNEES

2.4.1. Surveillance quantitative

a) Données piézométriques

Des appareils de mesure automatique des niveaux piézométriques (sondes pression) installés sur les stations permettent d'acquérir une mesure en continu. Seule est bancarisée la valeur piézométrique maximale journalière afin de minimiser l'effet d'éventuels pompages.

Six maintenances préventives semestrielles ont été réalisées entre 2017 et 2019, au mois de mai et novembre. Au cours de ces maintenances, un contrôle du niveau piézométrique a été réalisé avec reparamétrage de la sonde enregistreuse si une divergence entre les deux niveaux était observée. Les batteries des appareils sont vérifiées et changées si besoin et de façon systématique pour les appareils de télétransmission.

Les données ont été validées et bancarisées dans la banque de données ADES à l'issue de chaque maintenance préventive.

b) Débit de débordement

Les débits de débordement sont mesurés en sortie des réservoirs Nord, Centre et Sud au niveau de 4 stations. Ces stations sont réparties comme suit :

- *Réservoir Nord :*

Le débit de débordement de la galerie des eaux (N14 bis) et de la Paix est obtenu par calcul à partir du niveau piézométrique du réservoir mesuré au puits Havange (N8) ou au puits Cheminée Sud à Boulange (N5). Les données de hauteurs d'eau enregistrées en continu sont converties en débits grâce à une courbe de tarage établie en 2005 par modélisation avant le débordement du réservoir Nord et confirmée chaque fois que cela a été possible par quelques jaugeages manuels ultérieurs.

- *Réservoir Centre :*

Des mesures de débits sont effectuées au droit des 2 points de débordement C5 – galerie du Woigot et C3 – galerie de Bois d'Avril et sur le cours d'eau du Conroy au niveau de la station hydrométrique C21. Située à l'aval de la confluence avec le Chevillon, la station hydrométrique est équipée d'un capteur de niveau d'eau et de conductivité et permet d'effectuer les calculs de débits de fuite du réservoir Centre.

Les débits sont obtenus par mesure de la hauteur d'eau convertie par calcul en débit par une courbe de tarage. Une courbe de tarage est établie pour chaque station et mise à jour annuellement. Des sections ont été aménagées avec des seuils de débordement afin de garantir un écoulement laminaire au droit de la section de mesure. Des jaugeages au micromoulinet (Illustration 8) sont effectués à une fréquence semestrielle pour ajuster les courbes de tarage et prendre en compte l'évolution des sections de mesure.



Illustration 8 : Jaugeage au micromoulinet du Conroy

L'acquisition des hauteurs d'eau s'effectue automatiquement au pas de temps horaire grâce à des stations hydrométriques. Ces stations sont installées au droit de la section aménagée. Une échelle limnimétrique permet le contrôle visuel de la hauteur d'eau.

- *Réservoir Sud :*

L'accès à la station S4 - galerie du chenal de Moyeuve-Grande est très contraint pour des raisons de sécurité : en période de hautes eaux en raison d'un débit et d'une hauteur d'eau trop élevés, et en période d'étiage en raison de la présence de gaz dans la galerie. Du fait de ces difficultés d'accès, l'installation d'une sonde de mesure de hauteur d'eau est délicate et des problèmes récurrents de maintenance sont apparus.

Durant la période de la convention, 60 mesures de débit en sortie du chenal ont été réalisées. En fonction des conditions hydrauliques, deux modes de mesures sont employés : mesures au micro-moulinet en période de basses eaux et mesure à effet Doppler (Illustration 9) en périodes de hautes eaux. Les mesures de débits ont été réalisées avec une fréquence plus élevée en période de hautes eaux afin de compléter cette gamme de valeur pour affiner la corrélation entre débits et niveau piézométrique du réservoir.



Illustration 9 : Mesure de débit par bateau Doppler en sortie de galerie de Moyeuve-Grande

2.4.2. Surveillance Qualitative

Le protocole d'échantillonnage est adapté au contexte de chaque station :

- prélèvement direct aux points de débordement et dans le cours d'eau ;
- prélèvement in-situ sur les ouvrages profonds des réservoirs miniers (puits de mine, piézomètre, forage).

Le prélèvement direct est réalisé par une canne ou au seau en fonction du contexte de la station. Ce système est illustré par les photographies de l'illustration 10.



Illustration 10 : Prélèvements directs sur les stations du Woigot et de la Paix

Les paramètres physico-chimiques : pH, conductivité et oxygène dissous sont analysés in-situ au moment du prélèvement. Ces prélèvements et analyses ont été confiés à un sous-traitant équipé du matériel de mesure adéquat.

Le prélèvement in-situ sur les ouvrages profonds est un prélèvement direct sans purge préalable à la profondeur désirée. Ce type de prélèvement utilise le système pneumatique bitube développé par le BRGM. Le préleveur de fond est installé à l'intérieur de l'ouvrage à la profondeur désirée (ouverture de galerie dans un ancien puits minier ou crépine dans un forage) pour l'échantillonnage de l'eau du réservoir (Illustration 11). Grâce à la mise en œuvre de cycle compression – décompression à l'aide d'azote sous pression, l'eau échantillonnée est remontée en surface. Le principe de fonctionnement de ce système est développé dans le rapport BRGM/RP-63469 FR (Ollagnier, 2014).



Illustration 11 : Exemple de préleveur de fond

2.4.3. Bancarisation des données

Les réseaux de l'observatoire relatifs aux suivis quantitatif et qualitatif sont déclarés sur ADES (Accès aux Données sur les Eaux Souterraines) sous les codes Sandre suivant :

- 0200000018 : réseau de suivi quantitatif des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain ;
- 0200000013 : réseau de suivi qualitatif des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain.

Les données de surveillance sont bancarisées dans la banque ADES et sont consultables et téléchargées sur le site public www.ades.eaufrance.fr.

Le Système d'information pour la gestion des eaux souterraines du bassin Rhin-Meuse (SIGES) fournit un accès simplifié à ces données ainsi qu'à un grand nombre d'autres données relatives aux eaux souterraines du bassin Rhin-Meuse (sigesrm.brgm.fr).

3. Résultat de la surveillance 2017 - 2019

3.1. SURVEILLANCE QUANTITATIVE

L'ennoyage des réservoirs miniers ainsi que les interactions entre les aquifères en jeu (calcaires du Dogger et nappes alluviales) sont décrits dans la chronique hors-série n°2 du bassin ferrifère lorrain disponible sur le site du SIGES Rhin-Meuse (<http://sigesrm.brgm.fr/>). Ces éléments sont repris en partie ci-dessous.

La remontée du niveau d'ennoyage des réservoirs est 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. Le niveau du réservoir est contraint par la cote du seuil de son point de débordement le plus bas. Les points de débordement étant aménagés pour laisser passer des débits de crue très importants, ils limitent la possibilité d'élévation du niveau du réservoir. Par ailleurs, le niveau piézométrique du réservoir minier est presque identique en tout point du réservoir (très faible gradient piézométrique) en raison de la très faible résistance à l'écoulement de l'eau dans le réseau de galerie.

Parallèlement, 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'est que partielle (puisque la remontée du niveau d'un réservoir est limitée par l'existence des points de débordement) et 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).

3.1.1. Réservoir Nord

Le niveau du réservoir minier est contrôlé par ses deux points de débordements situés à la cote 207,57 m NGF pour la galerie des eaux (N14bis) et 208,85 m NGF pour la galerie de la Paix. Ces deux galeries superposées et parallèles sont en communication par l'intermédiaire d'une petite galerie de liaison (réservoir interne). En période de basses eaux, toute l'eau du réservoir Nord déborde par la galerie des eaux. En période de moyennes eaux, lorsque le niveau du réservoir dépasse la cote 208,85 m NGF, soit pour un débit de débordement supérieur à 2,3 m³/s, la galerie des eaux se déverse dans la partie aval de la galerie de la Paix par l'intermédiaire du déversoir interne et les deux galeries de débordement fonctionnent simultanément. Ces eaux débordent vers la Fensch à Knutange. Le schéma du dispositif de débordement est présenté ci-dessous :

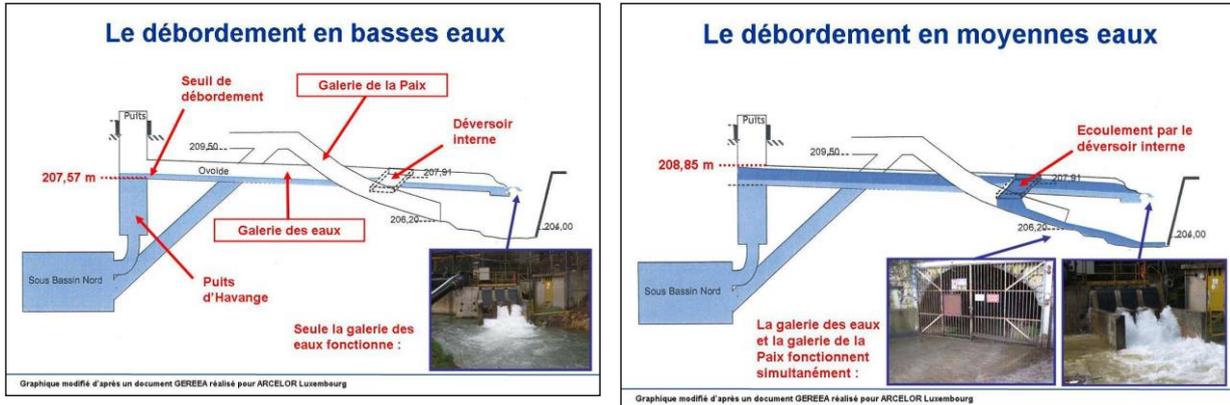


Illustration 12 : Schéma du dispositif de débordement du réservoir Nord (Vaute, 2007)

Ce fonctionnement est mis en évidence dans l'illustration 13 qui présente les chroniques acquises depuis l'ennoyage (2008) à fin 2019 au droit des stations :

- N14bis - point de débordement de la galerie des eaux et de la Paix représenté par la courbe rouge avec une mesure de débit en m^3/s ;
- N18 – point de débordement à la galerie de Metzange représenté par la courbe orange avec une mesure de débit en m^3/s ;
- N5 - puits Cheminée Sud à Boulange de code BSS 01137X0175/PTS-5 représenté par la courbe bleue avec une mesure de niveaux du réservoir en m NGF.

Le graphique de l'illustration 14 présente les chroniques piézométriques du réservoir mesurées pour les années 2017, 2018 et 2019 à la station N5 comparativement aux valeurs mensuelles maximales, minimales et moyennes enregistrée depuis l'ennoyage (2008) jusqu'à l'année n-1 (2018).

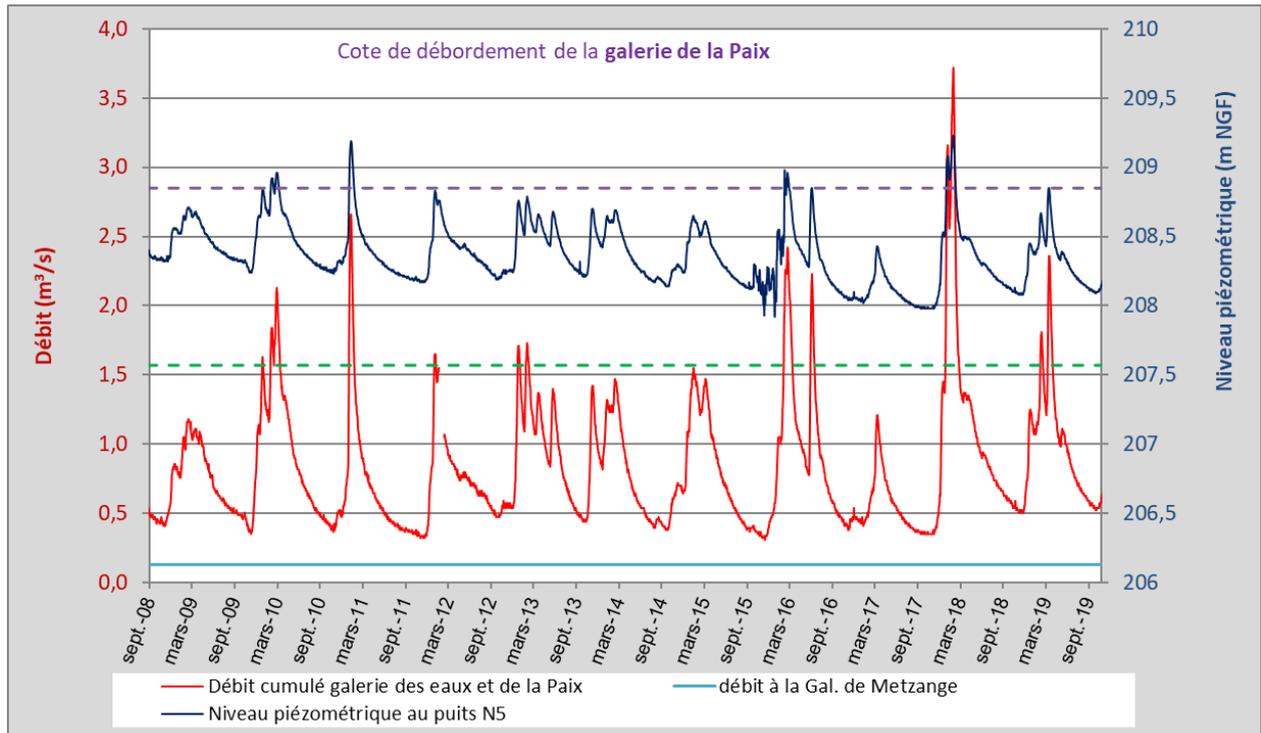


Illustration 13 : Evolution des niveaux du réservoir Nord depuis la fin de l'ennoyage

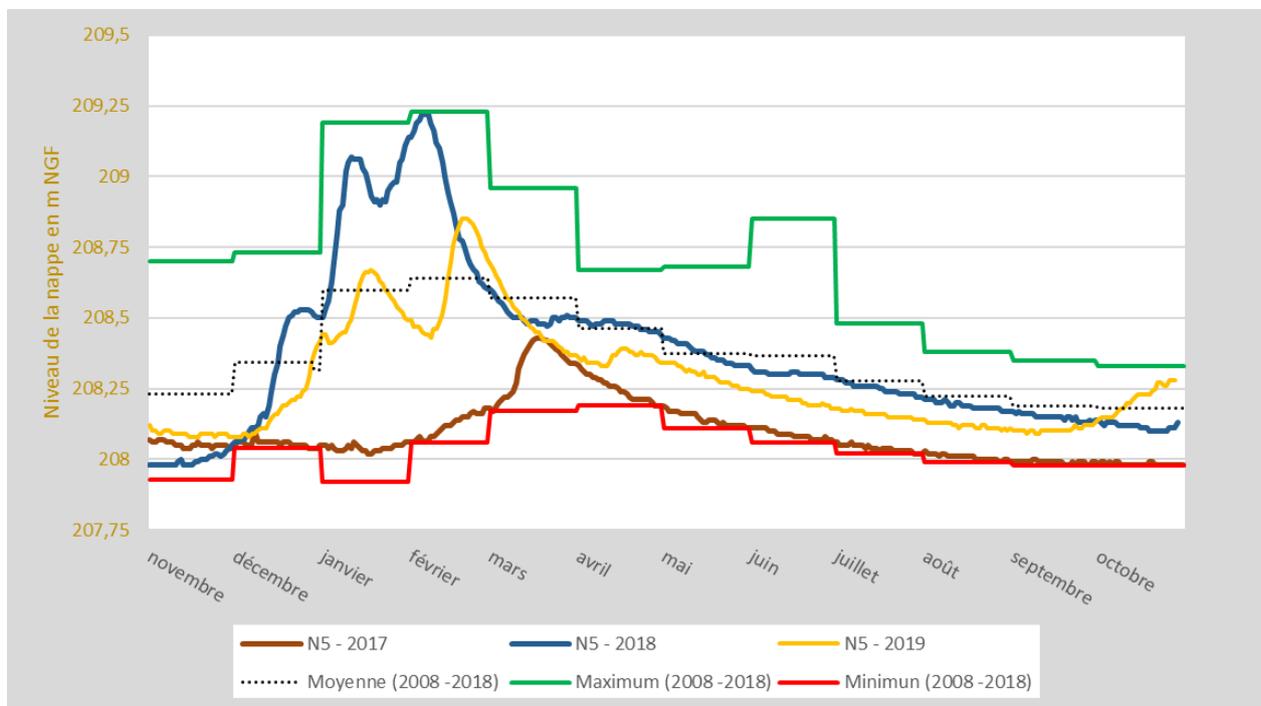


Illustration 14 : Chroniques 2017, 2018 et 2019 du réservoir Nord et statistiques mensuelles

Comme on l'a dit, le niveau du réservoir minier est contrôlé par ses deux points de débordement (galerie des eaux et galerie de la Paix) situés aux cotes 207,57 m NGF et 208,85 m NGF et qui évacuent les eaux vers la Fensch.

Le niveau du réservoir et le débit de débordement correspondant fluctuent de manière saisonnière, selon les apports de la pluie efficace, avec une période de hautes eaux (recharge) de décembre à mars et de basses eaux (vidange) d'avril à novembre. A partir des mois d'octobre à décembre selon les années, les pluies deviennent efficaces avec des conditions favorables à l'infiltration des eaux vers les nappes souterraines, la tendance s'inverse et le niveau du réservoir entame sa remontée annuelle.

Depuis la fin de l'ennoyage, le niveau piézométrique du réservoir minier évolue entre les cotes 207,9 et 209,3 mètres avec un battement de 1,4 mètres et un niveau moyen situé à 208,4 mètres.

Les trois années 2017, 2018 et 2019 présentent trois courbes différentes d'évolution du niveau du réservoir. L'année 2017 présente des niveaux très bas, inférieurs aux minimums mensuels, sur 9 mois consécutifs suite à une recharge tardive et faible et un étiage sévère de mai à décembre. A contrario, après une très bonne recharge hivernale, le réservoir a débuté l'année 2018 avec un niveau très haut, supérieur aux maximales enregistrées sur la chronique pour le mois de février puis a aussitôt entamé sa vidange jusqu'à la fin de l'année sans nouveaux apports. En 2019, la recharge hivernale a été peu abondante mais est restée active jusqu'en mars, permettant de maintenir le réservoir à des niveaux proches de la moyenne à modérément bas.

Le réservoir Nord bénéficie d'une bonne recharge à travers la nappe des calcaires du Dogger sus-jacente qui l'alimente. Le temps de réaction du réservoir à une pluie efficace est de l'ordre de 10 jours. L'évolution du niveau du réservoir au cours de l'année hydrologique dépend principalement des conditions hivernales de recharge combinant intensité (faible / abondante) et temporalité (précoce / tardive, courte / prolongée).

Au cours de la période 2017 – 2019, le volume d'eau qui a débordé du réservoir Nord est de 96 millions de m³ (19 millions de m³ en 2017, 41 millions de m³ en 2018 et 36 en millions de m³ en 2019).

N.B. Les calculs prennent en compte le débordement de l'exutoire principal de la galerie de la Paix et le débordement de la galerie Metzange (N18) dont le débit est constant et égal à 130 l/s.

3.1.2. Réservoir Centre

Le dispositif de débordement du réservoir Centre est constitué de 3 exutoires (Illustration 15). Le débordement principal du réservoir est assuré par la galerie du Woigot (C5 à Mancieulles) qui se situe à la cote la plus basse de tous les exutoires : 222,74 m NGF. Le réservoir possède deux autres exutoires : la galerie du Bois d'Avril (C3 à Neufchef), destinée à évacuer vers le Conroy les eaux du réservoir en période de hautes eaux (à partir de la cote 223,15 m NGF), et la galerie de Fontoy, qui peut évacuer des eaux vers la Fensch en période de très hautes eaux (à partir de la cote 223,5 m NGF).

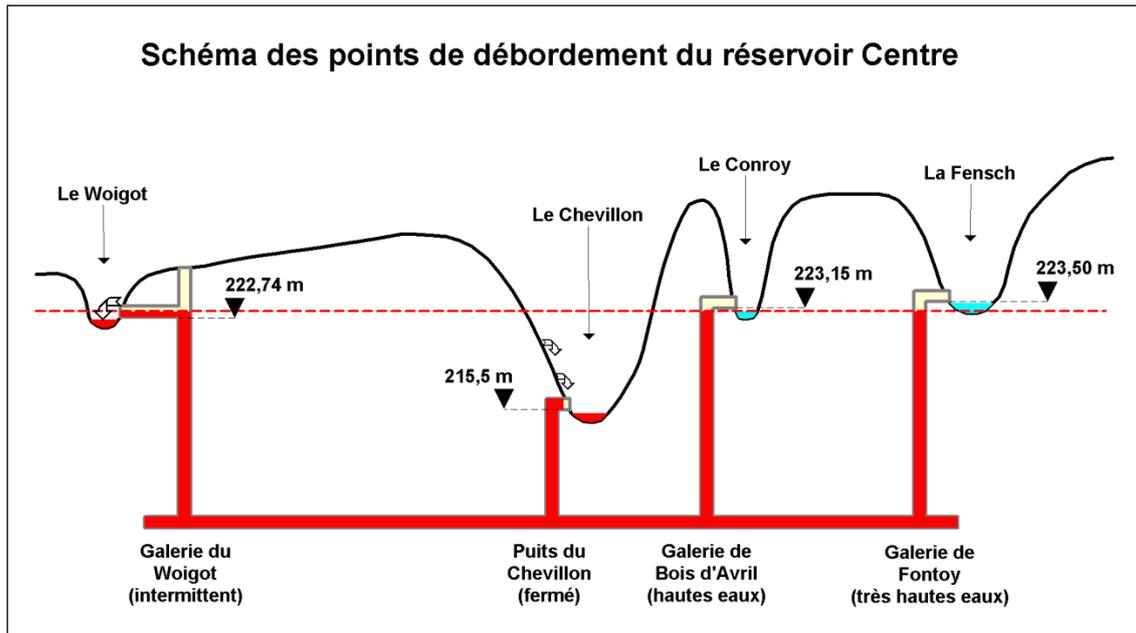


Illustration 15 : Schéma très simplifié du dispositif de débordement du réservoir Centre (Vaute, 2007)

L'illustration 16 présente les chroniques acquises ces dernières années sur les points de débordements et sur le niveau du réservoir mesuré au puits St-Pierremont II. Les fuites du réservoir ont été calculées et sont également intégrées au graphique. On distingue les stations :

- C5 - point de débordement de la galerie du Woigot avec un déversement dans le cours d'eau du Woigot représenté par la courbe orange ;
- C3 - point de débordement de la galerie du Bois d'avril avec un déversement dans le cours d'eau du Conroy représenté par la courbe violette ;
- C16 - puits Saint Pierremont II représenté par la courbe bleue correspondant au niveau du réservoir en m NGF ;
- fuites du réservoir Centre calculées à partir du débit et de la conductivité du Conroy mesurés à la station C21, de la conductivité de la nappe des calcaires du Dogger et de la conductivité du réservoir minier mesurée à la station C5.

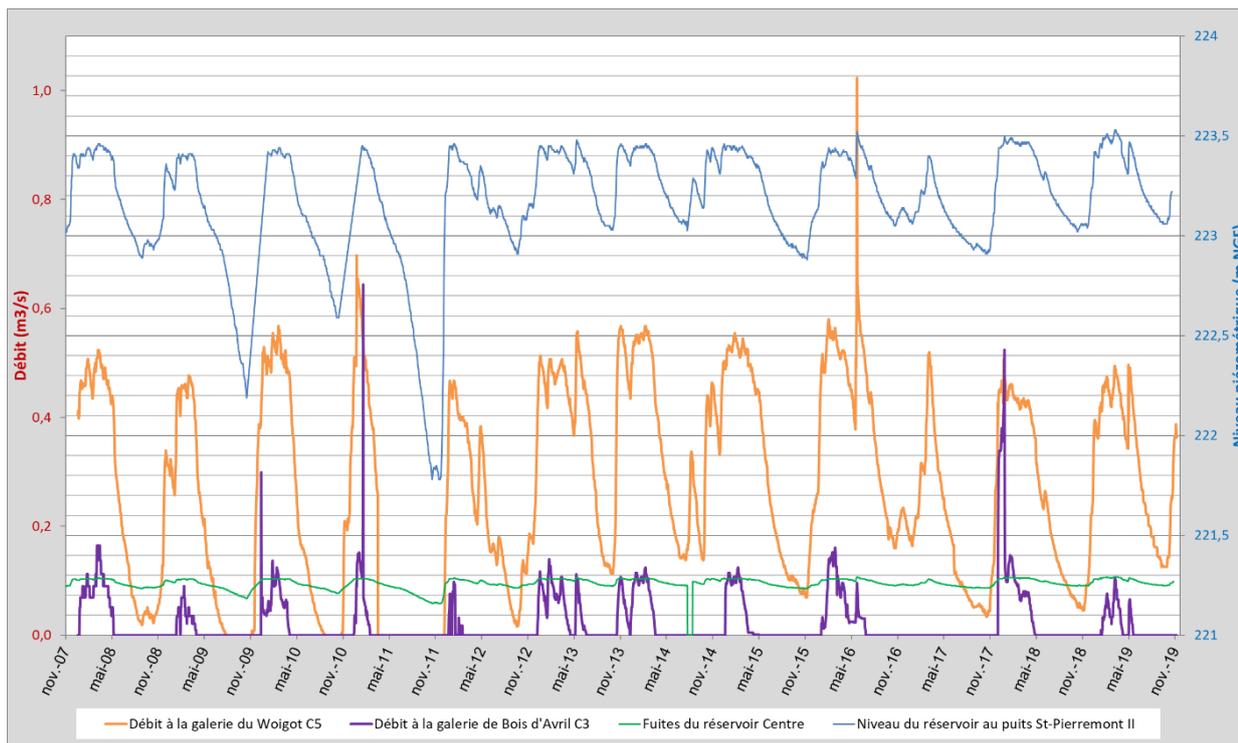


Illustration 16 : Evolution des niveaux du réservoir Centre depuis la fin de l'ennoyage

Le graphique de l'illustration 17 : Chroniques 2017, 2018 et 2019 du réservoir Centre et statistique mensuelle présente les chroniques piézométriques 2017, 2018 et 2019 du réservoir Centre mesurée au puits Saint-Pierremont (C16) et les compare aux valeurs mensuelles maximales, minimales et moyennes enregistrées depuis l'ennoyage (2003) jusqu'à l'année n-1 (2018).

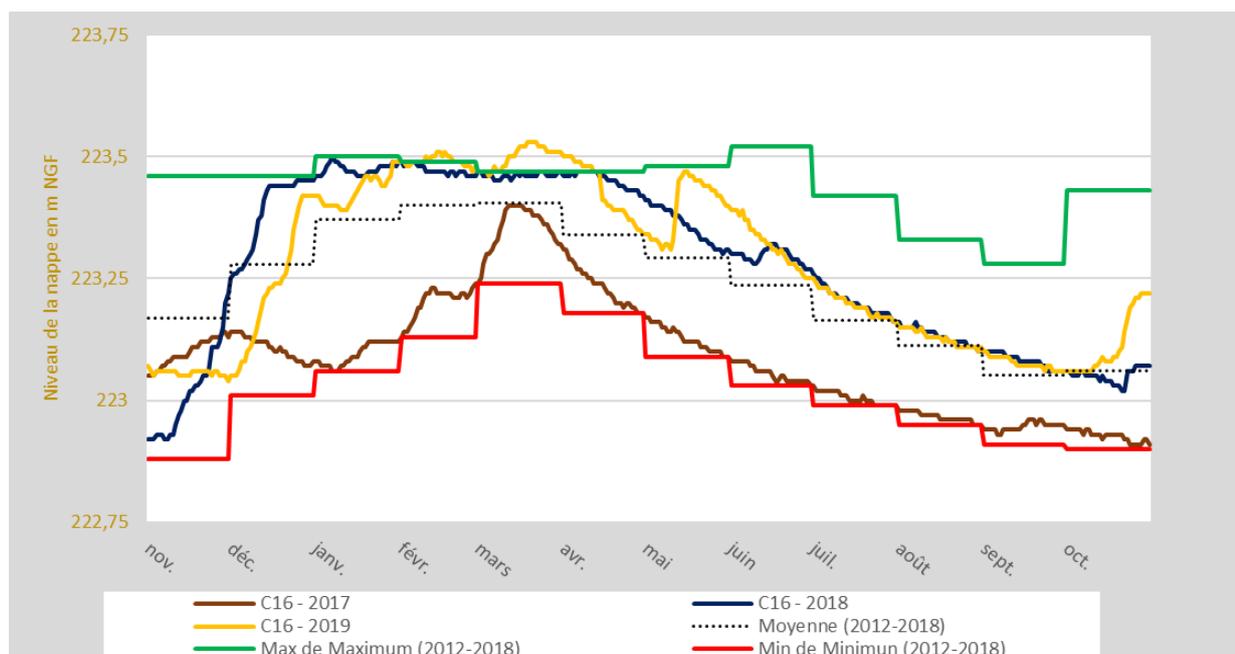


Illustration 17 : Chroniques 2017, 2018 et 2019 du réservoir Centre et statistique mensuelle

Jusqu'en 2018, le réservoir minier a été sollicité par pompage en soutiens d'étiage sur le ruisseau de la Vallée et jusqu'en 2014 sur le Woigot. Ainsi 2019 montre la première année d'arrêt du soutien d'étiage par le réservoir minier. Le volume du soutien d'étiage n'étant pas connu, il n'est pas possible de faire une étude comparative interannuelle entre 2017/2018 et 2019.

Le réservoir minier présente une grande inertie. Le battement observé est de 0,64 m entre les hautes et basses eaux. La vidange du réservoir est plus lente que celle du réservoir Nord et la période de hautes eaux est plus longue et se prolonge jusqu'à fin mai. Le temps de réaction du réservoir Centre à une pluie efficace est également plus grand. Malgré une superficie importante du réservoir (126 km²), la recharge par la nappe des calcaires du Dogger est limitée par la présence, sur sa partie ouest, d'une épaisse couverture de formation marneuse peu perméable (marnes à rhynchonelles du Bathonien) favorisant le ruissèlement au détriment de l'infiltration des pluies efficaces.

Les écoulements à la galerie du Bois d'avril (C3) sont interrompus en période de basses eaux, généralement entre mi-mai à mi-novembre. Les écoulements à la galerie du Woigot (C5) varient de façon similaire à l'évolution du niveau piézométrique du réservoir.

Au cours de la période 2017 – 2019, le volume d'eau qui a débordé du réservoir Centre est de 34 millions de m³ (6,5 millions de m³ en 2017, 16,5 millions de m³ en 2018 et 11 en millions de m³ en 2019).

N.B. Les calculs prennent en compte le débordement de l'exutoire principal du Woigot (C5), de l'exutoire secondaire de Bois d'Avril (C3) et les fuites du réservoir Centre. Les débits de débordement de la galerie de Fontoy ne sont pas intégrés car ils ont été négligeables ou nuls.

3.1.3. Réservoir Sud

L'eau de recharge des réservoirs miniers alimente d'abord l'aquifère calcaire du Dogger sus-jacent, puis s'infiltre dans les réservoirs miniers essentiellement par l'intermédiaire des zones foudroyées.

Ce fonctionnement est mis en évidence dans l'illustration 18 : Evolution des niveaux du réservoir Sud qui présente les chroniques acquises depuis la mise en place d'un nouvel exutoire en 2003 (galerie du chenal de Moyeuivre), au droit des stations :

- S15 – piézomètre Paradis aval M2 qui capte les calcaires du Dogger, représenté par la courbe bleue ;
- S14 – piézomètre Paradis aval M1 qui capte le réservoir minier dans sa partie foudroyée, représenté par la courbe verte ;
- S19 – Puits Auboué I qui capte le réservoir minier, représenté par la courbe noire.

Le graphique de l'illustration 19 présente les chroniques piézométriques 2017, 2018 et 2019 du réservoir Sud mesurées à la station S14 et les compare aux valeurs mensuelles maximales, minimales et moyennes enregistrées depuis la fin de l'ennoyage jusqu'à l'année n-1 (2018).

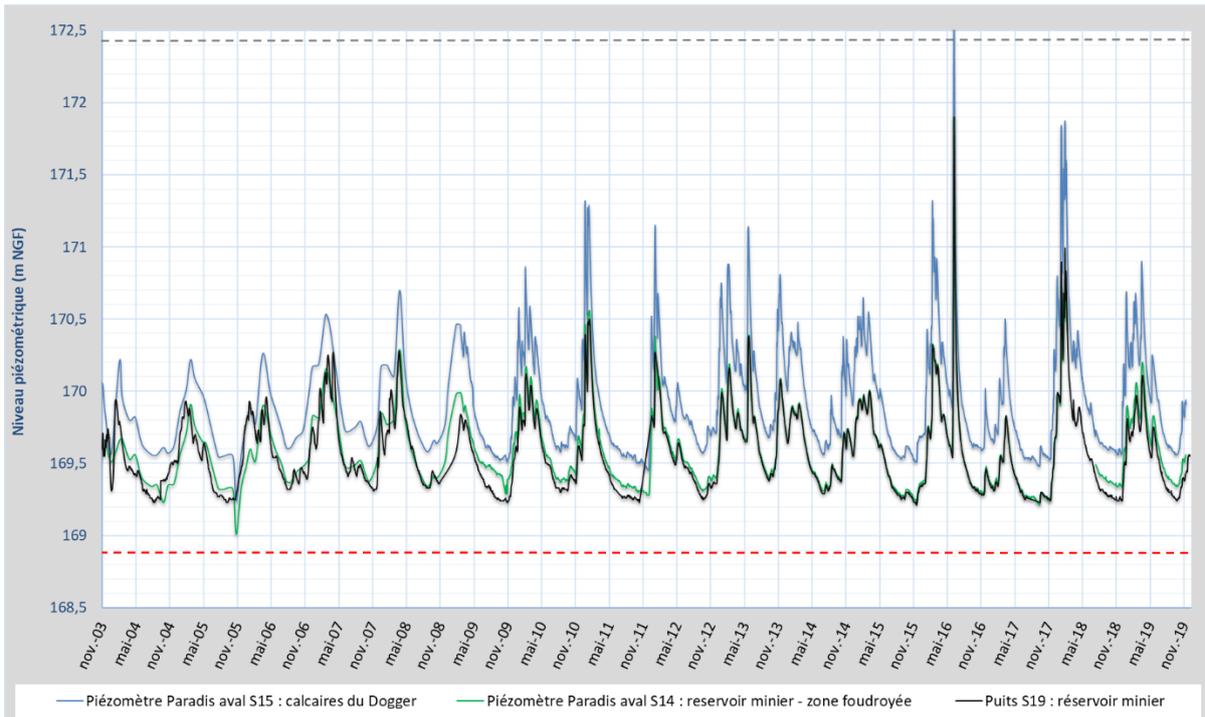


Illustration 18 : Evolution des niveaux du réservoir Sud

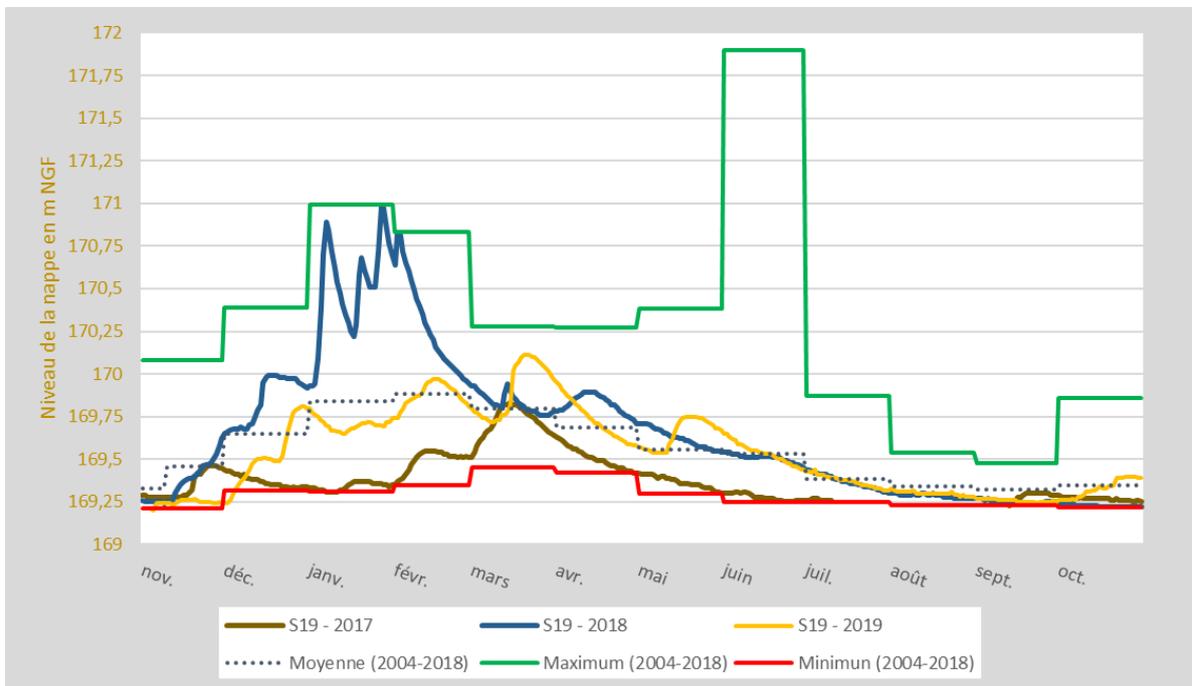


Illustration 19 : Chroniques 2017, 2018 et 2019 du réservoir Sud et statistique mensuelle

Les chroniques mettent en évidence une similitude de comportement entre l'aquifère des calcaires du Dogger mesuré au point S15 et celui du réservoir minier (S19 et S14). Les chroniques présentent les mêmes phases de variations entre les périodes de recharge et les périodes d'étiage avec des amplitudes similaires. Le battement de la nappe est légèrement plus important pour l'aquifère des calcaires du Dogger au point S15, de l'ordre de 3 m, que pour le réservoir minier qui est de 2,8 m.

Les mesures des niveaux piézométriques effectuées sur le doublet de forages S14 et S15 ainsi que la comparaison avec les mesures de niveau piézométrique des différents réservoirs miniers, permettent d'affirmer que la nappe des calcaires du Dogger alimente toujours les réservoirs miniers par drainance descendante : en effet, le niveau piézométrique dans la nappe des calcaires du Dogger est toujours supérieur à celui des réservoirs miniers, et au sein d'un doublet de forages le niveau piézométrique du forage le moins profond est toujours supérieur à celui du forage le plus profond.

Le niveau du réservoir Sud présente un comportant similaire à celui du réservoir Nord avec une période de hautes eaux de décembre à avril suivi d'une période de vidange jusqu'à novembre.

Le débit de débordement du réservoir Sud est calculé à partir de l'équation de corrélation entre les mesures de débits ponctuelles réalisées en sortie de galerie du chenal de Moyeuvre-Grande (60 mesures entre 2017 et 2019) et du niveau piézométrique du réservoir Sud mesuré à la station S19- Puits Auboué I. Le graphique suivant présente la courbe de corrélation entre ces deux mesures.

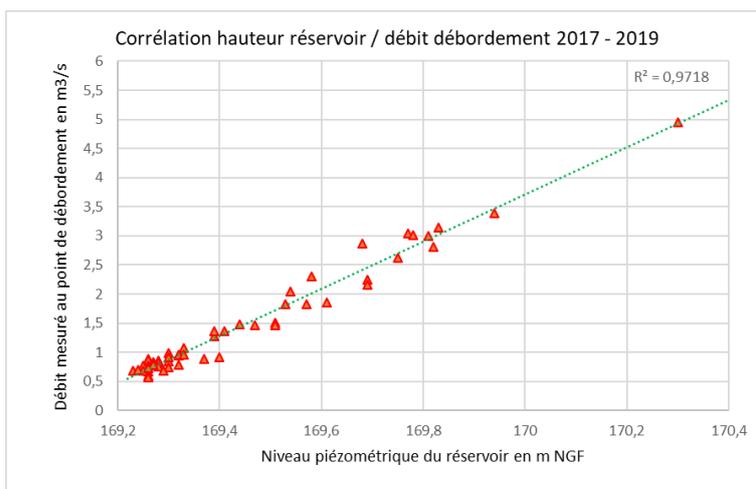


Illustration 20 : Corrélation entre niveau piézométrique et débit de débordement

Au cours de la période 2017 – 2019, le volume d'eau qui a débordé du réservoir Centre est de 175 millions de m³ (44 millions de m³ en 2017, 69 millions de m³ en 2018 et 62 en millions de m³ en 2019).

3.1.4. Synthèse des débordements

Le tableau de l'illustration 21 : Synthèse des volumes annuels de débordement présente le bilan des débordements des réservoirs Nord, Centre et Sud à partir de 2012 ainsi que la recharge. Les calculs prennent en compte :

- pour le réservoir Nord : le débordement aux exutoires principaux de la galerie des eaux et de la Paix et le débordement de la galerie de Metzange ;
- pour le réservoir Centre : le débordement de l'exutoire principal du Woigot (C5), de l'exutoire secondaire de Bois d'Avril (C3) et les fuites du réservoir Centre vers le Chevillon. La galerie de Fontoy n'est pas instrumentée pour la mesure du débit. Celle-ci déborde des débits faibles pour des périodes très courtes de quelques heures à quelques jours seulement en cas de très hautes eaux ;
- pour le réservoir Sud, les calculs de débits de débordements extrapolés à partir de la relation hauteur / débit ;
- la recharge est définie à partir des valeurs de pluviométrie et évapotranspiration potentielle mesurées sur la station Météo France de Errouville pour en calculer la pluie efficace puis la recharge au réservoir pour une année hydrologique (octobre de l'année n-1 à septembre).

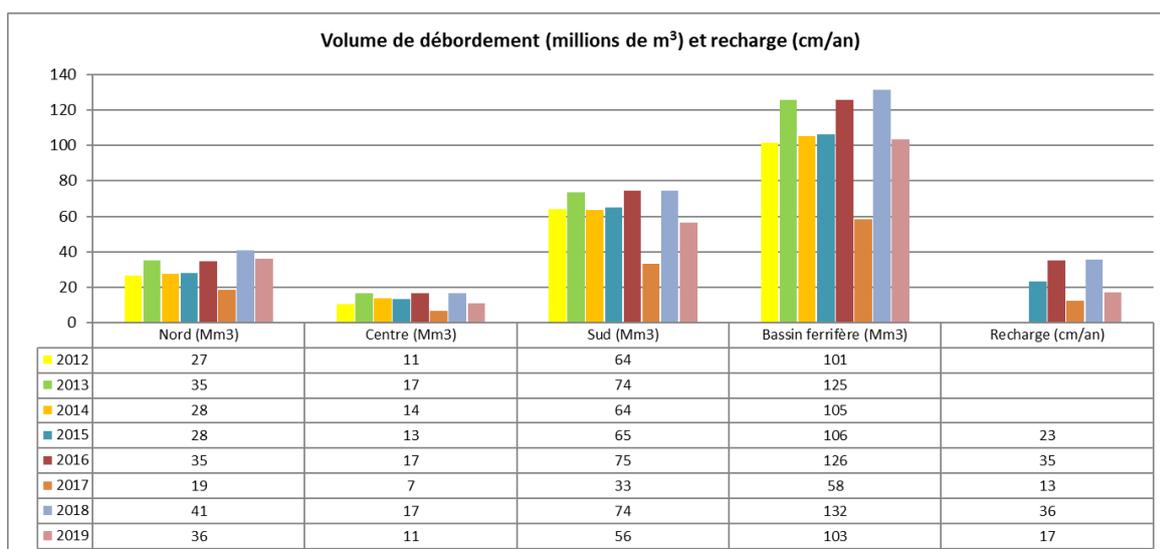


Illustration 21 : Synthèse des volumes annuels de débordement

Entre 2017 et 2019, le débit moyen annuel de débordement cumulé des 3 réservoirs est de 100 Mm³, variant entre 58 Mm³ (2017) et 132 Mm³ (2018).

Les débits de débordements sont corrélés à la recharge, avec des débits plus élevés les années où la recharge est importante.

Le réservoir Sud est le réservoir qui restitue le plus important volume d'eau au milieu superficiel avec 56 % du volume total de débit de débordement du bassin ferrifère. La contribution du réservoir Nord est de 33 % et celle du réservoir Centre de 11 %.

3.2. SURVEILLANCE QUALITATIVE

Au cours de la période 2017 à 2019, la surveillance qualitative a porté sur le réservoir minier avec un suivi annuel, l'aquifère des calcaires du Dogger et la formation ferrifère non exploitée avec un suivi trisannuel.

Les résultats sont présentés par aquifères avec un niveau de détail supplémentaire pour le réservoir minier partitionné par bassins et par secteurs.

En 2017, les résultats analytiques n'ont pu être confirmés pour certaines stations notamment pour l'ion sulfate. Aussi, en 2018, le BRGM a procédé à un contrôle analytique pour quatre stations en faisant réaliser les analyses des ions majeurs par le laboratoire sous-traitant et par celui du BRGM. Les quatre stations concernées sont N5, N7, C13 et S23. En raison de la reprise du laboratoire CAE par le laboratoire Carso, les analyses étendues annuelles diffèrent entre 2017 (CAE) et 2018 (Carso). Par ailleurs, la méthode d'analyse de l'ammonium demandée pour les analyses 2018 n'a pas été respectée par le laboratoire. Faute d'une limite de quantification (LQ) trop élevée, les résultats analytiques n'ont pu être exploités. Pour compenser cette perte d'information, une deuxième campagne a été réalisée en février 2019. Lors de cette deuxième campagne, le puits N6 n'a pu être échantillonné suite à un acte de vandalisme. La campagne 2019 a été réalisée fin août - début septembre en intégrant l'échantillonnage et l'analyse des produits phytosanitaires en complément du programme habituel. Ces analyses de phytosanitaires ont été prises en charge par l'AERM et ont été réalisées par le laboratoire EUROFINs. Ainsi, entre 2017 et 2019, les analyses ont été réalisées par un laboratoire différent à chaque campagne.

3.2.1. Sectorisation des réservoirs miniers Nord, Centre et Sud

Les travaux de simulation hydrologique et chimique des trois grands réservoirs miniers envoyés ont mis en évidence une compartimentation des réservoirs (BRGM/RP-62998-FR – Vaute, 2013). La sectorisation des réservoirs a été obtenue par le croisement entre l'analyse détaillée des plans miniers et les tendances observées d'évolution des concentrations de l'ion sulfate. La différence de comportement de l'ion sulfate entre secteurs traduit un taux variable de renouvellement du stock d'eau minéralisée initialement formé lors de l'envoyage des travaux miniers. Ce travail de sectorisation a abouti à la délimitation des secteurs suivants (avec leurs qualitomètres associés):

- réservoir Nord : Trois secteurs ont été identifiés (Illustration 22 : Sectorisation du réservoir Nord) : secteur 1 (N17), secteur 2 (N3, N3bis, N5, N6, N11, N14bis, N18) et secteur 3 (N7). D'après l'analyse de l'évolution des concentrations en sulfates mesurées au droit de ces 3 secteurs, deux types de comportement se distinguent :
 - secteurs 1 et 3 : tendance lente à la baisse avec des concentrations en sulfates qui restent élevées (1500 et 2225 mg/l) → **eau peu renouvelée** ;
 - secteur 2 : forte tendance à la baisse durant les 6 premières années suivant l'envoyage puis comportement asymptotique → **eau bien renouvelée**.

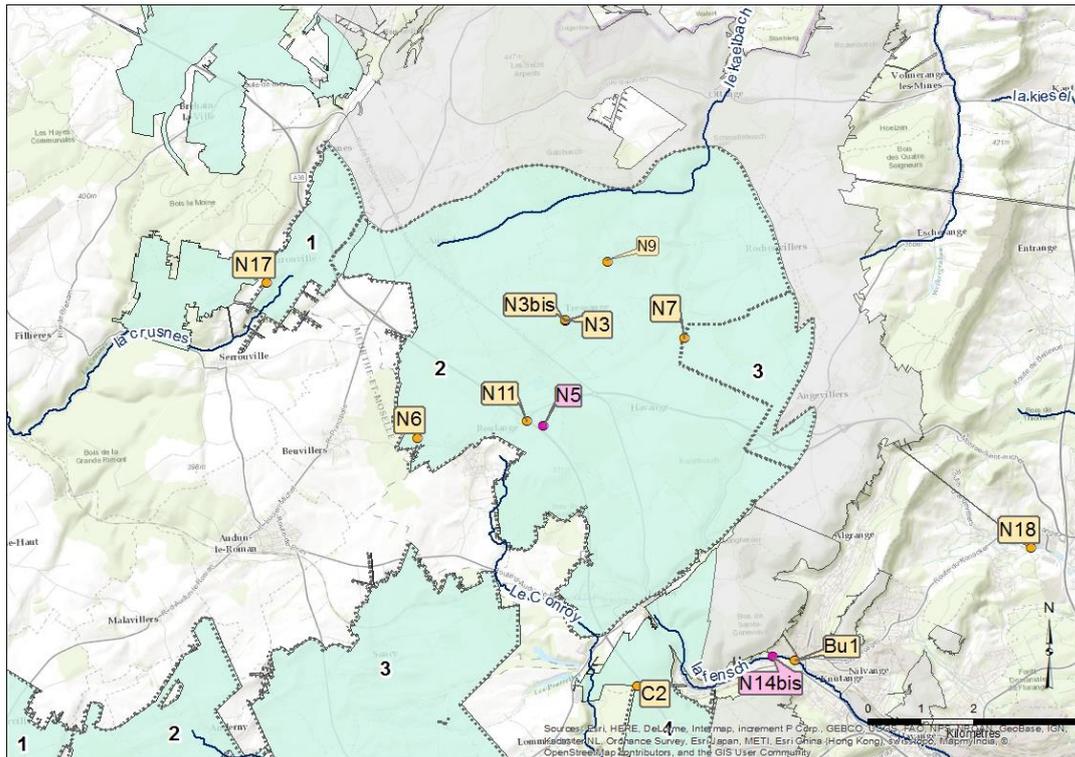


Illustration 22 : Sectorisation du réservoir Nord

- réservoir Centre : Quatre secteurs ont été identifiés (Illustration 23 : Sectorisation du réservoir Centre) : secteur 1 (C13), secteur 2 (C16, C5), secteur 3 (C14, C3) et secteur 4 (C8, C2). La situation est très contrastée entre :
 - o la partie Ouest du réservoir (secteurs 1 et 2) et l'extrême nord-est (4 nord) où les concentrations se maintiennent à des valeurs très élevées (2800, 1500 et 1200 mg/l) → eau peu renouvelée ;
 - o la partie Est (secteurs 3 et 4 sauf 4 nord) où les concentrations baissent fortement depuis l'ennoyage puis comportement asymptotique → eau bien renouvelée.

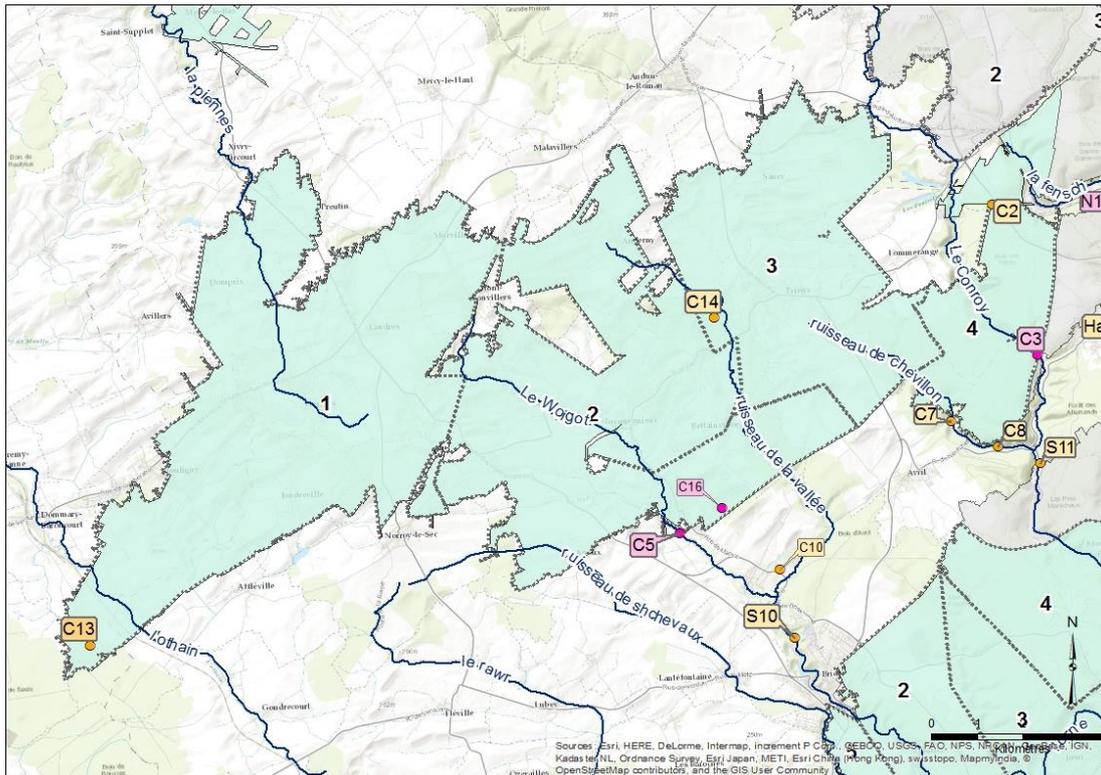


Illustration 23 : Sectorisation du réservoir Centre

- réservoir Sud : Six secteurs ont été identifiés (Illustration 24 : Sectorisation du réservoir Sud) : secteur 1 (S20), secteur 2 (S22), secteur 3 (S4), secteur 4, secteur 5 (S2, S3) et secteur 6 (S23). Le réservoir Sud présente une meilleure qualité de l'eau minière par rapport aux autres réservoirs. Le secteur 5 possède une eau directement utilisable pour l'alimentation en eau potable. Les secteurs 1, 2 et 3 possèdent une eau bien renouvelée et montrent une forte baisse des concentrations en sulfates depuis l'envoyage avec une stabilisation autour de 400 mg/l. Le secteur 6 se démarque avec une forte concentration en sulfate (supérieure à 1 000 mg/l).

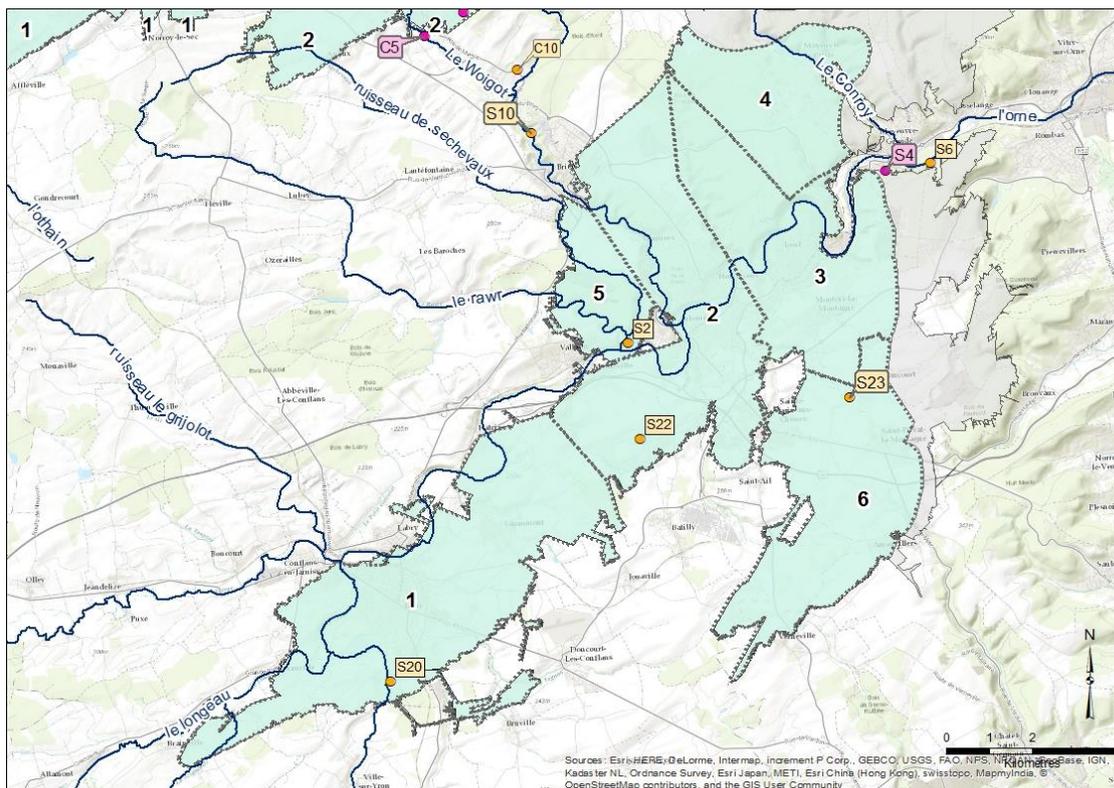
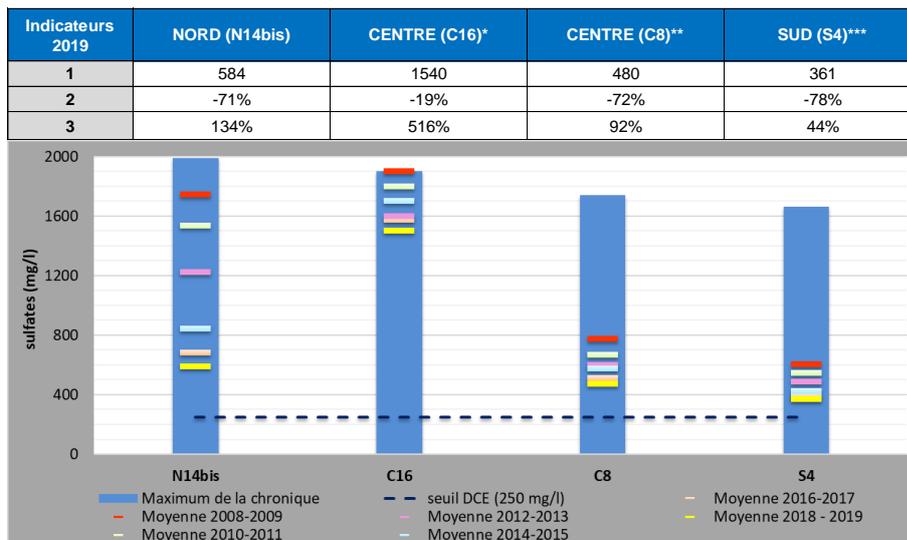


Illustration 24 : Sectorisation du réservoir Sud

3.2.2. Evolution des sulfates

a) Indicateurs sulfates

Les indicateurs sulfates (Illustration 25 : Indicateurs sulfates) ont été calculés à partir des stations de référence des réservoirs Nord (galerie de la Paix - N14bis), Centre (puits Saint-Pierremont - C16 pour la partie Ouest et piézomètre Chevillon artésien - C8 pour la partie Est) et Sud (galerie du Chenal de Moyeuve - S4).



Indicateurs :

1 : moyenne bisannuelle 2018/2019

2 : Ecart relatif de la teneur moyenne bisannuelle en sulfates à la valeur maximale post-ennoyage

3 : Ecart relatif de la teneur moyenne bisannuelle en sulfates à la valeur

Illustration 25 : Indicateurs sulfates

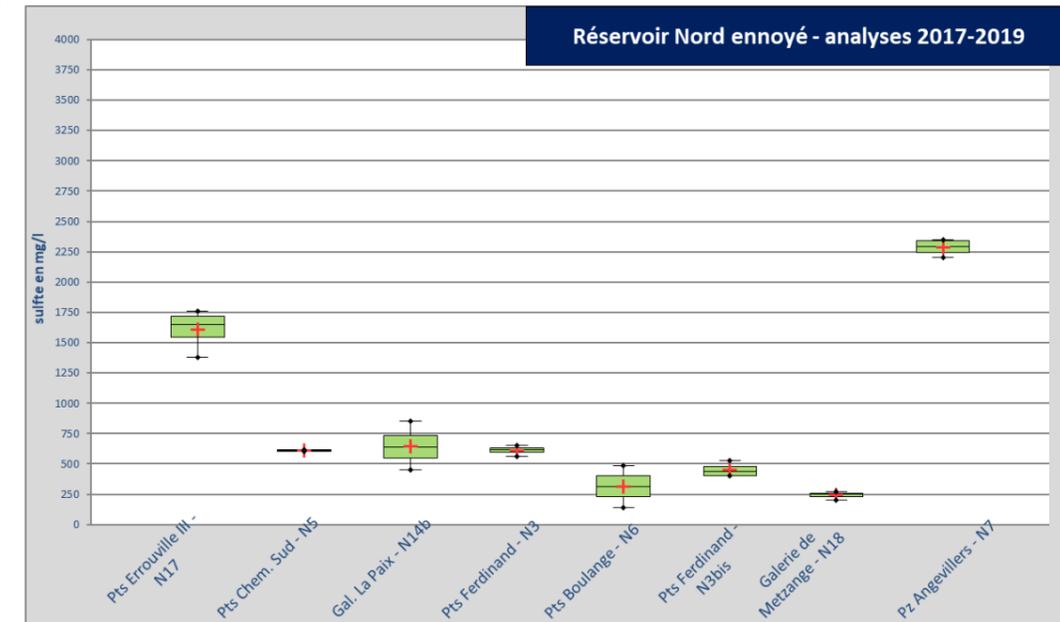
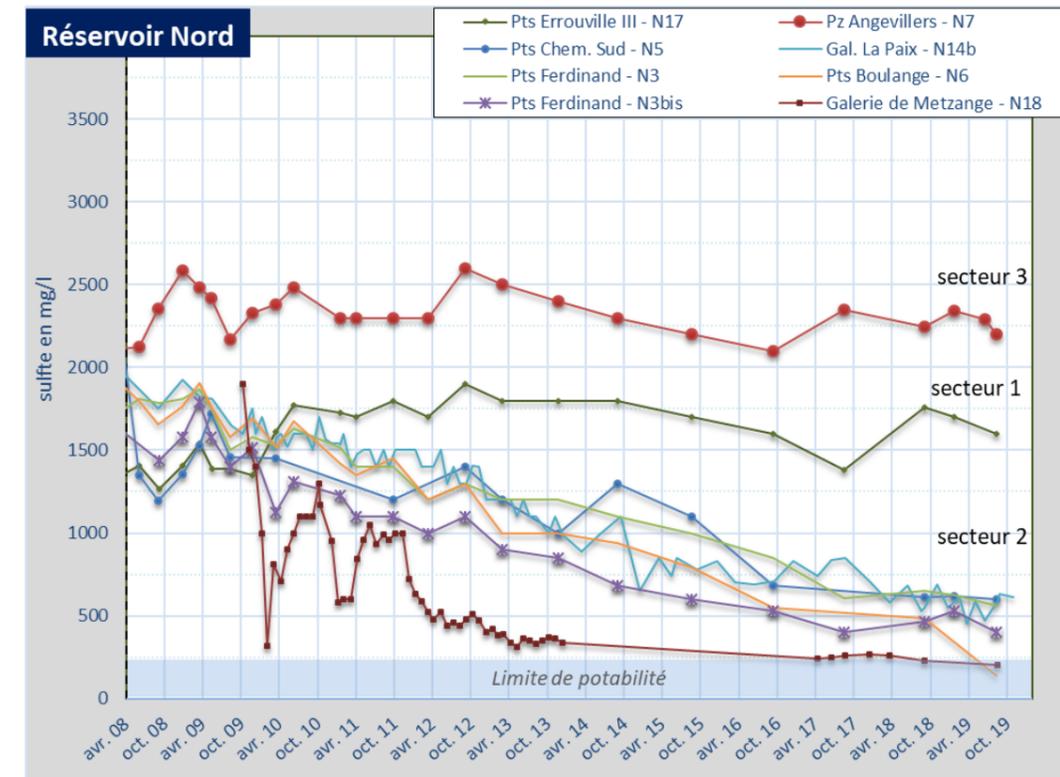
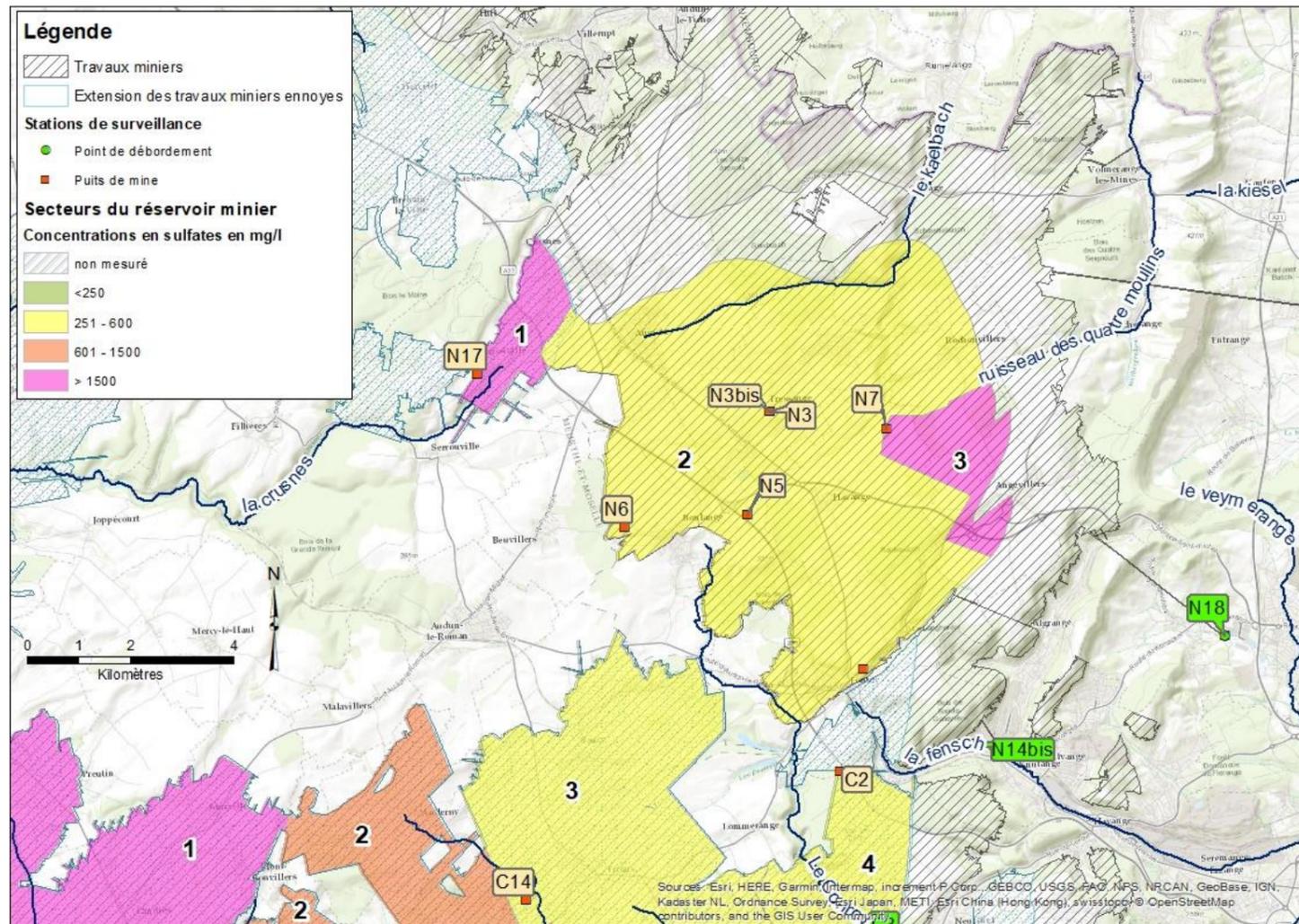
Ces indicateurs mettent en évidence la baisse constante des concentrations en sulfates depuis le débordement des réservoirs miniers. Cette tendance à la baisse est cependant moins rapide depuis 2015.

Une cartographie des secteurs avec l'implantation des points de mesure est présentée pour les réservoirs Nord (Illustration 26 : Secteurs du réservoir nord et évolution des concentrations en sulfates), Centre (Illustration 27 : Secteurs du réservoir Centre et évolution des concentrations en sulfates) et Sud (Illustration 29 : Secteurs du réservoir Sud et évolution des concentrations en sulfates). Sur les mêmes illustrations sont présentés des graphiques d'évolution des concentrations en sulfates depuis l'ennoyage à septembre 2019, réalisés à partir des analyses effectuées au droit des stations de mesure pour chacun des 3 réservoirs, ainsi qu'à partir du calcul des statistiques sur les concentrations en sulfate (médiane, moyenne, 1^{er} et 3^{ème} quartiles, minimum et maximum) pour les 3 dernières années (2017 à 2019).

b) Réservoir Nord

Trois grands secteurs ont été délimités au sein du réservoir Nord. Ces secteurs sont suivis par 8 ouvrages dont 5 puits, 1 piézomètre et 2 points de débordement (N14bis).

En 2018, une double analyse a été réalisée au droit de la station N7 - Pz Angeviller (secteur 3) et N5 - puits Cheminée Sud grise à Boulange (secteur 2) par le laboratoire CARSO-CAE et par le BRGM. Les résultats analytiques du laboratoire CARSO-CAE pour l'ion sulfate sont inférieurs de 6 (N5) à 9 % (N7) à ceux du BRGM.



Volume moyen annuel de débordement : 32 Mm³

Surface où l'eau est bien renouvelée : 85 %

Flux de soluté moyen annuel de sulfates déversé dans les eaux superficielles :

- La Fensch (à Knutange) : 16 500 Tonnes

Illustration 26 : Secteurs du réservoir nord et évolution des concentrations en sulfates

A la lecture des courbes d'évolution, deux types de comportement se distinguent :

- une stabilité des concentrations en sulfate à des valeurs élevées ;
- une tendance à la baisse qui se poursuit depuis l'ennoyage (2008) au droit du secteur 2.

Le premier comportement s'observe au droit des secteurs 1 et 3. Les concentrations moyennes en sulfate mesurées entre 2017 et 2019 au droit des stations N7 Pz Angeviller (secteur 3) et N17-Pts Errouville III (secteur 1) étaient respectivement de 2 290 mg/l et 1 610 mg/l.

Le deuxième comportement s'observe au droit du secteur 2. Les résultats d'analyses entre 2017 et 2019 indiquent des concentrations comprises entre 400 mg/l (au droit de la station N3bis - Puits Ferdinand Jaune à Tressange) et 650 mg/l (au droit de la station N3- Puits Ferdinand Grise à Tressange). Les concentrations en sulfates ont diminué de - 70 % par rapport à la valeur maximale mesurée post-ennoyage. Cependant, les concentrations restent bien supérieures au seuil de potabilité de 250 mg/l (+ 137 %).

Ces résultats confortent les hypothèses émises dans l'étude de sectorisation selon laquelle l'eau du réservoir minier est peu renouvelée au niveau des secteurs 1 et 3 et au contraire bien renouvelée au niveau du secteur 2.

La surface du réservoir où l'eau est bien renouvelée (secteur 2) représente 46 km², soit 85 % de la surface globale du réservoir Nord (54 km²).

Le flux de sulfates annuel moyen calculé à partir des débits de débordement et de la concentration moyenne en sulfates mesurées au niveau de ces points de débordement s'élève à 16 500 tonnes vers la Fensch.

c) Réservoir Centre

Quatre secteurs ont été identifiés au sein du réservoir Centre. Ces secteurs sont suivis par 7 ouvrages dont 3 puits, 1 forage, 1 piézomètre et 2 points de débordement. Le piézomètre Chevillon artésien (C8), bien qu'implanté dans la formation ferrifère non exploitée, capte les eaux du réservoir minier drainées vers le Chevillon. Cette station est intégrée à l'évaluation qualitative de l'eau du réservoir minier Centre. Cette station est suivie par l'agence de l'eau Rhin-Meuse dans le cadre de la DCE.

En 2018, une double analyse a été réalisée au droit de la station C13 – Puits Amermont III par le laboratoire CARSO-CAE et par le BRGM. Les résultats analytiques du laboratoire CARSO-CAE pour l'ion sulfate sont inférieurs de 7 % à ceux du BRGM.

Le résultat analytique 2018 en ion sulfate de la station C14 (1870 mg/l) s'écarte de plus de 200 % de la moyenne 2015 – 2019 (573 mg/l). Ce résultat erroné a été retiré de l'analyse statistique et n'est pas représenté sur le graphique. Il en est de même pour les analyses 2017 des stations C13 et C2 suite au même constat (cf rapport RP-68392-FR, 2018).

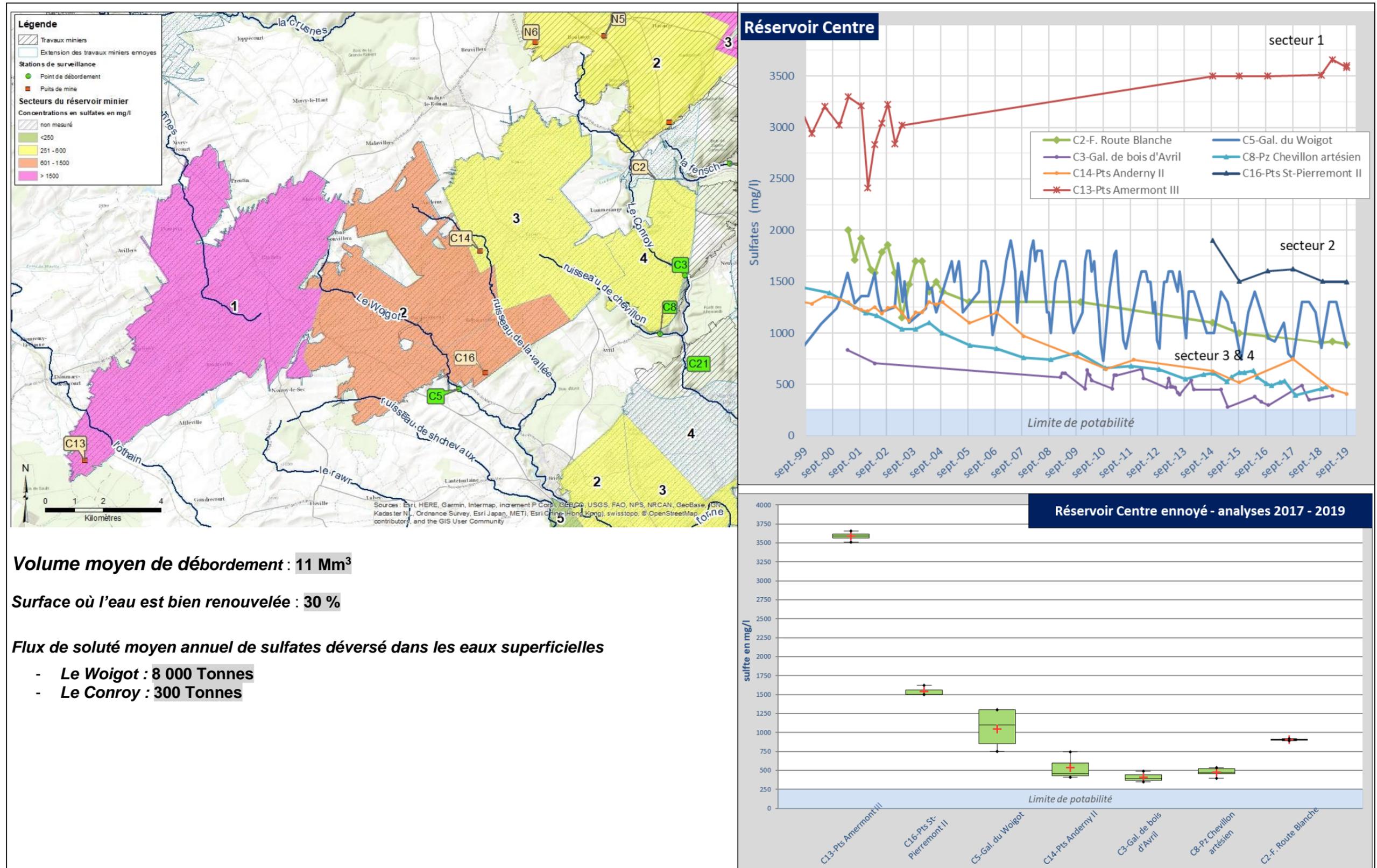


Illustration 27 : Secteurs du réservoir Centre et évolution des concentrations en sulfates

Le point C5 présente une fluctuation temporelle des concentrations en sulfates. On remarque d'après le graphe de l'illustration 23 que les concentrations en sulfates suivent la tendance des débits avec des valeurs plus fortes en période de hautes eaux (1 400 mg/l) qu'en période d'étiage (800 mg/l).

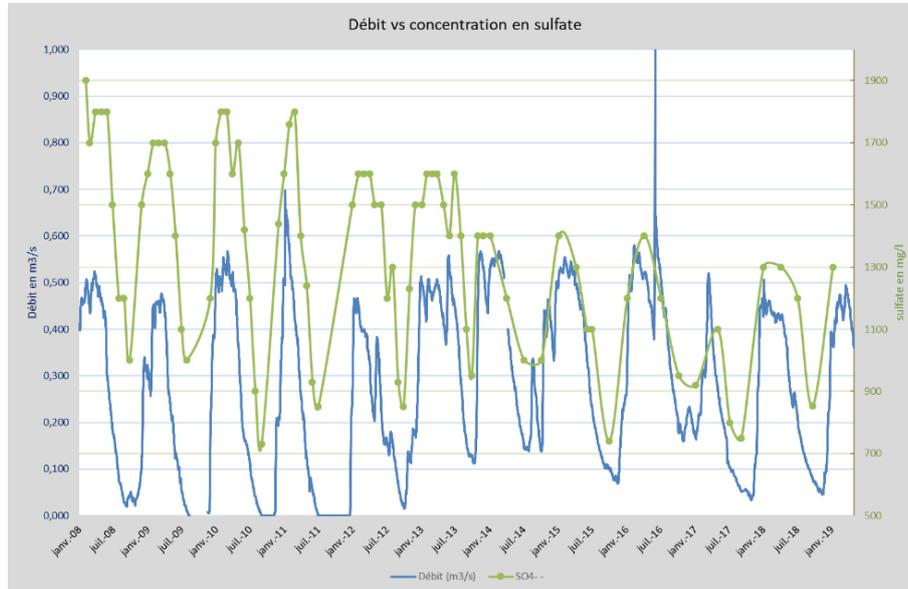


Illustration 28 : Débits au point de débordement C5 et concentration en sulfates

Ce comportement est lié à une particularité locale du point de débordement C5 : l'eau qui s'écoule dans cette galerie provient pour partie du réservoir minier via le puits Saint-Pierremont II, et pour partie de l'eau provenant des calcaires du Dogger via des infiltrations à travers le cuvelage de ce même puits et/ou de la galerie elle-même. Le débit d'infiltration en provenance du Dogger varie relativement peu comparativement au débit provenant de la mine. Ainsi, en hautes eaux, l'eau qui déborde au point C5 provient majoritairement du réservoir minier, et la concentration en sulfates de l'eau de débordement se rapproche de celle du réservoir minier. En basses eaux au contraire, la concentration du point de débordement diminue car la part d'eau de mine dans l'eau de débordement diminue.

La situation est très contrastée entre :

- la partie Ouest (secteurs 1 et 2), où les concentrations se maintiennent à des valeurs très élevées, voire sont à la hausse pour le secteur 1. La moyenne des concentrations 2018/2019 mesurées dans le secteur 1 au droit de la station C13 – Puits Amermont III est de 3 585 mg/l et celles mesurées dans le secteur 2 au droit des stations C16 – Puits St-Pierremont II et C5 – galerie du Woigot sont de 1 500 mg/l et 1 300 mg/l ;
- la partie Est (secteurs 3 et 4), où les concentrations baissent fortement depuis l'ennoyage. Les concentrations en sulfate ont diminué de - 73 % par rapport à la valeur maximale mesurée post-ennoyage. Les résultats d'analyses réalisées entre 2017 et 2019 indiquent des concentrations comprises entre 350 mg/l (point de débordement C3 - galerie de bois d'Avril) et 480 mg/l (C8 - Pz Chevillon artésien). Les concentrations sont supérieures de + 89 % au seuil de potabilité de 250 mg/l. La partie nord-est du secteur 4, mesurée par le forage C2 - forage Route Blanche à Fontoy, présente des concentrations supérieures avec une moyenne 2017/2019 de 910 mg/l ; la tendance est cependant à la baisse.

De même qu'observé au sein du réservoir Nord, cette différence de comportement traduit un taux de renouvellement différent du stock d'eau minéralisée initialement formé lors de l'ennoyage des travaux miniers.

La surface du réservoir où l'eau est bien renouvelée (secteurs 3 et 4) représente 36 km², soit 30 % de la surface globale du réservoir Centre (122 km²).

Le flux de sulfates annuel moyen, calculé à partir des débits de débordement et de la concentration moyenne en sulfates mesurées au niveau des points de débordement, déversé dans les cours d'eau du Woigot s'élève à 8 000 tonnes et du Conroy à 300 Tonnes.

d) Réservoir Sud

Six secteurs ont été identifiés au sein du réservoir Sud. Ces secteurs sont suivis par 5 ouvrages dont 3 puits, 1 forage et 1 point de débordement.

En 2018, une double analyse a été réalisée au droit de la station S23 - puits Roncourt I par le laboratoire CARSO-CAE et par le BRGM. Les résultats analytiques du laboratoire CARSO-CAE pour l'ion sulfate sont inférieurs de 14% à ceux du BRGM.

Le résultat analytique 2017 en ion sulfate de la station S23 (2 100 mg/l) s'écarte de plus de 40 % de la moyenne 2015 – 2019 (1 470 mg/l). Ce résultat a été retiré de l'analyse statistique et n'est pas représenté sur le graphique.

Les stations S02 - Forage Valleroy-Moineville 1 , S20 - Puits Droitaumont II et S22 - Puits Paradis V sont utilisées pour l'alimentation en eau potable et sont suivies par l'Agence Régionale de Santé (ARS).

La situation est très contrastée entre :

- la partie Sud-est (secteur 6) où les concentrations se maintiennent à des valeurs très élevées. La moyenne des concentrations 2018/2019 mesurées au droit de la station S23 - Pts Roncourt I est de 1 540 mg/l ;
- les parties Ouest et Nord (secteurs 1 à 5) où les concentrations baissent fortement depuis l'ennoyage. Les concentrations en sulfate ont diminué de - 78 % par rapport à la valeur maximale mesurée post-ennoyage. La tendance à la baisse se poursuit. Les résultats d'analyses 2018 et 2019 indiquent des concentrations comprises entre 446 mg/l (S22 - Puits Paradis V) et 213 mg/l (S2 - Forage Valleroy). Les concentrations sont supérieures au seuil de potabilité (250 mg/l) de + 49 %.

La surface du réservoir où l'eau est bien renouvelée (secteurs 1 à 5) représente 88 km², soit 83 % de la surface globale du réservoir Sud (106 km²).

Le flux de sulfates annuel moyen, calculé à partir des débits de débordement et de la concentration moyenne en sulfates mesurées au niveau des points de débordement, déversé dans l'Orne s'élève à 21 000 tonnes.

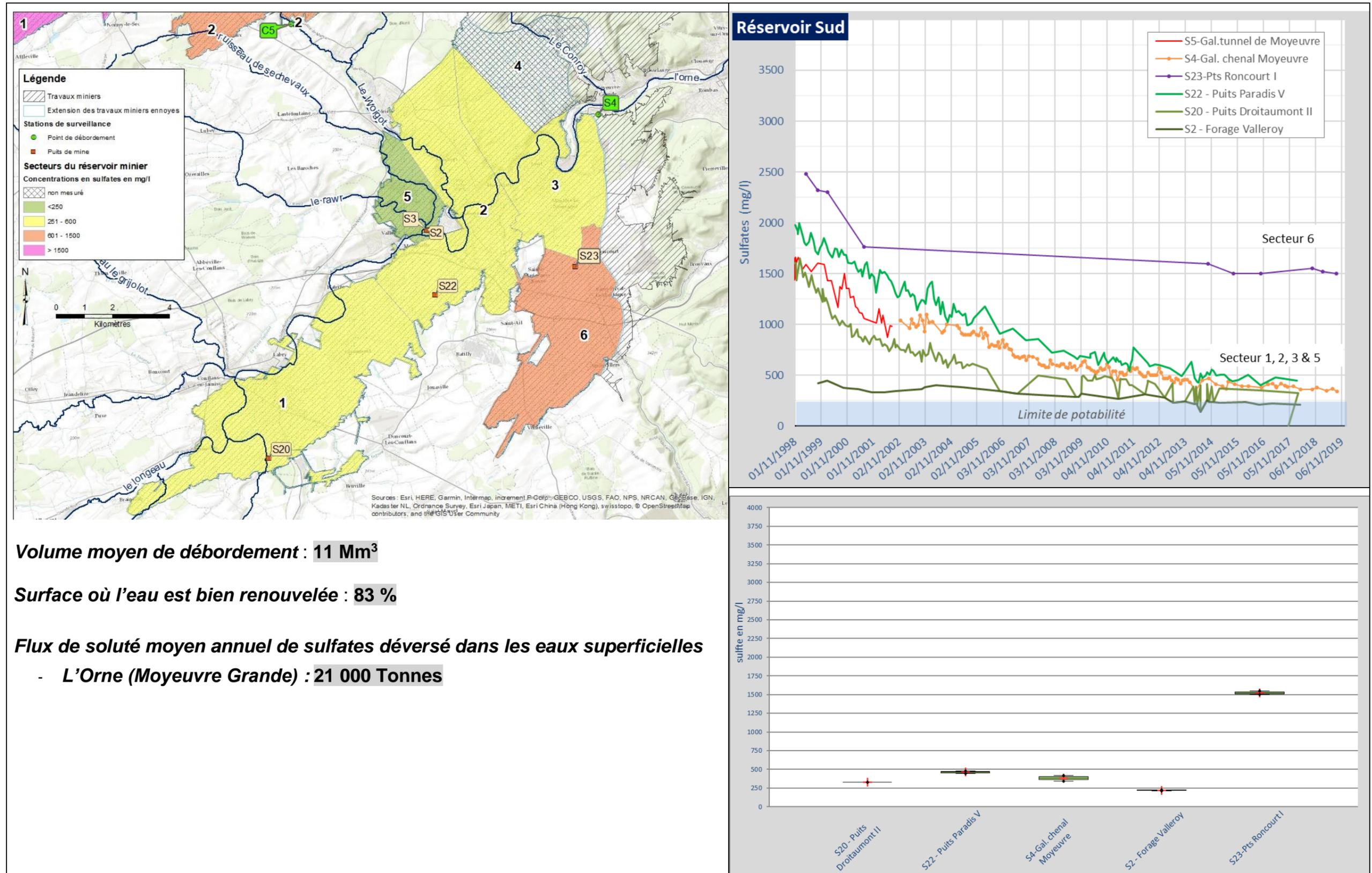


Illustration 29 : Secteurs du réservoir Sud et évolution des concentrations en sulfates

e) Synthèse à l'échelle du bassin ferrifère

La carte de l'illustration 30 présente les concentrations moyennes en sulfates mesurées entre 2017 et 2019 pour tous les secteurs des trois réservoirs principaux du bassin ferrifère. Pour chaque secteur, la couleur indique la gamme des concentrations mesurées sur les points d'accès à l'eau souterraine (puits, forages, débordements). Il est à noter que ces points d'accès sont en nombre très limités, et qu'en raison de la complexité des circulations d'eaux souterraines, il est possible qu'une certaine hétérogénéité des concentrations existe au sein d'un même secteur, sans qu'il soit possible ni de la mesurer ni de la prévoir.

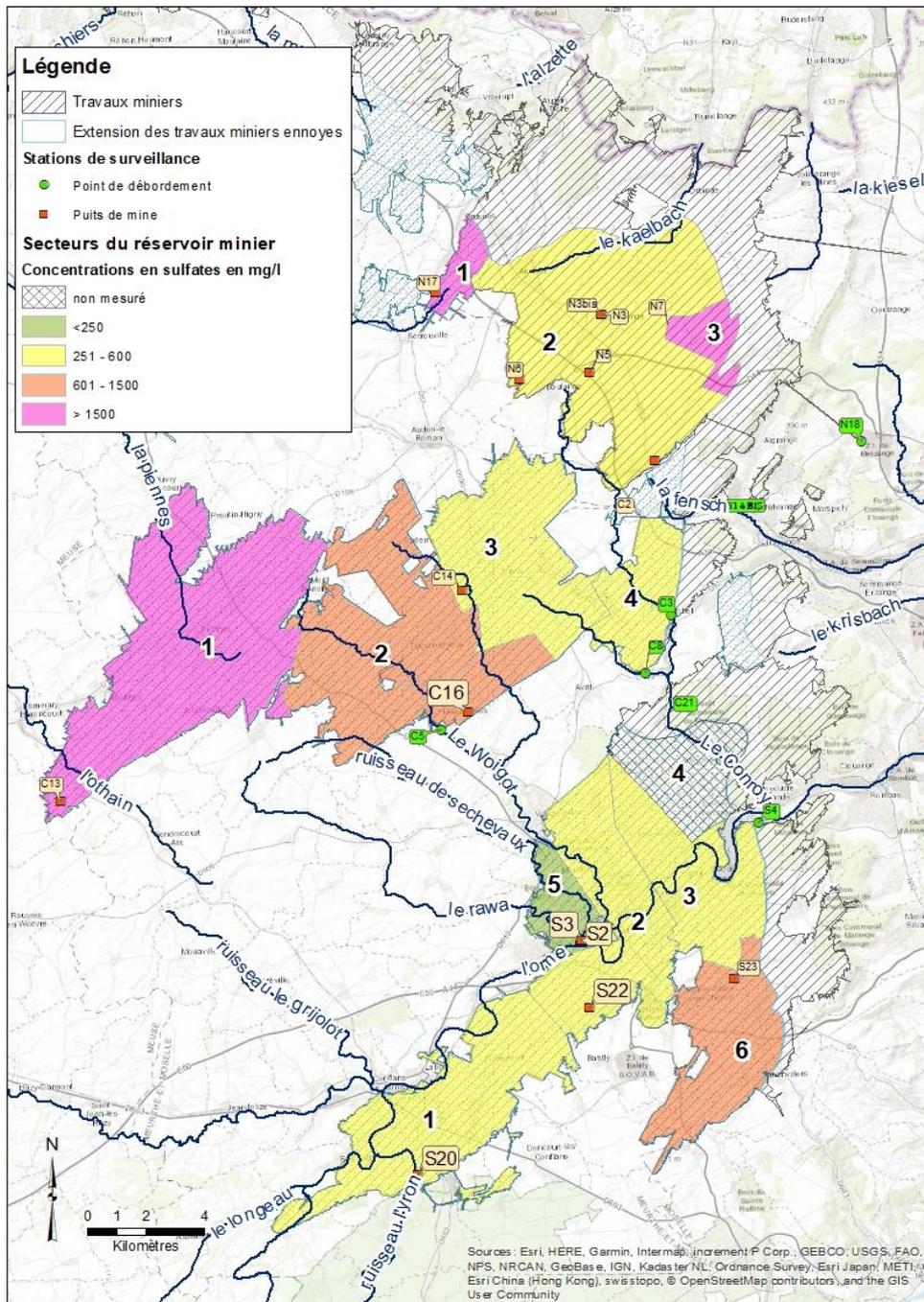


Illustration 30 : Cartographie de la concentration en sulfates du bassin ferrifère lorrain – 2017/19

Les secteurs où l'eau est bien renouvelée (zones en vert et jaune) représentent 60 % de la surface des 3 principaux réservoirs du bassin ferrifère. Le secteur 5 du réservoir Sud présente des concentrations en sulfates conformes au seuil de potabilité (< 250 mg/l). Hormis ce secteur, les concentrations mesurées restent cependant supérieures au seuil de potabilité. Le réservoir Sud présente une meilleure qualité de l'eau minière vis-à-vis des sulfates.

3.2.3. Cartographie des autres paramètres

Pour chaque point de surveillance, un graphique de l'évolution des paramètres analysés a été tracé depuis le début de leur surveillance. Les paramètres représentés sont les 14 analysés dans le cadre de ce programme complété par les analyses réalisées dans le cadre de la surveillance DCE (produits phytosanitaires) et du contrôle sanitaire :

- **conductivité** ;
- **composés majeurs** : sulfates, magnésium, bicarbonates, calcium, sodium, potassium, chlorure ;
- **composés azotés** : ammonium, nitrate ;
- **métaux** : fer, manganèse, bore,
- **somme des phytosanitaires** ;
- **fraction hydrocarbures C10-C40** ;
- **indice phénol.**

Ces graphiques sont consultables en annexe 2.

Pour chaque composé analysé, des classes de valeurs ont été définies en fonction de l'écart relatif de la Mma (moyenne des moyennes annuelles) à la valeur seuil fixée. Le tableau de l'illustration suivante présente les bornes retenues par classes de valeur, la valeur seuil étant fixée à 1, soit correspondant à la classe résultat 2 :

CLASSE_RESULTAT	BORNE_CLASSE
1	Mma < 0,75
2	0,75 < Mma < 1
3	1 < Mma < 2
4	2 < Mma < 5
5	Mma > 5

Illustration 31 : Bornes et classes de l'écart relatif de la Mma aux valeurs seuils

Les valeurs seuils retenues pour chaque paramètre figurent dans le tableau de l'illustration 32 : Valeurs seuils retenues pour les calculs de classes. Le choix de ces seuils est basé sur l'existence de valeurs dans les référentiels suivants, de priorité de 1 à 3 en l'absence de valeurs dans la catégorie précédente :

- 1. Annexe de la note technique nationale du 19 décembre 2019 (TREL1935920N) relative à l'arrêté modifié du 17 décembre 2008, établissant les critères d'évaluation et les modalités de détermination de l'état des eaux souterraines et des tendances significatives et durables de dégradation de l'état chimique des eaux souterraines en application de la Directive 2006/118/CE du Parlement européen et du journal du 12 décembre 2006 sur la protection des eaux souterraines contre la pollution et la détérioration ;

- 2. Arrêté du 11 janvier 2007- Limites de qualité des eaux brutes de toute origine utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine ;;
- 3. Valeurs données à titre indicatif en l'absence de valeur seuil.

Groupe	Paramètre	SANDRE	SEUIL	UNITE	REFERENCE
Physique	Conductivité à 25°C	1303	1100	µS/cm	1
Majeurs	Sulfate	1338	250	mg/L	1
	Potassium	1367	12	mg/L	3
	Magnésium	1372	50	mg/L	3
	Calcium	1374	270	mg/L	3
	Sodium	1375	200	mg/L	1
	Chlorures	1337	250	mg/L	1
Azotés	Amonium	1335	0,5	mg/L	1
	Nitrates	1340	50	mg/L	1
Métaux	Manganèse	1394	50	µg/L	1
	Fer	1393	200	µg/L	1
	Bore	1362	1000	µg/L	1
Polluants	Indice phénol	1440	0,1	mg/L	1
	C10 - C40 coupes hydrocarbures	3319	1	mg/L	2
	Somme des Pesticides et métabolites caractérisés comme pertinents par l'ANSES		0,5	µg/L	1
	Somme Totale Pesticides (y compris les non pertinents)		0,5	µg/L	3
1. Arrêté modifié du 17 décembre 2008, établissant les critères d'évaluation et les modalités de détermination de l'état des eaux souterraines					
2. Arrêté du 11 janvier 2007- Limites de qualité des eaux brutes de toute origine utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine					
3. Valeurs indicatives en l'absence de valeurs seuils					

Illustration 32 : Valeurs seuils retenues pour les calculs de classes

Un graphique (Illustration 33 : Classes de valeurs des moyennes des moyennes annuelles (Mma) calculées en fonction des valeurs seuils indicatives retenues.) de la répartition par classe de valeur des Mma des paramètres analysés lors des analyses annuelles étendues de 2017 à 2019 est présenté par stations pour les réservoirs miniers Nord, Centre et Sud, la formation ferrifère non exploitée ainsi que la nappe des calcaires du Dogger.

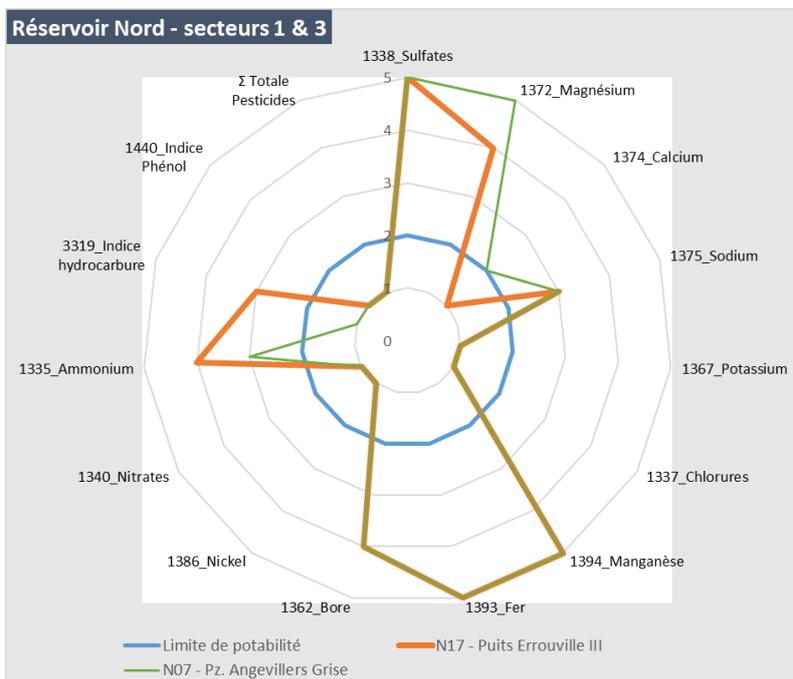
Calcaires du Dogger		P. phys	Composés majeurs					Metaux et métalloïdes					Composés azotés			Polluants organiques			Phytosanitaires					
Paramètre			1303_Conductivité	1338_Sulfates	1372_Magnésium	1374_Calcium	1375_Sodium	1367_Potassium	1337_Chlorures	1394_Manganèse	1393_Fer	1362_Bore	1386_Nickel	1370_Aluminium	1388_Cadmium	1382_Plomb	1340_Nitrates	1339_Nitrites	1335_Ammonium	7007_Indice hydrocarbure	1440_Indice Phénol	Σ pds organiques hors phyto	Σ Pesticides	Σ Totale Pesticides
Valeurs Seuil		1100	250	50	270	200	12	250	50	200	1000	20	200	5	10	50	0,3	0,5	1	1	0,5	0,5	0,5	
Limite de potabilité		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
C9 - Pz. M52 - Mance			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1	1	
S9 - Pz Briey A			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1				1	1	
S13 - Pz H1 Hatrize			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1	2	

For. Ferrifère non exploitée		P. phys	Composés majeurs					Metaux et métalloïdes					Composés azotés			Polluants organiques			Phytosanitaires					
Paramètre			1303_Conductivité	1338_Sulfates	1372_Magnésium	1374_Calcium	1375_Sodium	1367_Potassium	1337_Chlorures	1394_Manganèse	1393_Fer	1362_Bore	1386_Nickel	1370_Aluminium	1388_Cadmium	1382_Plomb	1340_Nitrates	1339_Nitrites	1335_Ammonium	7007_Indice hydrocarbure	1440_Indice Phénol	Σ pds organiques hors phyto	Σ Pesticides	Σ Totale Pesticides
Valeurs Seuil		1100	250	50	270	200	12	250	50	200	1000	20	200	5	10	50	0,3	0,5	1	1	0,5	0,5	0,5	
Limite de potabilité		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
C10 - Pz Mance bis			1	1	1	3	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	3				1	1	
C8 - Pz. Chevillon artésien		3	3	3	1	1	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
S10 - Pz Briey B			1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1				1	1	

Réservoir minier		Paramètre	Composés majeurs					Metaux et métalloïdes					Composés azotés			Polluants organiques			Phytosanitaires						
			1303_Conductivité	1338_Sulfates	1372_Magnésium	1374_Calcium	1375_Sodium	1367_Potassium	1337_Chlorures	1394_Manganèse	1393_Fer	1362_Bore	1386_Nickel	1370_Aluminium	1388_Cadmium	1382_Plomb	1340_Nitrates	1339_Nitrites	1335_Ammonium	7007_Indice hydrocarbure	1440_Indice Phénol	Σ pds organiques hors phyto	Σ Pesticides	Σ Totale Pesticides	
Valeurs Seuil		1100	250	50	270	200	12	250	50	200	1000	20	200	5	10	50	0,3	0,5	1	1	0,5	0,5	0,5		
bassin	Secteurs	Limite de potabilité	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
NORD	peu renouvelé	1 N17 - Puits Errouville III	4	5	4	1	3	1	1	5	5	4	1	1	1	1	1	1	4	3	1		1	1	
		3 N07 - Pz. Angevillers Grise	4	5	5	2	3	1	1	5	5	4	1	1	1	1	1	1	3	1	1		1	1	
	renouvelé	2 N06 - Puits Boulange Grise	3	3	3	1	1	1	1	4	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	
		2 N03 - Puits Ferdinand Grise	3	4	4	1	1	1	1	5	5	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1		1	1	
		2 N05 - Puits Cheminée Sud Grise	3	4	4	1	1	1	1	5	5	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	
		2 N3bis - Puits Ferdinand Jaune	3	3	4	1	1	1	1	5	5	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1		1	2	
		4 N18 - Gal. de Metzange (Charles)	3	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	2	
2 N14bis - Gal. De la Paix	3	4	3	1	1	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
CENTRE	peu renouvelé	1 C13 - Puits Amermont III	5	5	5	1	4	3	1	5	5	5	1	1	1	1	1	1	5	3	1		1	1	
		2 C16 - Puits St Pierremont	4	5	4	2	3	1	1	5	5	3	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	
	renouvelé	2 C5 - Galerie du Woigot	4	4	4	1	2	1	1	5	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	
		3 C14 - Puits Anderny II	3	4	3	1	1	1	1	4	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		3	3	
		4 C3 - Galerie de Bois d'avril	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1					1		1	1					
4 C2 - Forage Route Blanche	4	4	4	2	2	1	1	5	5	3	1	1	1	1	1	1	2	1	1		1	1			
SUD	renouvelé	1 S20 - Puits Droitaumont II	2	1	3	1	1		1	4	1	2	1			1	1	1					1	1	
		2 S22 - Puits Paradis V	3	3	3	1	1		1	4	1	1	1			1	1	1					1	1	
		3 S4 - Gal. Du Chenal de Moyeuville	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		5 S2 - For. Valleroy-Moineville 1	2	2	2	1	1		1	4	1	1	1			1	1	1					1	1	
		5 S3 - For. Valleroy-Moineville 2	2	2	2	1	1		1	4	1	1	1			1	1	1					1	1	
	6 S23-PUITS RONCOURT I	4	5	4	2	3	2	1	5	5	3	3	1	1	1	1	1	4	4	1		1	1		

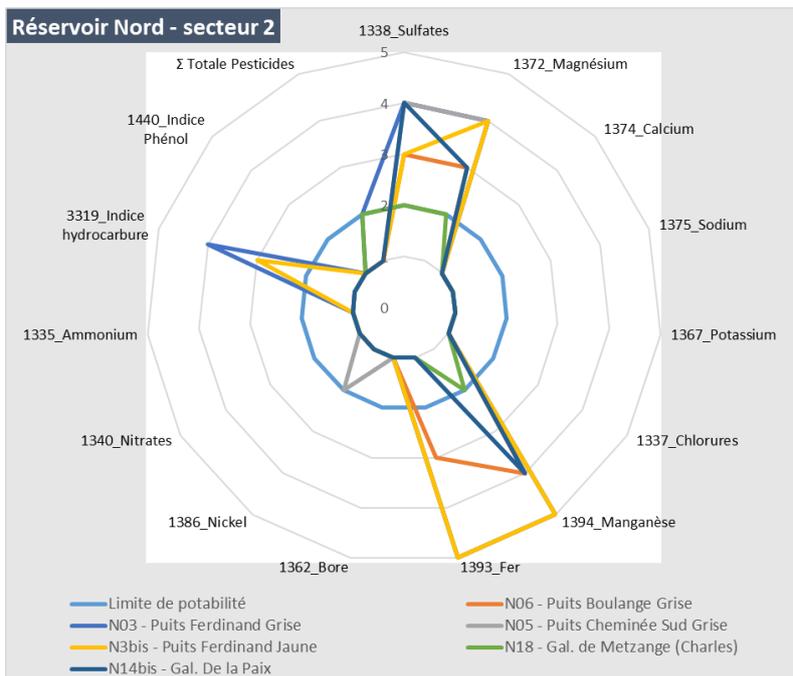
Illustration 33 : Classes de valeurs des moyennes des moyennes annuelles (Mma) calculées en fonction des valeurs seuils indicatives retenues.

a) Réservoir Nord



Dans les secteurs 1 et 3, là où l'eau est peu renouvelée, on constate un dépassement systématique du sulfate, magnésium et sodium pour les composés majeurs, du manganèse, du fer et du bore pour les métaux, de l'ammonium pour les composés azotés.

Des hydrocarbures ont été détectés au droit de la station N17 avec des valeurs > seuil pour la coupe C10-C40.

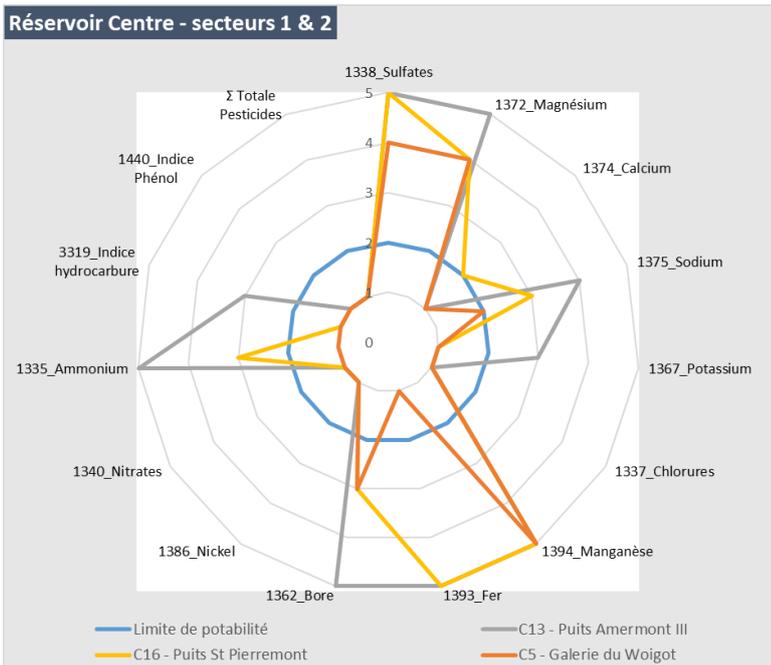


Dans le secteur 2, là où l'eau se renouvelle continuellement, on constate un dépassement du sulfate et du magnésium pour les composés majeurs et du manganèse pour les métaux. Le sodium n'est pas en excès et le fer est en dessous de la valeur seuil pour 4 des 6 stations.

Des hydrocarbures ont été détectés au droit de 2 stations (N3 et N3bis) à des concentrations supérieures aux valeurs seuils ainsi que des pesticides (N3 et N18) mais à des concentrations inférieures aux valeurs seuils.

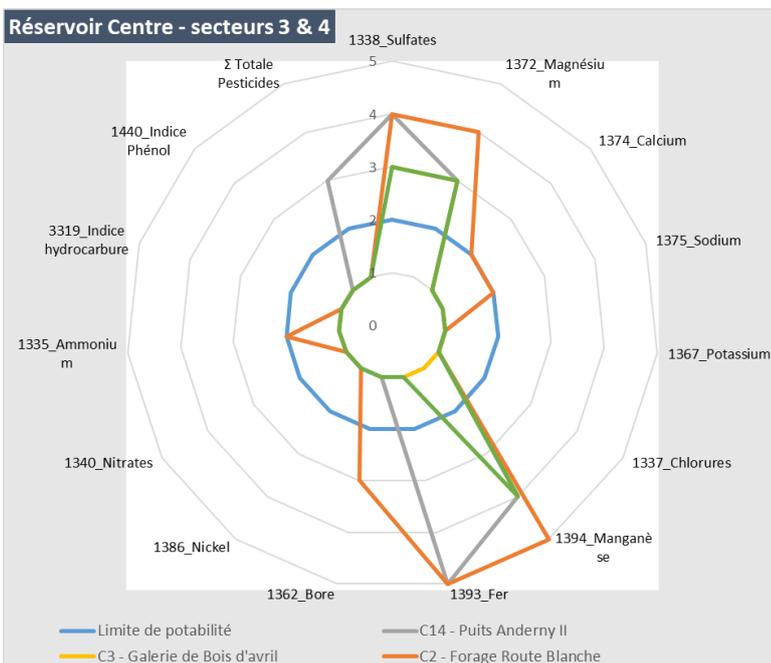
Illustration 34 : Diagramme en radar des classes de valeurs de Mma du réservoir Nord

b) Réservoir Centre



Dans les secteurs 1 et 2, là où l'eau est peu renouvelée, on constate un dépassement systématique du sulfate, magnésium et sodium pour les composés majeurs, du manganèse, du fer et du bore pour les métaux, de l'ammonium pour les composés azotés. Cependant, le point C5 (point de débordement) fait exception, avec des concentrations inférieures en sodium et en fer.

Des hydrocarbures ont été détectés avec des valeurs > seuil pour la coupe C10-C40 au droit de la station C13. La somme des pesticides est inférieure à 75 % de la valeur seuil.



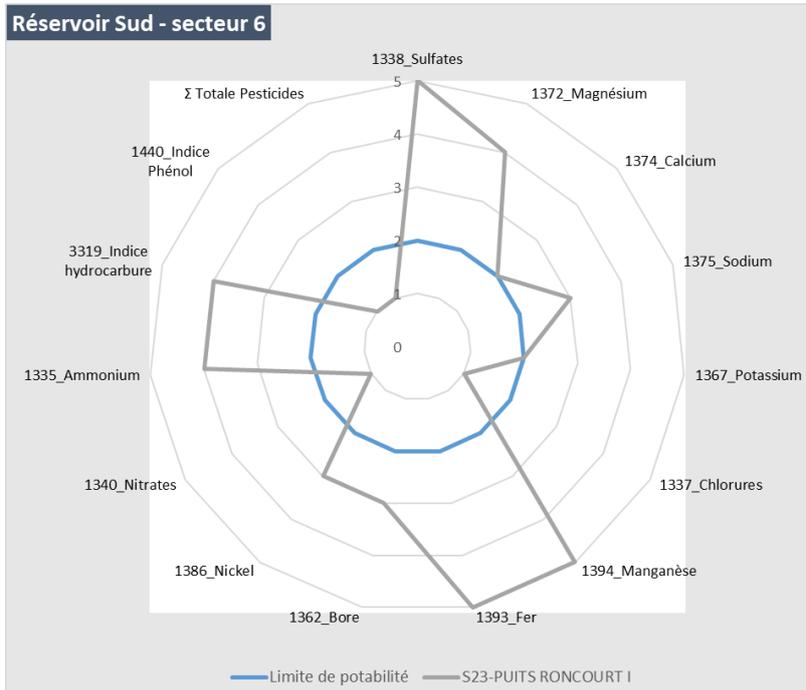
Dans les secteurs 3 et 4, là où l'eau se renouvelle continuellement, on constate un dépassement du sulfate et du magnésium pour les majeurs et du manganèse et du fer pour les métaux (hormis pour le point de débordement où la concentration en fer est inférieure à la valeur seuil). Le forage C2, implanté dans la partie Nord du secteur 4, présente des résultats proches de ceux mesurés au niveau des secteurs 1 et 2 avec des concentrations élevées, signe d'un faible renouvellement de l'eau.

On note un indicateur 1 (<75 % des valeurs seuil) pour l'ammonium, les hydrocarbures (coupe C10-C40) et l'indice phénol.

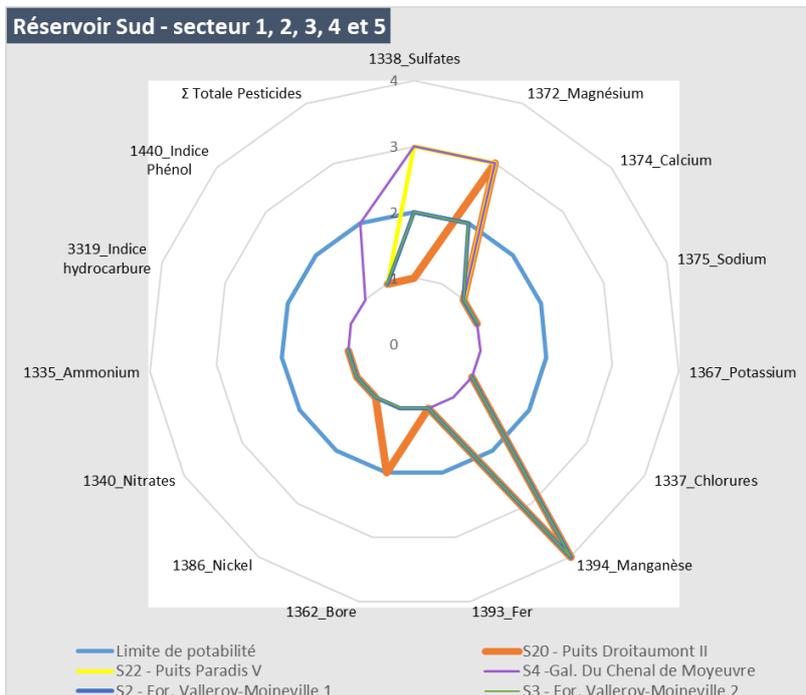
Des pesticides ont été détectés à des valeurs supérieures à la valeur seuil au niveau du puits C14 (unique campagne 2019).

Illustration 35 : Diagramme en radar des classes de valeurs de Mma du réservoir Centre

c) Réservoir Sud



Dans le secteur 6, là où l'eau est peu renouvelée, on constate un dépassement du sulfate, magnésium, calcium et sodium pour les composés majeurs, du manganèse, du fer et du bore pour les métaux, de l'ammonium pour les composés azotés. Des hydrocarbures ont été détectés avec des valeurs > seuil pour la coupe C10-C40.



Dans les secteurs 1 à 5, là où l'eau se renouvelle continuellement, on constate un dépassement du sulfate et du magnésium pour les composés majeurs et du manganèse pour les métaux.

On note un indicateur 1 (<75 % des valeurs seuil) pour l'ammonium, les hydrocarbures (coupe C10-C40) et l'indice phénol.

Les pesticides ont été détectés à des valeurs comprises entre 75% de la valeur seuil et celle-ci pour le point de débordement S4.

Illustration 36 : Diagramme en radar des classes de valeurs de Mma du réservoir Sud

3.2.4. Synthèse sur la qualité des réservoirs 2016/2018

On constate que les secteurs où une baisse significative des concentrations en sulfates a été observée présentent une meilleure qualité de l'eau que ceux où la tendance reste stable. Ce constat confirme l'influence du taux de renouvellement de l'eau sur sa qualité.

Dans les secteurs où l'eau est peu renouvelée, on observe un dépassement systématique de la conductivité, du sulfate, du magnésium et du sodium pour les composés majeurs, de l'ammonium pour les composés azotés et du fer, manganèse et bore pour les métaux.

Dans les secteurs où l'eau est bien renouvelée, comparativement aux autres secteurs, le sodium, l'ammonium, le fer et le bore sont moins présents voire absents. Les points de débordement présentent une meilleure qualité de l'eau avec notamment l'absence de fer.

Au niveau des secteurs bien renouvelés et des points de débordement, des pesticides ont été détectés.

L'état chimique décrit ci-dessus et analysé ci-dessous correspond à l'eau minière brute présente dans la mine ennoyée, cet état ne reflète pas la qualité de l'eau qui pourrait être utilisée pour l'AEP si traitement adapté.

3.2.5. Analyse des tendances

L'examen des chroniques présentées en Annexe 2 permet de dégager des tendances générales d'évolution de la qualité de l'eau.

a) Les majeurs

Les mécanismes géochimiques à l'origine de la minéralisation de l'eau minière lors de l'ennoyage des réservoirs ont été étudiés dans le cadre des travaux de recherche et développement du GISOS (Groupement d'intérêt scientifique de recherche sur l'Impact et la Sécurité des Ouvrages Souterrains) et sont décrits dans la chronique d'information hors-série n° 2 du bassin ferrifère lorrain, disponible depuis le SIGES Rhin-Meuse (<http://sigesrm.brgm.fr/>). Sont repris ci-dessous, de façon sommaire, les principaux éléments.

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. Dissous lors de l'ennoyage, ce stock d'élément ne se renouvelle pas dans les réservoirs ennoyés l'oxydation de la pyrite ne peut plus avoir lieu dans le milieu devenu insuffisamment oxygéné.

Après une forte hausse des éléments majeurs rendus solubles lors de l'exploitation minière puis dissous lors de l'ennoyage, les concentrations ont diminué dès la fin de l'ennoyage dans les secteurs où l'eau est bien renouvelée. Dans ces secteurs, la tendance à la baisse est bien marquée et se poursuit de façon régulière (Illustration 37 : Evolution des concentrations des majeurs depuis l'ennoyage au niveau d'un secteur renouvelé (puits N6, réservoir Nord), tandis qu'ailleurs les concentrations en éléments majeurs restent stables depuis l'ennoyage (Illustration 38 : Evolution des concentrations des majeurs depuis l'ennoyage au niveau d'un secteur peu renouvelé (puits N7, réservoir Nord)). Le taux de renouvellement du stock d'eau minéralisée initialement formé lors de l'ennoyage des travaux miniers diffère d'un secteur à l'autre.

Bassin NORD - Réservoir minier - Secteur SN2 - N06 - Puits Boulange Grise - 01137X0099

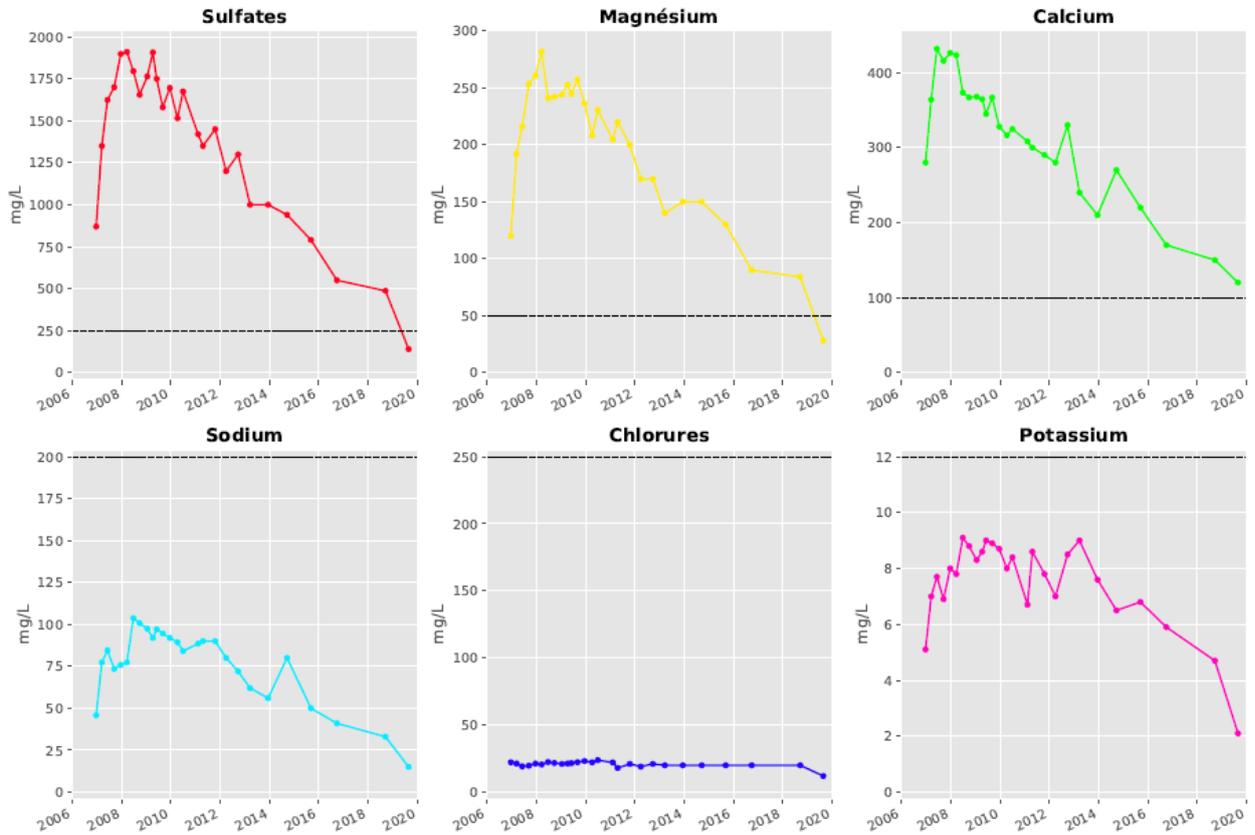


Illustration 37 : Evolution des concentrations des majeurs depuis l'ennoyage au niveau d'un secteur renouvelé (puits N6, reservoir Nord)

Bassin NORD - Réservoir minier - Secteur SN3 - N07 - Pz. Angevillers Grise - 01137X0169

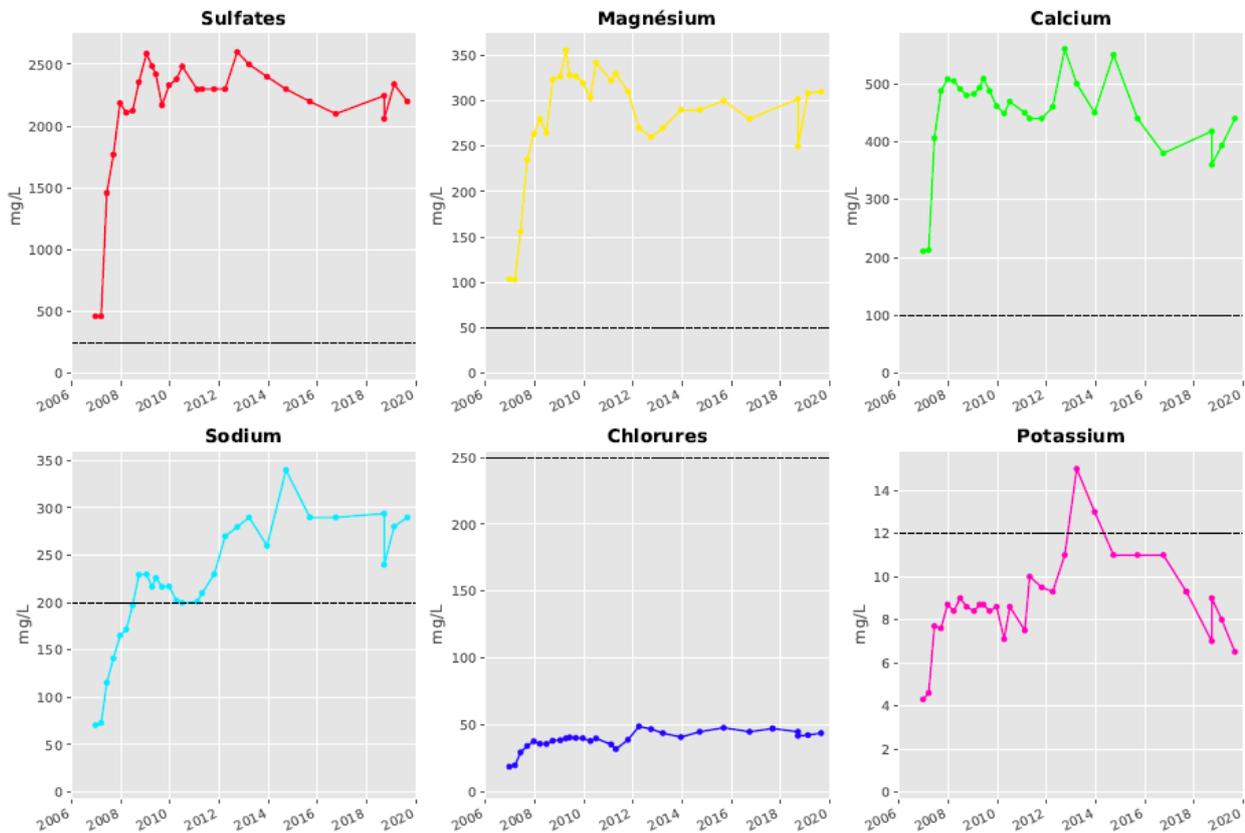


Illustration 38 : Evolution des concentrations des majeurs depuis l'ennoyage au niveau d'un secteur peu renouvelé (puits N7, reservoir Nord)

b) Les métaux

Une forte hausse des concentrations en fer et manganèse a été observée après l'ennoyage des réservoirs, mais cette augmentation s'est produite avec un décalage de quelques années par rapport aux ions majeurs. Dans les secteurs bien renouvelés (Illustration 39 : Evolution des concentrations en métaux depuis l'ennoyage au niveau d'un secteur renouvelé (puits N6, reservoir Nord)), un palier de concentration a systématiquement été atteint, puis les concentrations se sont mises à baisser suite au renouvellement de l'eau. Les phénomènes géochimiques responsables de ces augmentations de concentrations, différents de ceux qui ont provoqué la hausse de la minéralisation de l'eau (cf. ci-dessus), sont liés au changement d'état d'oxydo-réduction du milieu (diminution de l'oxygène disponible dans l'eau des réservoirs), qui a notamment provoqué la mise en solution de substances auparavant piégées sous forme solide dans les oxyhydroxydes de fer notamment.

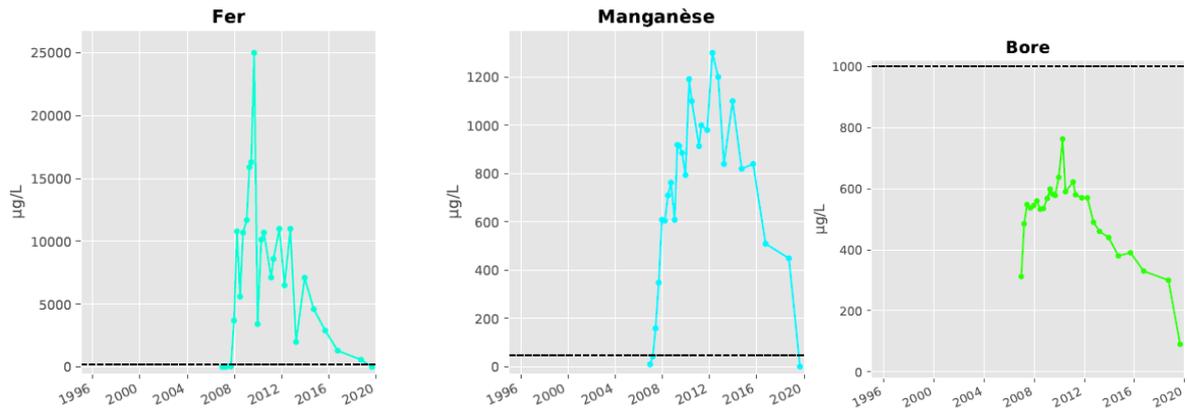


Illustration 39 : Evolution des concentrations en métaux depuis l'ennoyage au niveau d'un secteur renouvelé (puits N6, réservoir Nord)

c) Les composés azotés

Les concentrations en ammonium suivent la tendance des métaux et notamment du manganèse : après un pic de concentration atteint quelques années après la fin de l'ennoyage, elles sont désormais à la baisse dans les secteurs bien renouvelés et sont inférieures aux valeurs seuils depuis 2017 sur l'ensemble du réservoir (Illustration 40 : Evolution des concentrations en composés azotés au niveau d'un secteur renouvelé (puits N6, réservoir Nord)). Dans les secteurs peu ou pas renouvelés, les valeurs mesurées sont supérieures aux valeurs seuils et les tendances sont à la stabilité.

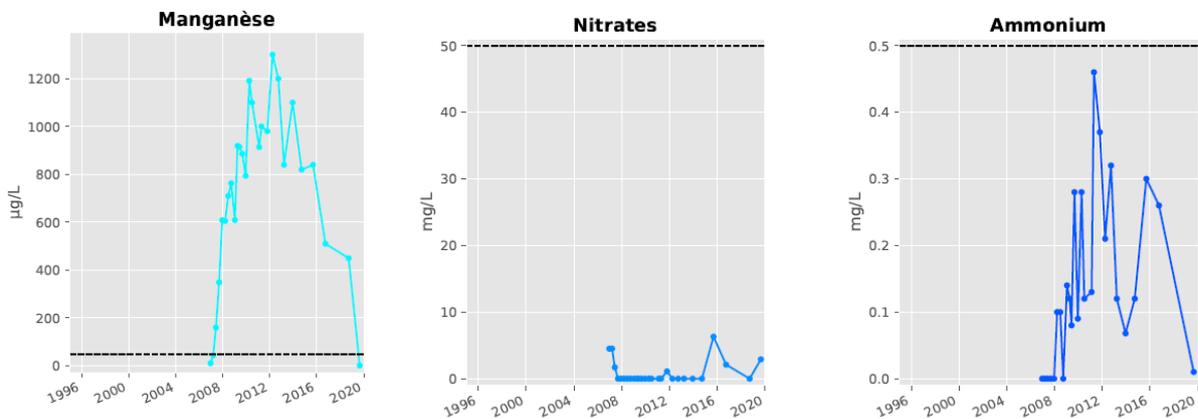


Illustration 40 : Evolution des concentrations en composés azotés au niveau d'un secteur renouvelé (puits N6, réservoir Nord)

Le phénomène géochimique responsable de la mise en solution de l'ammonium n'est pas connu avec précision, mais ne semble pas lié à la présence de nitrates - non détectés dans l'eau du réservoir minier (hormis sur une courte période en 2015/2016). La cinétique de l'ammonium est très corrélée à l'évolution du manganèse – et du fer dans une moindre mesure – et donc probablement aussi à l'évolution du potentiel rédox du milieu.

d) Les hydrocarbures

La fraction hydrocarbures C10 – C40 a été détectée à des concentrations importantes en 2018 (N3bis : 2,3 mg/l, N17 : 1,5 mg/l, S23 : 10,2 mg/l) ou en 2019 (C13 : 5 mg/l) et parfois pour les deux années 2018-2019 (N3 : 1,5 mg/l (2018) et 10,2 mg/l (2019)). Cette fraction n'avait pas été détectée en 2017. Le contrôle qualité réalisé en interne au laboratoire confirme ces résultats. Il est difficile de savoir s'il s'agit d'une pollution ponctuelle (une « bouffée » de polluant), ou si un panache de polluant existant n'avait pas été détecté par les préleveurs (hydrocarbures flottants au-dessus du préleveur ou au contraire situés au-dessous du préleveur en raison d'une densité plus élevée que celle de l'eau), ou s'il s'agit d'une erreur analytique systématique. La poursuite des campagnes permettra de confirmer ou non ces concentrations.

e) Les phytosanitaires

Depuis 2008, des pesticides sont mesurés trimestriellement au niveau des principaux points de débordements des trois réservoirs : N14bis (réservoir Nord), C8 et C16 (réservoir Centre) et S4 (réservoir sud) par l'AERM dans le cadre de l'évaluation de l'état qualitatif des masses d'eau souterraine de la DCE. Ce programme comprend l'analyse de 469 molécules, dont 449 caractérisées comme pertinentes par l'ANSES et 20 classées comme non pertinentes ou non expertisées par l'ANSES.

Le graphique ci-dessous (illustration 41) présente l'évolution de la somme des concentrations des pesticides (pertinents et non pertinents) au niveau des principaux exutoires.

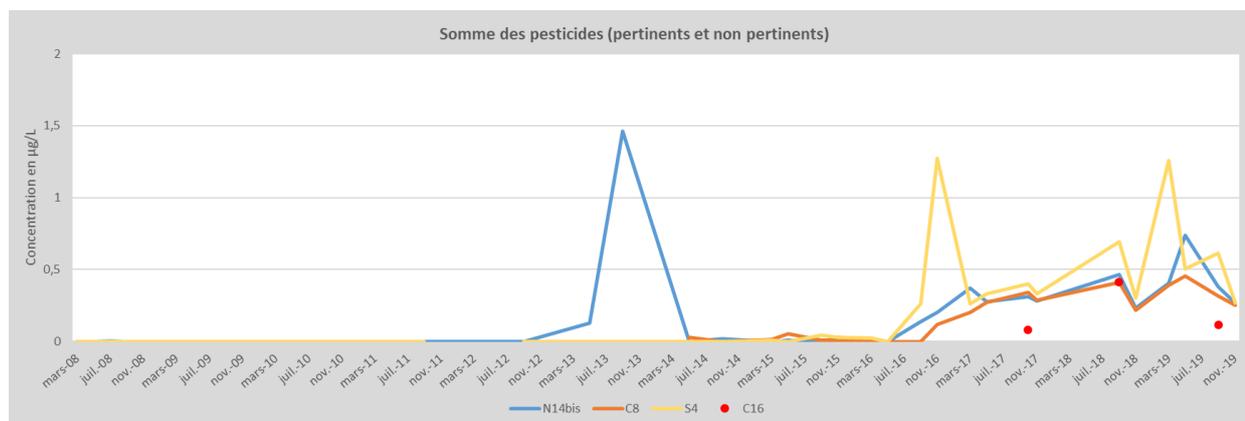


Illustration 41 : Chronique de la somme des concentrations en pesticides

On observe l'apparition généralisée de ces molécules depuis 2016 sur l'ensemble des points avec une tendance à la hausse. Le réservoir Sud présente les concentrations les plus élevées au niveau de son point de débordement (S4).

Les données disponibles ne nous permettent pas de distinguer une variation saisonnière des concentrations. On observe aussi bien des « pics » en mars qu'en septembre ou novembre ; toutefois le mois de septembre est le mois où les concentrations sont les plus élevées.)

En 2019, une campagne d'analyses complémentaires de phytosanitaires plus large a été réalisée fin août-début septembre. Les échantillonnages ont été étendus à l'ensemble des aquifères et des types de points : réservoir minier en profondeur (puits miniers), points de débordement, formation ferrifère non exploitée et nappe des calcaires du Dogger.

La carte de l'illustration ci-dessous présente les résultats de la campagne 2019 pour la somme des pesticides (pertinents et non pertinents).

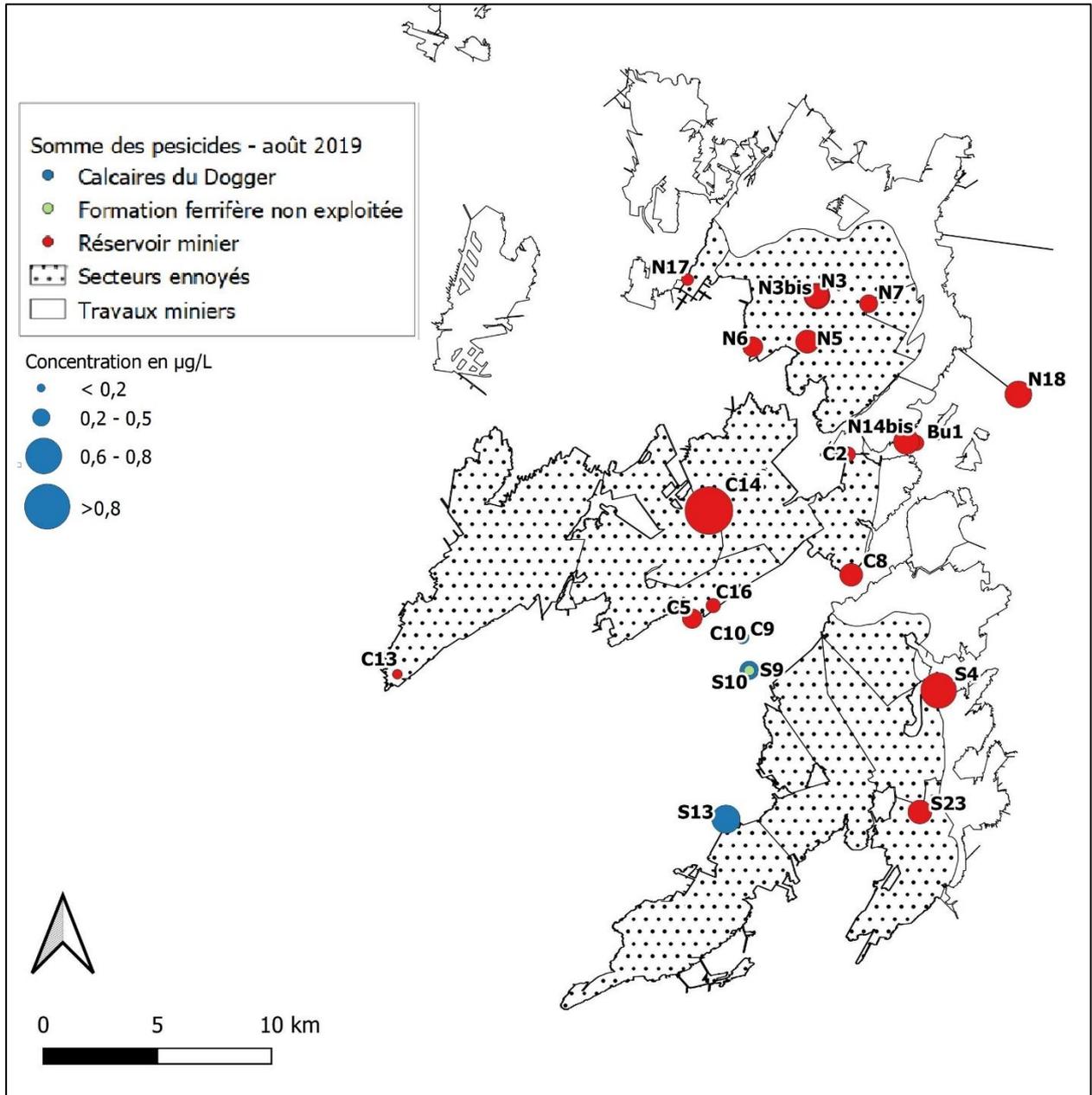


Illustration 42 : Cartographie des concentrations en produits phytosanitaires (campagne 2019)

La présence de produits phytosanitaires a été confirmée dans les eaux profondes des 3 réservoirs miniers, avec des concentrations (somme des pesticides) comprises entre 0,01 µg/L (C13 – puits Amermont III) et 0,9 µg/L (C14 - Puits Anderny II). Les secteurs où l'eau est bien renouvelée présentent des concentrations en pesticides plus élevés que les secteurs peu renouvelés.

Les produits phytosanitaires ont été détectés à l'état de trace (< 0,02 µg/l) dans les secteurs peu renouvelés des réservoirs miniers (secteurs 1 du réservoir Nord et Centre). Au niveau des points de débordement, ils ont été détectés à des valeurs comprises entre 0,25 µg/L (C5 – galerie du Woigot) et 0,6 µg/L (S4 – galerie du Chenal de Moyeuve)

Dans la nappe des calcaires du Dogger, ils ont été détectés à des concentrations inférieures à 0,5 µg/L. Dans la formation ferrifère non exploitée, ils ont été détectés à l'état de trace (< 0,02 µg/l).

La contamination d'un réservoir minier par une pollution de surface est contrôlée par ses conditions de recharge. Cette recharge s'opère par deux voies principales :

- les eaux souterraines de la nappe des calcaires du Dogger contribuent à la recharge directe du réservoir par l'intermédiaire des zones fracturées ;
- les eaux de surface (l'Orne et ses affluents principalement) contribuent à la recharge de la nappe des calcaires du Dogger et donc indirectement à celle du réservoir via des pertes ponctuelles de cours d'eau, avec le risque de propagation des contaminations en provenance du bassin versant des cours d'eau sur plusieurs dizaines de kilomètres.

3.3. LES CHRONIQUES SEMESTRIELLES

Six chroniques d'information semestrielles ont été réalisées sur la période de la convention. Les périodes couvrant ces chroniques semestrielles ont été modifiées pour les mettre en cohérence avec le cycle hydrologique des eaux souterraines. Les chroniques « hautes eaux » couvrent la période de novembre à avril et une chronique « basses eaux » celle de mai à novembre. Ces chroniques sont diffusées en juin pour la première et en décembre pour la seconde et sont publiées sur le SIGES <http://sigesrm.brgm.fr/> dans la rubrique <http://sigesrm.brgm.fr/Reseau-piezometrique-du-bassin-ferrifere-lorrain>. Elles sont présentées en annexe 3.

Ces chroniques sont destinées à un large public non spécialiste (usagers, collectivités, élus, etc.) et ont pour vocation de diffuser des éléments concernant l'évolution qualitative et quantitative des différents réservoirs miniers et des aquifères associés.

4. Conclusion

Les actions réalisées au cours de la convention de l'Observatoire 2017-2019 répondent aux enjeux réglementaires de la DCE et des objectifs du SAGE du bassin ferrifère.

Les travaux de maintenance et de modernisation du réseau de surveillance ont conduit au renouvellement de l'équipement de huit stations piézométriques et hydrométriques avec mise en place de la télétransmission et installation de deux préleveurs de fond.

L'identification des propriétaires privés des parcelles sur lesquelles sont implantés les ouvrages sans convention est une première étape vers la pérennisation des stations par la mise en place de conventions d'accès.

Le suivi des niveaux piézométriques (nappe des calcaires du Dogger, formation ferrifère non exploitée et réservoirs miniers) permet d'affirmer que la nappe des calcaires du Dogger alimente toujours les réservoirs miniers par drainance descendante.

Entre 2017 et 2019, le débit moyen annuel de débordement cumulé des trois réservoirs était de 100 millions de m³ (Mm³), variant entre 58 Mm³ (2017) et 132 Mm³ (2018). Le réservoir Sud est le réservoir qui restitue le plus important volume d'eau au milieu superficiel avec 56 % du volume total de débit de débordement du bassin ferrifère. La contribution du réservoir Nord est de 33 % et celle du réservoir Centre de 11 %.

La surveillance qualitative a porté sur les réservoirs miniers avec un suivi annuel, l'aquifère des calcaires du Dogger et la formation ferrifère non exploitée avec un suivi trisannuel. Les concentrations en sulfates sont toujours à la baisse dans les secteurs où l'eau est bien renouvelée et stables dans les autres secteurs. Les secteurs où l'eau est bien renouvelée représentent 60 % de la surface des trois principaux réservoirs du bassin ferrifère. Le réservoir Sud présente une meilleure qualité de l'eau minière comparativement aux autres réservoirs vis-à-vis des éléments majeurs.

Au cours de cette convention, des marqueurs d'une contamination anthropique de surface ont été détectés au sein des trois réservoirs. La détection de produits phytosanitaires, d'abord au niveau des points de débordement puis confirmée à l'ensemble des réservoirs miniers en 2019, notamment dans les secteurs où l'eau est bien renouvelée, réoriente les enjeux de surveillance.

La compréhension des processus principaux qui contrôlent le niveau de contamination des réservoirs miniers par des polluants de surface nécessite la poursuite et la généralisation des analyses de phytosanitaires sur des stations captant directement l'eau minière (puits minier) et l'eau des calcaires du Dogger (aquifères alimentant le réservoir minier) ainsi que l'étude des conditions de recharge des réservoirs miniers afin de mettre en évidence l'évolution de ces polluants et identifier les sources en amont.

Annexe 1 :

Liste des stations de l'Observatoire

	CODE_BSS	DENOMINATION	COMMUNE	AQUIFERE_CAPTE
NORD	01138X0185/PZ-15	N15 - Pz Fensch aval	KNUTANGE	Alluvions de la Fensch
	01137X0174/PZ-16	N16 - Pz Fensch amont	KNUTANGE	Alluvions de la Fensch
	01132X0189	N10 - Pz. Errouville Brune	ERROUVILLE	Calcaires du Dogger
	01137X0173/PZ-12	N12 - Pz Dogger supérieur	BOULANGE	Calcaires du Dogger
	01137X0172/PZ-13	N13 - Pz Dogger inférieur	BOULANGE	Calcaires du Dogger
	01137X0160/F	N20 - Pz Fontoy Nord	FONTOY	Calcaires du Dogger
	01137X0159/F	N21 - Pz Fontoy Sud	FONTOY	Calcaires du Dogger
	01133X0099/PZ-1	N1 - Pz François Grise	AUMETZ	Réservoir minier
	01133X0094/SR2	N2 - Pz François Brune	AUMETZ	Réservoir minier
	01137X0143/S	N3 - Pts Ferdinand Grise	TRESSANGE	Réservoir minier
	01137X0182/N3BIS	N3bis - Puits Ferdinand Jaune	TRESSANGE	Réservoir minier
	01137X0175/PZ-5	N5 - Puits Cheminée Sud Grise	BOULANGE	Réservoir minier
	01137X0099/P1	N6 - Puits Boulange Grise	BOULANGE	Réservoir minier
	01137X0169/PZ-7	N7 - Pz Angevillers Grise	HAVANGE	Réservoir minier
	01137X0170/PTS-8	N8 - Pts Havange Brune	FONTOY	Réservoir minier
	01133X0052/P1	N9 - Puits Bure Jaune Sauvage	TRESSANGE	Réservoir minier
	01137X0171/PZ-11	N11 - Pz Cheminée Sud Zone Dépillée	BOULANGE	Réservoir minier - Zone foudroyée
	01138X0184/G14BIS	N14bis - Gal. d'accès de Knutange (la Paix)	KNUTANGE	Réservoir minier
01132X0164/PUITS	N17 - Puits Errouville III	ERROUVILLE	Réservoir minier	
01138X0147/P	N18 - Galerie de Metzange	THONVILLE	Réservoir minier	
BURBACH	01138X0172/BURBAC	Bu 1 galerie de Burbach	ALGRANGE	Réservoir minier
CENTRE	01372X0206/F	C1 - Forage de la ferme de Mance	MANCE	Calcaires du Dogger
	01373X0132/P01	C11 - Pz P1 Saint Pierremont	AVRIL	Calcaires du Dogger
	01373X0133/P02	C12 - Pz P2 Saint Pierremont	AVRIL	Calcaires du Dogger
	01373X0131/A15	C6 - Pz A15 Avril amont	AVRIL	Calcaires du Dogger
	01372X0204/M52	C9 - Pz. M52 - Mance	MANCE	Calcaires du Dogger
	01373X0176/PREL	C21 - Conroy - station hydrométrique	MOYEUUVRE-GRANDE	Cours d'eau Conroy
	01372X0211/PZBIS	C10 - Pz Mance bis	MANCE	Formation ferrifère non exploitée
	01373X0130/A25	C7 - Pz A25 Avril aval	AVRIL	Formation ferrifère non exploitée
	01373X0158/PZ	C8 - Pz. Chevillon artésien	AVRIL	Formation ferrifère non exploitée
	01137X0157/PUITS	C2 - Forage Route Blanche	FONTOY	Réservoir minier
	01373X0134/EXHAUR	C3 - Galerie de Bois d'avril	NEUFCHÉF	Réservoir minier
	01372X0197/EX	C5 - Galerie du Woigoit	MANCIEULLES	Réservoir minier
	01364X0042/P3	C13 - Puits Amermont III	DOMMERY-BARONCOURT	Réservoir minier
	01136X0148/P	C14 - Puits Anderny II	TUCQUEGNIEUX	Réservoir minier
01372X0198/P2	C16 - Pts St-Pierremont	MANCIEULLES	Réservoir minier	
HAYANGE SUD	01374X0268/S	Ha1 - Pz Hayange Sud	NEUFCHÉF	Réservoir minier
SUD	01376X0149/H01	S13 - Pz H1 Hatrize	HATRIZE	Calcaires du Dogger
	01377X0212/M02	S15 - Pz M2 Paradis aval	MOINEVILLE	Calcaires du Dogger
	01632X0070/V105	S16	VILLE-SUR-YRON	Calcaires du Dogger
	01632X0071/V19	S17 - Pz V19	VILLE-SUR-YRON	Calcaires du Dogger
	01377X0205/F3	S18 - Calcaires du Dogger à Verneville	VERNEVILLE	Calcaires du Dogger
	01372X0210/BRIEYA	S9 - Pz Briey A	BRIEY	Calcaires du Dogger
	01372X0209/BRIEYB	S10 - Pz Briey B	BRIEY	Formation ferrifère non exploitée
	01373X0160/PZAAVAL	S11 - Pz Conroy aval	NEUFCHÉF	Formation ferrifère non exploitée
	01378X0121/RC1	S23-PUITS RONCOURT I	RONCOURT	Réservoir minier
	01374X0273/G	S4 - GALERIE DU CHENAL DE MOYEUUVRE	MOYEUUVRE-GRANDE	Réservoir minier
	01377X0211/M01	S14 -Pz M1 Paradis aval	MOINEVILLE	Réservoir minier - Zone foudroyée
	01377X0099/FM	S19- Puits Auboué I	AUBOUÉ	Réservoir minier
	01376X0148	S20 - Puits Droitaumont II	JARNY	Réservoir minier
	01377X0210	S2 - Forage Valleroy-Moineville 1	MOINEVILLE	Réservoir minier
	01377X0213	S22 - Puits Paradis V	MOINEVILLE	Réservoir minier
	01377X0221/F2	S3 - For. Valleroy-Moineville 2	MOINEVILLE	Réservoir minier



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin - BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction régionale Grand Est – Site de Nancy
1, rue Jean Zay
54500 – Vandœuvre-lès-Nancy – France
Tél. : 03 83 44 81 49