

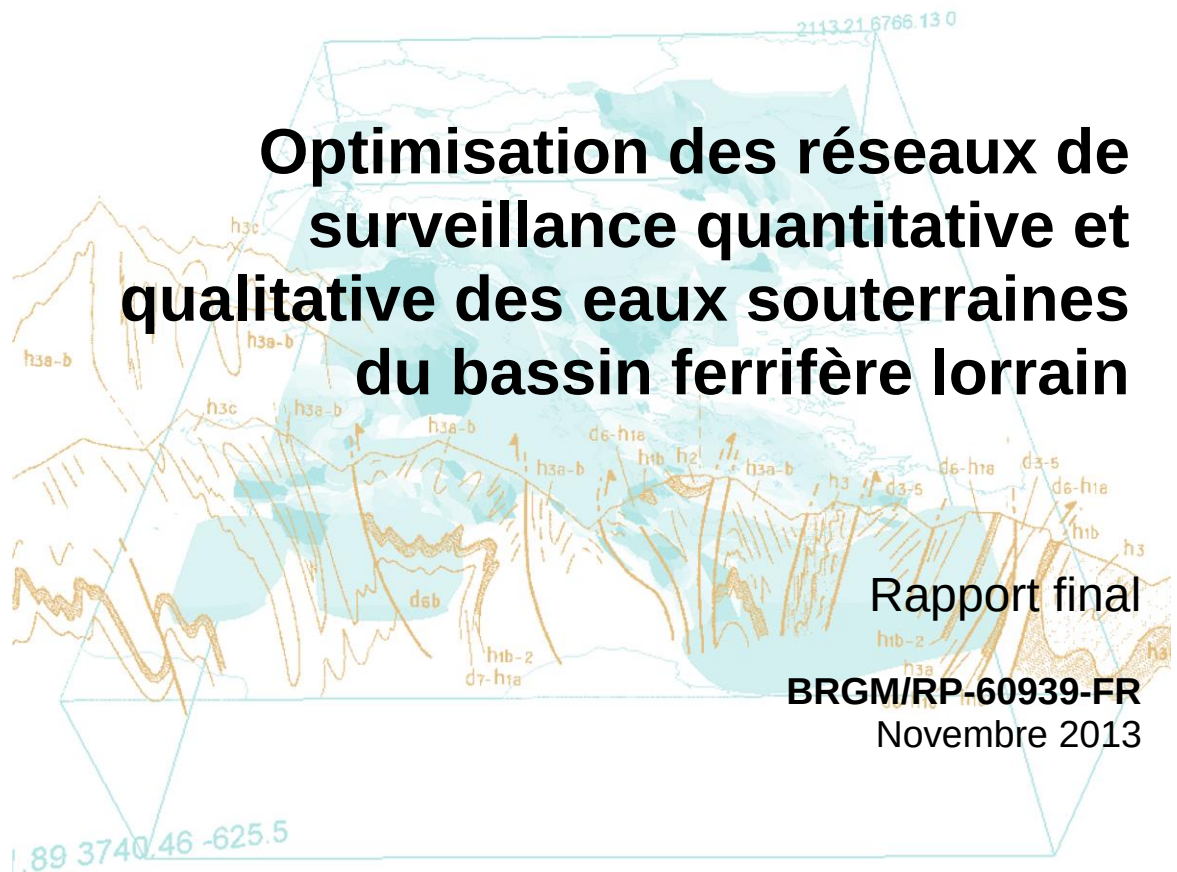


Optimisation des réseaux de surveillance quantitative et qualitative des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain

Rapport final

BRGM/RP-60939-FR

Novembre 2013



Optimisation des réseaux de surveillance quantitative et qualitative des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain

Rapport final

BRGM/RP-60939-FR

Novembre 2013

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 11EAUV32

S. Ollagnier

Vérificateur :

Nom : L. Vaute

Date : 09/07/2013

Signature :



Approbateur :

Nom : D. Midot

Date : 17/01/2014

Signature :



Mots clés : Eau souterraine, réservoir minier, débordement, sulfates

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

Ollagnier S. (2013) – Optimisation des réseaux de surveillance quantitative et qualitative des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain. Rapport BRGM/RP-60939-FR, 103 p., 41 ill., 3 ann.

© BRGM, 2013, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

L'arrêt progressif de l'exploitation minière dans le bassin ferrifère lorrain a conduit à des modifications du régime des eaux souterraines et à l'altération de leur qualité. A partir de 1995, l'Agence de l'eau Rhin-Meuse, la DREAL Lorraine et le BRGM Lorraine ont engagé des actions de connaissance et de protection de la ressource. Le BRGM assure ainsi depuis cette date la surveillance des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain, dans le cadre de ses activités de service public. Sur la période 2011-2013, le suivi quantitatif concerne 34 stations et le suivi qualitatif 41 stations. Le BRGM a été sollicité par l'Agence de l'eau Rhin-Meuse et la DREAL Lorraine pour réaliser une étude d'optimisation des réseaux de surveillance quantitative et qualitative du bassin ferrifère lorrain.

Le travail d'optimisation a consisté dans un premier temps à effectuer un état des lieux des stations et réseaux de surveillance existant sur le bassin ferrifère. 76 stations ont été identifiées à partir des listes établies dans l'état des lieux du Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) du bassin ferrifère. Plusieurs réseaux de surveillance catalogués dans la banque ADES (Accès aux Données sur les Eaux Souterraines) ont été pris en compte, dont notamment le réseau du contrôle sanitaire, le réseau de surveillance patrimonial au titre de l'application de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE), et le réseau de l'inventaire de la qualité des eaux souterraines de la région lorraine.

Une réflexion a été engagée avec les partenaires du projet pour préciser les enjeux de la surveillance. Les réunions de concertation ont conduit à identifier :

- un enjeu lié à la surveillance réglementaire (au titre de la DCE),
- un enjeu lié à la surveillance des eaux souterraines dans le cadre du SAGE du bassin ferrifère Lorrain (qui liste plusieurs actions / recommandations en liens avec la gestion de la ressource en eau du bassin ferrifère).

Les arguments techniques nécessaires à l'optimisation ont été apportés. Cette réflexion souligne notamment :

- l'importance de la surveillance des débits de débordement des réservoirs miniers pour le calcul de la recharge des réservoirs,
- le caractère homogène de la piézométrie des réservoirs miniers,
- l'hétérogénéité de la qualité au sein de chaque réservoir minier (due à des taux de renouvellement des eaux très variables selon les secteurs).

Pour chaque enjeu, des réseaux de surveillance distincts ont été définis et chiffrés pour le suivi quantitatif et qualitatif. Le coût d'exploitation des réseaux ainsi définis est en baisse de 40 % environ par rapport au coût de la surveillance sur la période 2011-2013. Cette diminution s'explique par :

- la diminution des fréquences d'échantillonnages (les fréquences préconisées ont été adaptées à la variabilité des phénomènes observés),
- la diminution du nombre de tournées de mesures sur les stations de surveillance implantées dans la formation ferrifère non exploitée et le Dogger (stations implantées initialement pour des besoins de connaissances, aujourd'hui acquises, sur le nouveau fonctionnement hydrogéologique résultant de l'ennoyage).

Les réseaux de surveillance de la qualité de l'eau des réservoirs miniers conservent donc une densité de stations relativement importante, adaptée à la nature hétérogène des circulations d'eau souterraine dans les réseaux de galeries.

Aucune modification notable des réseaux de surveillance suivis au titre de la DCE n'a été proposée, car la présente étude montre leur bonne adaptation aux exigences de la DCE.

Sommaire

1. Contexte de l'étude	9
1.1. HISTORIQUE DE LA SURVEILLANCE DES EAUX SOUTERRAINES DU BASSIN FERRIFERE LORRAIN	9
1.2. OBJECTIFS DU TRAVAIL D'OPTIMISATION	10
1.3. EXTENSION GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE CONCERNEE PAR LE TRAVAIL D'OPTIMISATION.....	11
1.4. RAPPELS DU CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE	12
2. Methodologie.....	15
2.1. PHASAGE DE L'ETUDE	15
2.2. ETAT DES LIEUX DES STATIONS ET DES RESEAUX EXISTANTS	16
2.3. ENJEUX DE LA SURVEILLANCE	19
2.3.1. Enjeu N°1 : Assurer la surveillance règlementaire au titre de la directive cadre européenne sur l'eau (DCE)	19
2.3.2. Enjeu N°2 : Assurer la surveillance nécessaire à la gestion de la ressource en lien avec les objectifs du schéma d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE) du bassin ferrifère.....	19
2.4. ELEMENTS DE REFLEXION POUR LE TRAVAIL D'OPTIMISATION	21
2.4.1. Surveillance des réservoirs	21
2.4.2. Piézométrie des réservoirs minier	23
2.4.3. Surveillance de la qualité de l'eau des réservoirs miniers.....	27
2.4.4. Piézométrie et qualité du Dogger et de la formation ferrifère non exploitée47	
2.4.5. Surveillance des débits de débordement des réservoirs miniers	51
2.4.6. Estimation des débits de fuite du réservoir centre	53
3. RESULTATS DE L'OPTIMISATION	57
3.1. ENJEU N°1	58
3.1.1. Réseau DCE quantitatif (réseau A)	58
3.1.2. Réseau DCE qualitatif (réseau B).....	60
3.1.3. Réseau de surveillance du débit de débordement et de fuite des réservoirs miniers (réseau C)	65

3.2. ENJEU N°2.....	68
3.2.1. Réseau de surveillance quantitatif du SAGE BFL (réseau D)	68
3.2.2. Réseau de surveillance qualitatif du SAGE BFL (réseau E).....	70
3.3. ESTIMATION DES COÛTS D'EXPLOITATION DES RESEAUX PROPOSES	81
4. Conclusion.....	85
5. Bibliographie	87

Liste des illustrations

Illustration 1 : Carte de localisation des réservoirs miniers	11
Illustration 2 : Schéma conceptuel du fonctionnement hydrogéologique du bassin ferrifère	12
Illustration 3 : Présentation des différentes phases de l'étude	15
Illustration 4 : Liste des stations du bassin ferrifère lorrain (lignes en bleu : stations appartenant au réseau DCE quantitatif – lignes en rouge : réseau DCE qualitatif)	17
Illustration 5 : Localisation des stations du bassin ferrifère (Nb : les étiquettes en bleu correspondent aux stations suivies dans le cadre des réseaux de suivi quantitatif et qualitatif des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain).	19
Illustration 6 : Tableau récapitulatif des principales caractéristiques des réservoirs miniers du bassin ferrifère lorrain	22
Illustration 7 : Graphique comparatif des chroniques piézométriques du réservoir Nord	24
Illustration 8 : Diagramme de corrélation entre le niveau piézométrique mesuré au puits Cheminée Sud (N5) et celui mesuré au puits Boulange (N6)- cotes exprimées en m NGF	25
Illustration 9 : Comparatif de chroniques piézométriques acquises sur les réservoirs miniers des bassins Centre et Sud (cotes exprimées en m NGF)	26
Illustration 10 : Concentrations maximales annuelles en sulfates du réservoir Nord	29
Illustration 11 : Cartographie du réservoir Nord : délimitation des secteurs homogènes sur le plan qualitatif	31
Illustration 12 : Sectorisation du réservoir Nord : classement des stations et commentaires	32
Illustration 13 : Concentrations maximales annuelles en sulfates du réservoir Centre	34
Illustration 14 : Cartographie du réservoir Centre : délimitation des secteurs homogènes sur le plan qualitatif	36
Illustration 15 : Sectorisation du réservoir Centre : classement des stations et commentaires	37
Illustration 16 : Concentrations maximales annuelles en sulfates du réservoir Sud	39

Illustration 17 :	Cartographie du réservoir Sud : délimitation des secteurs homogènes sur le plan qualitatif	42
Illustration 18 :	Sectorisation du réservoir Sud : classement des stations et commentaires	43
Illustration 20 :	Bilan de la surveillance quantitative et qualitative du Dogger et de la formation ferrifère non exploitée	49
Illustration 21 :	Tableau récapitulatif des points de débordement des différents réservoirs (stations et réservoirs en bleu : surveillance en cours en 2013)	51
Illustration 22 :	Carte de localisation des fuites du réservoir Centre	54
Illustration 23 :	Principe de calcul des fuites du réservoir Centre (extrait du rapport BRGM/RP-53277 – Vaute, 2005)	55
Illustration 24 :	Tableau récapitulatif des stations sélectionnées pour le réseau DCE quantitatif	58
Illustration 25 :	Carte de localisation des stations du réseau DCE quantitatif	59
Illustration 27 :	Liste des paramètres retenus pour les analyses	63
Illustration 28 :	Carte de localisation des stations du réseau DCE qualitatif	64
Illustration 29 :	Tableau récapitulatif des stations sélectionnées pour le réseau de surveillance du débit de débordement des réservoirs miniers	65
Illustration 30 :	Carte de localisation des stations du réseau de surveillance du débit de débordement des réservoirs miniers	67
Illustration 31 :	Tableau récapitulatif des stations sélectionnées pour le réseau de surveillance quantitatif du SAGE BFL	69
Illustration 32 :	Carte de localisation des stations du réseau de surveillance quantitatif du SAGE BFL	70
Illustration 33 :	Tableau récapitulatif des stations sélectionnées pour le réseau de surveillance qualitatif du SAGE BFL (lignes en rouge : stations DCE qualitatif – réseau B)	73
Illustration 34 :	Carte de localisation des stations du réseau de surveillance qualitatif du SAGE BFL	75
Illustration 36 :	Bilan du travail d'optimisation	79
Illustration 37 :	Illustration schématique du dispositif de débordement du réservoir Nord	91
Illustration 38 :	Illustration schématique du dispositif de débordement du réservoir Centre	92
Illustration 39 :	Statistiques sur les concentrations moyennes annuelles du réservoir Nord	97
Illustration 41 :	Statistiques sur les concentrations moyennes annuelles du réservoir Sud	99

Liste des annexes

Annexe 1 : Fonctionnement des dispositifs de débordement des réservoirs Nord, Centre et Sud	89
Annexe 2 : Graphiques de l'évolution de la qualité des eaux souterraines des réservoirs Nord, Centre, et Sud pour 8 paramètres en lien avec la problématique de l'ennoyage	95
Annexe 3 : Fréquences de quantification d'éléments indésirables sur le bassin ferrifère lorrain	101

1. Contexte de l'étude

1.1. HISTORIQUE DE LA SURVEILLANCE DES EAUX SOUTERRAINES DU BASSIN FERRIFERE LORRAIN

Durant plus d'un siècle d'exploitation dans le bassin ferrifère lorrain, 3 milliards de tonnes de minerai de fer ont été excavés, 40 000 km de galeries ont été creusés. Le bassin ferrifère est divisé en trois principaux bassins : Sud, Centre et Nord. L'exhaure des eaux de mines a atteint 291 millions de m³ par an en 1981, l'essentiel du débit pompé dans les réseaux de galerie était alors déversé dans les cours d'eau. La dernière exploitation minière a fermé en 1997. La cessation de l'activité minière et l'arrêt des pompages d'exhaure a entraîné l'ennoyage des réservoirs Centre, Sud et Nord entre 1994 et 2008. La surface totale de l'ensemble des travaux miniers du bassin ferrifère s'élève à près de 430 km², dont les ¾ sont ennoyés, ce qui représente un volume d'eau supérieur à 450 millions de m³.

L'arrêt progressif de l'exploitation minière dans le bassin ferrifère a conduit à des modifications du régime des eaux souterraines et superficielles, ainsi qu'à l'altération de leur qualité : il en a résulté des impacts lourds vis-à-vis des usages potentiels (alimentation en eau), des risques naturels (variation du débit des cours d'eau) et des conditions d'alimentation des cours d'eau en période d'étiage.

Ce constat a conduit les pouvoirs publics à initier en 1994 l'élaboration d'un schéma d'aménagement et de gestion des eaux (Vaute et al. 2007a, 2007b, rapports téléchargeables sur le site du Conseil Régional Lorraine www.lorraine.eu/sagebf). En parallèle, à partir de 1995, et en complément de la surveillance prescrite aux exploitants, l'Agence de l'eau Rhin-Meuse, la DREAL Lorraine et le BRGM Lorraine ont engagé des actions de connaissance et de protection de la ressource. Le BRGM assure ainsi depuis cette date la surveillance des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain, dans le cadre de ses activités de service public.

Sur la période 2011-2013, le BRGM assure en partenariat avec l'Agence de l'eau Rhin-Meuse, la DREAL et d'autres partenaires le suivi quantitatif de 34 stations et le suivi qualitatif de 41 stations du bassin ferrifère Lorrain (cf. illustrations 4 et 5). La fréquence de mesure du niveau piézométrique et du débit de débordement des réservoirs varie d'une mesure par heure à une mesure trimestrielle. Les échantillonnages et les analyses sont effectués à des fréquences mensuelles à annuelles, et concernent les éléments majeurs (calcium, magnésium, sodium, potassium, sulfate, chlorure, bicarbonate), les composés azotés (ammonium, nitrite, nitrate), certains éléments caractéristiques de l'eau d'ennoyage des réservoirs miniers (strontium, fer, manganèse, bore), et les polluants potentiellement présents dans l'eau des réservoirs miniers (nickel, hydrocarbures totaux, indice phénol).

Les résultats de la surveillance sont présentés par des rapports téléchargeables sur le site du BRGM (www.brgm.fr, cf. Ollagnier, 2011 pour le dernier disponible), ainsi que par le biais de chroniques périodiques (mensuelles à semestrielles selon les années) intitulées « Bassin Ferrifère : Surveillance Eau », accessibles sur le site Internet de l'Agence de l'eau (www.eau-rhin-meuse.fr – 2000 à 2003) et de la DREAL Lorraine (www.lorraine.developpement-durable.gouv.fr – après mars 2003).

1.2. OBJECTIFS DU TRAVAIL D'OPTIMISATION

Le BRGM a été sollicité pour réaliser en 2012-2013 une étude d'optimisation des réseaux de surveillance des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain. Cette étude, réalisée en partenariat technique avec l'Agence de l'eau Rhin-Meuse, la DREAL Lorraine et le Conseil Régional de Lorraine a notamment pour objectifs :

- de dresser un état des lieux des enjeux actuels et futurs liés aux eaux souterraines du bassin ferrifère,
- de définir les réseaux de surveillance associés en s'appuyant sur une sélection de stations existantes,
- de chiffrer les coûts d'exploitation des réseaux pour chaque enjeu.

Ce rapport présente la méthodologie employée et les résultats de l'étude.

1.3. EXTENSION GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE CONCERNEE PAR LE TRAVAIL D'OPTIMISATION

Le travail d'optimisation du réseau de suivi des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain a été effectué sur un secteur qui s'étend sur l'ensemble du territoire occupé par les zones ennoyées des réservoirs ainsi que sur les zones situées entre les réservoirs miniers. L'illustration 1 ci-dessous présente une carte de localisation de ces secteurs.

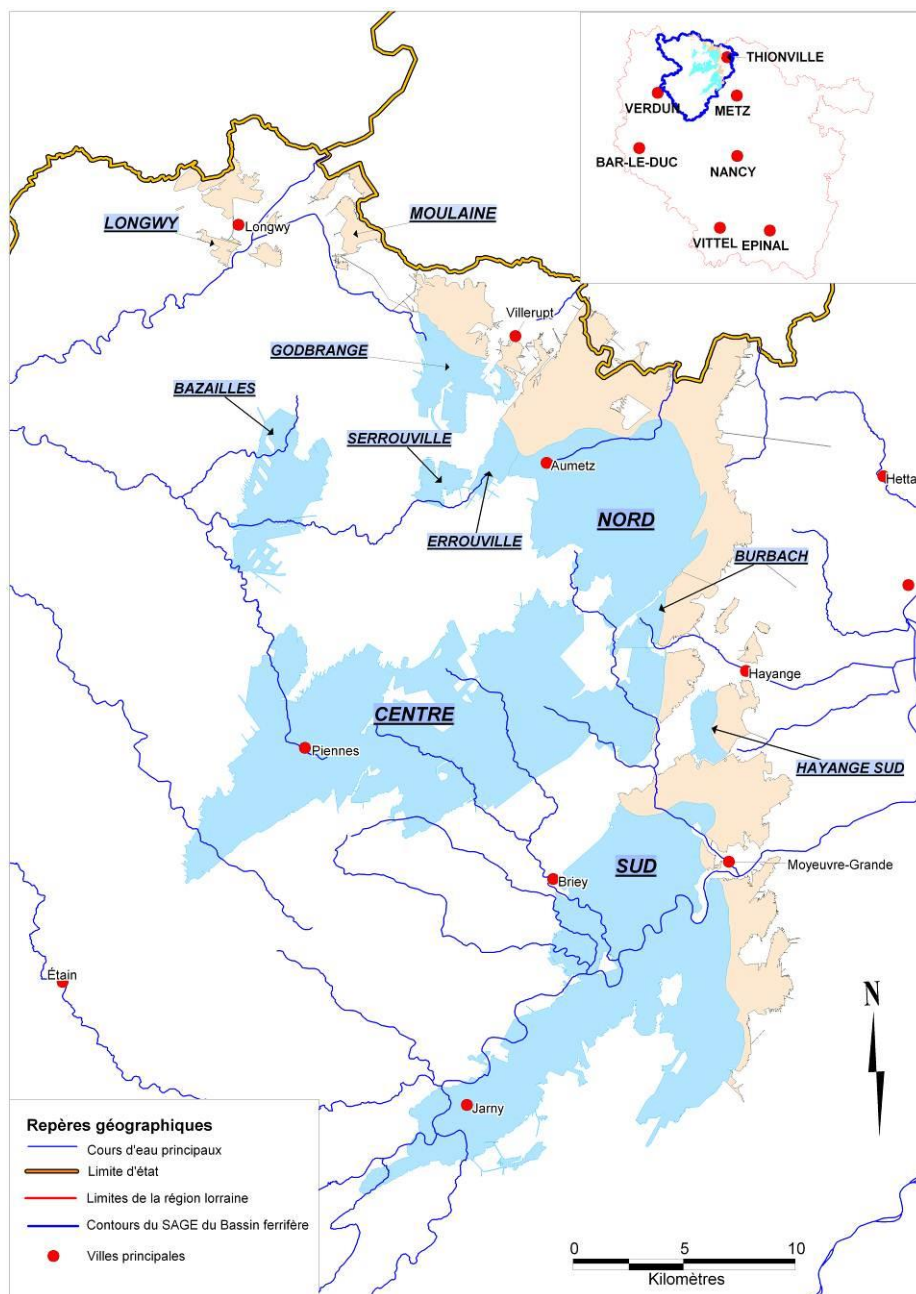


Illustration 1 : Carte de localisation des réservoirs miniers

1.4. RAPPELS DU CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

Le contexte géologique et hydrogéologique du bassin ferrifère Lorrain est présenté ici de manière succincte. Le détail peut être consulté dans le rapport BRGM/RP-58029-FR.

Le schéma conceptuel du fonctionnement hydrogéologique du bassin ferrifère après ennoyage est présenté dans l'illustration ci-dessous.

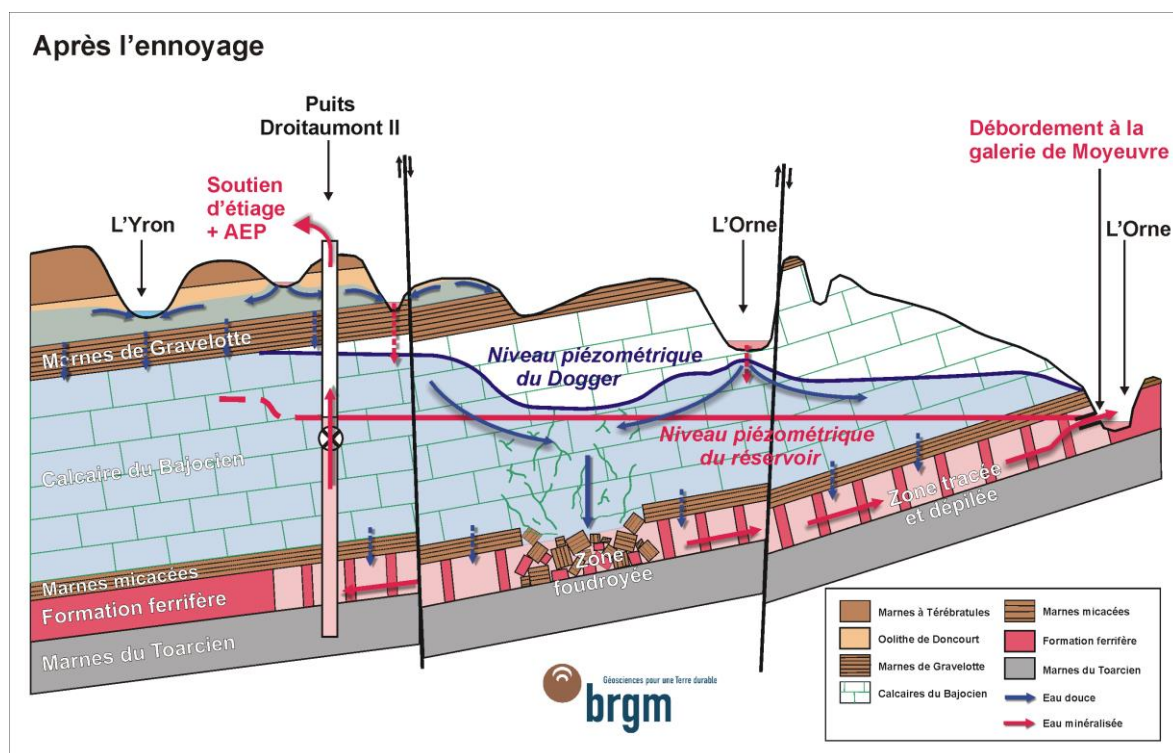


Illustration 2 : Schéma conceptuel du fonctionnement hydrogéologique du bassin ferrifère

Du point de vue hydrogéologique, on distingue les formations aquifères suivantes :

- la formation ferrifère aquifère exploitée, reposant sur les marnes imperméables du Toarcien, surmontée des marnes micacées imperméables du Bajocien inférieur, c'est un aquifère artificiel constitué des vides créés par les galeries minières, dénommé par convention « réservoir minier » ;
- l'importante formation aquifère du Bajocien (nappe du Dogger), principalement karstique et fissurée ;

- les nappes perchées du Bajocien supérieur (Oolite de Doncourt, etc.) séparées par des formations imperméables à semi-perméables (marnes de Gravelotte) ;
- des nappes alluviales de faible extension (alluvions de l'Orne, de la Fensch, etc.) ;

La nature des écoulements dans ces différentes formations est complexe. Ces formations aquifères sont susceptibles d'être en communication hydraulique. C'est le cas notamment :

- de l'aquifère du Dogger et des réservoirs miniers, mis en communication au niveau des zones foudroyées qui constituent des zones de recharge du réservoir (fracturation de la formation des marnes micacées suite aux effondrements miniers provoqués),
- des aquifères perchés du Bajocien inférieur et du Bathonien avec l'aquifère principal du Dogger,
- des aquifères du Dogger et des réservoirs miniers avec les aquifères alluviaux au niveau des vallées.

Les directions d'écoulements montrent :

- le drainage de la nappe du Dogger par celle des réservoirs miniers,
- le drainage de la nappe des réservoirs miniers par les cours d'eau au niveau des points de débordement des différents réservoirs et des points de rejets des exhaures conservés au titre du soutien d'étiage.

Parmi les conséquences de l'ennoyage figurent du point de vue hydrogéologique :

- la modification des écoulements souterrains,
- la modification du débit des cours d'eau,
- la détérioration de la qualité de l'eau souterraine.

Certains cours d'eau ont en effet vu leur débit baisser du fait de l'arrêt du rejet des eaux d'exhaure, et d'autres augmenter en raison des débordements des réservoirs miniers et de la réactivation de sources de drainage de l'aquifère du Dogger, tout cela dans des proportions parfois considérables.

Des exutoires des réservoirs miniers non désirés sont apparus, sous forme de « fuites » situées en dessous des cotes de débordement envisagées, comme cela a pu être observé dans les vallées du Conroy, du Cheillon, et de l'Orne.

Alors que l'eau des calcaires du Dogger qui alimente par drainage descendant les réservoirs miniers, présente une faible minéralisation, les eaux circulant dans les anciennes mines de fer noyées sont très minéralisées. En particulier, les concentrations en sulfate, magnésium, sodium dépassent très souvent les concentrations maximales admissibles pour l'eau potable.

Cette situation est transitoire, jusqu'à ce que le stock d'eau minéralisée soit évacué par le jeu naturel des circulations souterraines (le stock d'éléments chimiques qui peuvent se dissoudre dans l'eau et sont responsables de sa minéralisation ne se renouvelle pas en milieu ennoyé). Cependant, cette situation transitoire peut durer quelques années, voire quelques dizaines d'années si le temps de résidence de l'eau dans le réservoir est long.

2. Methodologie

2.1. PHASAGE DE L'ETUDE

La méthodologie appliquée pour le travail d'optimisation se décompose en 4 phases :

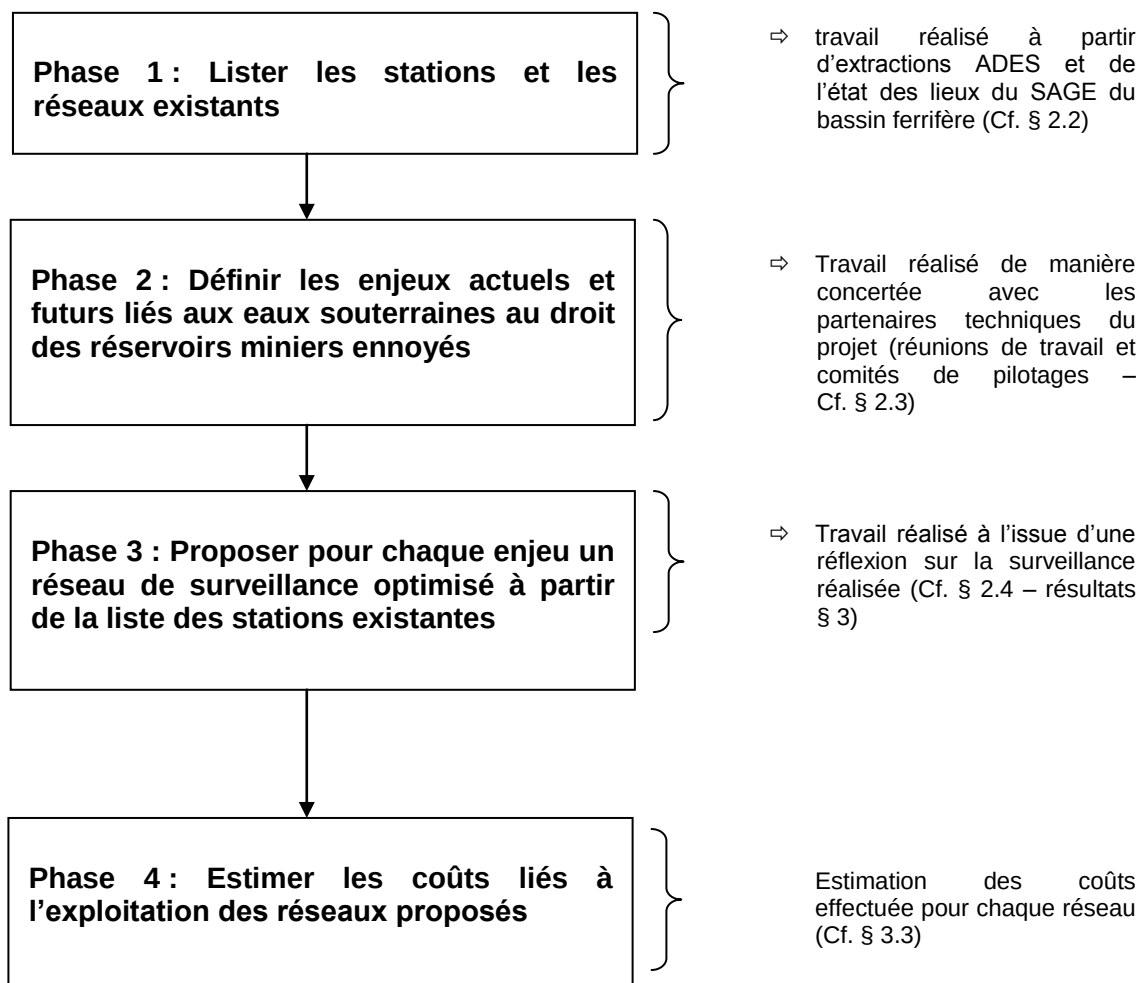


Illustration 3 : Présentation des différentes phases de l'étude

2.2. ETAT DES LIEUX DES STATIONS ET DES RESEAUX EXISTANTS

Le travail d'optimisation a été effectué sur une liste actualisée de stations établie dans le cadre de l'état des lieux du SAGE du bassin ferrifère lorrain. Cette liste contient à la fois des stations faisant partie de divers réseaux de surveillance des eaux souterraines, ainsi que des stations n'appartenant à aucun réseau de surveillance mais permettant l'accès au réservoir minier. La liste des 76 stations est présentée dans le tableau ci-dessous. Les stations concernent les réservoirs Nord, Centre, Sud, Bazailles, Burbach, Godbrange, Hayange, Longwy, Moulaine, Errouville et Serrouville. Parmi les stations figurent les points de débordement des réservoirs miniers ennoyés, des puits de mine, des piézomètres, des sources et des stations sur cours d'eau. Les stations concernent le réservoir minier, la formation ferrifère non exploitée, l'aquifère du Dogger et les alluvions de la Fensch. Les réseaux de surveillance (réseaux unitaires) présent sur ADES et contenant des stations sous l'emprise du bassin ferrifère lorrain sont les suivants :

- le réseau de suivi quantitatif des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain, dont le suivi est assuré par le BRGM en partenariat avec l'Agence de l'eau Rhin-Meuse et la DREAL (code Sandre 0200000018),
- le réseau de suivi qualitatif des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain, dont le suivi est assuré par le BRGM en partenariat avec l'Agence de l'eau Rhin-Meuse et la DREAL (code Sandre 0200000013),
- le réseau de suivi piézométrique des eaux souterraines de la région Lorraine : stations du réseau DCE quantitatif, dont le suivi est assuré par le BRGM en partenariat technique avec la DREAL dans le cadre d'une convention BRGM/ONEMA (code Sandre 0200000078 => lignes en bleu dans le tableau de l'illustration 4). Ces stations appartiennent au méta-réseau de « Surveillance de l'état quantitatif des eaux souterraines du bassin Rhin (FRCSOP – code Sandre 0200000066) ».
- le réseau sur l'inventaire de la qualité des eaux souterraines de la région Lorraine dont le suivi est assuré par l'Agence de l'eau Rhin-Meuse (RRINV LOR – code Sandre 0200000014),
- le réseau qualitatif des eaux souterraines pour le suivi des Installations Classées pour la région lorraine (RRICQLOR – code Sandre 0200000037),
- le réseau national de suivi au titre du contrôle sanitaire sur les eaux brutes utilisées pour la production d'eau potable (RNSISEAU – code Sandre 0000000028),
- le réseau de contrôle de surveillance de l'état chimique des eaux souterraines du bassin Rhin : stations du réseau DCE qualitatif (FRCSOS – code Sandre 0200000068 => lignes en rouge dans le tableau de l'illustration 4),
- le réseau des captages prioritaires du bassin Rhin-Meuse (SDAGE – code Sandre 0200000087).

N°	Code BSS	Nom	Réservoir	Type de station	Cible	Autres réseaux unitaires (réseaux marqués d'une astérisque = suivi quantitatif - Texte en italique = méta-réseau)		
Ba1	01128X0027/P1	Pts Bazailles I	BAZAILLES	Puits de mine	Réservoir minier			
Bu1	01138X0172/BURBAC	Gal. de Burbach	BURBACH	Point de débordement	Réservoir minier			
C1	01372X0206/F	For. Ferme de Mance	CENTRE	Forage	Dogger			
C2	01137X0157/PUITS	For. Route Blanche	CENTRE	Forage	Réservoir minier			
C3	01373X0134/EXHAUR	Gal. de Bois d'Avril	CENTRE	Point de débordement	Réservoir minier			
C4	01137X0151/S	Gal. de Fontoy	CENTRE	Point de débordement	Réservoir minier	RRINV LOR		
C5	01372X0197/EX	Gal. du Woigot	CENTRE	Point de débordement	Réservoir minier	RRINV LOR		
C6	01373X0131/A15	Pz. A15 - Avril amont	CENTRE	Piézomètre	Dogger			
C7	01373X0130/A25	Pz. A25 - Avril aval	CENTRE	Piézomètre	f.f. non exploitée	RRINV LOR		
C8	01373X0158/PZ	Pz. Chevillon artésien	CENTRE	Piézomètre	f.f. non exploitée			
C9	01372X0204/M52	Pz. M52 - Mance	CENTRE	Piézomètre	Dogger	RRINV LOR	SGRLOR*	FRC SOP
C10	01372X0211/PZBIS	Pz. Mance bis	CENTRE	Piézomètre	f.f. non exploitée	RRINV LOR		
C11	01373X0132/P01	Pz. P1 - St-Pierremont	CENTRE	Piézomètre	Dogger	RRINV LOR		
C12	01373X0133/P02	Pz. P2 - St-Pierremont	CENTRE	Piézomètre	Dogger	RRINV LOR		
C13	01364X0042/P3	Pts Amermont III	CENTRE	Puits de mine	Réservoir minier			
C14	01136X0148/P	Pts Anderny II	CENTRE	Puits de mine	Réservoir minier			
C16	01372X0198/P2	Pts St-Pierremont II	CENTRE	Puits de mine	Réservoir minier	SGRLOR*		FRC SOP
C17	01372X0196/EX	Pts Tucquegnieux I	CENTRE	Puits de mine	Réservoir minier	FRC SOS		
C18	01373X0027/SCE	Source Chapelle (fuites)	CENTRE	Source	Réservoir minier	RRINV LOR		
C19	01372X0207/SCE	Source de Mance	CENTRE	Source	Dogger			
C20	01373X0175/PREL	Conroy - confluence Che villor	CENTRE	Cours d'eau	Réservoir minier			
C21	01373X0176/PREL	Conroy - station hydrométriq	CENTRE	Cours d'eau	Réservoir minier			
G1	01132X4002/GT	Gal. de Godbrange	GODBRANGE	Point de débordement	Réservoir minier	RRICQ LOR		
G2	01132X0172/EXHAUR	Pts Hussigny-Godbrange	GODBRANGE	Puits de mine	Réservoir minier	RRICQ LOR	RNSISEAU	
Ha1	01374X0268/S	Pz. Hayange Sud	HAYANGE SUD	Piézomètre	Réservoir minier	RRINV LOR		
Lo1	00898X0051/EX	Gal. de Rehon	LONGWY	Point de débordement	Réservoir minier	RRICQ LOR	RNSISEAU	
Mo1	00905X0061/EX	Gal. de Moulaine	MOULAINÉ	Point de débordement	Réservoir minier	RRICQ LOR		
N1	01133X0099/PZ-1	Pz. François Grise	NORD	Piézomètre	Réservoir minier			
N2	01133X0094/SR2	Pz. François Brune	NORD	Piézomètre	Réservoir minier			
N3	01137X0143/S	Pts Ferdinand Grise	NORD	Puits de mine	Réservoir minier			
N3bis	01137X0182/N3BIS	Pts Ferdinand Jaune	NORD	Puits de mine	Réservoir minier			
N5	01137X0175/PTS-5	Pts Cheminée Sud Grise	NORD	Puits de mine	Réservoir minier	SGRLOR*	FRC SOP	
N6	01137X0099/P1	Pts Boulange Grise	NORD	Puits de mine	Réservoir minier			
N7	01137X0169/PZ-7	Pz. Angevillers Grise	NORD	Piézomètre	Réservoir minier			
N8	01137X0170/PTS-8	Pts Havange Brune	NORD	Puits de mine	Réservoir minier			
N9	01133X0052/P1	Pts Bure Jaune Sauvage	NORD	Puits de mine	Réservoir minier	RRINV LOR	RNSISEAU	
N10	01132X0189/PZ-10	Pz. Errouville Brune	NORD	Piézomètre	Dogger			
N11	01137X0171/PZ-11	Pz. Cheminée Sud	NORD	Piézomètre	Réservoir minier			
N12	01137X0173/PZ-12	Pz. Chem. Sud Dogger inf.	NORD	Piézomètre	Dogger			
N13	01137X0172/PZ-13	Pz. Chem. Sud Dogger sup.	NORD	Piézomètre	Dogger			
N14	01138X0218/G14	Gal. d'accès de Knutange (la	NORD	Point de débordement	Réservoir minier			
N14bis	01138X0184/G14BIS	Gal. des eaux de Knutange (l	NORD	Point de débordement	Réservoir minier	FRC SOS		
N15	01138X0185/PZ-15	Pz. Fensch aval 1	NORD	Piézomètre	Alluvions			
N16	01137X0174/PZ-16	Pz. Fensch amont 2	NORD	Piézomètre	Alluvions			
N18	01138X0147/P	Gal. de Metzange (ou Charles	NORD	Point de débordement	Réservoir minier			
N19	01141X0024/P	Gal. d'Entrange (ou Ch.-Ferd	NORD	Point de débordement	Réservoir minier	RNSISEAU		
N20	01137X0160/F	Pz. Fontoy nord	NORD	Piézomètre	Dogger			
N21	01137X0159/F	Pz. Fontoy sud	NORD	Piézomètre	Dogger			
N22	01133X0095/E1	Pts François (3 For.)	NORD	Puits de mine	Réservoir minier			
N23	01133X0046/PII	Pts Ottange II	NORD	Puits de mine	Réservoir minier			
N24	01133X0074/P	Pts Saint-Michel	NORD	Puits de mine	Réservoir minier	RRINV LOR	RNSISEAU	
N17	01132X0164/PUITS	Pts Errouville III	ERROUVILLE	Puits de mine	Réservoir			
S1	01633X0077/S2	For. de Bagneux	SUD	Forage	Dogger	RRINV LOR		
S2	01377X0210/FR2	For. Valleroy-Moineville 1	SUD	Forage	Réservoir minier	RRINV LOR	RNSISEAU	
S3	01377X0221/F2	For. Valleroy-Moineville 2	SUD	Forage	Réservoir minier			
S4	01374X0273/G	Gal. du chenal de Moyeuvre	SUD	Point de débordement	Réservoir minier	FRC SOS		
S5	01374X0234/TUNNEL	Gal. du tunnel de Moyeuvre	SUD	Point de débordement	Réservoir minier			
S6	01374X0176/P	Gal. Saint-Paul	SUD	Point de débordement	Réservoir minier	RRICQ LOR	RNSISEAU	
S7	01373X0157/PZFF	Pz. Avril FF	SUD	Piézomètre	f.f. non exploitée	RRINV LOR		
S8	01377X0209/PZB1	Pz. B1 - Paradis amont	SUD	Piézomètre	Dogger			
S9	01372X0210/BRIEYA	Pz. Briey A	SUD	Piézomètre	Dogger			
S10	01372X0209/BRIEYB	Pz. Briey B	SUD	Piézomètre	f.f. non exploitée	RRINV LOR		
S11	01373X0160/PZAVAIL	Pz. Conroy aval	SUD	Piézomètre	f.f. non exploitée			
S12	01368X0008/KG	Pz. de St Jean-lès-Buzy	SUD	Piézomètre	Dogger	RRINV LOR	RNSISEAU	
S13	01376X0149/H01	Pz. H1 - Hatrize	SUD	Piézomètre	Dogger	RRINV LOR		
S14	01377X0211/M01	Pz. M1 - Paradis aval	SUD	Piézomètre	Réservoir minier	RRINV LOR		
S15	01377X0212/M02	Pz. M2 - Paradis aval	SUD	Piézomètre	Dogger			
S16	01632X0070/V105	Pz. V105 - Ville / Yron	SUD	Piézomètre	Dogger	SGRLOR*		
S17	01632X0071/V19	Pz. V19 - Ville / Yron	SUD	Piézomètre	Dogger			
S18	01377X0205/F3	Pz. Vernéville (nouveau)	SUD	Piézomètre	Dogger	RRINV LOR	SGRLOR*	FRC SOP
S19	01377X0099/FM	Pts Auboué I	SUD	Puits de mine	Réservoir minier	RRINV LOR	SGRLOR*	FRC SOP
S20	01376X0148/P2	Pts Droitaumont II	SUD	Puits de mine	Réservoir minier	RNSISEAU	FRC SOS	
S21	01373X0129/PREL-7	Pts Moyeuvre-Petite	SUD	Puits de mine	Réservoir minier	RRINV LOR	RRICQ LOR	
S22	01377X0213/P5	Pts Paradis V	SUD	Puits de mine	Réservoir minier	RRINV LOR	RNSISEAU	SDAGE
S23	01378X0121/RC1	Pts Roncourt I	SUD	Puits de mine	Réservoir minier	RRINV LOR		
Se1	01136X0150/EXHAUR	Pts Serrouville	SERROUVILLE	Puits de mine	Réservoir minier	RNSISEAU		

Illustration 4 : Liste des stations du bassin ferrifère lorrain
(lignes en bleu : stations appartenant au réseau DCE quantitatif – lignes en rouge : réseau DCE qualitatif)

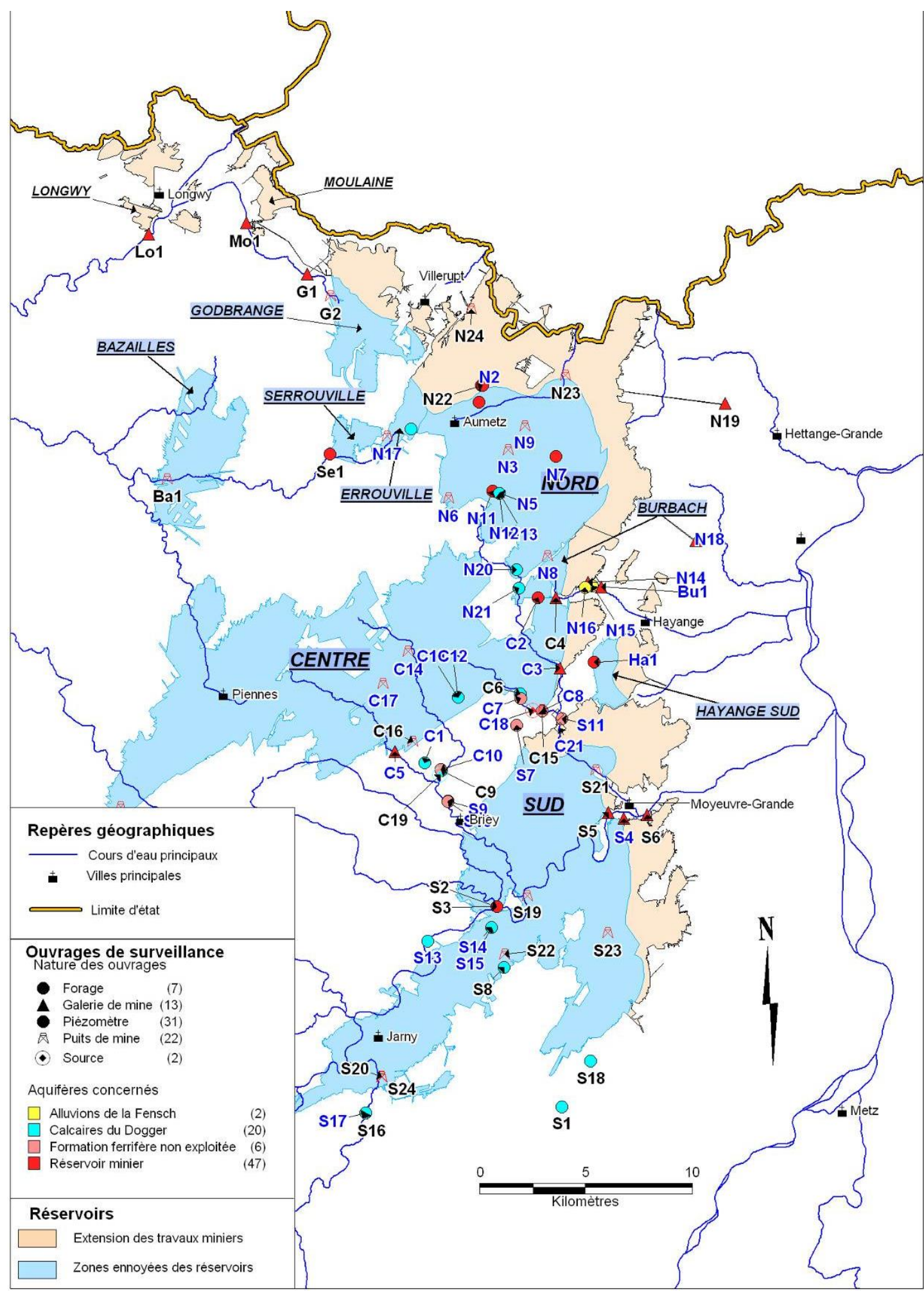


Illustration 5 : Localisation des stations du bassin ferrifère (Nb : les étiquettes en bleu correspondent aux stations suivies dans le cadre des réseaux de suivi quantitatif et qualitatif des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain).

2.3. ENJEUX DE LA SURVEILLANCE

Des réunions de concertations entre les partenaires techniques du projet ont été réalisées pour caractériser les enjeux liés aux eaux souterraines sur le bassin ferrifère lorrain au droit des réservoirs ennoyés. Les réunions de concertation ont mis en évidence deux niveaux d'enjeux justifiant la surveillance des eaux souterraines :

- 1) Assurer la surveillance réglementaire au titre de la directive cadre européenne sur l'eau (DCE),
- 2) Assurer la surveillance nécessaire à la gestion de la ressource en eau des réservoirs miniers dans le cadre du schéma d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE) du bassin ferrifère, qui liste plusieurs actions et recommandations en lien avec la gestion de la ressource en eau du bassin ferrifère.

2.3.1. Enjeu N°1 : Assurer la surveillance réglementaire au titre de la directive cadre européenne sur l'eau (DCE)

La surveillance réglementaire au titre de la DCE doit permettre :

- l'évaluation de l'état quantitatif et qualitatif de la masse d'eau des réservoirs miniers du bassin ferrifère (de code CG026),
- l'évaluation de la recharge de la masse d'eau souterraine CG026. Cette recharge, évaluée **via le suivi du débordement des réservoirs miniers** est une information utilisée pour la détermination de l'état et des pressions et, potentiellement, pour identifier des masses d'eau stratégiques pour l'alimentation future en AEP. En outre, ces débits permettent aussi d'évaluer les pressions sur les cours d'eau.

2.3.2. Enjeu N°2 : Assurer la surveillance nécessaire à la gestion de la ressource en lien avec les objectifs du schéma d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE) du bassin ferrifère

Le Plan d'Aménagement et de Gestion Durable (PAGD) du SAGE du bassin ferrifère lorrain présente une déclinaison détaillée des objectifs du SAGE. Les différents objectifs liés aux eaux souterraines sont :

- Objectif N°1 du PAGD : préserver la qualité et l'équilibre quantitatif des ressources en eau à long terme,
- Objectif N°4 du PAGD : organiser une gestion durable et concertée de la ressource en eau des réservoirs miniers.

De ces deux objectifs découlent différentes recommandations et actions de la structure porteuse du SAGE (identifiées par un numéro qui intègre un R pour les recommandations et A pour les actions). Les recommandations et actions en lien avec la surveillance sont :

- Recommandation 1-R1 : veiller à l'équilibre entre prélèvements et renouvellement des ressources en eau.
- Recommandation 4-R1 : maintenir un réseau de surveillance spécifique à la ressource en eau des réservoirs miniers du bassin ferrifère.
- Action 4-A1 : améliorer la connaissance et le suivi des ressources en eau, des ouvrages et des prélèvements.
- Action 4-A1 : réaliser un bilan annuel des prélèvements, de la recharge, des niveaux piézométriques et de la qualité des eaux prélevées.
- Action 4-A2 : organiser la concertation et la gestion durable de la ressource en eau des réservoirs miniers.

Nb : les objectifs N°6 et N°11 du PAGD présentent un lien moins direct avec la surveillance des eaux souterraines mais sont mentionnés à titre indicatif ci-dessous. Ils concernent respectivement :

- Objectif N°6 : adopter une gestion intégrée et concertée des bassins versants des cours d'eau dont le débit d'étiage a diminué significativement et durablement après l'ennoyage.
- Objectif N°11 : gérer le risque inondation de manière globale et intégrée.

2.4. ELEMENTS DE REFLEXION POUR LE TRAVAIL D'OPTIMISATION

Les chapitres ci-après présentent les résultats de la réflexion menée au cours du travail d'optimisation. L'objet de cette réflexion est notamment d'apporter des éléments réponses aux questions suivantes :

- Surveillance des réservoirs : quels réservoirs sont actuellement surveillés ? Pourquoi ces réservoirs sont-ils surveillés ?
- Piézométrie des réservoirs miniers : Pourquoi la piézométrie des réservoirs miniers est-elle surveillée ? Est-ce que le réseau de surveillance actuel peut-être optimisé ?
- Qualité des réservoirs miniers : Pourquoi la qualité des réservoirs miniers est-elle surveillée ? Est-ce que le réseau de surveillance actuel peut-être optimisé ? Comment orienter le choix des paramètres à surveiller et la fréquence des échantillonnages ?
- Piézométrie et qualité du Dogger et de la formation ferrifère non exploitée : Pourquoi cette surveillance a-t-elle été mise en place ? Quelles informations a-t-elle apportée ?
- Surveillance des débits de débordement des réservoirs miniers : sur quels points de débordements les mesures sont-elles effectuées ? Pourquoi mesurer les débits de débordement ? Est-ce que le réseau de surveillance actuel peut-être optimisé ?

Les points clés de ces réflexions sont rappelés à la fin de chaque partie sous forme d'encadré.

2.4.1. Surveillance des réservoirs

Le tableau ci-dessous présente la liste des différents réservoirs miniers du bassin ferrifère lorrain ainsi que la liste des points de débordement. Ce tableau a été élaboré sur la base des informations mises à jour de l'état des lieux du SAGE du bassin ferrifère.

Pour chaque réservoir sont rappelés :

- la superficie des zones ennoyées,
- les volumes ennoyés estimés,
- le débit moyen estimé à (aux) exutoire(s),
- la date du débordement,
- la présence de zones ennoyées,

- l'état de la surveillance en 2013 (distinction particulière pour la surveillance qualité effectuée par l'ARS dans le cas d'exploitation AEP).

La majorité des données présentées dans ce tableau sont issues de l'état des lieux du SAGE du bassin ferrifère. Pour les réservoirs Nord, Centre, Sud, et Burbach, les débits moyens journaliers aux exutoires ont été mis à jour à partir des données issues de la surveillance. Les lignes en bleu indiquent les réservoirs surveillés par le BRGM en 2013.

Réservoir	Superficie de la zone ennoyée (km ²)	Volume ennoyé estimé	Débit moyen estimé à l'exutoire (d'après SAGE et surveillance BRGM)	Date du débordement	Présence de zones ennoyées	Etat de la surveillance des eaux souterraines en 2013		
						Piézométrie	Débit à(aux) l'exutoire(s)	Qualité
CENTRE	121,7	154 Mm3	30 000 m3/j	16/03/1999	Oui	X	X	X
SUD	105,6	229 Mm3	250 000 m3/j	28/10/1998	Oui	X	X	X
NORD	50,4	53 Mm3	70 000 m3/j	03/03/2008	Oui	X	X	X
BAZAILLES	16,8	?	?	?	Oui			
GODBRANGE	10,4	?	Environ 6000 m3/j en période d'étiage	janv-88	Oui			X (ARS)
HAYANGE SUD	3,2	?	-	-	Oui	X		X
SERROUVILLE	3,1	3,6 Mm3	Compris entre 5880 et 12960 m3/j (mesures entre 1988 et 1991)	08/11/1988	Oui			X (ARS)
BURBACH	3	?	4665 m3/j	?	Oui		X	X
LONGWY-REHON	0	0	4500 m3/j	-	Non			X (ARS)
MOULAINE	0	0	820 à 1920 m3/j	-	Non			X (ARS)

Illustration 6 : Tableau récapitulatif des principales caractéristiques des réservoirs miniers du bassin ferrifère lorrain

D'après le tableau ci-dessus, seuls les réservoirs Nord, Centre et Sud font l'objet d'une surveillance intégrant la piézométrie du réservoir, les débits aux exutoires et la qualité de l'eau souterraine. On constate pour ces 3 réservoirs l'importance des superficies des zones ennoyées, des volumes ennoyés et des débits moyens aux exutoires, en comparaison aux autres réservoirs de dimensions plus modestes. Les débits moyens journaliers sur ces 3 réservoirs atteignent en effet plusieurs dizaines à plusieurs centaines de milliers de m³/j pour le réservoir Sud.

Les débits de débordements du réservoir Burbach étaient surveillés initialement en raison de la volonté de quantifier d'éventuelles fuites du réservoir Centre dans ce réservoir pendant l'ennoyage et après le débordement du réservoir Centre. Une surveillance de la qualité des eaux de ce réservoir avait été mise en place de manière concomitante en particulier pour le paramètre sulfate identifié comme un bon traceur des fuites éventuelles.

Le réservoir Hayange Sud présente un contexte de débordement qui ne permet pas d'assurer la surveillance des débits éventuels associés (le débordement éventuel se produirait à travers des fuites via la formation ferrifère non exploitée). Ce sous-réservoir comporte un seul piézomètre, implanté par l'Agence de l'eau essentiellement pour des besoins de connaissance du fonctionnement hydrogéologique. Ce piézomètre n'est cependant plus opérationnel depuis 2010 (détérioration du tubage).

Aucune surveillance spécifique n'a été mise en place sur les réservoirs de Serrouville, Longwy-Rehon, Moulaine et Godbrange. Ces réservoirs sont en effet exploités pour l'usage AEP. Une surveillance de la qualité est toutefois assurée par l'ARS (information ajoutée au tableau de synthèse ci-dessus). Parmi l'ensemble des réservoirs, seul le réservoir de Bazailles ne dispose d'aucune donnée de surveillance. La connaissance hydrogéologique de ce réservoir est très réduite par rapport aux autres réservoirs du bassin ferrifère.

La surveillance actuelle concerne les réservoirs les plus importants en termes de volumes envoyés et de débits de débordements : réservoirs Nord, Centre et Sud, réservoirs Hayange Sud et Burbach.

Les autres réservoirs ne sont pas intégrés à la surveillance effectuée par le BRGM, essentiellement en raison :

- **de leur utilisation pour l'AEP (ex : Serrouville, Godbrange) : ces réservoirs sont surveillés par l'ARS,**
- **de leur localisation sur des secteurs non envoyés où les problématiques liées à l'ennoyage ne se sont pas posées (ex : Longwy-Rehon, Moulaine),**
- **de l'absence de besoin formulé par les acteurs locaux (Réservoir Bazailles, qui pour cette raison est également très peu connu du point de vue hydrogéologique.).**

2.4.2. Piézométrie des réservoirs minier

La piézométrie des réservoirs miniers est surveillée essentiellement sur les réservoirs principaux Nord, Centre et Sud. Initialement, la surveillance piézométrique a été mise en place pour constater l'élévation du niveau des réservoirs au cours des opérations d'ennoyage. A la suite du débordement des réservoirs, un nouveau contexte hydrogéologique s'est mis en place. La surveillance à long terme du niveau des réservoirs miniers permet d'évaluer l'état quantitatif de cette nouvelle ressource en eau et d'identifier l'évolution des pressions au cours du temps.

La « nappe » d'un réservoir minier présente une particularité hydrogéologique : son niveau piézométrique est pratiquement identique en tout point du réservoir (faible gradient piézométrique du réservoir, c'est-à-dire très faible « pente » du niveau de l'eau dans le réservoir). Ce phénomène résulte de la très faible résistance à l'écoulement de l'eau dans les réseaux de galeries.

Ce phénomène est mis en évidence sur l'exemple ci-dessous. L'illustration 6 présente un comparatif des chroniques de 4 stations implantées dans le réservoir minier du bassin Nord. Parmi ces 4 stations figure la station DCE actuelle (Cheminée Sud – N5). La chronique met en évidence :

- d'importantes similitudes entre les chroniques de ces 4 stations,
- de très faibles écarts piézométriques entre les stations de surveillance (généralement inférieurs à 20 cm).

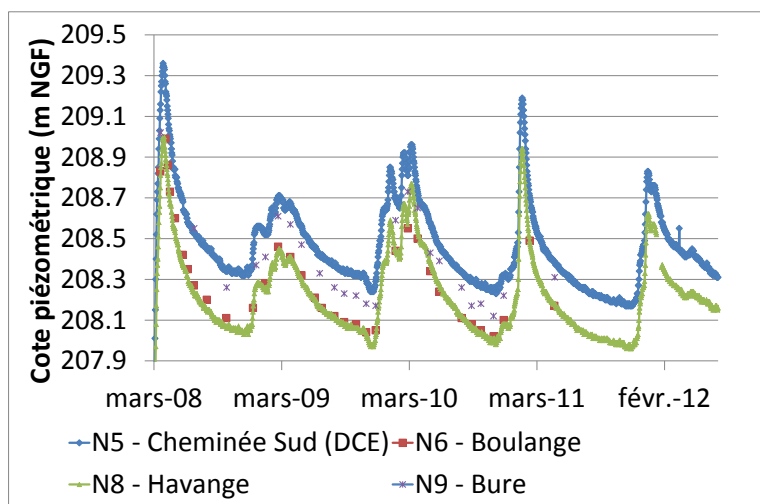


Illustration 7 : Graphique comparatif des chroniques piézométriques du réservoir Nord

L'illustration 7 ci-dessous présente un diagramme de corrélation linéaire entre les chroniques enregistrées au puits Cheminée Sud – N5 et celles enregistrées au puits de Boulange – N6. La corrélation entre les deux chroniques est parfaite ce qui est cohérent avec la particularité hydrogéologique des réservoirs miniers décrite précédemment.

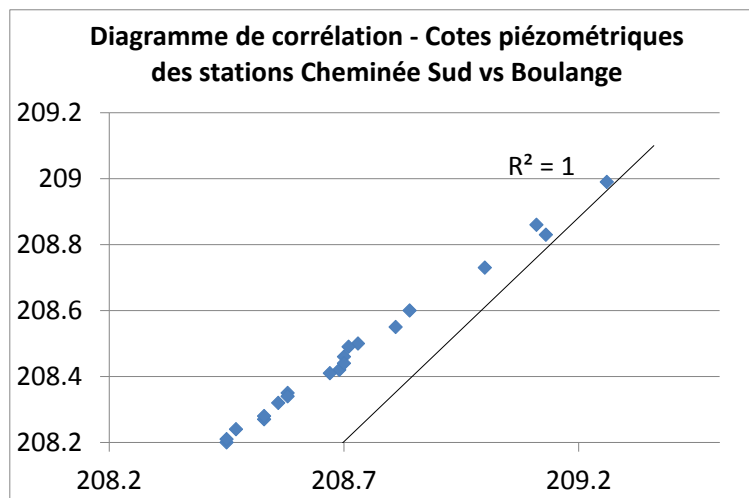


Illustration 8 : Diagramme de corrélation entre le niveau piézométrique mesuré au puits Cheminée Sud (N5) et celui mesuré au puits Boulange (N6) - cotes exprimées en m NGF

Ce phénomène est également démontré sur les réservoirs Centre et Sud comme le montrent les illustrations ci-dessous.

Pour le réservoir Centre, la comparaison est effectuée entre les chroniques acquises sur la station DCE actuelle de St-Pierremont II (C16) et celles acquises sur la station de route blanche (C2).

Pour le réservoir Sud, la comparaison est effectuée entre les chroniques acquises sur la station DCE actuelle de Auboué (S19) et celles acquises sur la station de Paradis Aval (S14).

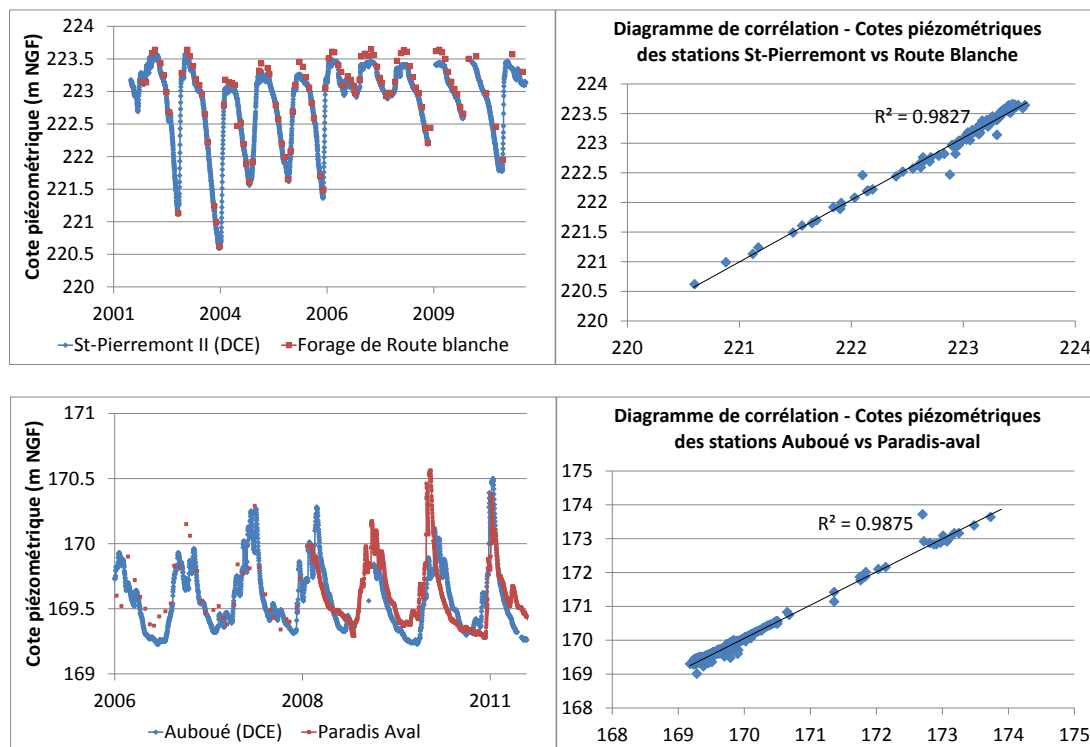


Illustration 9 : Comparatif de chroniques piézométriques acquises sur les réservoirs miniers des bassins Centre et Sud (cotes exprimées en m NGF)

La surveillance piézométrique des réservoirs miniers a été mise en place au cours de l'envoyage des réservoirs. Depuis le débordement des réservoirs, un nouveau fonctionnement hydrogéologique s'est mis en place. La surveillance à long terme du niveau des réservoirs miniers permet d'évaluer l'état quantitatif de cette nouvelle ressource en eau et d'identifier l'évolution des pressions au cours du temps.

Une seule station de surveillance piézométrique par réservoir permet de fournir une vision du niveau d'eau souterraine pour tout le réservoir, car le niveau des réservoirs est quasiment identique en tout point du réservoir (très fortes transmissivités).

2.4.3. Surveillance de la qualité de l'eau des réservoirs miniers

- **Constat sur la qualité de l'eau des réservoirs miniers**

Des graphiques d'évolution des concentrations moyennes annuelles de plusieurs éléments chimiques ont été réalisés pour chaque réservoir minier. Les paramètres concernés sont le sulfate, le sodium, le bore, le nitrate, le fer, le manganèse, l'ammonium et l'aluminium. Les graphiques sont présentés en annexe 2.

Les graphiques mettent en évidence en particulier d'importantes concentrations pour ces éléments. En outre, l'analyse de ces graphiques met en évidence :

- l'importante hétérogénéité des niveaux de concentrations au sein de chaque réservoir, notamment pour les paramètres sulfate, sodium, bore et fer,
- des évolutions des concentrations moyennes qui peuvent être très variables d'un point à l'autre d'un même réservoir, avec des tendances à la hausse pour certaines stations et à la baisse ou stable sur d'autres.

Ce constat souligne la complexité du fonctionnement hydrogéologique et des réactions physico-chimiques au sein des réservoirs miniers.

- **Hypothèse permettant d'expliquer l'hétérogénéité de la qualité de l'eau des réservoirs**

La présence des éléments listés ci-dessus, et du sulfate en particulier est une des conséquences de l'ennoyage. Les auteurs ont mis en évidence que le sulfate tire son origine de l'oxydation de la pyrite, cette réaction s'accompagnant de la dissolution de calcaire. Le milieu n'étant pas saturé en eau pendant l'exploitation minière, le sulfate et le calcium produits par les deux réactions précédentes précipitent sous forme de gypse.

Lors de l'ennoyage, c'est la dissolution de ce gypse néoformé, la précipitation des carbonates et des réactions d'échanges cationiques qui ont entraîné une hausse des concentrations de l'eau en sulfate, magnésium, sodium, potassium et strontium. Les concentrations diminuent ensuite au fur et à mesure du lessivage naturel du réservoir par de l'eau non minéralisée en provenance des calcaires du Dogger.

L'évolution des concentrations au cours du temps est donc liée au taux de renouvellement de l'eau dans les réservoirs, et donc à la configuration du réseau de galerie et à la nature et l'importance des circulations d'eau provenant du Dogger au droit des zones foudroyées.

- **Identification de secteurs homogènes à l'échelle des réservoirs miniers**

Une analyse des plans miniers a été réalisée dans le cadre des travaux du simulateur du bassin ferrifère lorrain (Vaute et al, 2005). Cette analyse a permis de dresser, au début des travaux sur le simulateur, une délimitation de sous-unités hydrogéologiques. Ces sous-unités suivent les contours des concessions et localement de l'extension des travaux miniers. Les sous-unités identifiées communiquent entre elles par des galeries de jonction, dont le nombre a été déterminé.

La délimitation de ces sous-unités a été exploitée dans le cadre du travail d'optimisation afin d'identifier des secteurs homogènes. La délimitation des secteurs homogènes résulte du croisement des plans miniers, des sous-unités hydrogéologiques et des données de surveillance existantes pour le paramètre sulfate. Une appréciation du taux de renouvellement de l'eau de ces secteurs a été réalisée (bon, moyen ou mauvais/nul). Le taux de renouvellement n'est pas quantifié. Cette appréciation présente donc un caractère indicatif, déduit essentiellement des tendances observées sur l'évolution des concentrations en sulfates pour chaque secteur.

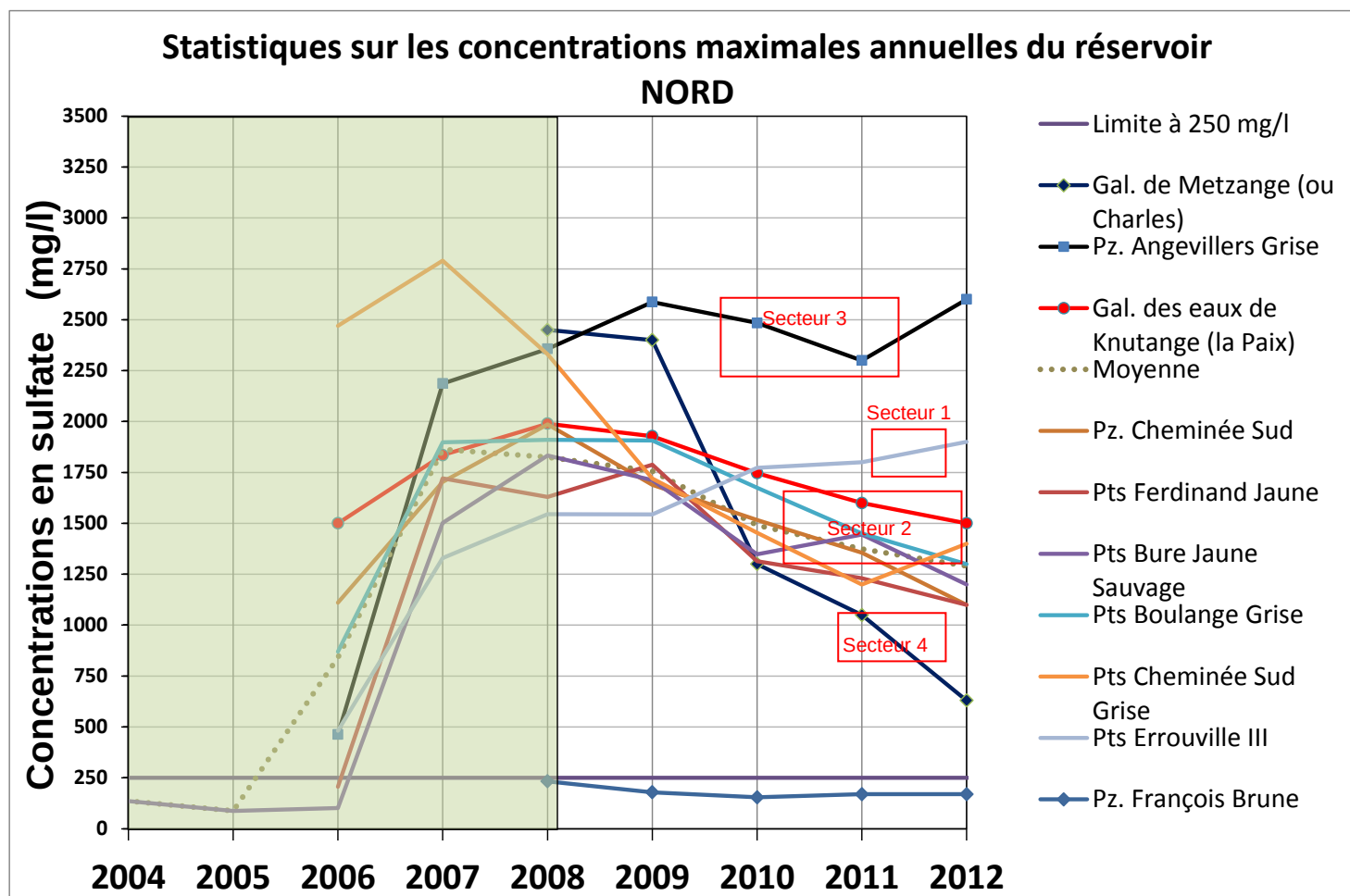
Les résultats présentés ci-dessous s'appuient sur les résultats des travaux de modélisation en cours réalisés dans le cadre du simulateur du bassin ferrifère lorrain.

- **Analyse détaillée du réservoir Nord**

L'illustration 10 présente les chroniques des concentrations moyennes en sulfates sur les stations disposant de données de surveillance.

L'analyse des chroniques des concentrations en sulfates fait ressortir plusieurs groupes de stations avec des tendances particulières :

- Tendence stable voire à la hausse sur les stations du puits Errouville III (N17) et du piézomètre Angevillers Grise (N7),
- Tendence à la baisse sur toutes les autres stations (baisse très marquée sur la station de la galerie de Metzange N18).



*Illustration 10 : Concentrations maximales annuelles en sulfates du réservoir Nord
(en vert : période antérieure au débordement)*

L'illustration 11 présente le résultat du travail de sectorisation pour le réservoir Centre (un numéro a été attribué pour chaque secteur potentiellement homogène).

Au total, 4 secteurs ont été identifiés sur le réservoir Nord. Le secteur N°2 occupe la quasi-totalité du réservoir. L'allure des chroniques des teneurs en sulfates laisse supposer un bon renouvellement de l'eau sur toute cette partie du réservoir. Les secteurs 1 et 3 ont une extension beaucoup plus réduite et ont une configuration qui limite le renouvellement de l'eau et qui se traduit par des tendances d'évolution des concentrations en sulfates stables.

Le secteur N°4 correspond aux parties du réservoir Nord qui alimentent le débordement de la galerie de Metzange (N18). Ce secteur a été individualisé en raison des tendances atypiques des concentrations en sulfates qui y sont observées. La lecture des plans miniers laisse supposer que l'eau qui s'écoule à la galerie de Metzange provient en partie du secteur N°2, du secteur N°3 et d'apports des zones non ennoyées, ce qui expliquerait en particulier la chute des concentrations qui y est observée à partir de 2009 lors de la mise en service de la galerie. Ce secteur N°4 correspond donc à une eau de mélange de différentes origines.

L'analyse du graphique de l'illustration 10 montre sur les stations du secteur N°2 des tendances générales très similaires. Dans le détail, quelques disparités a priori non significatives sont constatées, aussi bien sur les tendances que sur les teneurs en sulfates. La carte ci-dessous met en évidence sur le secteur N°2 l'existence de nombreuses sous-unités hydrogéologiques, confirmant la complexité du système. Bien que les données disponibles à ce jour permettent de considérer ce secteur comme homogène, des modifications sont susceptibles d'être apportées à son découpage en fonction des tendances qui seront observées dans le futur.

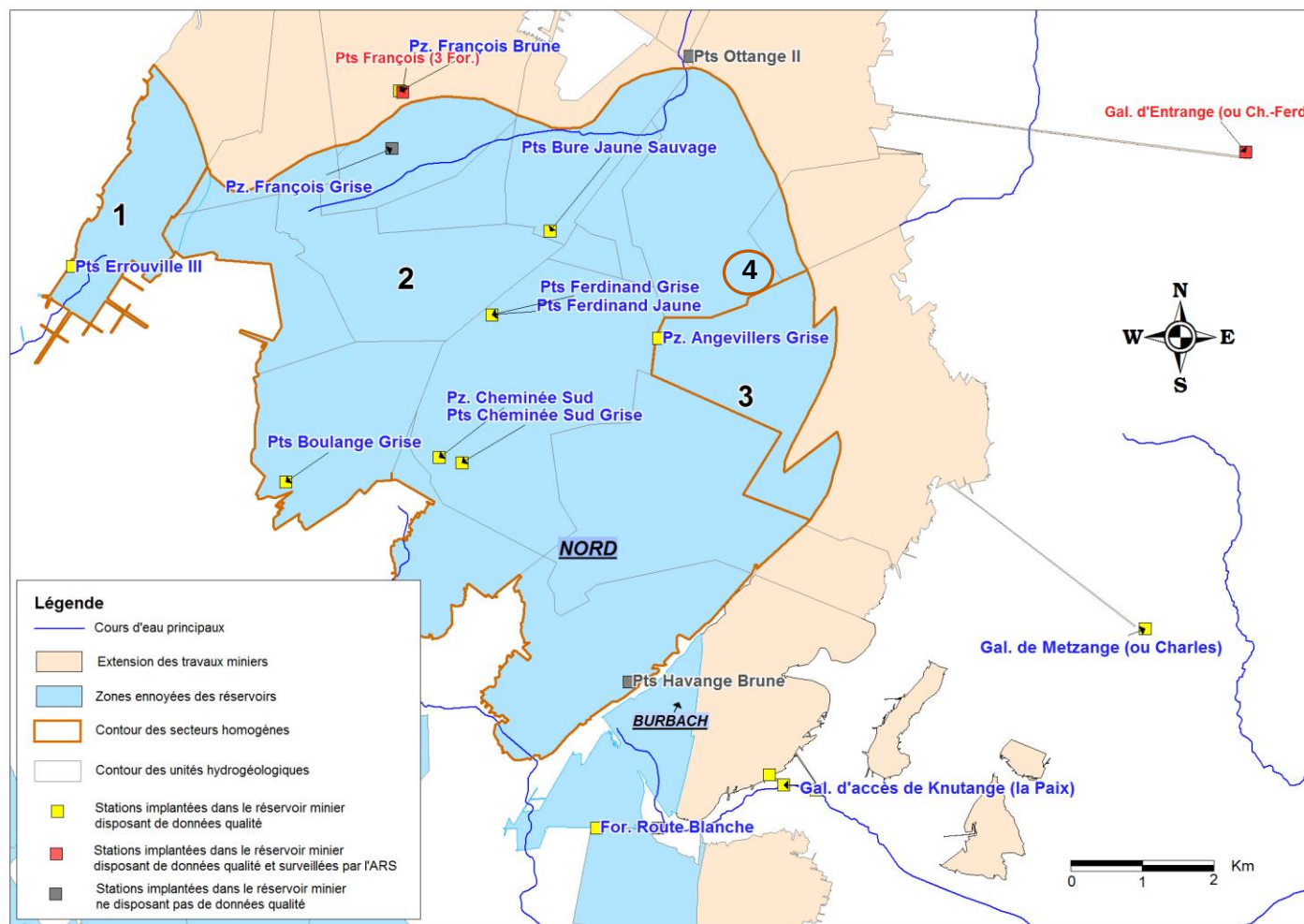


Illustration 11 : Cartographie du réservoir Nord : délimitation des secteurs homogènes sur le plan qualitatif

N°	Nom	Caractérisation des tendances d'évolution des concentrations en sulfates depuis le débordement	N° Secteur	Commentaire sur la sectorisation	Renouvellement de l'eau
N17	Pts Errouville III	Hausse	1	Ce secteur correspond à l'ancien albraque d'Errouville, mis en communication avec le réservoir Nord au cours de l'ennoyage. La communication hydraulique avec le reste du réservoir ne s'effectue qu'a travers des zones dépillées. Il s'agit donc d'un secteur très isolé du reste du réservoir Nord.	Faible voire nul
N1	Pz. François Grise	Pas de surveillance	2	Ce secteur englobe la quasi-totalité du réservoir Nord. Il regroupe de nombreuses sous-unités hydrogéologiques qui ont pour particularité d'avoir de nombreuses interconnexions (par galeries/travers-bancs). Les fortes similitudes entre les chroniques d'évolution des concentrations en sulfates permettent d'avancer l'hypothèse qu'il sagit d'un secteur homogène à l'échelle du réservoir du point de vue qualitatif.	Bon
N3	Pts Ferdinand Grise	Baisse			
N3bis	Pts Ferdinand Jaune	Baisse			
N5	Pts Cheminée Sud Grise	Baisse			
N6	Pts Boulange Grise	Baisse			
N8	Pts Havange Brune	Pas de surveillance			
N9	Pts Bure Jaune Sauvage	Baisse			
N11	Pz. Cheminée Sud	Baisse			
N14	Gal. d'accès de Knutange (la Paix)	Baisse			
N14bis	Gal. des eaux de Knutange (la Paix)				
N19	Gal. d'Entrange (ou Ch.-Ferd.)	Pas de surveillance			
N7	Pz. Angevillers Grise	Stable	3	Ce secteur est très isolé du reste du réservoir Nord. Il n'est en relation avec le reste du réservoir que par deux galeries.	Faible voire nul
N18	Gal. de Metzange (ou Charles)	Forte baisse	4	Ce secteur reçoit de l'eau provenant du secteur N°1, N°3 et des parties non ennoyées du réservoir Nord.	Bon
N2	Pz. François Brune	Stable	Hors zone ennoyée	Pas de sectorisation proposée. Zone non ennoyée.	-
N22	Pts François (3 For.)				
N23	Pts Ottange II				
N24	Pts Saint-Michel				

Illustration 12 : Sectorisation du réservoir Nord : classement des stations et commentaires

- **Analyse détaillée du réservoir Centre**

L'illustration 13 présente les chroniques des concentrations moyennes en sulfates sur les stations disposant de données de surveillance.

L'analyse des chroniques des concentrations en sulfates fait ressortir plusieurs groupes de stations avec des tendances particulières :

- Tendances à la baisse pour les stations du forage de route blanche (C2), Pz Chevillon artésien (C8), puits Anderny II (C14), Source Chapelle (C18), galerie de Bois d'Avril (C3)
- Tendances stables pour les stations du débordement du Woigot (C5), du puits Tucquenieux (C17) et du puits Amermont III (C13).

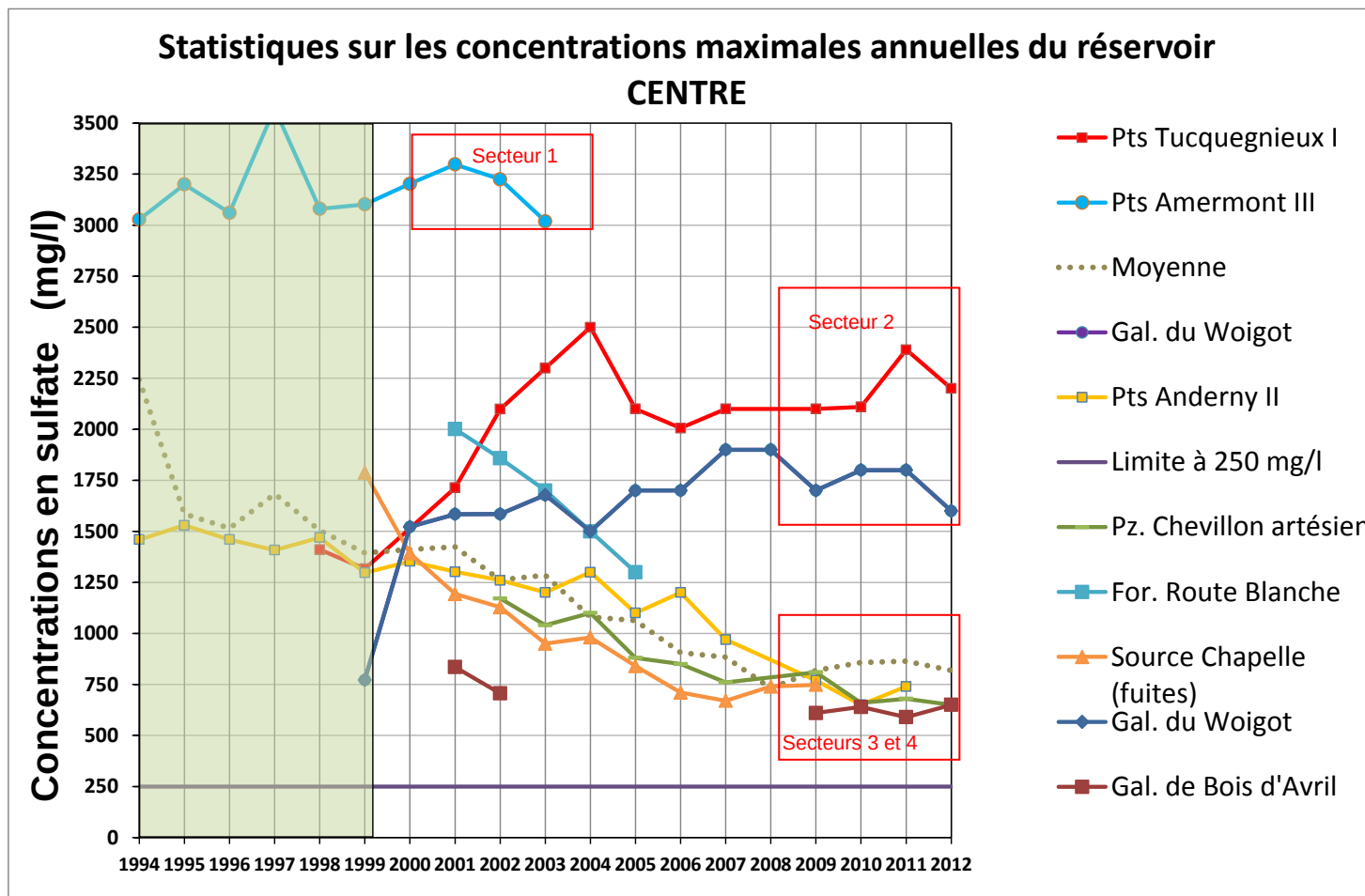


Illustration 13 : Concentrations maximales annuelles en sulfates du réservoir Centre
(en vert : période antérieure au débordement)

L'illustration 14 présente le résultat du travail de sectorisation pour le réservoir Centre (un numéro a été attribué pour chaque secteur potentiellement homogène).

Au total, 4 secteurs ont été identifiés sur le réservoir Centre (les numéros des secteurs sont représentés sur le graphique pour chaque station). Une analyse détaillée de ces secteurs est présentée dans le tableau de l'illustration 15. Au total, 4 secteurs ont été identifiés sur le réservoir Centre.

Le secteur N°1 correspond aux parties les plus profondes du réservoir Centre. Les données de surveillance disponibles sur ce secteur proviennent de la station du puits Amermont III. Les concentrations en sulfates de cette station sont les plus importantes mesurées sur le réservoir Centre et sur le bassin ferrifère. Les données les plus récentes disponibles datent de 2003. On distingue sur les 4 années de suivi post-débordement une tendance stable des concentrations. Ce comportement est lié au très faible renouvellement de l'eau sur cette partie du réservoir.

Les données de surveillance du secteur N°2 proviennent des stations du puits Tucquenieux I, et du débordement principal du Woigot. Les concentrations en sulfates apparaissent moins élevées que sur le secteur N°1 (puits Amermont III) mais présentent de manière analogue au secteur N°1 une tendance stable depuis le débordement du réservoir Centre. Ce comportement est lié au faible renouvellement de l'eau de cette partie du réservoir.

Les données de surveillance du secteur N°3 proviennent de la station du puits Anderny II. Les concentrations en sulfates présentent sur cette station une nette tendance à la baisse, liée au meilleur renouvellement de l'eau de cette partie du réservoir.

Le secteur N°4 présente un comportement assez similaire au secteur N°3 avec un meilleur renouvellement de l'eau confirmé par les tendances à la baisse observées sur les stations de Bois d'Avril, et du piézomètre du Chevillon artésien.

L'analyse des concentrations en sulfates fait donc ressortir sur le réservoir Centre une grande partie Ouest sur laquelle le renouvellement de l'eau est très faible induisant des tendances en sulfates très stables ; la partie Est du réservoir bénéficie d'un renouvellement de l'eau plus important qui est confirmée par les tendances à la baisse constatées sur les stations concernées.

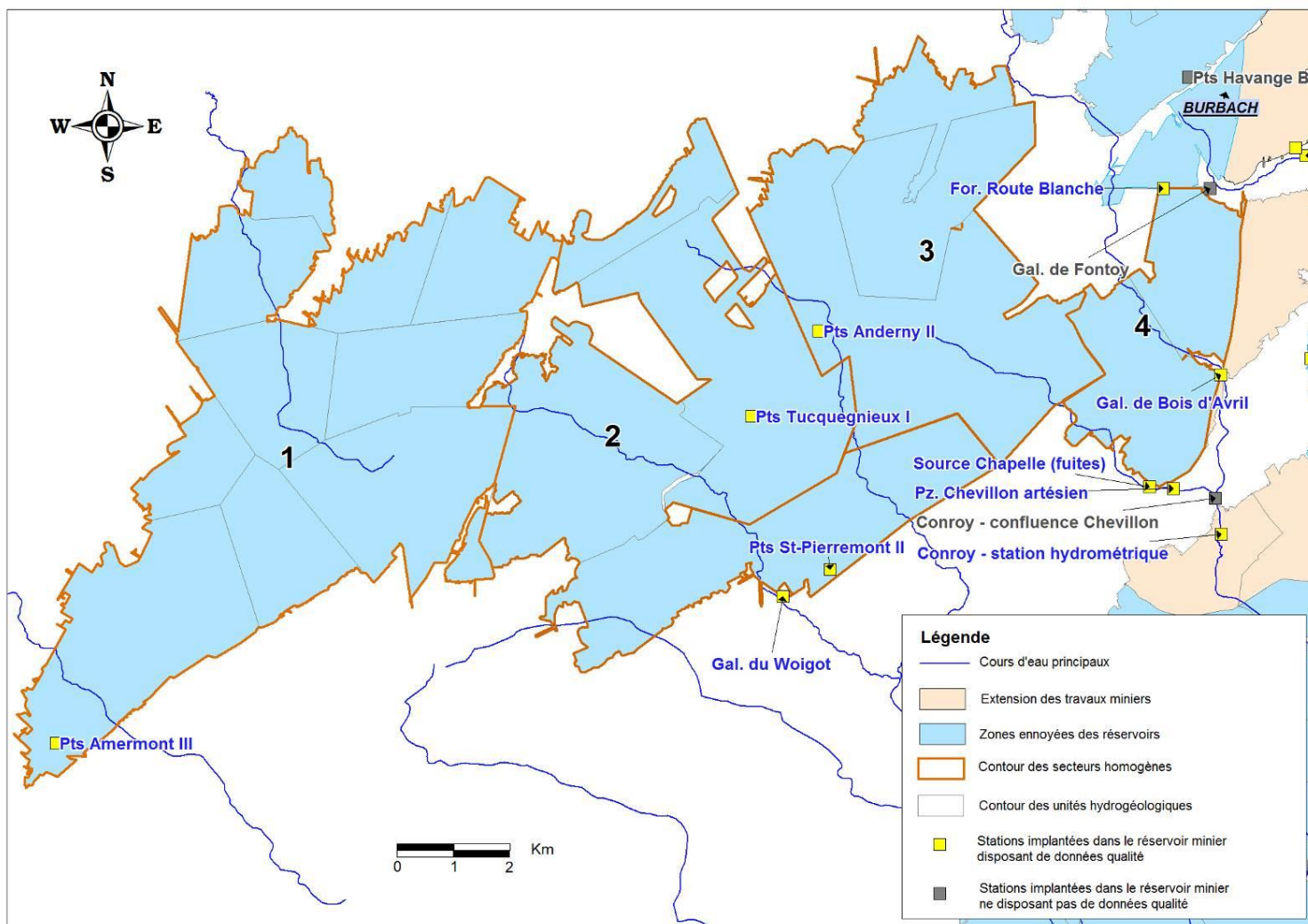


Illustration 14 : Cartographie du réservoir Centre : délimitation des secteurs homogènes sur le plan qualitatif

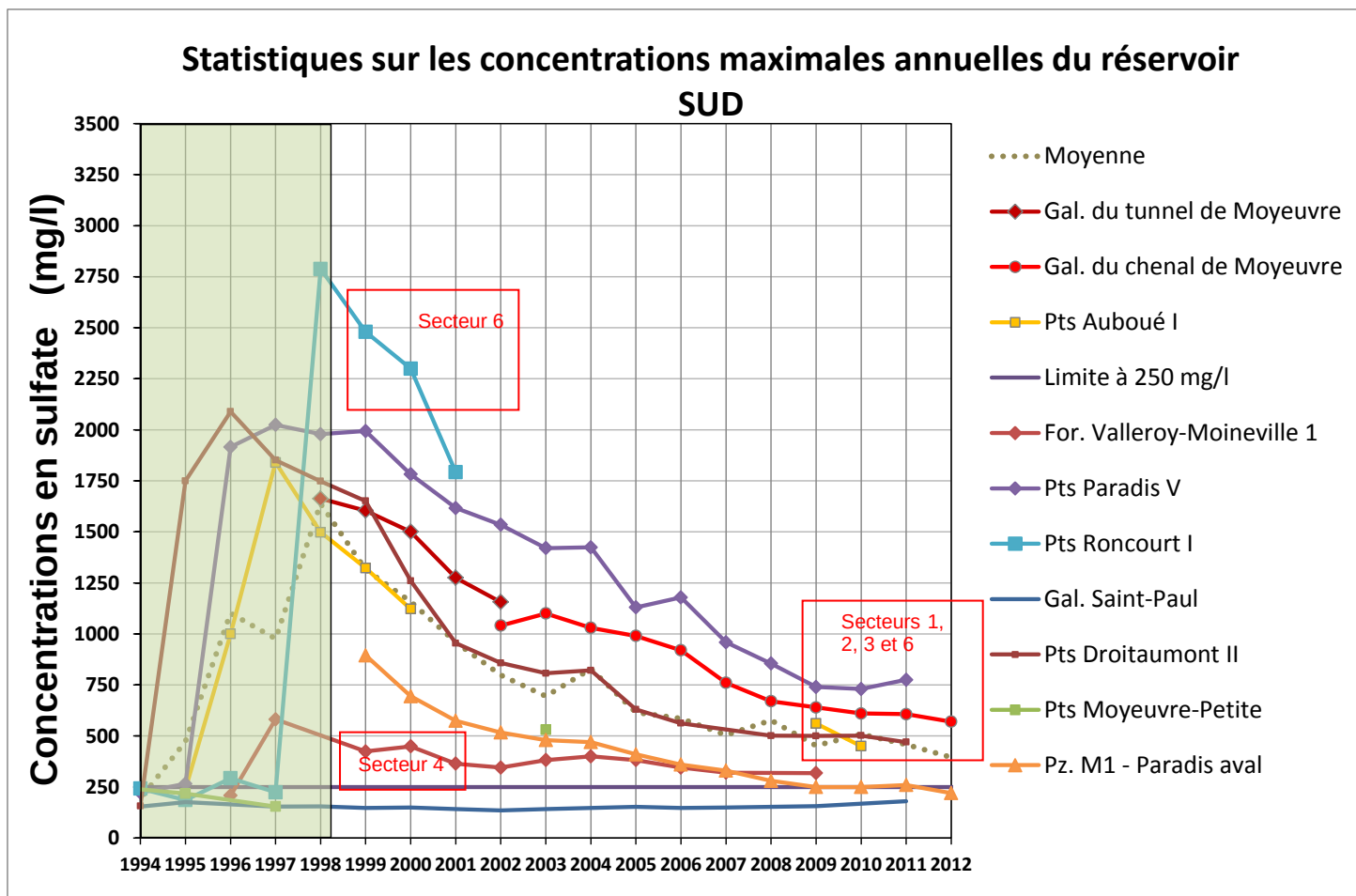
N°	Nom	Caractérisation des tendances d'évolution des concentrations en sulfates depuis le débordement	N° Secteur	Commentaire sur la sectorisation	Renouvellement de l'eau
C13	Pts Amermont III	Stable	1	Ce secteur correspond aux parties les plus profondes du réservoir Centre. Ce secteur apparaît très déconnecté du reste du réservoir Centre (et du secteur N°2 en particulier).	Faible voire nul
C5	Gal. du Woigot	Stable	2	Ce secteur, situé en partie centrale du réservoir est très peu connecté aux secteurs 1 et 3. Il est relié à l'exutoire principal du réservoir Centre (galerie du Woigot)	Faible voire nul
C16	Pts St-Pierremont II	Pas de surveillance			
C17	Pts Tucquegnieux I	Stable			
C14	Pts Anderny II	Baisse	3	Ce secteur est quasiment déconnecté du secteur 2. Au vu des chroniques de concentrations en sulfates de la seule station qui suit ce secteur (Anderny II) et des plans miniers, un regroupement des secteurs 3 et 4 est possible.	Moyen
C2	For. Route Blanche	Baisse	4	Ce secteur correspond aux parties les moins profondes du réservoir Centre. Il présente pour particularité d'avoir un meilleur taux de renouvellement de l'eau souterraine que les secteurs 1 et 2, ce qui se traduit par des tendances à la baisse des concentrations en sulfates.	Moyen
C3	Gal. de Bois d'Avril	Baisse			
C4	Gal. de Fontoy	Pas de surveillance			
C18	Source Chapelle (fuites)	Baisse			
C20	Conroy - confluence Chevillon	Pas de surveillance			
C21	Conroy - station hydrométrique	Baisse			

Illustration 15 : Sectorisation du réservoir Centre : classement des stations et commentaires

- **Analyse détaillée du réservoir Sud**

L'illustration 16 présente les chroniques des concentrations moyennes en sulfates sur les stations disposant de données de surveillance.

L'analyse des chroniques de concentrations en sulfates met en évidence des tendances à la baisse sur la totalité des stations. Dans le détail, des nuances apparaissent. Celles-ci concernent notamment la concentration maximale atteinte au moment du débordement ainsi que la cinétique de diminution des concentrations. L'ensemble des stations du réservoir Sud présente des tendances à la baisse des concentrations en sulfates.



*Illustration 16 : Concentrations maximales annuelles en sulfates du réservoir Sud
(en vert : période antérieure au débordement)*

L'illustration 17 présente le résultat du travail de sectorisation pour le réservoir Sud (un numéro a été attribué pour chaque secteur potentiellement homogène).

Au total, 6 secteurs ont été identifiés sur le réservoir Centre (les numéros des secteurs sont représentés sur le graphique pour chaque station). Une analyse détaillée de ces secteurs est présentée dans le tableau de l'illustration 18.

Une seule station est implantée dans le secteur N°1 qui correspond aux parties les plus profondes du réservoir Sud. Il s'agit de la station du puits Droitaumont II sur laquelle une nette tendance à la baisse des concentrations est observée. Le secteur N°1 bénéficie d'un très bon renouvellement de l'eau du réservoir.

Plusieurs stations de surveillance sont implantées dans le secteur N°2 (puits Paradis V, piézomètre M1 Paradis Aval, Puits Auboué). Toutes ces stations présentent des tendances à la baisse des concentrations en sulfates selon des tendances assez comparables. Les niveaux de concentrations y sont toutefois très variables. Cette variabilité a plusieurs causes :

- une conduite d'eau provenant du secteur n°4 (Valleroy) débouche directement dans le puits Auboué. Lorsque que des différences de niveaux s'établissent entre ces deux parties du réservoir, des échanges d'eau peuvent se mettre en place entre le secteur N°2 et le secteur N°4 moins minéralisé : lorsque les échanges se font du secteur N°4 vers le secteur N°2, la concentration mesurée au puits Auboué diminue,
- le piézomètre Pz M1 Paradis aval présente les concentrations en sulfates les plus faibles mesurées sur le secteur N°2. Il est en effet situé dans les parties supérieures du réservoir, au droit d'une zone foudroyée constituant une zone de recharge du réservoir. Cette situation particulière explique les plus faibles niveaux de concentration qui y sont observés.

Le puits Paradis V apparaît ainsi être le plus représentatif du secteur N°2 du réservoir Sud.

Les secteurs N°3 et 4 correspondent aux parties les plus septentrionales du réservoir Sud. Leur surveillance est assurée par les ouvrages de débordement (Galerie du Tunnel de Moyeuve et galerie du chenal de Moyeuve) et par le puits Moyeuve-petite. La galerie du tunnel de Moyeuve collecte les eaux provenant du secteur N°4 et la galerie du chenal de Moyeuve (nouveau point de débordement après abaissement du niveau du réservoir) collecte les eaux provenant du secteur N°3. Les chroniques d'évolution des concentrations en sulfates montrent la très bonne continuité des tendances et des niveaux de concentrations entre ces deux stations. Ce constat pourrait justifier de raccorder les secteurs 3 et 4 qui présentent des comportements analogues. Le puits Moyeuve-petite, est implanté à l'extrémité Nord du secteur N°4. Il présente par comparaison aux points de débordement, des concentrations en sulfates assez faibles qui sont expliquées par la proximité de la station avec les zones non ennoyées (à l'origine d'un mélange de l'eau du secteur N°4 par de l'eau moins

minéralisée provenant des zones non ennoyées). Les données de la galerie St-Paul, qui est située dans les zones non ennoyées sont présentées à titre indicatif.

Le secteur N°5 correspond à l'ancienne mine de Valleroy. La mine de Valleroy est en relation directe avec la mine voisine de Moutiers. L'ensemble Valleroy-Moutiers est relativement isolé des mines voisines (Paradis et Auboué notamment) dites encaissantes, grâce à des barrages en galeries (Vaute, 2003). Cette partie du réservoir est toutefois en communication hydraulique avec le reste du réservoir Sud à travers les terrains de la formation ferrifère et également au droit d'une conduite endommagée reliant le secteur N°5 au secteur N°2. Comme indiqué précédemment, le sens des communications hydrauliques est lié aux différences de niveaux piézométriques existantes entre ces deux parties du réservoir Sud. Le secteur N°5 est surveillé par les forages de Valleroy-Moineville qui présentent des concentrations en sulfates assez faibles (elles n'ont pas dépassé 700 mg/l à l'issue de l'ennoyage). En raison de son histoire, cette partie du réservoir a déjà été renouvelée plusieurs fois. Il constitue en effet un sous-réservoir déjà utilisé pour l'AEP avant le début de l'ennoyage. Le secteur présente par ailleurs un bassin d'alimentation particulièrement étendu (nombreuses pertes de cours d'eau en milieu karstique), son taux de renouvellement est par conséquent excellent.

Le secteur N°6 est surveillé par le puits Roncourt I sur lequel les analyses les plus récentes datent de 2001. Les concentrations en sulfates y apparaissent à l'époque les plus importantes mesurées sur le réservoir Sud. On constate également que les concentrations ont augmenté tardivement au cours de l'ennoyage. Ce phénomène est lié à la situation superficielle du puits Roncourt I dans le secteur N°6, sur lequel les parties les plus au Sud ont été ennoyées les premières, l'eau n'envahissant les parties septentrionales qu'en dernier. La configuration du secteur N°6 et la nette tendance à la baisse observée sur les concentrations en sulfates au puits Roncourt I laissent supposer un bon renouvellement de l'eau sur cette partie du réservoir.

L'analyse des concentrations en sulfates et des plans miniers fait donc ressortir, sur le réservoir Sud, 6 secteurs relativement homogènes. Ces secteurs présentent des comportements assez similaires du point de vue des tendances d'évolution des concentrations en sulfates (hormis le secteur N°4 de Valleroy qui présente de par sa situation très déconnectée un comportement plus atypique). L'ensemble des secteurs homogènes délimités dans le cadre du travail d'optimisation présente donc un bon renouvellement d'eau qui explique la baisse progressive des concentrations en sulfates observée depuis le débordement.

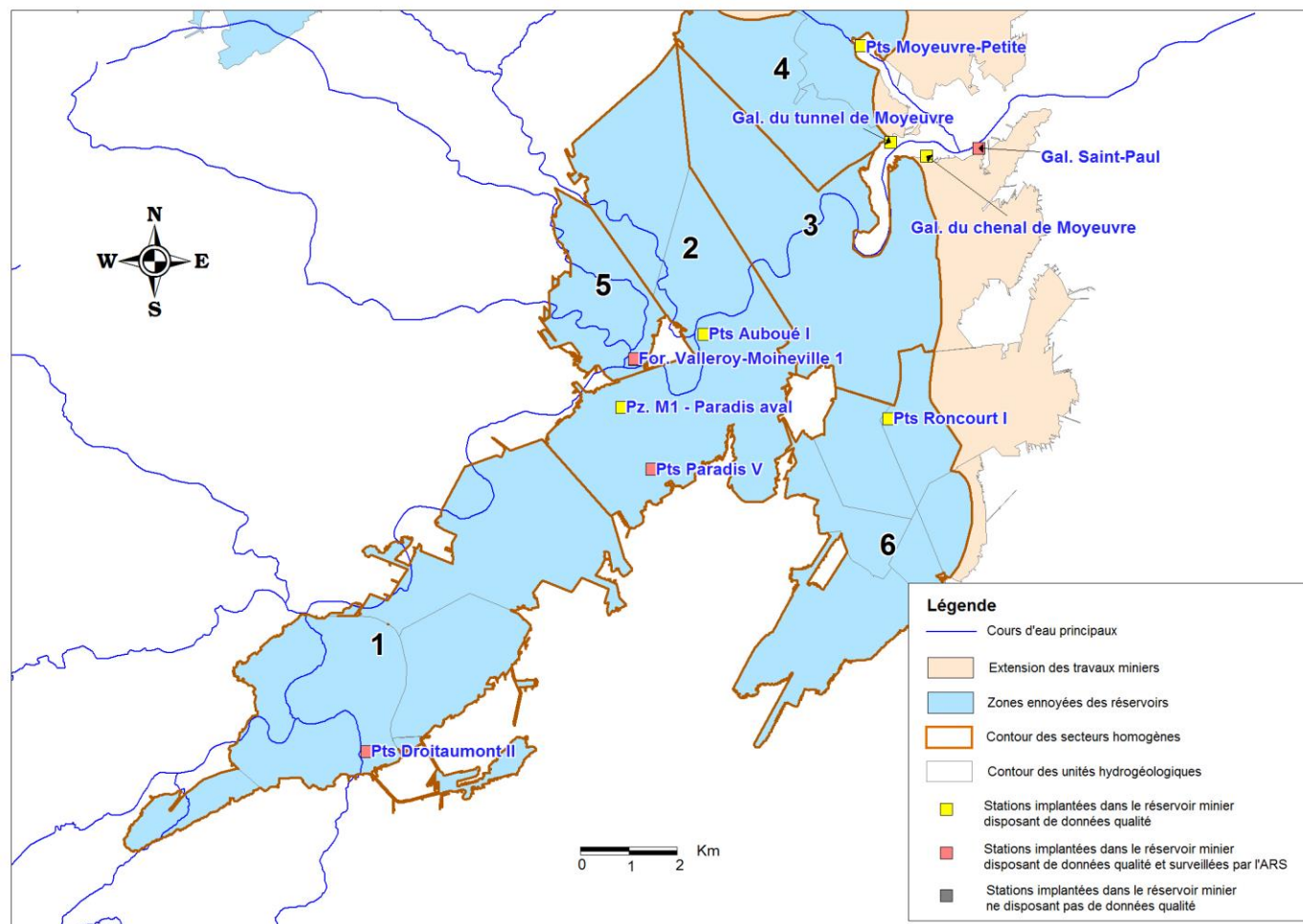


Illustration 17 : Cartographie du réservoir Sud : délimitation des secteurs homogènes sur le plan qualitatif

N°	Nom	Caractérisation des tendances d'évolution des concentrations en sulfates depuis le débordement	N° Secteur	Commentaire sur la sectorisation	Renouvellement de l'eau
S20	Pts Droitaumont II	Baisse	1	Ce secteur correspond aux parties les plus profondes du réservoir Sud	Bon
S14	Pz. M1 - Paradis aval	Baisse	2	-	Bon
S19	Pts Auboué I	Baisse			
S22	Pts Paradis V	Baisse			
S4	Gal. du chenal de Moyeuvre	Baisse	3	-	Bon
S5	Gal. du tunnel de Moyeuvre	Baisse	4	-	Bon
S21	Pts Moyeuvre-Petite	?			
S2	For. Valleroy-Moineville 1	Baisse	5	Ce secteur est isolé du reste du réservoir Sud. Des échanges sont possibles au travers d'une conduite d'eau endommagée reliant la concession de Valleroy à celle d'Auboué	Bon
S3	For. Valleroy-Moineville 2	Baisse			
S23	Pts Roncourt I	Baisse	6	-	Bon
S6	Gal. Saint-Paul	Hors zone envoyée	Hors zone envoyée	-	-

Illustration 18 : Sectorisation du réservoir Sud : classement des stations et commentaires

La qualité de l'eau des réservoirs miniers est très hétérogène, et les évolutions constatées sont variables. Cette hétérogénéité est liée essentiellement à la vitesse de renouvellement de l'eau des galeries ennoyées. L'analyse des données de surveillance et des plans miniers a permis d'identifier une typologie des secteurs des réservoirs miniers :

- **Secteurs où l'eau circule = baisse lente des teneurs en éléments indésirables (sulfate en particulier)**
- **Secteurs situés à proximité des zones non ennoyées = baisse rapide**
- **Secteurs confinés / peu renouvelés en eau = fortes teneurs + tendances stables**

Des secteurs homogènes du point de vue qualitatif ont pu être délimités à l'échelle des réservoirs miniers.

- **Liste des paramètres**

Une liste de paramètres spécifiques à la problématique de la qualité des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain avait été dressée par l'Agence de l'eau Rhin-Meuse et le BRGM lors de l'élaboration du réseau DCE. L'élaboration de cette liste s'appuyait notamment sur les résultats du rapport R40908 (Vaute, 1999) concernant « l'identification d'éléments indésirables ou toxiques dans les ressources en eau potentielles du bassin ferrifère lorrain ». La liste des paramètres est présentée dans le tableau ci-dessous.

Typologie des paramètres	Paramètres	Code Sandre
Paramètres physico-chimiques in situ	Température	1301
	Potentiel Hydrogène	1302
	Conductivité	1303
	Potentiel Redox	1330
Eléments majeurs	Magnésium	1372
	Calcium	1374
	Sodium	1375
	Potassium	1367
	Sulfates	1338
	Nitrates	1340
	Hydrogénocarbonates	1327
	Chlorures	1337
Composés azotés	Ammonium	1335
	Nitrites	1339
Métaux	Fer	1393
	Manganèse	1394
	Argent	1368
	Antimoine	1376
	Bore	1362
	Zinc	1383
	Nickel	1386
	Chrome	1389
	Strontium	1363
	Aluminium	1370
	Plomb	1382
	Mercure	1387
	Cuivre	1392
	Arsenic	1369
	Strontium	1363
	Sélénium	1385
	Cadmium	1388
Autre	Fluorène	1623
Micropolluants organiques	Indice hydrocarbures	7007
	HAP	-
	Cyanures totaux	1390
	Indice phénols	1440
	Eléments dérivés du Benzène	-

Illustration 19 : Liste des paramètres dressée dans le cadre de l'élaboration du réseau DCE (intégrant les paramètres problématiques sur le bassin ferrifère)

Un traitement statistique des données a été réalisé à l'aide de l'outil « QUALISTAT » (Cf. rapport BRGM/RP-58018-FR) en vue de calculer pour l'ensemble des stations disposant de données qualitatives sous ADES, les fréquences de quantification des différents éléments indésirables ou toxiques. Le traitement (disponible en annexe 5) concerne l'intégralité des données existantes sur chaque station. Il permet de mettre en évidence les stations sur lesquelles les paramètres ont été détectés.

Le tableau met bien en évidence la présence de polluants organiques (HAP, dérivés du benzène, hydrocarbures) dans les analyses de plusieurs stations des réservoirs Nord, Centre et Sud et ce aussi bien dans le réservoir minier que dans le Dogger.

Parmi les éléments « indésirables » recherchés dans les eaux souterraines, seuls quelques métaux lourds ne sont pas (ou peu) retrouvés : notamment l'argent et l'antimoine. Quelques éléments sont par ailleurs retrouvés sur un nombre très réduit de stations. C'est le cas notamment :

- de l'argent, retrouvé uniquement sur le piézomètre d'Avril implanté dans la formation ferrifère non exploitée (indice S7). La présence d'argent sur ce piézomètre est cependant systématique,
- des cyanures libres, retrouvés uniquement sur 3 stations.

La liste des paramètres dressée lors de l'élaboration du réseau DCE apparaît donc d'une manière générale bien représentative des problématiques qualitatives rencontrées à l'échelle du bassin ferrifère. La réduction de la liste des paramètres recherchés n'est pas justifiée.

La liste des paramètres dressée lors de l'élaboration du réseau DCE est bien représentative des problématiques qualitatives rencontrées à l'échelle du bassin ferrifère.

• Fréquence de surveillance

Les fréquences d'échantillonnage des eaux souterraines appliquées depuis le début de la surveillance sont variables :

- Analyses mensuelles des concentrations en sulfates sur les points de débordement des réservoirs miniers : cette fréquence devait permettre initialement d'intégrer les résultats à des modèles de simulation (meilleure identification des phénomènes en lien avec les variations saisonnières des niveaux et des débits). Les échantillonnages sont effectués au cours des tournées de maintenance des stations hydrométriques ; les facilités de prélèvement (pas de pompe nécessaire) et le faible coût de l'analyse des sulfates (6 € HT par analyse) ne génèrent donc pas de surcoût important. Au vu des chroniques existantes une fréquence d'échantillonnage trimestrielle sur les points de débordement des réservoirs Nord, Centre et Sud serait suffisante.

- Analyses semestrielles étendues sur les ouvrages implantés dans le réservoir Nord : des analyses complètes sont effectuées à une fréquence semestrielle sur les ouvrages du réservoir Nord. A la suite du débordement, la fréquence d'échantillonnage était trimestrielle. Cette fréquence élevée était liée à la situation post débordement et aux nombreuses questions soulevées par la nouvelle situation hydrogéologique. Cette fréquence a été diminuée au semestre pour le suivi 2011-2013. Analyses annuelles sur les autres stations du réseau de surveillance (réservoir Centre, Sud + Dogger et formation ferrifère non exploitée).

Une fréquence d'échantillonnage annuelle sur les ouvrages implantés dans les réservoirs miniers apparaîtrait suffisante au vu des faibles vitesses d'évolution des concentrations observées.

Une fréquence d'échantillonnage trimestrielle pour l'analyse des sulfates serait intéressante sur les points de débordement en raison du faible coût induit (déplacement effectué pour la surveillance des débits de débordement – seul le coût de l'analyse est à inclure).

2.4.4. Piézométrie et qualité du Dogger et de la formation ferrifère non exploitée

La surveillance de la piézométrie du Dogger s'est progressivement développée en vue de préciser le schéma de circulation des eaux souterraines sur le bassin ferrifère dans sa situation post-ennoyage.

La formation aquifère du Dogger comporte une nappe principale, reposant sur la couche des marnes micacées, au-dessus du minerai de fer, et quelques nappes perchées situées à plus faible profondeur. Dans l'ensemble, ce milieu est extrêmement discontinu de par sa forte fissuration, voire sa karstification locale. De plus, ses caractéristiques hydrodynamiques ont été perturbées par les effets mécaniques de l'exploitation minière sous-jacente.

Afin de comprendre les mécanismes actuels de circulation et d'échange d'eau entre ces nappes, le réseau de surveillance propre à la formation aquifère du Dogger, a été progressivement développé depuis 1995. Le choix des secteurs d'implantation des nouveaux piézomètres a découlé de deux objectifs principaux :

- la compréhension des échanges entre les différentes nappes superposées à l'aplomb et en bordure des zones défilées, tant sur le plan quantitatif (niveaux d'eau respectifs du réservoir minier, de la nappe principale des calcaires et des nappes perchées) que qualitatif,

- l'étude de la contamination de la nappe des calcaires du Dogger par de l'eau minéralisée dans les zones d'infiltration des cours d'eau situés en aval des points de soutien d'étiage.

Un bilan synthétique a été réalisé sous forme de tableau (illustration 20) pour :

- identifier les objectifs initiaux de la surveillance des stations implantées dans le Dogger et la formation ferrifère non exploitée,
- faire ressortir les informations principales que la surveillance a permis d'apporter sur ces stations.

Le bilan est présenté à travers le tableau ci-dessous.

La surveillance piézométrique et qualitative de l'aquifère du Dogger et de la formation ferrifère non exploitée s'est mise progressivement en place pour répondre aux besoins en connaissance qui ont découlé des opérations d'ennoyages des réservoirs. L'interprétation des données sur ces stations a permis d'affiner la compréhension du fonctionnement hydrogéologique du bassin ferrifère (circulations d'eau entre le Dogger et les réservoirs miniers, impacts potentiels du soutien d'étiage sur la qualité de la nappe du Dogger).

L'intérêt de poursuivre la surveillance de ces stations est essentiellement de contrôler la bonne continuité du fonctionnement hydrogéologique mis en place depuis le débordement. Cet objectif pourrait être atteint en assurant des campagnes de mesures à des fréquences pluriannuelles (3 à 5 ans).

La surveillance piézométrique de la nappe du Dogger au droit des zones foudroyées des réservoirs miniers (doublets de piézomètres) devrait cependant être poursuivie en raison des importantes interactions entre ces deux nappes sur ces secteurs fortement modifiés par l'activité minière.

Réservoir	N°	Code BSS	Nom	Cible	Surveillance quantitative	Surveillance qualitative	Compréhension des conséquences de l'ennoyage sur les niveaux piézométriques de la nappe du Dogger	Identifier d'éventuelles circulations d'eau souterraines au travers de la faille de Fontoy	Compréhension des circulations d'eau souterraine entre le Dogger et le réservoir minier au droit des zones dépilées	Compréhension des circulations d'eau souterraines entre le réservoir Centre et le réservoir Sud	Compréhension des circulations d'eau souterraines entre le réservoir Centre et le réservoir Sud => préciser le rôle hydraulique de la faille d'Avril	Suivi de la contamination de la nappe du Dogger au val des points de soutien d'étiage
CENTRE	C1	01372X0206/F	For. Ferme de Mance	Dogger		x						x
	C6	01373X0131/A15	Pz. A15 - Avril amont	Dogger	x	x				x	x	
	C7	01373X0130/A25	Pz. A25 - Avril aval	f.f. non exploitée	x	x				x	x	
	C8	01373X0158/PZ	Pz. Chevillon artésien	f.f. non exploitée		x				x	x	
	C9	01372X0204/M52	Pz. M52 - Mance	Dogger	x					x	x	
	C10	01372X0211/PZBIS	Pz. Mance bis	f.f. non exploitée	x	x						
	C11	01373X0132/P01	Pz. P1 - St-Pierremont	Dogger	x	x			x			
	C12	01373X0133/P02	Pz. P2 - St-Pierremont	Dogger	x	x						
NORD	C19	01372X0207/SCE	Source de Mance	Dogger		Arrêtée le 28/09/2007						x
	N10	01132X0189/PZ-10	Pz. Errouville Brune	Dogger								
	N12	01137X0173/PZ-12	Pz. Chem. Sud Dogger inf.	Dogger	x	x			x			
	N13	01137X0172/PZ-13	Pz. Chem. Sud Dogger sup.	Dogger	x	x						
	N20	01137X0160/F	Pz. Fontoy nord	Dogger	x	x		x				
	N21	01137X0159/F	Pz. Fontoy sud	Dogger	x	x						
	S1	01633X0077/S2	For. de Bagneux	Dogger								
	S7	01373X0157/PZFF	Pz. Avril FF	f.f. non exploitée	x	x					x	
SUD	S8	01377X0209/PZB1	Pz. B1 - Paradis amont	Dogger		Arrêtée le 21/09/1999			x			
	S14	01377X0211/M01	Pz. M1 - Paradis aval	Réservoir minier	x							
	S15	01377X0212/M02	Pz. M2 - Paradis aval	Dogger	x	x						
	S9	01372X0210/BRIEYA	Pz. Briey A	Dogger	x	x				x	x	
	S10	01372X0209/BRIEYB	Pz. Briey B	f.f. non exploitée	x	x				x	x	
	S11	01373X0160/PZAAVAL	Pz. Conroy aval	f.f. non exploitée	x	x				x	x	
	S12	01368X0008/KG	Pz. de St Jean-lès-Buzy	Dogger	Arrêtée le 31/12/2010	Arrêtée le 31/12/2010	x					
	S13	01376X0149/H01	Pz. H1 - Hatrizé	Dogger	x	x	x					x
	S16	01632X0070/V105	Pz. V105 - Ville / Yron	Dogger	x		x					
	S17	01632X0071/V19	Pz. V19 - Ville / Yron	Dogger	x	x						
	S18	01377X0205/F3	Pz. Vernéville (nouveau)	Dogger	x		x					
Bilan des interprétations effectuées depuis le début de la surveillance							Au-dessus des travaux miniers, la surface piézométrique de la nappe principale des calcaires du Dogger est déprimée, et présente probablement un relief « bosselé » : les creux correspondraient aux zones de drainage plus important (zones dépilées ou fracturées), les bosses seraient liées aux zones de drainage moindre (zones tracées ou de perméabilité verticale plus faible).	Pas d'interprétation - difficulté d'identifier précisément un gradient hydraulique avec uniquement 2 piézomètres.	Les zones dépilées se comportent comme des zones de drainage de l'aquifère des calcaires du Dogger : lorsqu'elles atteignent la nappe principale du Dogger, les eaux de pluie infiltrées dans les calcaires sont drainées vers la zone dépilée sous-jacente et atteignent ensuite le réservoir minier - Le réservoir minier ennoyé conserve donc son rôle de drainage général de la nappe du Dogger.	Les deux réservoirs Centre et Sud sont en relation hydraulique par l'intermédiaire de la nappe de la formation ferrifère, malgré la présence de l'écran (imparfaitement imperméable) formé par la faille d'Avril - les écoulements du réservoir Centre vers le réservoir Sud s'effectuent dans un milieu poreux à un débit suffisamment faible pour que plusieurs années après l'ennoyage des réservoirs, aucune trace de contamination de la nappe de la formation ferrifère ne soit visible		La contamination de la nappe du Dogger est mise en évidence pontcuellement - ex : La minéralisation de la source de Mance en période d'étiage, relativement importante (1600 µS/cm en octobre 1998), indique probablement que la source draine en partie les eaux du Dogger contaminées localement par les eaux de soutien d'étiage du ruisseau de la Vallée (ces eaux sont pompées dans le réservoir Centre, par le puits Anderny II).

Illustration 20 : Bilan de la surveillance quantitative et qualitative du Dogger et de la formation ferrifère non exploitée

2.4.5. Surveillance des débits de débordement des réservoirs miniers

Le tableau ci-dessous présente la liste des exutoires des différents réservoirs du bassin ferrifère lorrain. Les cellules en bleu marquent les exutoires pour lesquels les débits de débordement sont mesurés (ou recalculés). Les dispositifs de débordement des réservoirs Nord, Centre et Sud sont décrits en détail en annexe 1.

Réservoir	Indice national du point de débordement	Indice BFL	Type d'exutoire	Nom de l'exutoire	Surveillance actuelle	Cours d'eau récepteur
CENTRE	01372X0197	C5	Débordement principal	Galerie du Woigot	Station d'enregistrement en continu + jaugeages trimestriels	Woigot
	01373X0134	C3	Débordement secondaire hautes eaux	Galerie de Bois d'Avril	Station d'enregistrement en continu + jaugeages trimestriels	Conroy
	01137X0151	C4	Débordement secondaire hautes eaux	Galerie de Fontoy	-	Fensch
	01373X0027	C18	Fuites réservoir minier	Fuites principales du réservoir Centre	Fuites calculées à partir de la surveillance de la station hydrométrique du Conroy (C21)	Chevillon
SUD	01374X0273	S4	Débordement principal	Galerie du chenal de Moyeuve (nouvel exutoire)	Station d'enregistrement en continu ; données non validées faute de mesures manuelles	Orne
	01374X0234	S5	Débordement secondaire hautes eaux	Galerie du tunnel de Moyeuve (ancien exutoire)	-	Orne
NORD	01138X0184	N14 - N14bis (via puits N8)	Débordement principal capté par SOLLAC	Galerie de Knutange via le puits d'Havange	Débit calculé via le niveau piézométrique enregistré en continu au puits d'Havange	Fensch
	01138X0147	N18	Débordement secondaire soutien d'étiage	Galerie de Metzange	Débit de débordement contraint par un serrement de galerie à 130 l/s	Veymerange
	01141X0024	N19	Exutoire gravitaire capté par la ville de Thionville	Galerie d'Entrange	-	
BURBACH	01138X0172	Bu1	Débordement principal	Galerie de Burbach	Jaugeages mensuels	Fensch

Illustration 21 : Tableau récapitulatif des points de débordement des différents réservoirs (stations et réservoirs en bleu : surveillance en cours en 2013)

Les mesures de débits sur les réservoirs Centre, Sud, Nord ne sont pas effectuées sur l'intégralité des exutoires existant. Sur le réservoir Centre, la Galerie de Fontoy n'est pas mesurée en raison du caractère trop sporadique des écoulements. La galerie de Fontoy peut évacuer des eaux vers la Fensch en période de très hautes eaux (à partir de la cote 223.5 m NGF). Ceci ne s'est produit que quelques semaines en 2000, 2002 et 2003 (le niveau maximum du réservoir Centre n'a jamais dépassé la cote 223,57 m). La galerie de Fontoy n'a pas fonctionné sur la période 2008-2013.

Sur le réservoir Sud, l'ancien exutoire est situé à une cote élevée qui rend l'occurrence d'un écoulement très peu fréquent (jamais observé depuis 2004).

Sur le réservoir Nord, les débits de débordement aux galeries de Metzange et d'Entringe ne sont pas surveillés. Le premier présente en effet un écoulement contraint à 130 l/s par un serrement (barrage en galerie). Le second est un exutoire gravitaire capté par la ville de Thionville, qui capte l'eau d'un secteur non ennoyé.

La connaissance des débits de débordement des réservoirs est essentielle à la réalisation de bilans entrées/sorties à l'échelle des réservoirs ennoyés, et donc au calcul de la recharge du système aquifère.

Les débits de débordement constituent des données de base indispensables au calcul de la recharge des réservoirs miniers.

La surveillance actuelle des débits de débordement des réservoirs miniers concerne les principaux exutoires permanents ou dont l'écoulement est fréquent (hors points de drainage gravitaire des secteurs non ennoyés, ou points dont le débit est limité et connu).

- **Cas particulier de la station de Moyeuvre-Grande**

La station de la galerie du chenal de Moyeuvre-Grande (S4) correspond au point de débordement du réservoir Sud. La station est équipée en 2013 d'un appareil de mesure des débits de type Kanalis, dont le fonctionnement est basé sur un principe de mesure des vitesses de déplacement de l'eau qui fournit une mesure de débit de manière directe sans passer par l'établissement d'une courbe de tarage. Plusieurs contraintes sont actuellement rencontrées pour réaliser les mesures :

- des mesures manuelles de débit sont nécessaires pour valider les données acquises par la station, or les difficultés d'accès à la galerie du chenal de Moyeuvre-Grande ne permettent pas d'effectuer les mesures de contrôle nécessaires et de valider les données (aucune mesure possible en hautes eaux en raison des contraintes d'accès à la galerie et mesures très délicates en étiage en raison de la présence potentielle de gaz dans la galerie),
- pour les mêmes raisons de difficultés d'accès, il est délicat voire impossible de dépanner les sondes en place dans la section hormis en toute fin de période d'étiage,
- un para fouille a été aménagé en 2009 sur la section de mesure, impliquant une modification du régime d'écoulement de l'eau au droit de la station (régime localement turbulent) ce qui génère d'importantes incertitudes de mesures.

Par conséquent, l'option envisagée pour la poursuite de la surveillance est de recourir à la station de mesure de débits installée par le Département Prévention et Sécurité Minière (DPSM) du BRGM en 2012 en amont de l'ouvrage vanné de la galerie sur une section mieux adaptée aux mesures de débits. Le recours à cette station permettra de disposer de mesures de débits en continu.

En réponse au problème d'accès à la station pour les mesures de contrôle (non réalisées à ce jour), il est proposé de tester un dispositif de mesure de débits par dilution de traceur (nature du traceur à définir).

2.4.6. Estimation des débits de fuite du réservoir centre

La surveillance des débits de débordement aux exutoires est insuffisante pour effectuer des calculs de bilans entrées/sorties sur le réservoir Centre. En effet, des phénomènes de fuite non intégrées dans la mesure des débordements se produisent.

➤ Fuites du réservoir Centre

Un phénomène de fuite est observé au droit du réservoir Centre. Dès janvier 1999, des fuites ont été observées en amont du puits du Chevillon, au niveau d'une ancienne ligne de sources figurant sur l'édition 1954 de la carte topographique au 1/25 000 de l'IGN.

La localisation des fuites est présentée sur la carte et le bloc diagramme ci-dessous.

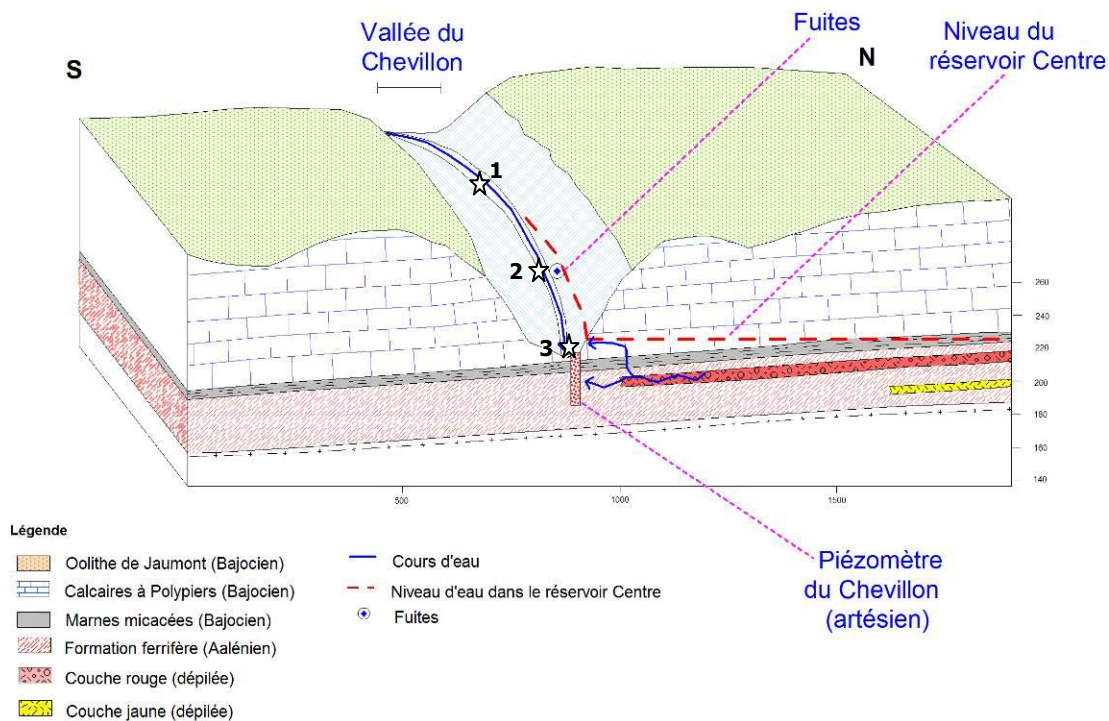
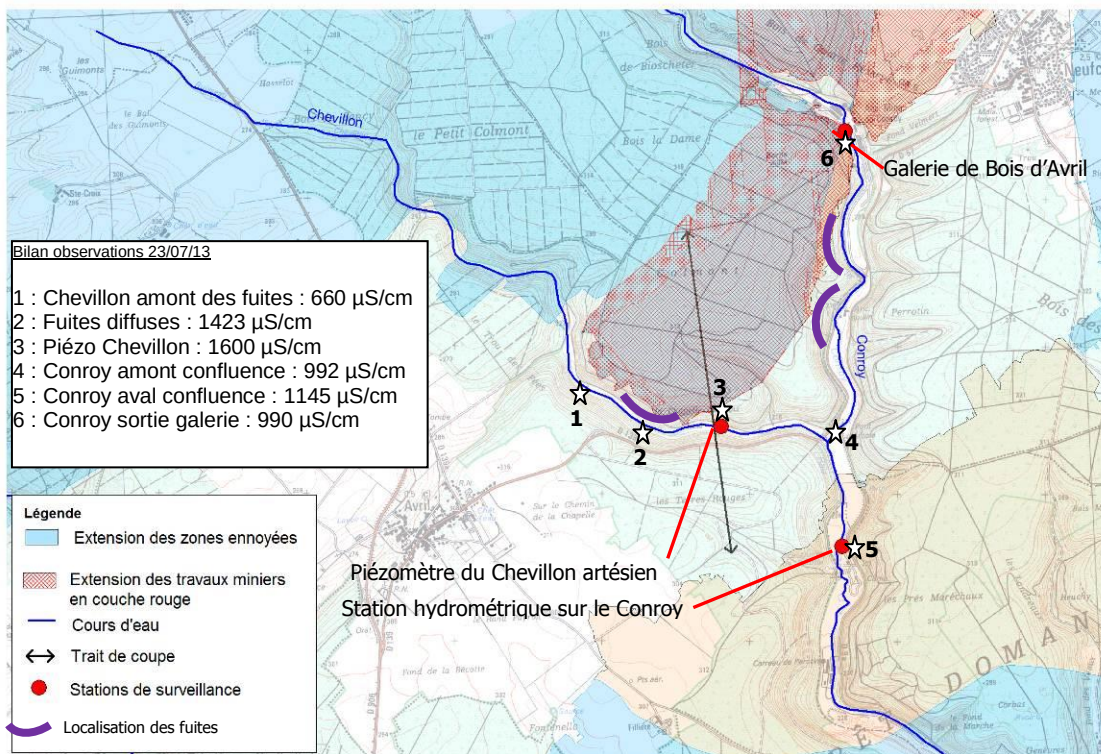
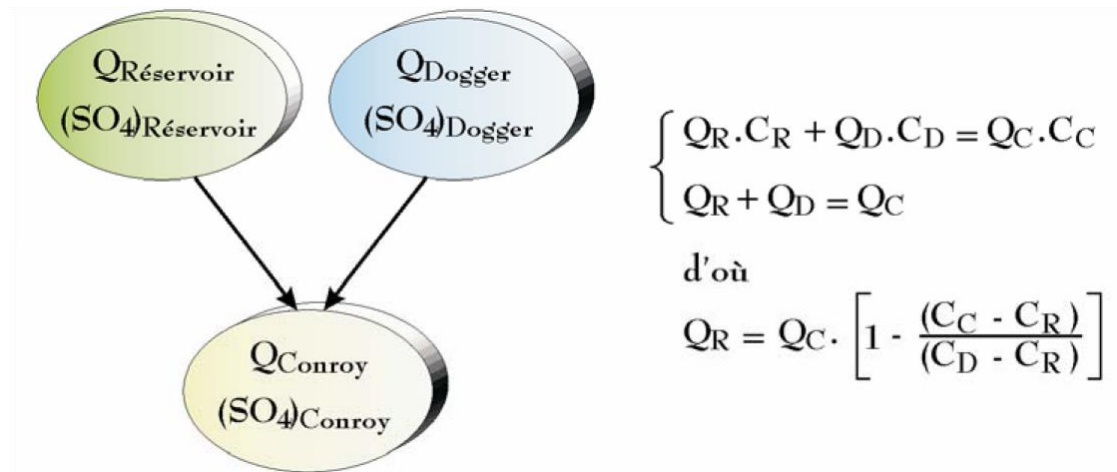


Illustration 22 : Carte de localisation des fuites du réservoir Centre

Des observations de terrain ont été effectuées le 23 juillet 2013. Elles ont consisté à réaliser des mesures de conductivité sur le Chevillon et le Conroy en amont et en aval des fuites. Les observations mettent en évidence la localisation des fuites par l'augmentation de conductivité entre les points de mesure N°1 et N°2 pour le Chevillon et entre les points N°6 et N°4 pour le Conroy.

En 2000, une estimation du débit des fuites a été effectuée par calcul, à partir de mesures de débit et analyses chimiques (concentrations en sulfates). Le principe de ce calcul est exposé sur l'illustration ci-dessous (Vaute, 2005).



*Illustration 23 : Principe de calcul des fuites du réservoir Centre
(extrait du rapport BRGM/RP-53277 – Vaute, 2005)*

Ce calcul peut être réalisé à condition de considérer les hypothèses suivantes :

- l'eau qui s'écoule dans le Conroy en aval de sa confluence avec le Chevillon est le résultat d'un mélange entre l'eau provenant du réservoir minier (fuites diffuses dans les vallées du Chevillon et du Conroy) et l'eau des calcaires (ruissellement et drainage par ces deux cours d'eau) ;
- on peut connaître avec suffisamment de précision les concentrations en sulfate du réservoir, du Dogger et du Conroy,

La mise en œuvre de ce calcul nécessite donc de pouvoir disposer de mesures de débit et de concentrations en sulfates sur le Conroy (mesures réalisées à ce jour à la station hydrométrique du Conroy – C21).

L'eau du réservoir Centre s'évacue par les points de débordement mais également par des phénomènes de fuites. Les fuites se produisent dans les cours d'eau du Chevillon et du Conroy.

Les fuites du réservoir Centre sont évaluées par calcul. Le calcul est basé sur le principe que l'eau s'écoulant dans le Conroy en aval de sa confluence avec le Chevillon résulte d'un mélange de l'eau du réservoir minier et de celle du Dogger ce qui nécessite de connaître avec précision les concentrations en sulfate du réservoir, du Dogger et du Conroy.

3. RESULTATS DE L'OPTIMISATION

Le travail d'optimisation des réseaux de surveillance a permis de dresser :

- un réseau de surveillance piézométrique du titre de la DCE (réseau A),
- un réseau de surveillance de la qualité des réservoirs miniers au titre de la DCE (réseau B),
- un réseau de surveillance des débits de débordement des réservoirs miniers (réseau C),
- un réseau de surveillance quantitatif (piézométrie et débits de débordement confondus) répondant aux objectifs du SAGE du bassin ferrifère (réseau D),
- un réseau de surveillance de la qualité des eaux souterraines répondant aux objectifs du SAGE du bassin ferrifère (réseau E).

Une lettre a été attribuée à chaque réseau pour identifier plus simplement les réseaux.

Les réseaux A, B et C répondent à l'enjeu de surveillance réglementaire (DCE). Les réseaux D et E répondent à l'enjeu de surveillance du SAGE du bassin ferrifère lorrain.

Les chapitres ci-dessous présentent la liste des stations sélectionnées pour chacun de ces réseaux. Les listes sont présentées sous forme de tableaux. Des commentaires mettent en lumière pour chaque station les arguments qui ont orienté la sélection.

3.1. ENJEU N°1

3.1.1. Réseau DCE quantitatif (réseau A)

La liste des stations du réseau DCE quantitatif (réseau A) est présentée dans le tableau ci-dessous.

N°	Indice BSS	Nom	Réservoir	AVANT optimisation		APRES optimisation		Commentaire
				Station surveillée pour la DCE	Fréquence (j ,m, a)	Station préconisée	Fréquence (j ,m, a)	
C16	01372X0198	Pts St-Pierremont II	CENTRE	X	Journalière (station automatique télétransmise)	X	Journalière (station automatique télétransmise)	Station représentative de la piézométrie du réservoir Centre
N5	01137X0175	Pts Cheminée Sud Grise	NORD	X	Journalière (station automatique télétransmise)	X	Journalière (station automatique télétransmise)	Station représentative de la piézométrie du réservoir Nord
S19	01377X0099	Pts Auboué I	SUD	X	Journalière (station automatique télétransmise)	X	Journalière (station automatique télétransmise)	Station représentative de la piézométrie du réservoir Sud

Illustration 24 : Tableau récapitulatif des stations sélectionnées pour le réseau DCE quantitatif

Le réseau préconisé est constitué de 3 stations réparties dans les réservoirs Nord, Centre et Sud.

La réflexion menée dans le cadre du travail d'optimisation souligne l'homogénéité de la piézométrie à l'échelle de chaque réservoir minier (Cf. § 3.3.2). Une station de surveillance par réservoir minier est donc suffisante au regard de la DCE. La surveillance concerne par ailleurs uniquement les 3 réservoirs principaux Nord, Centre et Sud. Ce choix, fondé sur le principe d'emprise géographique des réservoirs miniers, a été acté lors du comité de pilotage du 21 janvier 2013.

Les 3 stations sélectionnées appartiennent déjà au réseau DCE. Ces 3 stations sont équipées d'appareils de mesure en continu et de télétransmission des niveaux piézométriques tel que prévu dans le document d'assurance qualité (DAQ V1-2 du 25 janvier 2011) produit par le BRGM.

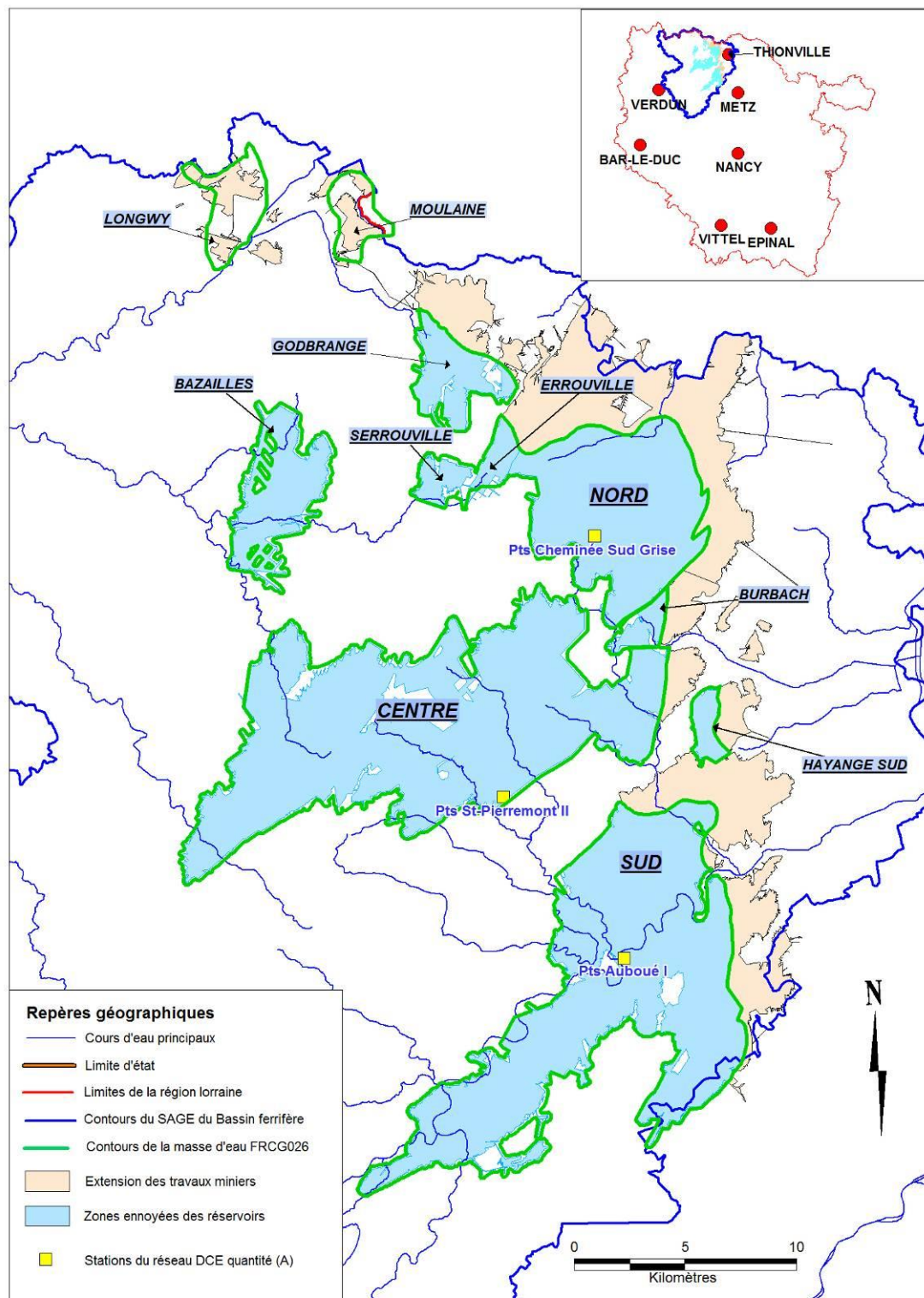


Illustration 25 : Carte de localisation des stations du réseau DCE quantitatif

3.1.2. Réseau DCE qualitatif (réseau B)

La liste des stations du réseau DCE qualitatif (réseau B) est présentée dans le tableau ci-dessous.

N°	Indice BSS	Nom	Réservoir	AVANT optimisation		APRES optimisation		Possibilités de prélèvement	Commentaire
				Station surveillée pour la DCE	Fréquence	Station préconisée	Fréquence		
C17	01372X0196	Pts Tucquegnieux I	CENTRE	X	Semestrielle	X	Semestrielle	Au robinet (pompe en place)	Station DCE actuelle : située dans un secteur peu renouvelé en eau (tendance stable)
C8	01373X0158	Pz. Cheillon artésien	CENTRE			X	Semestrielle	Au débordement (forage artésien)	Station implantée dans la formation ferrifère non exploitée : située dans la partie Est du réservoir, mieux renouvelée en eau (tendance à la baisse) - suivi très complémentaire au puits Tucquegnieux I
N14bis	01138X0184	Gal. des eaux de Knutange (la Paix)	NORD	X	Semestrielle	X	Semestrielle	Au débordement	Station représentative de la qualité de la majeure partie du réservoir Nord (secteur n°1 - Cf. §2.4.3)
S4	01374X0273	Gal. du chenal de Moyeuvre	SUD	X	Semestrielle	X	Semestrielle	Au débordement	Station représentative de la qualité de la majeure partie du réservoir Sud (Cf. §2.4.3)
S20	01376X0148	Pts Droitaumont II	SUD	X	Semestrielle				Evolution de la qualité assez proche de celle de la galerie du chenal de Moyeuvre. Poursuite du suivi dans le cadre DCE non nécessaire

Illustration 26 : Tableau récapitulatif des stations sélectionnées pour le réseau DCE qualitatif

Le réseau préconisé est constitué de 4 stations réparties dans les réservoirs Nord, Centre et Sud.

La réflexion menée dans le cadre du travail d'optimisation souligne l'hétérogénéité de la qualité de l'eau des réservoirs miniers (Cf. § 3.3.3). Cette hétérogénéité est liée en partie à la nature des circulations d'eau dans les réservoirs miniers et à la vitesse de renouvellement de l'eau (les secteurs confinés étant moins renouvelés que les secteurs interconnectés et/ou proches des secteurs non ennoyés). L'objectif du réseau DCE n'est pas de fournir une vision détaillée de cette hétérogénéité mais d'évaluer l'état qualitatif moyen de la masse d'eau des réservoirs miniers, et son évolution. Le travail d'optimisation a donc consisté à identifier des stations traduisant les problématiques identifiées à l'échelle de la masse d'eau.

Le réseau de surveillance proposé concerne uniquement les 3 réservoirs principaux Nord, Centre et Sud. Ce choix, fondé sur le principe d'emprise géographique des réservoirs miniers, a été acté lors du comité de pilotage du 21 janvier 2013.

a) *Pour le réservoir Nord*

La station DCE actuelle (débordement de la Galerie de la Paix) est implantée dans le secteur le plus étendu du réservoir Nord. Elle est reliée à un réseau de galeries qui sont a priori bien reliées les unes aux autres et représentatives de la grande majorité du réservoir Nord. Les stations d'Errouville (N17) et Angevillers (N7) qui présentent des concentrations en sulfates élevées et des tendances stables sont représentatives de secteurs très restreints sur le réservoir. De même, la station de Metzange qui présente des tendances en sulfates en nette baisse est représentative de secteurs d'extension limitée aux bordures du réservoir, en contact avec les zones non ennoyées. Par conséquent la station de la Galerie de la Paix (N14) apparaît la plus adaptée à l'évaluation de l'état qualitatif de la masse d'eau pour le réservoir Nord.

b) *Pour le réservoir Centre*

La station DCE actuelle (puits de Tucquenieux – C17) est située dans un secteur peu renouvelé en eau. La surveillance y montre des tendances stables pour plusieurs paramètres (sulfates, sodium, Bore Cf. Annexe 4). L'évaluation de l'état de la masse d'eau pour le réservoir Centre avec cette seule station ne reflète pas la tendance à la baisse constatée sur les deux secteurs les plus à l'Est du réservoir (Puits Anderny – C14, Pz Chevillon – C8).

La surveillance DCE pourrait donc être améliorée en incluant, en plus de la station de Tucquenieux, la surveillance du piézomètre du Chevillon Artésien. Ce piézomètre est implanté dans la formation ferrifère non exploitée en limite des zones exploitées du réservoir Centre. Au droit de ce piézomètre, l'eau souterraine présente une signature hydrochimique caractéristique de celle du réservoir Centre dans sa partie Est. La surveillance des eaux souterraines y montre d'importantes similitudes avec les évolutions constatées au puits Anderny II (tendances à la baisse pour l'ensemble des paramètres problématiques dont les sulfates). Le choix s'est porté sur ce piézomètre en raison des facilités de prélèvement (piézomètre artésien ne nécessitant pas l'usage d'une pompe ou d'un autre dispositif de prélèvement à la différence du puits Anderny II).

c) Pour le réservoir Sud

Deux stations DCE sont actuellement implantées dans le réservoir Sud. Seule la station de la galerie du Chenal de Moyeuve pourra être conservée dans le réseau DCE. La station DCE existante (débordement de la Galerie du Chenal de Moyeuve) présente en effet pour les paramètres problématiques des concentrations relativement similaires à celles observées dans l'ensemble du réservoir Sud. Cette station est donc adaptée à l'évaluation de l'état qualitatif de la masse d'eau. Les analyses réalisées à la station du puits Droitaumont II sont très proches de celles de la galerie du Chenal de Moyeuve ce qui ne justifie pas son maintien dans le réseau DCE. Le tableau ci-dessous présente la liste des paramètres qui devront être analysés pour assurer une surveillance adaptée aux problématiques rencontrées sur le bassin ferrifère (Cf. § 3.3.3).

Typologie des paramètres	Paramètres	Code Sandre
Paramètres physico-chimiques in situ	Température	1301
	Potentiel Hydrogène	1302
	Conductivité	1303
	Potentiel Redox	1330
Eléments majeurs	Magnésium	1372
	Calcium	1374
	Sodium	1375
	Potassium	1367
	Sulfates	1338
	Nitrates	1340
	Hydrogénocarbonates	1327
	Chlorures	1337
Composés azotés	Ammonium	1335
	Nitrites	1339
	Fer	1393
Métaux	Manganèse	1394
	Argent	1368
	Antimoine	1376
	Bore	1362
	Zinc	1383
	Nickel	1386
	Chrome	1389
	Strontium	1363
	Aluminium	1370
	Plomb	1382
	Mercure	1387
	Cuivre	1392
	Arsenic	1369
	Strontium	1363
	Sélénium	1385
	Cadmium	1388
Autre	Fluorène	1623
	Indice hydrocarbures	7007
Micropolluants organiques	HAP	-
	Cyanures totaux	1390
	Indice phénols	1440
	Eléments dérivés du Benzène	-

Illustration 27 : Liste des paramètres retenus pour les analyses

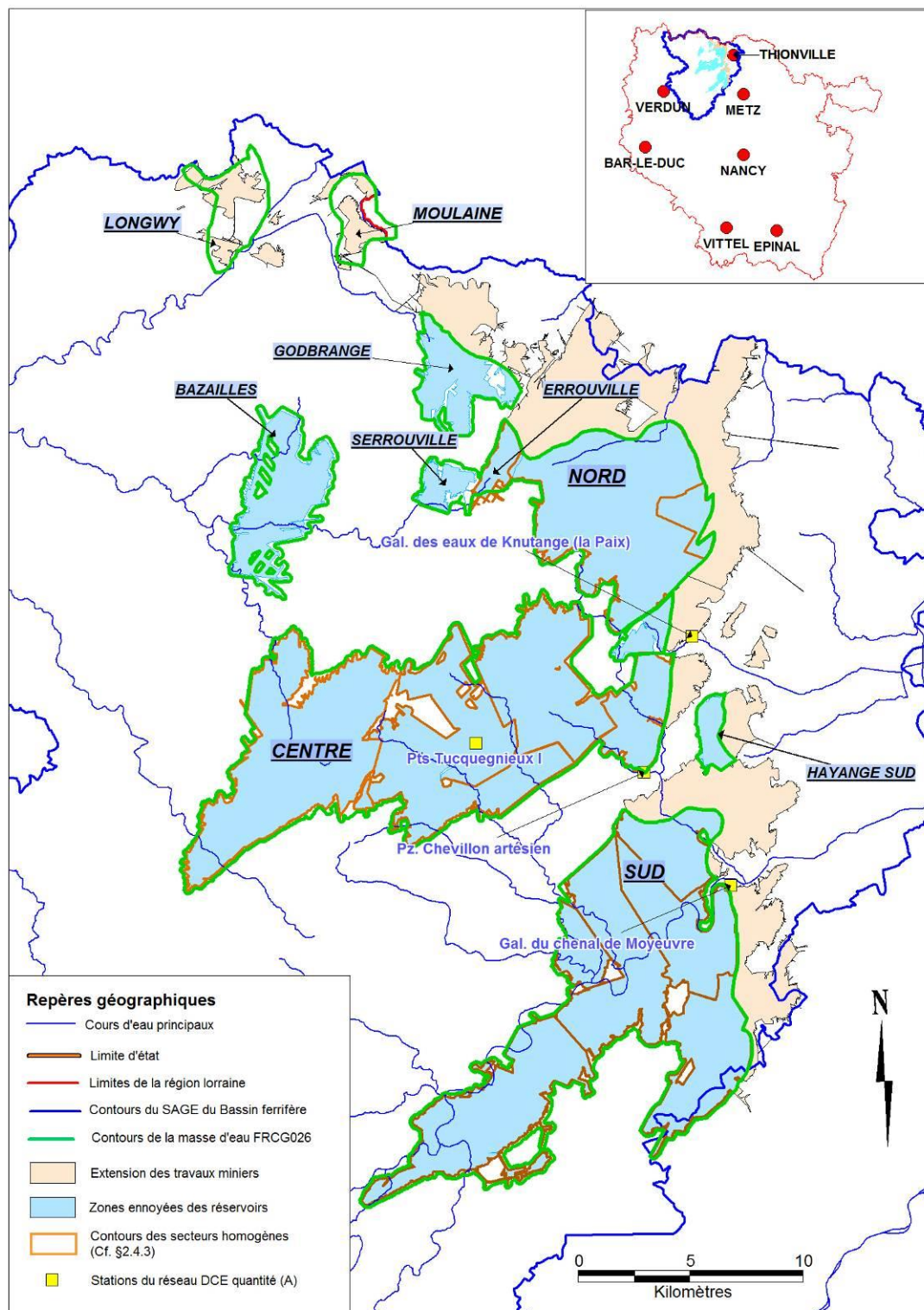


Illustration 28 : Carte de localisation des stations du réseau DCE qualitatif

3.1.3. Réseau de surveillance du débit de débordement et de fuite des réservoirs miniers (réseau C)

La liste des stations du réseau de surveillance du débit de débordement des réservoirs miniers (réseau C) est présentée dans le tableau ci-dessous.

N°	Indice BSS	Nom	Réservoir	AVANT optimisation		APRES optimisation		Commentaire
				Station surveillée	Type de suivi / Fréquence	Station préconisée	Type de suivi / Fréquence	
Bu1	01138X0172	Gal. de Burbach	BURBACH	X	Mesures manuelles mensuelles			Débordement de l'ovoïde de Burbach. Représentatif d'un secteur très restreint.
C3	01373X0134	Gal. de Bois d'Avril	CENTRE	X	Station de mesure automatique / tournées trimestrielles	X	Station de mesure automatique / tournées trimestrielles	Point de débordement secondaire (hautes eaux) du réservoir Centre
C5	01372X0197	Gal. du Woigot	CENTRE	X	Station de mesure automatique / tournées trimestrielles	X	Journalière / tournées trimestrielles	Point de débordement principal du réservoir Centre
C21	01373X0176	Conroy - station hydrométrique	CENTRE	X	Station de mesure automatique / tournées trimestrielles	X	Journalière / tournées trimestrielles	Mesures indispensables au calcul des fuites du réservoir Centre (la tournée inclue une analyse des concentrations en sulfates)
N14bis / N8	01138X0184	Gal. des eaux de Knutange (la Paix)	NORD	X	Débits recalculés - station de mesure automatique / tournées semestrielles (Cf. § 2.4.5 - Annexe 3)	X	Débits recalculés - station de mesure automatique / tournées semestrielles (Cf. § 2.4.5 - Annexe 3)	Point de débordement principal du réservoir Nord (données recalculées à partir des niveaux du réservoir Nord au puits Havange N8)
S4	01374X0273	Gal. du chenal de Moyeuivre	SUD	X	Station de mesure automatique / tournées annuelle	X	Station de mesure automatique / tournées trimestrielles (Cf. § 2.4.5)	Point de débordement principal du réservoir Sud

Illustration 29 : Tableau récapitulatif des stations sélectionnées pour le réseau de surveillance du débit de débordement des réservoirs miniers

Les points de surveillance sélectionnés concernent les 3 réservoirs principaux Nord, Centre et Sud. Seuls les exutoires principaux ont été sélectionnés (ainsi qu'un exutoire secondaire pour le réservoir Centre).

La poursuite de la surveillance du débit de débordement du sous-réservoir Burbach n'a pas été jugée nécessaire en raison de la très faible extension du réservoir et des faibles débits de débordement (par comparaison aux débits de débordement des réservoirs Nord, Centre et Sud).

- **Fréquences de suivi préconisées et aménagements particuliers**

La surveillance des débits de débordement devra être effectuée au pas de temps journalier sur toutes les stations. Compte tenu de l'importante réactivité des réservoirs miniers à la pluie, cette fréquence est la seule permettant d'utiliser efficacement les données dans des modèles globaux de simulation pluie/débits ou pluie/débits/niveaux piézométriques. Des mesures de contrôle devront être réalisées régulièrement pour valider les mesures automatiques. La fréquence de ces mesures sera variable selon les stations (annuelle à trimestrielle). Les mesures de contrôle devront être effectuées pour des hauteurs différentes en vue d'affiner la courbe de tarage des sections de mesure.

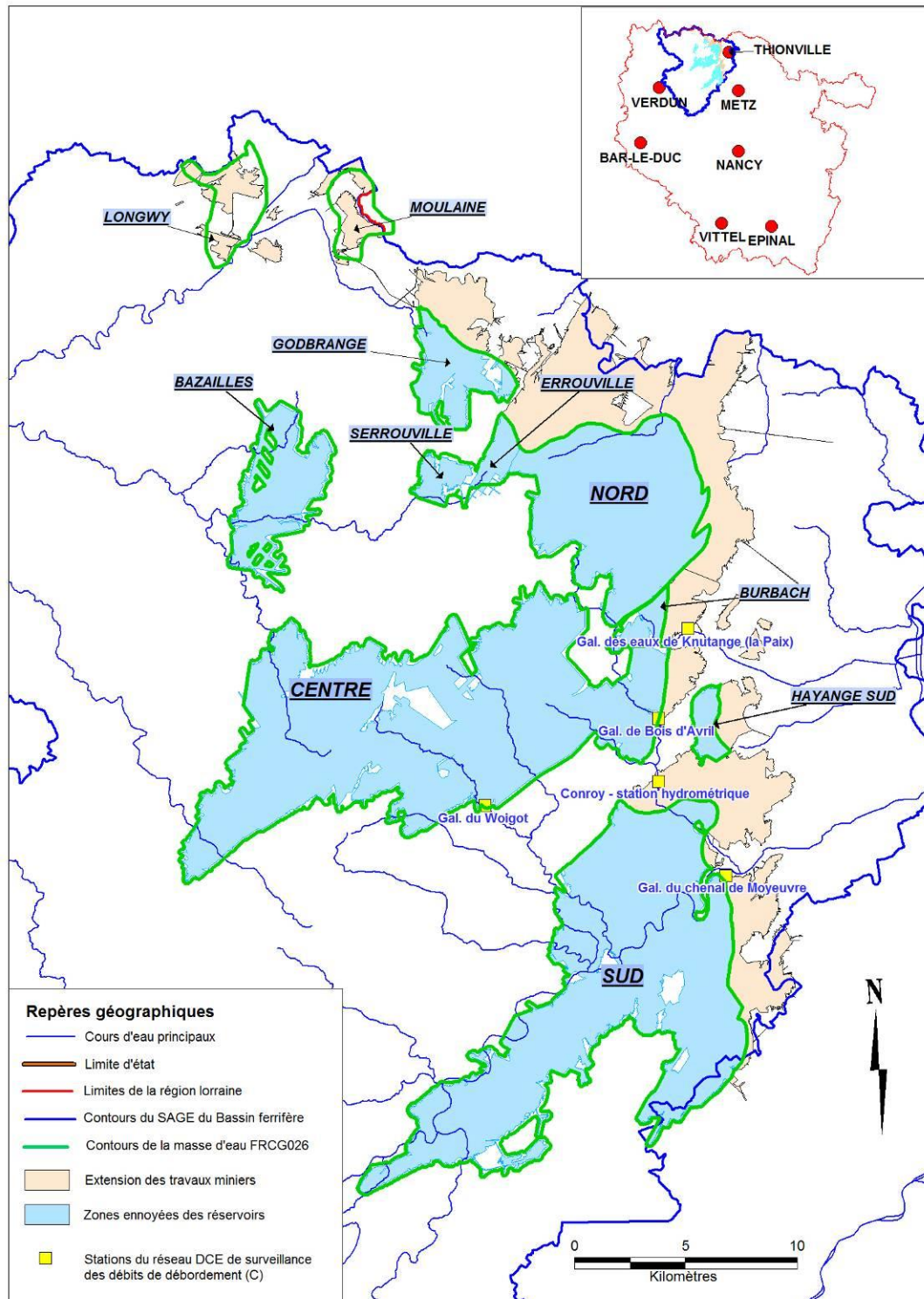


Illustration 30 : Carte de localisation des stations du réseau de surveillance du débit de débordement des réservoirs miniers

3.2. ENJEU N°2

3.2.1. Réseau de surveillance quantitatif du SAGE BFL (réseau D)

La liste des stations du réseau de surveillance quantitatif du SAGE BFL (réseau D) est présentée dans le tableau ci-dessous. Parmi les stations sélectionnées figurent :

- L'ensemble des stations de mesure des niveaux piézométriques appartenant au réseau DCE implantées dans le réservoir minier (choix des stations explicité au § 3.4.1) : ces stations permettront d'acquérir les données de référence sur la piézométrie des réservoirs miniers. Leur gestion est assurée dans le cadre d'une convention BRGM/ONEMA et en partenariat avec la DREAL.
- L'ensemble des stations sélectionnées pour le suivi des débits de débordement (réseau C) : données essentielles pour le calcul de la recharge des réservoirs miniers principaux.
- Des stations appartenant au réseau DCE implantées dans le Dogger au droit des réservoirs miniers : ces stations permettront d'acquérir les données de référence sur la piézométrie du Dogger au droit des réservoirs miniers et donc d'assurer un suivi à moyen et long terme des interactions entre ces deux aquifères : leur gestion est assurée dans le cadre d'une convention BRGM/ONEMA et en partenariat avec la DREAL.
- Des doublets de piézomètres implantés dans le Dogger au droit des réservoirs Nord, Centre et Sud : la surveillance de ces stations présente un intérêt pour assurer d'une part la surveillance du Dogger au droit des réservoirs miniers (en complément des stations DCE citées ci-dessus) et d'autre part le suivi du phénomène de drainance de l'eau du Dogger par les réservoirs miniers au droit des zones foudroyées. Les stations sélectionnées sont actuellement équipées d'appareils de mesure en continu (sondes de pression) ; la surveillance pourra donc consister uniquement à effectuer deux tournées annuelles de récupérations des données sur les sondes en place.
- Un doublet de piézomètres implanté dans les alluvions de la Fensch en amont et en aval du débordement du réservoir Nord à Knutange (galerie de la Paix) : ce doublet de piézomètre a été implanté initialement en vue d'identifier d'éventuelles fuites du réservoir Nord au travers des alluvions de la Fensch. Bien que ce phénomène n'aie pas été observé, la surveillance de ce doublet de piézomètres permettra d'acquérir des données de référence sur l'aquifère alluvial de la Fensch, particulièrement impacté par l'ennoyage. Les deux stations concernées sont actuellement équipées d'appareils de mesure en continu (sondes de pression) ; la surveillance pourra donc consister uniquement à effectuer deux tournées annuelles de récupérations des données sur les sondes en place.

N°	Code BSS	Nom	Réservoir	Cible	AVANT optimisation		APRES optimisation		Commentaire
					Station surveillée	Fréquence	Station préconisée	Fréquence	
C3	01373X0134/EXHAUR	Gal. de Bois d'Avril	CENTRE	Réservoir minier	X	Journalière	X	Journalière	Point de débordement secondaire du réservoir Centre
C5	01372X0197/EX	Gal. du Woigot	CENTRE	Réservoir minier	X	Journalière	X	Journalière	Point de débordement principal du réservoir Centre
C9	01372X0204/M52	Pz. M52 - Mance	CENTRE	Dogger	X	Journalière	X	Journalière	Station de surveillance du Dogger au droit du réservoir Centre
C11	01373X0132/P01	Pz. P1 - St-Pierremont	CENTRE	Dogger	X	Journalière	X	Journalière	Doublet de piézomètres implantés dans le Dogger au droit du réservoir Centre
C12	01373X0133/P02	Pz. P2 - St-Pierremont	CENTRE	Dogger	X	Journalière	X	Journalière	
C16	01372X0198/P2	Pts St-Pierremont II	CENTRE	Réservoir minier	X	Journalière	X	Journalière	Station de référence du réservoir Centre pour la surveillance piézométrique
C21	01373X0176/PREL	Conroy - station hydrométrique	CENTRE	Réservoir minier	X	Journalière	X	Journalière	Mesures indispensables au calcul des fuites du réservoir Centre (la tournée inclue une analyse des concentrations en sulfates)
N5	01137X0175/PTS-5	Pts Cheminée Sud Grise	NORD	Réservoir minier	X	Journalière	X	Journalière	Station de référence du réservoir Nord pour la surveillance piézométrique
N12	01137X0173/PZ-12	Pz. Chem. Sud Dogger inf.	NORD	Dogger	X	Journalière	X	Journalière	Doublet de piézomètre implantés dans le Dogger au droit du réservoir Nord
N13	01137X0172/PZ-13	Pz. Chem. Sud Dogger sup.	NORD	Dogger	X	Journalière	X	Journalière	
N14bis	01138X0184/G14BIS	Gal. des eaux de Knutange (la Paix)	NORD	Réservoir minier	X	Journalière	X	Journalière	Point de débordement principal du réservoir Nord (données recalculées à partir des niveaux du réservoir Nord)
N15	01138X0185/PZ-15	Pz. Fensch aval 1	NORD	Alluvions	X	Journalière	X	Journalière	Point de surveillance de la nappe des alluvions de la Fensch
N16	01137X0174/PZ-16	Pz. Fensch amont 2	NORD	Alluvions	X	Journalière	X	Journalière	Point de surveillance de la nappe des alluvions de la Fensch
N20	01137X0160/F	Pz. Fontoy nord	NORD	Dogger	X		X	Journalière	Surveillance du Dogger au droit des réservoirs miniers
N21	01137X0159/F	Pz. Fontoy sud	NORD	Dogger	X		X	Journalière	
S4	01374X0273/G	Gal. du chenal de Moyeuvre	SUD	Réservoir minier	X	Journalière	X	Journalière	Point de débordement principal du réservoir Sud
S14	01377X0211/M01	Pz. M1 - Paradis aval	SUD	Réservoir minier	X	Journalière	X	Journalière	Doublet de piézomètres implantés dans le Dogger au droit du réservoir Sud
S15	01377X0212/M02	Pz. M2 - Paradis aval	SUD	Dogger	X	Journalière	X	Journalière	
S16	01632X0070/V105	Pz. V105 - Ville / Yron	SUD	Dogger	X	Journalière	X	Journalière	Station de surveillance du Dogger au droit du réservoir Sud
S19	01377X0099/FM	Pts Auboué I	SUD	Réservoir minier	X	Journalière	X	Journalière	Station de référence du réservoir Sud pour la surveillance piézométrique

Illustration 31 : Tableau récapitulatif des stations sélectionnées pour le réseau de surveillance quantitatif du SAGE BFL
 (Lignes en bleu : stations DCE quantitatif – lignes en vert : stations de surveillance des débits de débordement)

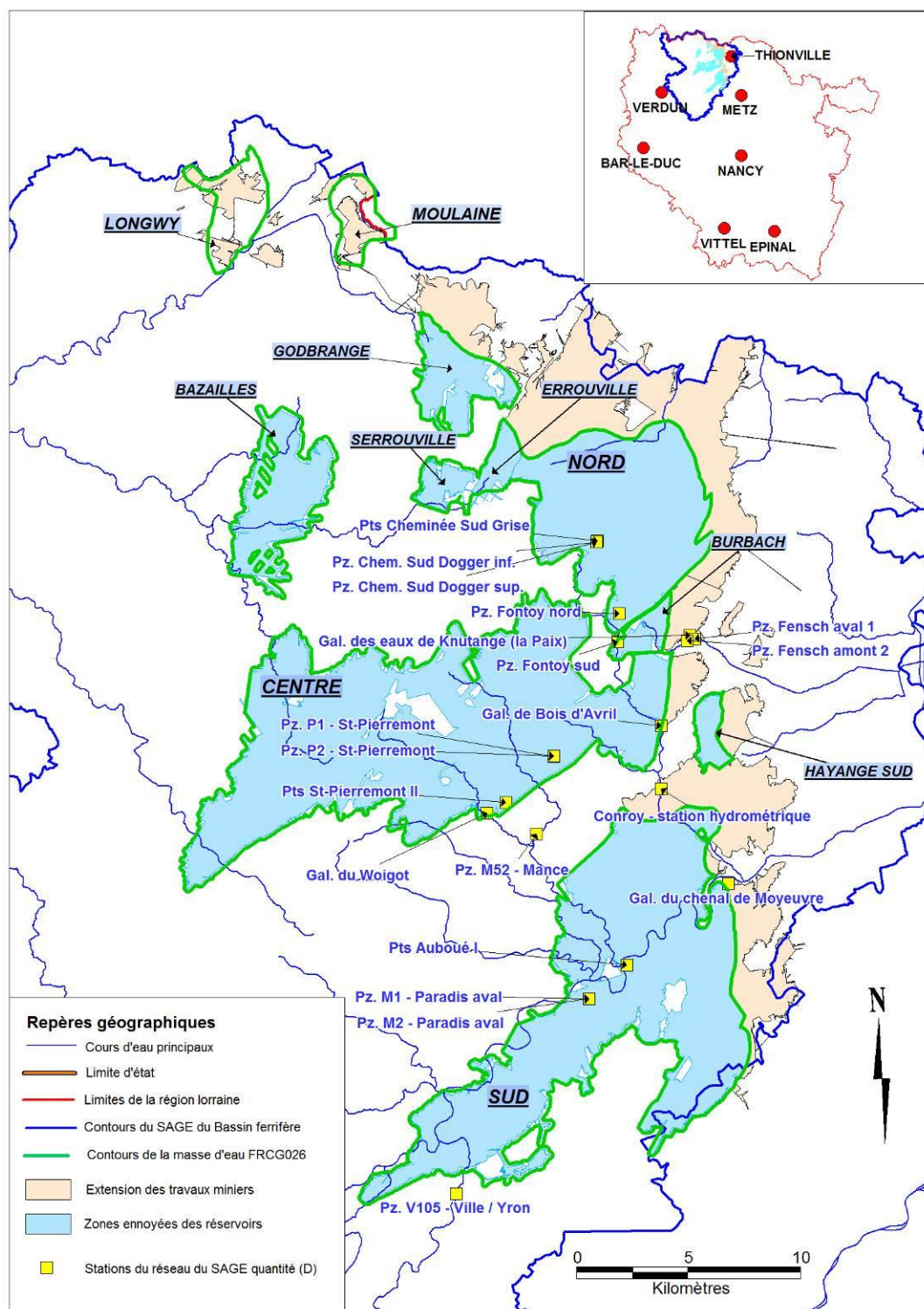


Illustration 32 : Carte de localisation des stations du réseau de surveillance quantitatif du SAGE BFL

3.2.2. Réseau de surveillance qualitatif du SAGE BFL (réseau E)

La liste des stations du réseau de surveillance qualitatif du SAGE BFL (réseau E) est présentée dans les tableaux des illustrations 21 et 22 ci-dessous.

Parmi les stations sélectionnées figurent l'ensemble des stations sélectionnées pour le réseau DCE qualité (choix des stations développé au § 4.3.2). Le réseau a été étendu à d'autres stations implantées dans le réservoir minier.

11 stations sont implantées sur le réservoir Nord. La localisation des stations permet d'assurer la surveillance de secteurs peu renouvelés en eau souterraine (Puits Errouville III – N17, piézomètre Angevillers grise – N7), de secteurs moins confinés (Puits Ferdinand – N3, Cheminée Sud – N5, Boulange – N6, Bure – N9) et de secteurs proches des zones non ennoyées très bien renouvelés en eau et sur lesquels des tendances à la baisse sont observées (Galerie de Metzange).

10 stations sont implantées sur le réservoir Centre. Comme pour le réservoir Nord, la localisation des stations permet une représentativité accrue des différentes situations possibles du point de vue des circulations d'eau souterraines (Cf. commentaires du tableau ci-dessous).

Pour le réservoir Sud, seule la station de la galerie du chenal de Moyeuve – S4 apparaît dans le réseau de surveillance. Les puits Paradis V – S22, Droitaumont II – S21 et Auboué I – S19 présentent un intérêt pour la surveillance de la qualité du réservoir Sud. Ces ouvrages sont toutefois surveillés par l'ARS ce qui explique qu'ils n'apparaissent pas dans la sélection de ce travail d'optimisation. Un bilan annuel devra être effectué en lien avec l'ARS afin de contrôler la pérennité du suivi de ces stations.

				AVANT optimisation		APRES optimisation			
N°	Nom	Réservoir	Cible	Station surveillée	Fréquences d'analyses	Station préconisée	Fréquences d'analyses	Possibilités de prélèvement	Commentaire
Bu1	Gal. de Burbach	BURBACH	Réservoir minier	X		X	Quinquennale	Au débordement	Débordement de l'ovoïde de Burbach. Représentatif d'un secteur très restreint - cinétique d'évolution des paramètres qualité très lente
C2	For. Route Blanche	CENTRE	Réservoir minier			X	Annuelle	Pompe nécessaire	Station de référence de la partie Est du réservoir Centre ou des tendances à la baisse sont observées (suivi complémentaire au pts Anderny II / pz chevillon artésien)
C3	Gal. de Bois d'Avril	CENTRE	Réservoir minier	X	Sulfates mensuelle / semestrielle	X	Sulfates trimestrielle / annuelle	Au débordement	Exutoire secondaire du réservoir Centre
C5	Gal. du Woigot	CENTRE	Réservoir minier	X	Sulfates mensuelle / semestrielle	X	Sulfates trimestrielle / annuelle	Au débordement	Exutoire principal du réservoir Centre
C8	Pz. Chevillon artésien	CENTRE	f.f. non exploitée			X	Semestrielle (DCE)	Au débordement (forage artésien)	Station implantée dans la formation ferrifère non exploitée qui intègre les fuites du réservoir Centre - intérêt pour la surveillance de la partie Est du réservoir sur laquelle des tendances à la baisse sont observées (suivi complémentaire au pts Anderny II / forage route blanche)
C13	Pts Amermont III	CENTRE	Réservoir minier			X	Annuelle	Pompe nécessaire	Station de référence de la partie Ouest du réservoir Centre située dans un secteur a priori confiné avec peu de renouvellement des eaux où des tendances très stables sont suspectées
C14	Pts Anderny II	CENTRE	Réservoir minier	X	Annuelle	X	Annuelle	Au robinet (pompe en place)	Station de référence de la partie Est du réservoir Centre ou des tendances à la baisse sont observées (suivi complémentaire au forage Route Blanche / pz chevillon artésien)
C16	Pts St-Pierremont II	CENTRE	Réservoir minier			X	Annuelle	Pompe nécessaire	Station située à l'amont immédiat de l'exutoire (station complémentaire au puits Tucquenieux I)
C17	Pts Tucquegnieux I	CENTRE	Réservoir minier	X	Semestrielle (DCE)	X	Semestrielle (DCE)	Au robinet (pompe en place)	Station de référence de la partie Centrale du réservoir Centre ou des tendances stables sont observées (station complémentaire à St-Pierremont II)
C18	Source Chapelle (fuites)	CENTRE	Réservoir minier	X				-	Fuites diffuses et contaminées par mélange avec l'eau du Chevillon (non représentative de l'eau du réservoir : prélèvement au piézomètre du Chevillon artésien plus représentatif de ce secteur du réservoir)
C21	Conroy - station hydrométrique	CENTRE	Réservoir minier	X		X	Sulfates trimestrielle	Sur cours d'eau	Suivi des sulfates nécessaire au calcul du débit de fuite du réservoir
Ha1	Pz. Hayange Sud	HAYANGE SUD	Réservoir minier	X		X	Quinquennale	Pompe nécessaire	Unique piézomètre implanté dans le réservoir Hayange Sud - Suivi quinquenal préconisé
N2	Pz. François Brune	NORD	Réservoir minier	X				-	Piézomètre situé dans la réserve du Puits François, déconnecté des autres secteurs du réservoir Nord. Pas de problématique qualitative constatée.
N3	Pts Ferdinand Grise	NORD	Réservoir minier	X	Semestrielle	X	Annuelle	Dispositif d'échantillonnage in situ en place	Stations situées dans la partie centrale du réservoir Nord, dans des secteurs où le renouvellement en eau est suffisant pour générer une tendance à la baisse des teneurs en sulfates.
N3bis	Pts Ferdinand Jaune	NORD	Réservoir minier	X	Semestrielle	X	Annuelle		
N5	Pts Cheminée Sud Grise	NORD	Réservoir minier	X	Semestrielle	X	Annuelle		
N6	Pts Boulange Grise	NORD	Réservoir minier	X	Semestrielle	X	Annuelle		
N9	Pts Bure Jaune Sauvage	NORD	Réservoir minier	X	Semestrielle	X	Annuelle		
N7	Pz. Angevillers Grise	NORD	Réservoir minier	X	Semestrielle	X	Annuelle		Station située dans un secteur confiné où le renouvellement de l'eau est a priori très faible
N11	Pz. Cheminée Sud	NORD	Réservoir minier	X			Quinquennale	Dispositif d'échantillonnage in situ en place	Piézomètre situé dans le même secteur que le puits Cheminée Sud (N5) - Suivi quinquenal préconisé
N14bis	Gal. des eaux de Knutange (la Paix)	NORD	Réservoir minier	X	Sulfates mensuelle / semestrielle (DCE)	X	Sulfates trimestrielles / semestrielle (DCE)	Au débordement	Exutoire principal du réservoir Nord
N18	Gal. de Metzange (ou Charles)	NORD	Réservoir minier	X	Annuelle	X	Annuelle	Au débordement	Station représentative des secteurs proches des zones non ennoyées sur lesquels des nettes tendances à la baisse sont observées
N17	Pts Errouville III	ERROUVILLE	Réservoir minier	X	Semestrielle	X	Annuelle	Dispositif d'échantillonnage in situ en place	Station représentative d'un secteur confiné (ancien albraque) peu renouvelé en eau
S2	For. Valleroy-Moineville 1	SUD	Réservoir minier			X	Annuelle (ARS)	-	Unique station implantée dans le secteur N°5 de Valleroy Moineville
S4	Gal. du chenal de Moyeuivre	SUD	Réservoir minier	X	Sulfates mensuelle / semestrielle (DCE)	X	Sulfates trimestrielles / semestrielle (DCE)	Au débordement	Exutoire principal du réservoir Sud
S14	Pz. M1 - Paradis aval	SUD	Réservoir minier	X		-	-	-	Station située dans le même secteur que le puits Paradis V déjà surveillé par l'ARS
S20	Pts Droitaumont II	SUD	Réservoir minier			X	Annuelle (ARS)	-	Unique station implantée dans le secteur N°1 de Droitaumont
S22	Pts Paradis V	SUD	Réservoir minier			X	Annuelle (ARS)	-	Station la plus représentative du secteur N°2
S23	Pts Roncourt I	SUD	Réservoir minier			X	Annuelle	Au robinet (pompe en place)	Seule station située dans le secteur N°6 du réservoir Sud

Illustration 33 : Tableau récapitulatif des stations sélectionnées pour le réseau de surveillance qualitatif du SAGE BFL
(lignes en rouge : stations DCE qualitatif – réseau B ; lignes en bleu : stations suivies par l’ARS)

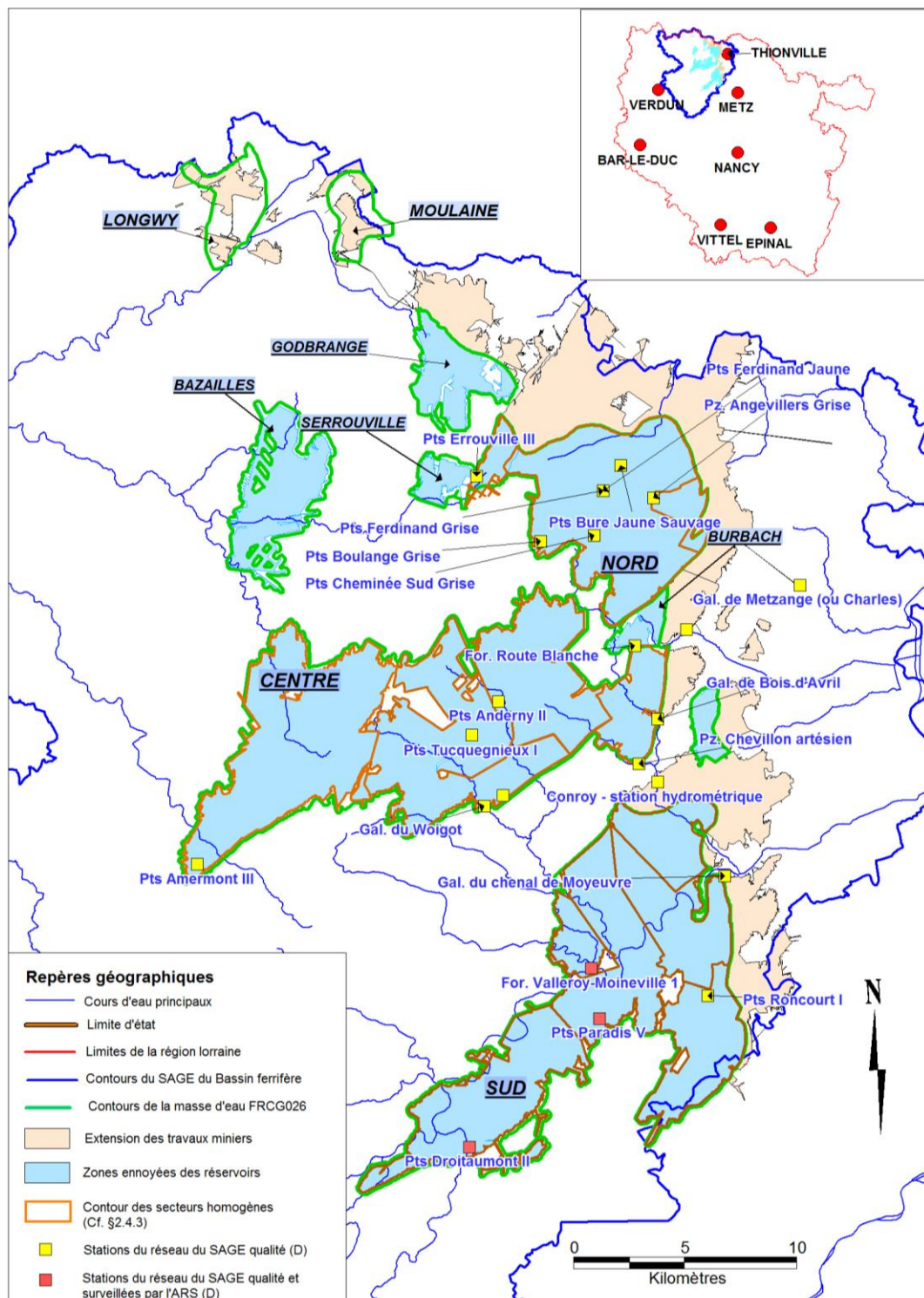


Illustration 34 : Carte de localisation des stations du réseau de surveillance qualitatif du SAGE BFL (suivi trimestriel, semestriel et annuel)

- **Stations implantées dans le Dogger et la formation ferrifère non exploitée**

Le tableau ci-dessous présente la liste des stations implantées dans le Dogger et la formation ferrifère non exploitée. Comme indiqué au § 3.3.4, la surveillance de ces stations a permis de mettre en évidence un certain nombre de phénomènes (circulations d'eau souterraine entre le réservoir centre et le réservoir Sud, impact de l'ennoyage sur l'aquifère du Dogger etc.). La réalisation d'une surveillance annuelle de ces stations n'est pas justifiée au vu des besoins et des connaissances actuelles. Une surveillance quinquennale pourra toutefois être mise en place sur ces stations. La surveillance de ces stations intègrerait une mesure piézométrique et un échantillonnage pour analyse des éléments prescrits pour le réseau E (cf. § 3.2.2). L'objectif de cette surveillance serait de contrôler la continuité des mesures avec celles existantes en vue de confirmer la continuité du fonctionnement hydrogéologique établi après le débordement des réservoirs.

N°	Code BSS	Nom	Réservoir	Cible
C1	01372X0206/F	For. Ferme de Mance	CENTRE	Dogger
C6	01373X0131/A15	Pz. A15 - Avril amont	CENTRE	Dogger
C7	01373X0130/A25	Pz. A25 - Avril aval	CENTRE	f.f. non exploitée
C10	01372X0211/PZBIS	Pz. Mance bis	CENTRE	f.f. non exploitée
C11	01373X0132/P01	Pz. P1 - St-Pierremont	CENTRE	Dogger
C12	01373X0133/P02	Pz. P2 - St-Pierremont	CENTRE	Dogger
N12	01137X0173/PZ-12	Pz. Chem. Sud Dogger inf.	NORD	Dogger
N13	01137X0172/PZ-13	Pz. Chem. Sud Dogger sup.	NORD	Dogger
N15	01138X0185/PZ-15	Pz. Fensch aval 1	NORD	Alluvions
N16	01137X0174/PZ-16	Pz. Fensch amont 2	NORD	Alluvions
N20	01137X0160/F	Pz. Fontoy nord	NORD	Dogger
N21	01137X0159/F	Pz. Fontoy sud	NORD	Dogger
S7	01373X0157/PZFF	Pz. Avril FF	SUD	f.f. non exploitée
S9	01372X0210/BRIEYA	Pz. Briey A	SUD	Dogger
S10	01372X0209/BRIEYB	Pz. Briey B	SUD	f.f. non exploitée
S11	01373X0160/PZAVAl	Pz. Conroy aval	SUD	f.f. non exploitée
S13	01376X0149/H01	Pz. H1 - Hatrizé	SUD	Dogger
S14	01377X0211/M01	Pz. M1 - Paradis aval	SUD	Dogger
S15	01377X0212/M02	Pz. M2 - Paradis aval	SUD	Dogger

Illustration 35 : Liste des stations complémentaires du Dogger et de la formation ferrifère non exploitée préconisées pour une surveillance pluriannuelle

- **Liste des paramètres**

La liste des paramètres retenus pour la surveillance est identique à celle retenue pour le réseau de surveillance DCE (Cf § 3.4.1) hormis pour les polluants organiques pour lesquels seuls l'indice hydrocarbure (code sandre 7007) et l'indice phénols (code sandre 1440) seront analysés.

3.3. BILAN DU TRAVAIL D'OPTIMISATION

Un tableau récapitulatif de la composition des différents réseaux est présenté illustration ci-dessous.

L'analyse en détail du tableau de synthèse montre que la majorité des stations surveillées sur la période 2011-2013 sont conservées dans au moins un réseau de surveillance (quantitatif ou qualitatif, y compris suivi par l'ARS au titre du contrôle sanitaire).

Au total, seules 3 stations ont été retirées réseau de surveillance :

- Source Chapelle (C18),
- Pz François Brune (N2),
- Pz V19 Ville/Yron (S17),

Deux stations non surveillées sur la période 2011-2013 ont été ajoutées au réseau. Il s'agit du puits Amermont III (C13) dont la surveillance n'était plus effective depuis 2003 et du puits Roncourt (S23).

Par ailleurs 12 stations pourront être suivies sur le plan qualitatif à une fréquence pluriannuelle (un passage préconisé tous les 5 ans).

Cette synthèse montre que l'optimisation des réseaux a porté essentiellement sur l'ajustement des fréquences de mesures et d'échantillonnage et sur l'argumentation du suivi de chacune de stations de surveillance.

Réservoir	Cible	N°	Indice BSS	Nom	Surveillance quantitative Avant optimisation	Surveillance qualitative Avant optimisation	Surveillance quantitative Après optimisation	Surveillance qualitative Après optimisation	Surveillance pluriannuelle	Surveillance ARS	Station ajoutée (+), arrêtée (-) ou passage pluriannuel (P)
BAZAILLES	Réservoir minier	Ba1	01128X0027	Pts Bazailles I							
BURBACH	Réservoir minier	Bu1	01138X0172	Gal. de Burbach	x	x			x		P
CENTRE	Réservoir minier	C2	01137X0157	For. Route Blanche	x			x			
		C3	01373X0134	Gal. de Bois d'Avril	x	x	x	x			
		C4	01137X0151	Gal. de Fontoy							
		C5	01372X0197	Gal. du Woigot	x	x	x	x			
		C13	01364X0042	Pts Amermont III				x			+
		C14	01136X0148	Pts Anderny II		x		x			
		C16	01372X0198	Pts St-Pierremont II	x		x	x			
		C17	01372X0196	Pts Tucquegnieux I		x		x			
		C18	01373X0027	Source Chapelle (fuites)		x					-
		C20	01373X0175	Conroy - confluence Chevillon							
		C21	01373X0176	Conroy - station hydrométrique	x	x	x	x			
	Dogger	C1	01372X0206	For. Ferme de Mance		x			x		P
		C6	01373X0131	Pz. A15 - Avril amont	x	x			x		P
		C9	01372X0204	Pz. M52 - Mance	x		x				
		C11	01373X0132	Pz. P1 - St-Pierremont	x	x	x		x		
		C12	01373X0133	Pz. P2 - St-Pierremont	x	x	x		x		
		C19	01372X0207	Source de Mance							
	f.f. non exploitée	C7	01373X0130	Pz. A25 - Avril aval	x	x			x		P
		C8	01373X0158	Pz. Chevillon artésien		x		x			
		C10	01372X0211	Pz. Mance bis	x	x			x		P
	Réservoir minier	G1	01132X4002	Gal. de Godbrange							
		G2	01132X0172	Pts Hussigny-Godbrange						x	
HAYANGE	Réservoir minier	Ha1	01374X0268	Pz. Hayange Sud	x	x			x		P
LONGWY	Réservoir minier	Lo1	00898X0051	Gal. de Rehon						x	
MOULAIN	Réservoir minier	Mo1	00905X0061	Gal. de Moulaine							
NORD	Réservoir minier	N1	01133X0099	Pz. François Grise							
		N2	01133X0094	Pz. François Brune	x	x					-
		N3	01137X0143	Pts Ferdinand Grise		x		x			
		N3bis	01137X0182	Pts Ferdinand Jaune		x		x			
		N5	01137X0175	Pts Cheminée Sud Grise	x	x	x	x			
		N6	01137X0099	Pts Boulange Grise		x		x			
		N7	01137X0169	Pz. Angevillers Grise		x		x			
		N8	01137X0170	Pts Havange Brune	x		x				
		N9	01133X0052	Pts Bure Jaune Sauvage		x		x			
		N11	01137X0171	Pz. Cheminée Sud		x			x		P
		N14	01138X0218	Gal. d'accès de Knutange (la)	x	x	x	x			
		N14bis	01138X0184	Gal. des eaux de Knutange (la)							
		N18	01138X0147	Gal. de Metzange (ou Charles)		x		x			
		N19	01141X0024	Gal. d'Enrange (ou Ch.-Ferd.)						x	
		N22	01133X0095	Pts François (3 For.)						x	
		N23	01133X0046	Pts Ottange II							
		N24	01133X0074	Pts Saint-Michel							
	Dogger	N17	01132X0164	Pts Errouville III	x	x		x			
		N10	01132X0189	Pz. Errouville Brune							
		N12	01137X0173	Pz. Chem. Sud Dogger inf.	x	x	x		x		
		N13	01137X0172	Pz. Chem. Sud Dogger sup.	x	x	x		x		
		N20	01137X0160	Pz. Fontoy nord	x	x	x		x		
	Alluvions	N21	01137X0159	Pz. Fontoy sud	x	x	x		x		
		N15	01138X0185	Pz. Fensch aval 1	x	x	x		x		
		N16	01137X0174	Pz. Fensch amont 2	x	x	x		x		
SUD	Réservoir minier	S2	01377X0210	For. Valleroy-Moineville 1						x	
		S3	01377X0221	For. Valleroy-Moineville 2							
		S4	01374X0273	Gal. du chenal de Moyeuivre	x	x	x	x			
		S5	01374X0234	Gal. du tunnel de Moyeuivre							
		S6	01374X0176	Gal. Saint-Paul						x	
		S14	01377X0211	Pz. M1 - Paradis aval	x	x	x		x		
		S19	01377X0099	Pts Auboué I	x		x				
		S20	01376X0148	Pts Droitaumont II						x	
		S21	01373X0129	Pts Moyeuivre-Petite							
		S22	01377X0213	Pts Paradis V						x	
		S23	01378X0121	Pts Roncourt I				x			+
		S24	01376X0123	Pts Droitaumont I							
	Dogger	Se1	01136X0150	Pts Serrouville						x	
		S1	01633X0077	For. de Bagneux							
		S8	01377X0209	Pz. B1 - Paradis amont							
		S9	01372X0210	Pz. Briey A	x	x			x		P
		S12	01368X0008	Pz. de St Jean-lès-Buzy							
		S13	01376X0149	Pz. H1 - Hatrizé	x	x			x		P
		S15	01377X0212	Pz. M2 - Paradis aval	x	x	x		x		
		S16	01632X0070	Pz. V105 - Ville / Yron	x		x				
		S17	01632X0071	Pz. V19 - Ville / Yron	x	x					-
		S18	01377X0205	Pz. Vernéville (nouveau)	x						
	f.f. non exploitée	S7	01373X0157	Pz. Avril FF	x	x			x		P
		S10	01372X0209	Pz. Briey B	x	x			x		P
		S11	01373X0160	Pz. Conroy aval	x	x			x		P

Illustration 36 : Bilan du travail d'optimisation
(en bleu : stations DCE quantité ; en rouge : stations DCE qualité ; en gris : stations non surveillées)

3.4. ESTIMATION DES COÛTS D'EXPLOITATION DES RESEAUX PROPOSES

Un travail d'estimation des coûts d'exploitation des différents réseaux proposés a été réalisé à la demande des membres du comité de pilotage du projet. Le travail d'optimisation a conduit à dimensionner des réseaux de surveillances pour les deux enjeux identifiés dans le projet. Les coûts d'exploitation ont été calculés pour chaque réseau.

L'évaluation des coûts comprend :

- l'acquisition des données sur le terrain (y compris les frais de déplacement/mission),
- les analyses en laboratoire (pour le suivi qualitatif),
- le traitement, validation et la bancarisation des données,
- la gestion des réseaux (préparation des tournées de terrain, la gestion des relations avec le(s) sous-traitant(s), la gestion des contacts avec les propriétaires des terrains sur lesquels sont implantés les stations, etc.).
- la valorisation et l'interprétation des données.

Les coûts d'acquisition des données sur le terrain ont été évalués sur la base d'un nombre de jours de terrain par campagnes de mesure ou d'échantillonnage évalués au cas par cas pour chacun des réseaux proposés.

Les prix ont été calculés à partir des barèmes de vente du BRGM applicables en 2014 (les coûts seront révisés annuellement).

Les coûts de traitement et de bancarisation des données ont été évalués en prenant en compte une bancarisation semestrielle des données.

• Enjeu de surveillance réglementaire au titre de la DCE

Le coût d'exploitation des réseaux répondant à l'enjeu de surveillance réglementaire au titre de la DCE est estimé à environ 28 k€ HT par an. Ce coût se décompose comme suit :

- 5 k€ HT / an pour le réseau de surveillance piézométrique au titre de la DCE (Réseau A - § 3.1.1),
- 5 k€ HT / an pour le réseau de surveillance de la qualité des eaux souterraines au titre de la DCE (réseau B - § 3.1.2),

- 18 k€ HT / an pour le réseau de surveillance des débits de débordement des réservoirs miniers (réseau C - § 3.1.3).

- **Enjeu de surveillance au titre du SAGE du bassin ferrifère**

Le coût additionnel d'exploitation des réseaux répondant aux objectifs du SAGE atteint 33 k€ HT par an. Ce coût se décompose comme suit :

- 7 k€ HT / an pour le réseau de surveillance quantitatif (réseau D - § 3.2.1),
- 21 k€ HT / an pour le réseau de surveillance qualitatif (réseau E - § 3.2.2).

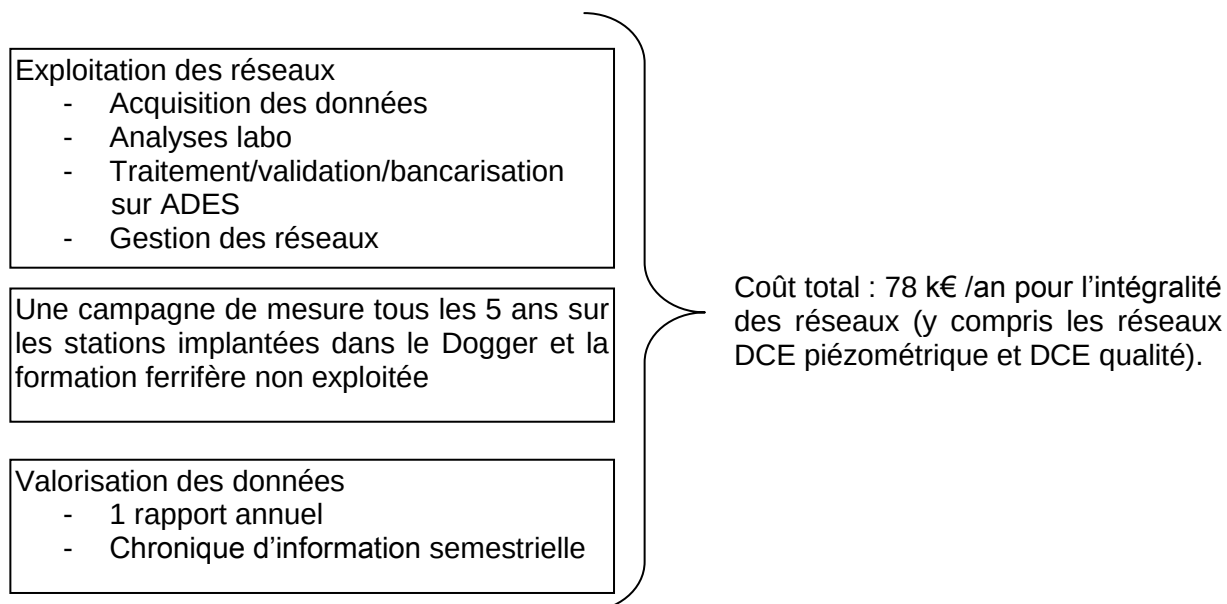
Le coût des tournées de surveillance à réaliser tous les 5 ans sur les stations implantées dans le Dogger et la formation ferrifère non exploitée est évalué à 22k€ HT (soit 4,4 k€ HT par ans).

- **Valorisation / interprétation des données**

Le coût de valorisation des données est estimé à environ 17 k€ / an. Ce coût comprend la rédaction d'un rapport annuel présentant le bilan de la surveillance (toutes données disponibles sur ADES pour les stations situées au droit des réservoirs miniers) ainsi que la rédaction d'une chronique d'information semestrielle.

- **Bilan des coûts**

L'illustration ci-dessous présente le bilan du chiffrage :



Au coût de la surveillance pourront s'ajouter des frais exceptionnels liés :

- à la mise en service des nouvelles stations (achat et installation de dispositifs de prélèvements sur les stations non équipées),
- aux travaux de dépose des anciens appareils installés sur la station de Moyeuvre-Grande, en aval de l'ouvrage vanné (Cf. § 2.4.5),
- aux tests de mise en œuvre du protocole de jaugeage par dilution de traceur sur la station de Moyeuvre-Grande.

4. Conclusion

Le BRGM assure sur la période 2011-2013 en partenariat avec l'Agence de l'eau Rhin-Meuse et la DREAL Lorraine le suivi quantitatif de 34 stations et le suivi qualitatif de 41 stations du bassin ferrifère Lorrain. Le BRGM a été sollicité pour réaliser une étude d'optimisation des réseaux de surveillance des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain. Cette étude, réalisée en partenariat technique avec l'Agence de l'eau Rhin-Meuse, la DREAL Lorraine et le Conseil Régional de Lorraine, a notamment pour objectifs de dresser un état des lieux des enjeux actuels et futurs liés aux eaux souterraines du bassin ferrifère et de définir les réseaux de surveillance associés en s'appuyant sur une sélection de stations existantes. Un chiffrage des coûts d'exploitation des réseaux dimensionnés a été réalisé pour chaque enjeu en vue de fournir le maximum d'éléments d'aide à la décision.

Le travail a été réalisé en 4 phases successives :

- une première phase d'analyse des stations existantes et des principaux réseaux suivis sur le bassin ferrifère lorrain,
- une deuxième phase de définition des enjeux actuels et futurs liés aux eaux souterraines sur le bassin ferrifère,
- une troisième phase de définition des réseaux par rapport aux enjeux identifiés,
- une quatrième phase d'estimation des coûts d'exploitation des réseaux.

La liste de stations sur laquelle le travail d'optimisation a été réalisé est issue de l'état des lieux du SAGE du bassin ferrifère lorrain. La liste, mise à jour dans le cadre de ce projet, comprend 76 stations réparties sur les réservoirs Nord, Centre, Sud, Bazailles, Burbach, Godbrange, Hayange, Longwy, Moulaine, Errouville et Serrouville. Les stations concernent l'ensemble des aquifères du secteur du bassin ferrifère, les réservoirs miniers, l'aquifère du Dogger, celui de la formation ferrifère non exploitée et des alluvions de la vallée de la Fensch. Les enjeux relatifs aux eaux souterraines du bassin ferrifère ont été précisés au cours de réunions de travail avec les partenaires techniques du projet. Deux enjeux ont été identifiés. Un enjeu lié à la surveillance réglementaire (au titre de la DCE) et un enjeu lié au SAGE du bassin ferrifère Lorrain (qui se traduit par plusieurs actions en liens avec la gestion de la ressource en eau du bassin ferrifère). Le travail de mise en relation des stations existantes avec ces enjeux s'est appuyé sur la connaissance acquise sur le fonctionnement hydrogéologique du bassin ferrifère depuis le début de la surveillance.

Les coûts d'exploitation des réseaux ont été évalués pour chaque réseau. Ils comprennent l'acquisition des données sur le terrain, les analyses en laboratoire, le traitement et la bancarisation des données et la gestion des réseaux (organisation des tournées, relation avec les propriétaires des parcelles etc.). Un chiffrage spécifique a été réalisé pour la valorisation des données (rapport et chronique d'information).

Le coût d'exploitation des réseaux répondant à l'enjeu de surveillance réglementaire au titre de la DCE est estimé à environ 28 k€ HT par an (tarif 2014). Ce coût se décompose comme suit :

- 5 k€ HT / an pour le réseau de surveillance piézométrique au titre de la DCE (Réseau A - § 3.1.1),
- 5 k€ HT / an pour le réseau de surveillance de la qualité des eaux souterraines au titre de la DCE (réseau B - § 3.1.2),
- 23 k€ HT / an pour le réseau de surveillance des débits de débordement des réservoirs miniers (réseau C - § 3.1.3).

Le coût additionnel d'exploitation des réseaux répondant aux objectifs du SAGE atteint 33 k€ HT par an. Ce coût se décompose comme suit :

- 7 k€ HT / an pour le réseau de surveillance quantitatif (réseau D - § 3.2.1),
- 21 k€ HT / an pour le réseau de surveillance qualitatif (réseau E - § 3.2.2),
- le coût des tournées de surveillance à réaliser tous les 5 ans sur les stations implantées dans le Dogger et la formation ferrifère non exploitée est évalué à 22k€ HT (soit environ 5 k€ HT / an) .

Le coût de valorisation des données est estimé à environ 17 k€ / an. Ce coût comprend la rédaction d'un rapport annuel présentant le bilan de la surveillance ainsi que la chronique d'information semestrielle.

Le coût de la surveillance de l'intégralité des réseaux atteint donc environ 78 k€ HT / an. Le programme de surveillance proposé à l'issue de ce travail d'optimisation permet donc une diminution du coût d'exploitation des réseaux de l'ordre de 40 % (en référence au coût de la surveillance pratiquée sur la période 2011-2013). Cette diminution s'explique par :

- la diminution des fréquences d'échantillonnages pratiquées (les fréquences préconisées ont été adaptées à la variabilité des phénomènes observés),
- la diminution du nombre de tournées de mesures sur les stations de surveillance implantées dans la formation ferrifère non exploitée et le Dogger (stations implantées initialement pour des besoins en connaissance, aujourd'hui acquis, sur le nouveau fonctionnement hydrogéologique mis en place après l'ennoyage). Les réseaux de surveillance de la qualité de l'eau des réservoirs miniers conservent une densité de stations relativement importante, adaptée à la nature hétérogène des circulations d'eau souterraine dans les réseaux de galeries.

Aucune modification notable des réseaux de surveillance suivis au titre de la DCE n'a été proposée, car la présente étude montre leur bonne adaptation aux exigences de la DCE.

5. Bibliographie

Allemmoz M. (1999) – Jaugeages et analyses sur le Conroy et le Chevillon (Moselle). Rapport ANTEA A 16636/A, 17 p., 5 fig., 4 tabl., 3 ann.

Allemmoz M. (2003) – Ville de Thionville ; Serrement de la galerie Charles ; Alimentation du Veymerange. Rapport ANTEA A 31222/A, 14 p., 2 fig., 5 ann.

ANTEA, GEREEA (2004-c) – Diren Lorraine ; Bassin ferrifère ; Etude de synthèse sur les bassins versants dont le débit est soutenu par pompage dans les réservoirs miniers ; Résumé. Rapport Diren Lorraine, 6 p.

Collon P. (2003) – Evolution de la qualité de l'eau dans les mines abandonnées du bassin ferrifère lorrain, de l'expérimentation en laboratoire à la modélisation in situ. Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, 203 p., 84 fig., 57 tabl., 5 ann.

DIREN Lorraine (2004) – Ennoyage du bassin ferrifère nord ; Analyse du devenir de l'eau dans le bassin versant de la Fensch. Rapport de la DIREN Lorraine pour le Préfet de la région Lorraine, décembre 2004, 34 p., 3 ann.

Hervé D. (1980) – Etude de l'acquisition d'une teneur en sulfates par les eaux stockées dans les mines de fer de Lorraine. Mémoire de thèse de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, 80 p., 5 ann.

Ollagnier S. (2011) – Optimisation des réseaux de surveillance quantitative et qualitative des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain sur la période 2008-2010. Rapport BRGM/RP-60132-FR, 67 p., 50 ill., 5 ann.

Vaute L. (2003) – Avis sur la demande du SIEGVO de renforcement des capacités de prélèvement aux forages de Moineville (bassin ferrifère lorrain). Rapport BRGM/RP-52779-FR, 21 p., 3 fig., 1 tabl.

Vaute L., Khiat M-O, Douche A., Fourniguet G., Frappier G., Goubot M-J., Josefiak M. (2005) – Construction et mise en oeuvre d'un simulateur hydrologique et chimique du bassin ferrifère lorrain – Phase 1 : Synthèse hydrogéologique. Rapport BRGM/RP-53277-FR, 94 p., 36 fig, 4 tabl., 5 ann (sur cd-rom), 22 planches (vol. séparé).

Vaute L., Frappier G. (2004) – Surveillance des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain en 2003. Rapport BRGM/RP-53276-FR, 108 p., 45 fig., 1 tabl., 5 ann (cd-rom).

Vaute L. (2007a) - Surveillance des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain en 2006. Rapport BRGM/RP-56142-FR, 104 p., 40 fig., 4 tabl., 1 ann.

Vaute L., Durendeau B., Fourniguet G., Soulas C., Mathieu E. (2007b) – Schéma d'aménagement et de gestion des eaux – bassin ferrifère Lorrain – séquence N°1 : l'état des lieux. Rapport BRGM/RP-55434-FR, 194 p., 96 fig., 15 tabl., 4 ann.

Vaute L., Khiat M-O, Douche A., Fourniguet G., Frappier G., Goubot M-J., Josefiak M. (2005) – Construction et mise en œuvre d'un simulateur hydrologique et chimique du bassin ferrifère lorrain – Phase 1 : Synthèse hydrogéologique. Rapport BRGM/RP-53277-FR, 93 p., 36 fig, 4 tabl., 5 ann (sur cd-rom), 22 planches (vol.séparé).

Annexe 1 :

Fonctionnement des dispositifs de débordement des réservoirs Nord, Centre et Sud

➤ Réservoir Nord

Le fonctionnement de l'ouvrage de débordement du réservoir Nord est assez complexe. Le fonctionnement est présenté schématiquement dans l'illustration 9. L'évacuation de l'eau de débordement vers la Fensch s'effectue en effet par deux galeries superposées et parallèles, connectées au puits d'Havange, appelées pour l'une, la galerie des eaux (la plus basse), et pour l'autre, la galerie de la Paix (la plus haute, aussi dénommée tunnel d'accès, ou encore galerie de Knutange). La galerie des eaux servait à évacuer les eaux d'exhaures pompées à la salle des pompes de la Paix, point le plus bas du réservoir Nord ; tandis que la galerie de la Paix servait d'accès à la mine de la Paix par véhicules (d'où son deuxième nom de tunnel d'accès). Dans sa partie aval, la galerie de la Paix est en communication avec la galerie des eaux par l'intermédiaire d'un déversoir interne. Cette configuration amène à distinguer 3 situations.

1) En période de basses eaux : lorsque le niveau du réservoir dans le puits d'Havange dépasse la cote 207,57 m NGF, l'eau déborde par la galerie des eaux.

2) En période de moyennes eaux : lorsque le niveau du réservoir dans le puits d'Havange dépasse la cote 208,85 m NGF, soit pour un débit de débordement supérieur à $2,3 \text{ m}^3/\text{s}$, 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.

3) En période de hautes eaux : lorsque le niveau du réservoir dans le puits d'Havange dépassera la cote 209,50 m (débit estimé supérieur à $5 \text{ m}^3/\text{s}$), la galerie des eaux sera totalement remplie d'eau, et la galerie de la Paix débordera depuis sa partie amont, par une jonction directe avec la base du puits d'Havange. Ce fonctionnement n'a pas encore été observé.

Le débordement en moyennes eaux



Illustration 37 : Illustration schématique du dispositif de débordement du réservoir Nord

Le débit de débordement du réservoir Nord est obtenu par calcul à partir du niveau du réservoir au puits d'Havange (situé en amont de la galerie d'exhaure). Une courbe de tarage, établie à la suite du débordement de réservoir Nord est toujours utilisée à l'heure actuelle en vue de permettre ce calcul.

Le suivi du débordement du réservoir Nord est donc indirectement assuré *via* la surveillance piézométrique au puits d'Havange. La surveillance est assurée par une station d'enregistrement en continu des niveaux qui permet ainsi de calculer des débits de débordement aux pas de temps horaires et journaliers.

➤ Réservoir Centre

Le réservoir Centre présente un dispositif de débordement constitué de 3 exutoires. Ce dispositif est présenté schématiquement dans l'illustration 38. Le débordement principal du réservoir est assuré par la galerie du Woigot qui se situe à la cote la plus basse de tous les exutoires. Le réservoir possède deux autres exutoires : la galerie de Bois d'Avril, 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).

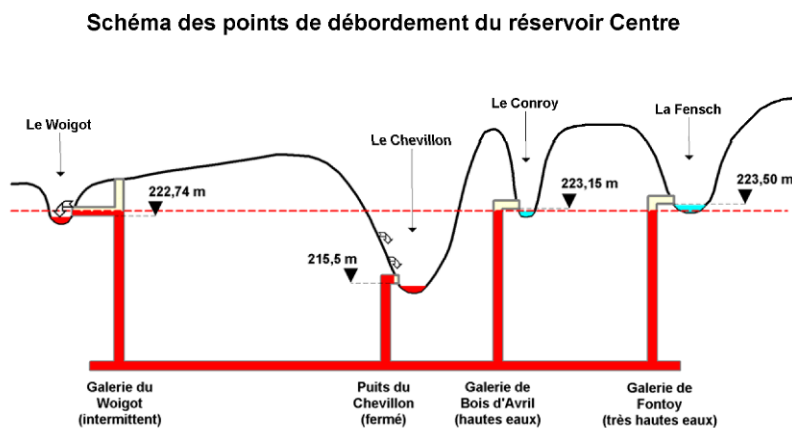


Illustration 38 : Illustration schématique du dispositif de débordement du réservoir Centre

Aucune station n'est implantée au droit de la galerie de Fontoy. La galerie est en effet située à une cote que le réservoir Centre n'a quasiment jamais atteint depuis le début du débordement en 1999.

Des fuites du réservoir Centre se produisent au droit des vallées du Cheillon et du Conroy. Une station hydrométrique est surveillée en aval de la confluence Conroy-Cheillon en vue d'effectuer les calculs de débits de fuite correspondant.

Les débits de débordement du Woigot de Bois d'avril et le débit du Conroy sont acquis via des stations hydrométriques composées :

- de sections aménagées avec des seuils de débordement permettant de garantir l'écoulement laminaire au droit de la section de mesure,
- d'appareils d'enregistrement automatiques des hauteurs d'eau au droit de ces sections.

Les débits de débordement sont obtenus par calcul à l'aide des courbes de tarage des stations qui sont mises à jour annuellement.

➤ **Réservoir Sud**

Le réservoir Sud dispose de deux points de débordement :

- La galerie du tunnel de Moyeuve (ancien exutoire),
- La galerie du chenal de Moyeuve (exutoire actuel principal mis en service à l'automne 2003).

La galerie du chenal de Moyeuve est équipée d'un appareil de mesure des débits dont le fonctionnement est basé sur un principe de mesure des vitesses de déplacement de l'eau qui fournit une mesure de débit de manière directe sans passer par l'établissement d'une courbe de tarage. Toutefois, la réalisation de mesures manuelles est nécessaire pour assurer la validation des données. Les difficultés d'accès à la galerie du chenal de Moyeuve-Grande ne permettent pas d'effectuer des mesures de contrôle en toutes saisons et pour des situations hydrologiques variées (aucune mesure possible en hautes eaux en raison des contraintes d'accès à la galerie et mesures impossibles en cours d'étiage en raison de la présence potentielle de gaz dans la galerie). La validation des données acquises par l'appareil en place n'est donc pas réalisable compte tenu de la configuration de la station.

Annexe 2 :

Graphiques de l'évolution de la qualité des eaux souterraines des réservoirs Nord, Centre, et Sud pour 8 paramètres en lien avec la problématique de l'ennoyage

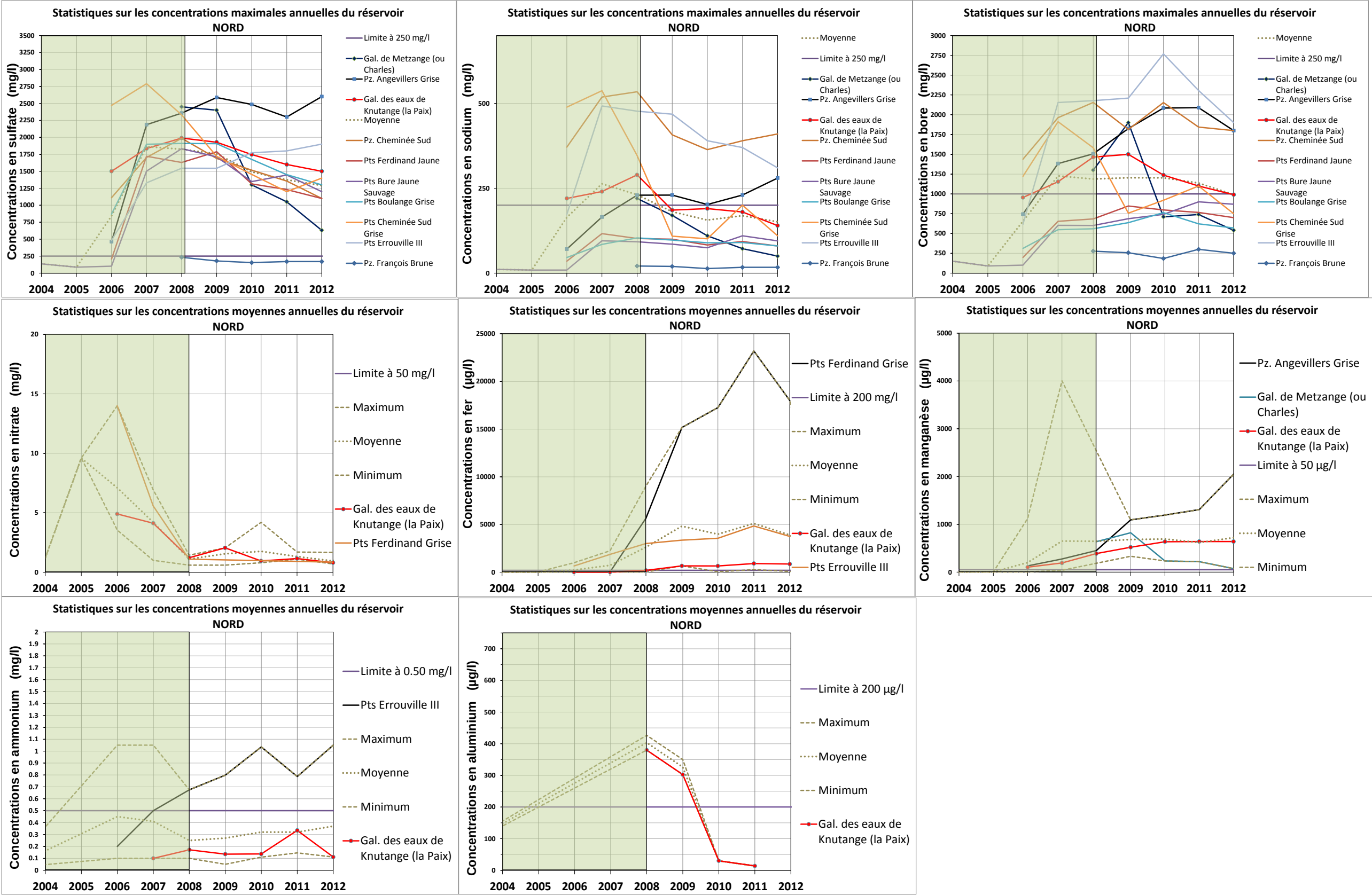


Illustration 39 : Statistiques sur les concentrations moyennes annuelles du réservoir Nord (en vert : période antérieure au débordement)

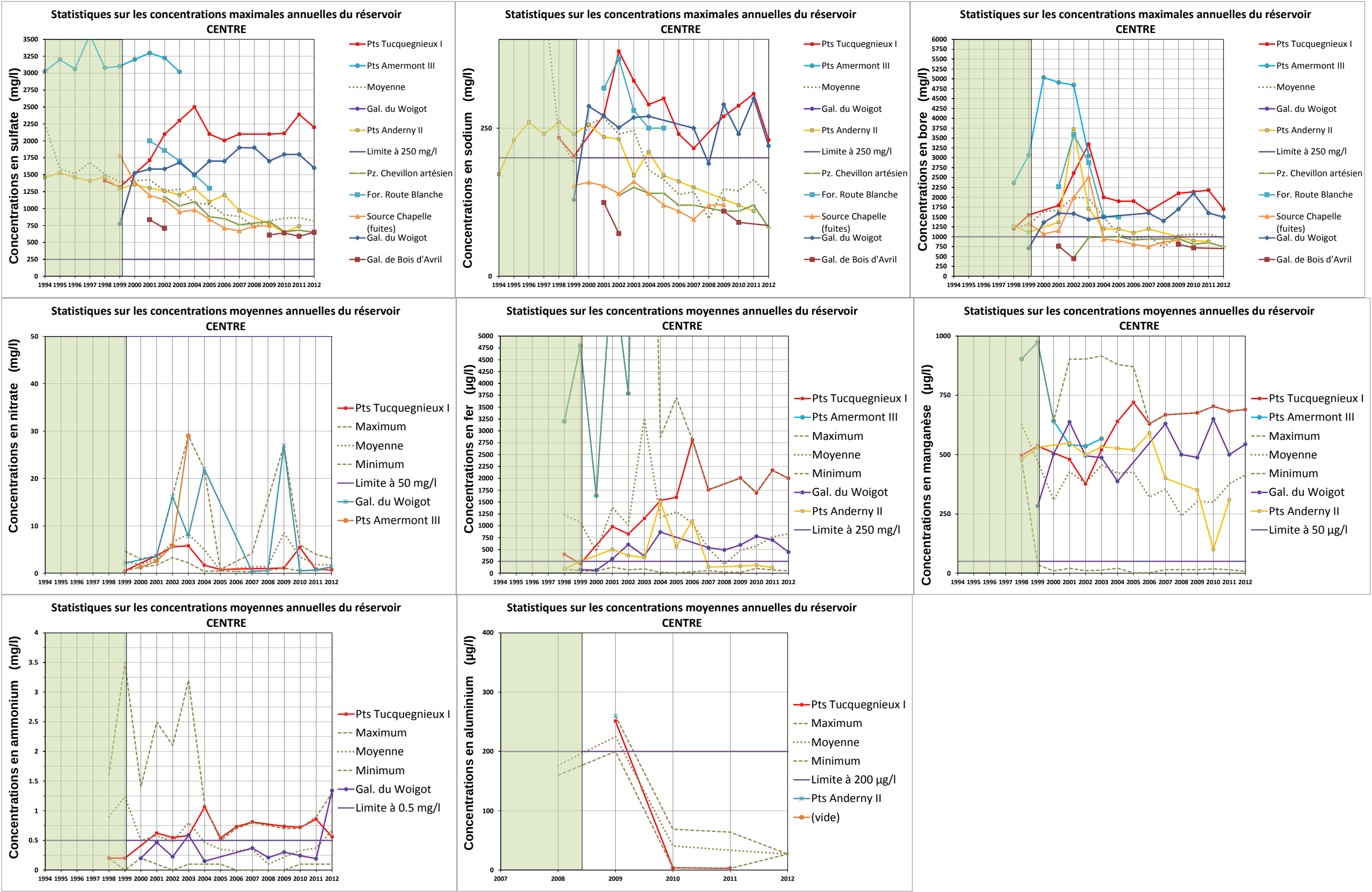


Illustration 40 : Statistiques sur les concentrations moyennes annuelles du réservoir Centre (en vert : période antérieure au débordement)

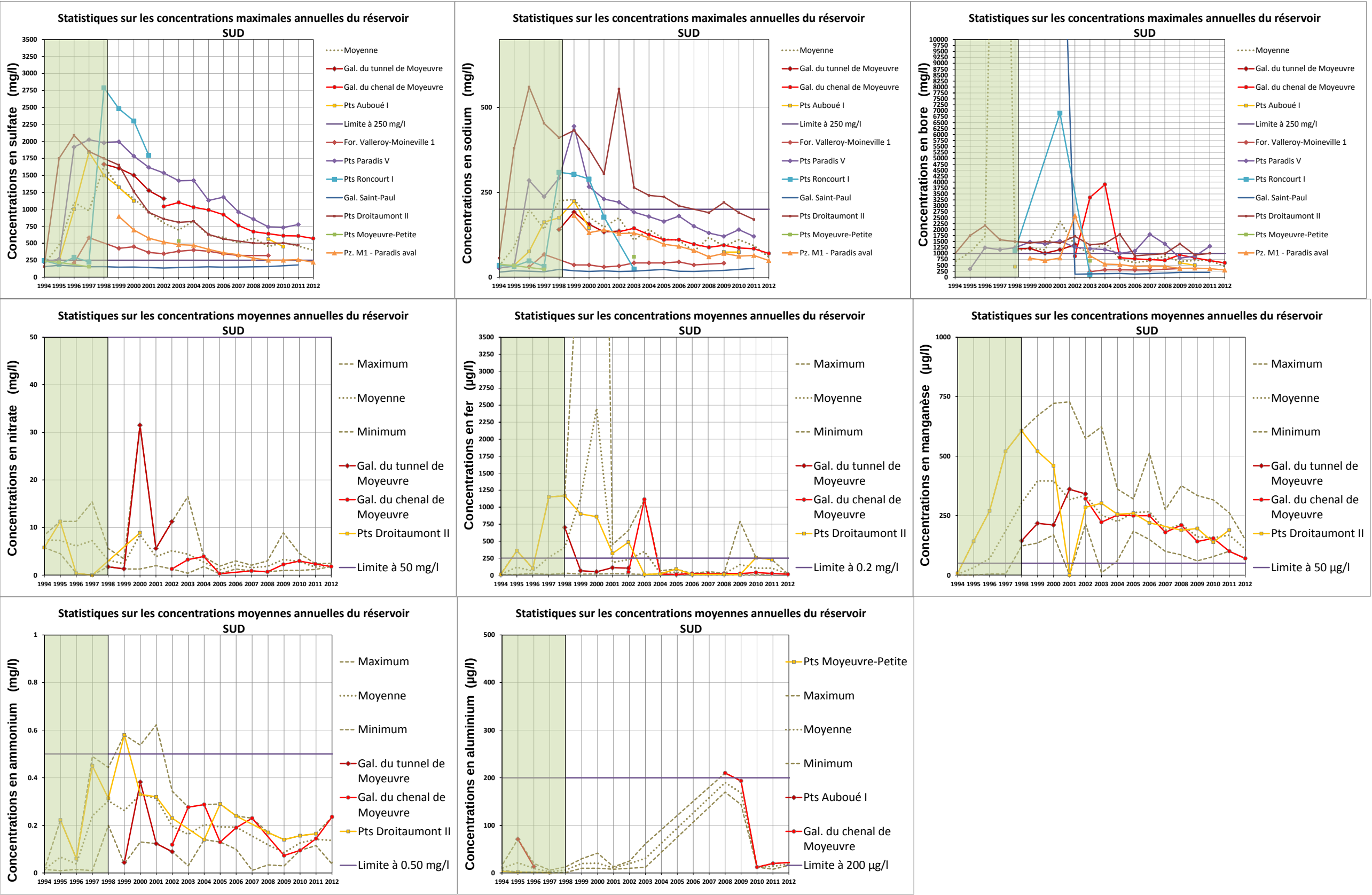


Illustration 41 : Statistiques sur les concentrations moyennes annuelles du réservoir Sud (en vert : période antérieure au débordement)

Annexe 3 :

Fréquences de quantification d'éléments indésirables sur le bassin ferrifère lorrain

N°	Nom	Réservoir	Cible	HAP	DERIVES DU BENZENE	HYDROCARBURES	CHLOROPHENOLS ET COMPOSES PHENOLIQUES	Aluminium	Argent	Cyanures totaux	Zinc	Antimoine	Cadmium	Mercur	Arsenic	Nickel	Chrome	Plomb	Cyanures libres	Sélénium	Cuivre	Ammonium	Nitrites	Fer	Manganèse	Bore	Strontium	Fluor
Ba1	Pts Bazailles I	BAZAILLES	Réservoir minier																									
Bu1	Gal. de Burbach	BURBACH	Réservoir minier			0.06061	0	0.7								0.06452						0.9697		0.58824	0.35294	1	1	
C1	For. Ferme de Mance	CENTRE	Dogger			0	0	0.66667								0						0.92593	0		1	0.79167	1	1
C2	For. Route Blanche	CENTRE	Réservoir minier			0.125	0									0.3125						1		1	1	1	1	1
C3	Gal. de Bois d'Avril	CENTRE	Réservoir minier			0	0	0.5								0.33333						1		1	1	1	1	1
C4	Gal. de Fontoy	CENTRE	Réservoir minier	X	0	0.05556	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0.27778	0	0	0	0	0	0.9	0	0.4	0.15	1	1	1
C5	Gal. du Woigot	CENTRE	Réservoir minier	X	X	0	0	0.66667	0	0.2	1	0	0	0	0	0.21053	0.5	0	1	1	1	0.97436	1	0.95349	0.95349	1	1	1
C6	Pz. A15 - Avril amont	CENTRE	Dogger			0	0	1								0						0.63636		0.81481	0.74074	0.91667	1	
C7	Pz. A25 - Avril aval	CENTRE	f.f. non exploitée	X	X	0.16667	0	0.66667	0	0	0.66667	0	0	0	0.33333	0.14286	0.33333	0.33333	0	0	0.66667	0.58824	0	0.75	0.21429	0.92308	1	0.33333
C8	Pz. Chevillon artésien	CENTRE	f.f. non exploitée					1								0						1		0.8	1	1	1	1
C9	Pz. M52 - Mance	CENTRE	Dogger	0	X		0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0.57143	0	0.59091	0.40909	0.94737	1	1
C10	Pz. Mance bis	CENTRE	f.f. non exploitée	0	0		0	0.5	0		1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0.66667	0.33333	1	1	1
C11	Pz. P1 - St-Pierremont	CENTRE	Dogger	X	0	0.3	X	0.75	0	0	1	0	0	0	0	1	0.33333	0	0	0	1	0.96	0	0.96	0.96	1	0.94737	1
C12	Pz. P2 - St-Pierremont	CENTRE	Dogger	X	X	0.1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0.33333	1	1	0	0	1	0.91667	0	0.83333	0.79167	0.91667	1	1
C13	Pts Amermont III	CENTRE	Réservoir minier			0.27778	X	0	0	0	0.5		0		0	0.53846	0.5	0			1	1	0	1	1	1	1	1
C14	Pts Anderny II	CENTRE	Réservoir minier			0.17391	X	0.25	0	0	0.5		0		0	0.22727	0	0			1	0.90909	0	1	1	1	1	0.5
C16	Pts St-Pierremont II	CENTRE	Réservoir minier																									
C17	Pts Tucquegnieux I	CENTRE	Réservoir minier	X	X	0.09091	0	0.28571	0	0	0.4	0	0	0	0.6	0.24	0	0	0	0.33333	0.6	1	0.2	1	0.96	1	1	0.6
C18	Source Chapelle (fuites)	CENTRE	Réservoir minier	0	0	0.04167	0	0.25	0	0	1	0	0	0	0	0.27273	0.33333	0	0	0	1	0.91429	0	0.88889	0.88889	1	1	0.33333
C19	Source de Mance	CENTRE	Dogger			0.14286	0									0.08333						0.79167		0.58333	0.20833	1	1	
C20	Conroy - confluence Chevillon	CENTRE	Réservoir minier			0	0									0.25						1		0.60526	0.52632	1	1	
C21	Conroy - station hydrométrique	CENTRE	Réservoir minier			0	0	0.75								0						0.875		1	1	1	1	
G1	Gal. de Godbrange	GODBRANGE	Réservoir minier																									
G2	Pts Hussigny-Godbrange	GODBRANGE	Réservoir minier	0		0	0	0.5			0.625	0	0.09091	0	0.14286	0.42857	0	0.125	0	0	0.375	0.68421	0.14286	0.36364	1	1		0.90909
Ha1	Pz. Hayange Sud	HAYANGE SUD	Réservoir minier	0	X	0.125	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0.3	0	1	0	0	1	0.89474	0.5	1	0.85	1	1	1
Lo1	Gal. de Rehon	LONGWY	Réservoir minier		0	0.17857	0	0.875		0.36364	0.61111	0	0.08571	0.16667	0.66667	0.48485	0.56	0.33333		0.66667	0.68182	0.59259	0.2	0.95652	0.8	1	1	1
Mo1	Gal. de Moulaine	MOULAIN	Réservoir minier			0.18182				0	0.58824		0.29412			0.52941	0.35294	0.52941			0.58824	0.35294						
N1	Pz. François Grise	NORD	Réservoir minier																									
N2	Pz. François Brune	NORD	Réservoir minier													1						0.09091	0.45455	0.18182	0.54545	1	1	
N3	Pts Ferdinand Grise	NORD	Réservoir minier			0.2	X									0.64706						0.58824	0.35294	0.58824	1	1	1	
N3bis	Pts Ferdinand Jaune	NORD	Réservoir minier			0.5	0									0.9						0.05882	0.58824	0.58824	0.94118	1	1	
N5	Pts Cheminée Sud Grise	NORD	Réservoir minier			0.41667	X									0.92308						0.57143	0.35714	0.85714	1	1	1	
N6	Pts Boulange Grise	NORD	Réservoir minier			0.13333	X									0.875						0.625	0.125	0.875	1	1	1	
N7	Pz. Angevillers Grise	NORD	Réservoir minier			0.06667	X									0.875						0.875	0.125	1	1	1	1	
N8	Pts Havange Brune	NORD	Réservoir minier																									
N9	Pts Bure Jaune Sauvage	NORD	Réservoir minier	0	0	0.125	0	0.8			0.4	0	0.11111		0	0.66667		0	0	0	0.375	0.33333	0.65217	0.65217	1	1	1	0.7
N10	Pz. Errouville Brune	NORD	Dogger																									
N11	Pz. Cheminée Sud	NORD	Réservoir minier													1						0.75	0	1	1	1	1	
N12	Pz. Chem. Sud Dogger inf.	NORD	Dogger													1						1	0.05882	0.35294	1	1	1	
N13	Pz. Chem. Sud Dogger sup.	NORD	Dogger													1						0.17647	0.05882	0.94118	1	1	1	
N14	Gal. d'accès de Knutange (la Paix)	NORD	Réservoir minier																									
N14bis	Gal. des eaux de Knutange (la Paix)	NORD	Réservoir minier			0.15385	0	0.66667								0.46429						0.75	0	0.78571	1	1	1	1
N15	Pz. Fensch aval 1	NORD	Alluvions			0	0									0.5						0.94118	0.64706	0.88235	1	1	1	
N16	Pz. Fensch amont 2	NORD	Alluvions													0.5						0.0625	0.0625	0.375	1	1	1	
N18	Gal. de Metzange (ou Charles)	NORD	Réservoir minier			0.16667	0	0.66667								0.08333						0.91667		1	1	1	1	
N19	Gal. d'Entrange (ou Ch.-Ferd.)	NORD	Réservoir minier	0	0	0	0	0.2			1	0	0	0	0.3	0.4		0	0	0.1	0	0.15	0.15	0.25	0.25	1	1	0.7
N20	Pz. Fontoy nord	NORD	Dogger			0	0	1								0						1		1	1	1	1	
N21	Pz. Fontoy sud	NORD	Dogger			0	0	0.66667								0						1	0	1	0.33333	1	1	
N22	Pts François (3 For.)	NORD	Réservoir minier																									
N23	Pts Ottange II	NORD	Réservoir minier																									
N24	Pts Saint-Michel	NORD	Réservoir minier	0	0	0	0	0.5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0.5	0.14286	0.14286	0.14286	0	1	1	1
N17	Pts Errouville III	ERROUVILLE	Réservoir			0.7	X									0.90909						1	0.0625	1	1	1	1	1
S1	For. de Bagneux	SUD	Dogger																									
S2	For. Valleroy-Moineville 1	SUD	Réservoir minier	X	X	0	X	0.14286	0	0	1	0	0	0	0.2	0.8	0	0	0	0	0.14286	0.08333	0.08333	0.63636	1	1	1	0.75
S3	For. Valleroy-Moineville 2	SUD	Réservoir minier																									
S4	Gal. du chenal de Moyeuvre	SUD	Réservoir minier			0	0	0.6								0.13333						0.92593		0.82143	1	1	1	
S5	Gal. du tunnel de Moyeuvre	SUD	Réservoir minier			0.2	0	0		0	1		0	0	0	0.41667		0	0		1	0.75862	0	0.8	1	1	1	0
S6	Gal. Saint-Paul	SUD	Réservoir minier	X	0	0.11111	0	0.75		0.89815	0.20833	0	0	0.04762	0.22222	0	0	0.38889	0.21569	0	0.26667	0.54762	0.5	1	0.2963	1		0.61905
S7	Pz. Avril FF	SUD	f.f. non exploitée	0	X	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0.33333	1	1	0	0	1	0.91667	0.5	1	0.83333	1	1	1
S8	Pz. B1 - Paradis amont	SUD	Dogger																			1		0.33333	1	1	1	
S9	Pz. Brier A	SUD	Dogger			0	0	1								0						1		1	0.33333	0.91667	0.91667	
S10	Pz. Brier B	SUD	f.f. non exploitée	0	0	0	0	0.75	0	0	1	0	0	0	1	0.33333	0	0	0	0	1	1	0.5	1	0.69231	0.92857	1	1
S11	Pz. Conroy aval	SUD	f.f. non exploitée			0	0	1								0						0.91667		1	1	1	1	
S12	Pz. de St Jean-lès-Buzy	SUD	Dogger	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.90909	0.5	0.9	0.2	1	1	1
S13	Pz. H1 - Hatrizze	SUD	Dogger	X	X	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0.33333	0	0	0	0	1	0.76	0	0.76	0.36	1	1	1
S14	Pz. M1 - Paradis aval	SUD	Réservoir minier	X	X	0.21429	X	0.75	0	0	1	0	0	0	0	0.26923	0	0	0	0	1	0.83333	0	0.63333	1	1	0.95833	1



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin – BP 6009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional Lorraine
1, avenue du parc de Brabois
54500 – Vandoeuvre-les-Nancy
Tél. : 03.83.44.81.49