



Surveillance des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain en 2005



Rapport final
BRGM/RP-56141-FR
Novembre 2008

Surveillance des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain en 2005

Rapport final

BRGM/RP-56141-FR
Novembre 2008

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 05DEPA01

L. Vaute

Vérificateur :

Nom : R. Fabriol

Date : 18/11/2008

Signature :

Original signé le 18/11/2008

Approbateur :

Nom : M. Aguilhaume

Date : 18/11/2008

Signature :

Original signé le 18/11/2008

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.

Mots clés : bassin ferrifère lorrain, eau souterraine, ennoyage, réservoir, surveillance.

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

Vaute L. (2008) – Surveillance des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain en 2005.
Rapport BRGM/RP-56141-FR, 83 p., 39 fig., 4 tabl., 2 ann.

© BRGM, 2008, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Durant plus d'un siècle d'exploitation dans le bassin ferrifère nord 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'envoyage des réservoirs Centre et Sud entre 1994 et 1999, tandis que l'envoyage du réservoir Nord a commencé le 1^{er} décembre 2005 et s'achèvera début 2008. La surface totale de l'ensemble des travaux miniers du bassin ferrifère s'élève à près de 430 km², dont les ¾ sont envoyés, ce qui représente un volume d'eau supérieur à 450 millions de m³.

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

Ce constat a conduit les pouvoirs publics à initier en 1994 l'élaboration d'un schéma d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE), relancé en 2003 sous l'impulsion des représentants des collectivités locales. En parallèle, à partir de 1995, et en complément de la surveillance prescrite aux exploitants, l'Agence de l'eau Rhin-Meuse, la DIREN Lorraine et le BRGM Lorraine ont souhaité engager des actions de prévention et de protection de la ressource. Le BRGM assure ainsi depuis cette date la surveillance des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain.

Du point de vue hydrogéologique, le bassin ferrifère lorrain est un système hydrodynamique et chimique complexe, formé par la superposition d'un aquifère calcaire fracturé et localement karstique (nappe du Dogger) et d'un aquifère artificiel constitué de grands vides anastomosés (réservoir minier). Dans la continuité du suivi initié en 1995, la surveillance de la quantité (niveaux, débits) et de la qualité des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain en 2005 a permis d'une part de mieux comprendre le fonctionnement de ce système, et d'autre part de continuer la constitution d'un ensemble de bases de données (géographiques, géologiques, minières, hydrodynamiques, chimiques) vouées aux eaux souterraines de ce secteur.

Du point de vue de la surveillance des eaux souterraines, l'événement marquant de l'année 2005 aura été le début de l'envoyage du réservoir Nord le 1^{er} décembre 2005. Ce suivi a nécessité la mise en place d'un matériel et d'une méthodologie spécifique, adaptés aux contraintes techniques de mesure et d'échantillonnage dans des ouvrages profonds dans lesquels le niveau d'eau s'élève constamment.

Sommaire

1. Introduction	11
1.1. LES BASSINS MINIERS NORD-LORRAINS	11
1.2. LE BASSIN FERRIFERE LORRAIN	11
1.3. L'ARRET DE L'EXPLOITATION MINIERE	14
1.4. UN SCHEMA D'AMENAGEMENT ET DE GESTION DES EAUX (SAGE) POUR LE BASSIN FERRIFERE	14
1.5. LA SURVEILLANCE RENFORCEE DES EAUX SOUTERRAINES DU BASSIN FERRIFERE LORRAIN	15
2. Le contexte hydrogéologique	17
2.1. LE RELIEF ET LES REGIONS NATURELLES	17
2.2. LES COURS D'EAU	17
2.3. LES GRANDES NAPPES D'EAU SOUTERRAINES SUR LE TERRITOIRE DU SAGE.....	20
2.3.1. Les formations géologiques sur le territoire du SAGE.....	20
2.3.2. Les nappes d'eau souterraines sur le territoire du SAGE	21
2.4. LE DETAIL DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINES AU DROIT DES TRAVAUX MINIERS.....	23
2.4.1. Les formations géologiques au droit des travaux miniers	24
2.4.2. Les nappes d'eau souterraines au droit des travaux miniers	24
2.5. LES PHENOMENES KARSTIQUES	25
3. Les réservoirs miniers : principales caractéristiques et fonctionnement hydrogéologique	31
3.1. DES MILIEUX ARTIFICIELS LIES A L'ACTIVITE MINIERE	31
3.1.1. Les méthodes d'exploitation du minerai de fer	31
3.1.2. L'exhaure, conséquence de l'exploitation minière.....	33
3.1.3. L'ennoyage des mines, après l'exploitation.....	38
3.1.4. Les conséquences de l'ennoyage	39
3.1.5. Les soutiens d'étiage des cours d'eau, après l'arrêt des exhaures minières.....	40

3.2. LES PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DES RESERVOIRS MINIERES	40
3.2.1. Des réservoirs miniers de taille variée	41
3.2.2. Des réservoirs miniers voulus indépendants du point de vue hydraulique	42
3.2.3. Des niveaux d'ennoyage très différents, et la question des relations hydrauliques entre réservoirs voisins	42
3.2.4. Les exutoires aménagés et les résurgences inattendues des réservoirs miniers	43
3.2.5. Des réservoirs miniers compartimentés en sous-unités hydrogéologiques	47
4. Les résultats de la surveillance en 2005	57
4.1. LE RESEAU DE SURVEILLANCE DES EAUX SOUTERRAINES DU BASSIN FERRIFERE LORRAIN	57
4.1.1. Les points du réseau de surveillance des eaux souterraines	57
4.1.2. Un nouveau réseau de surveillance pour le bassin Nord en 2005	60
4.1.3. Le réseau de suivi de la conductivité mis en place par le GISOS au titre de ses activités de recherche-développement	61
4.1.4. Les objectifs de la surveillance des eaux souterraines	62
4.1.5. Le contenu du programme de surveillance	63
4.2. LES NIVEAUX PIEZOMETRIQUES ET LES DEBITS	64
4.2.1. Principales observations relatives aux bassins Sud et Centre	64
4.2.2. Principales évolutions du réservoir Sud en 2005	66
4.2.3. Principales évolutions du réservoir Centre en 2005	66
4.2.4. Principales évolutions du réservoir Nord en 2005	71
4.3. LA QUALITE DE L'EAU DANS LE BASSIN FERRIFERE	73
4.3.1. Une minéralisation excessive de l'eau d'ennoyage des réservoirs	73
4.3.2. L'évolution des concentrations en sulfate	73
4.3.3. Les autres paramètres de qualité des eaux souterraines	77
5. Conclusion	79
6. Bibliographie	81
7. Annexe 1 : fiches descriptives des réservoirs miniers	85
7.1. LE RESERVOIR BAZAILLES	85
7.2. LE RESERVOIR BURBACH	85
7.3. LE RESERVOIR CENTRE	85

7.3.1. Sources de données.....	85
7.3.2. L'ennoyage du réservoir Centre	85
7.3.3. Le fonctionnement du réservoir Centre depuis le premier débordement.....	86
7.3.4. Les fuites du réservoir Centre dans la vallée du Chevillon.....	87
7.3.5. Evolution des concentrations en sulfate	87
7.4. LE RESERVOIR ERROUVILLE.....	87
7.4.1. Sources de données.....	87
7.4.2. Le fonctionnement du réservoir Errouville pendant la période d'exhaure....	88
7.4.3. L'ennoyage du réservoir Errouville	88
7.4.4. Le fonctionnement du réservoir Errouville après l'ennoyage.....	88
7.5. LE RESERVOIR GODBRANGE	89
7.5.1. Sources de données.....	89
7.5.2. Le fonctionnement du réservoir Godbrange pendant la période d'exhaure	90
7.5.3. L'ennoyage du réservoir Godbrange	90
7.5.4. Le fonctionnement du réservoir Godbrange après l'ennoyage.....	90
7.6. LE RESERVOIR HAYANGE SUD	91
7.7. LE RESERVOIR LONGWY-REHON	91
7.8. LE RESERVOIR MOULAIN.....	92
7.9. LE RESERVOIR NORD.....	93
7.9.1. Sources de données.....	93
7.9.2. Contexte géographique et hydrogéologique.....	94
7.9.3. Le fonctionnement du réservoir Nord pendant la période d'exhaure.....	94
7.9.4. L'ennoyage du réservoir Nord	95
7.9.5. Le fonctionnement du réservoir Nord après l'ennoyage	97
7.10. LE RESERVOIR SERROUVILLE	98
7.10.1. Sources de données	98
7.10.2. Le fonctionnement du réservoir Serrouville pendant la période d'exhaure.....	99
7.10.3. L'ennoyage du réservoir Serrouville	99
7.10.4. Le fonctionnement du réservoir Serrouville après l'ennoyage	99
7.11. LE RESERVOIR SUD	100
7.11.1. Sources de données	100
7.11.2. L'ennoyage du réservoir Sud.....	100
7.11.3. La création d'un nouvel exutoire	101

7.11.4. Evolution des concentrations en sulfate	102
7.11.5. Le cas particulier du « réservoir de Valleroy »	103

8. Annexe 2 : caractéristiques des systèmes de mesure installés dans les bassins Nord et Sud..... 105

8.1. LE SYSTEME D'ECHANTILLONNAGE INSTALLE DANS LES OUVRAGES DE SURVEILLANCE DU BASSIN NORD EN 2005	105
8.1.1. Justification du choix du système mis en place	105
8.1.2. Principales caractéristiques des échantillonneurs pneumatiques de conception BRGM	106
8.2. CARACTERISTIQUES DE LA CENTRALE DE MESURE DU DEBIT INSTALLEE EN 2007 DANS LA NOUVELLE GALERIE DE MOYEURRE (POINT S5).....	109

Liste des encadrés

Encadré 1 : le déclin de l'exploitation du minerai de fer lorrain.	13
Encadré 2 : détail des nappes d'eau souterraines au droit des travaux miniers.	26
Encadré 3 : définition d'un réservoir minier.	31
Encadré 4 : l'exploitation par traçage, dépilage et foudroyage.	32
Encadré 5 : le fonctionnement hydrogéologique des réservoirs miniers.	36
Encadré 6 : les mécanismes responsables de la minéralisation de l'eau des réservoirs miniers.	72

Liste des figures

Figure 1 : cadre géographique du bassin ferrifère lorrain.	12
Figure 2 : le relief et les régions naturelles du bassin ferrifère.	18
Figure 3 : les cours d'eau du bassin ferrifère.	19
Figure 4 : les formations géologiques affleurant dans le bassin ferrifère.	22
Figure 5 : coupe géologique ouest-est à travers le bassin ferrifère.	23
Figure 6 : coupe géologique et hydrogéologique au droit des travaux miniers.	27
Figure 7 : phénomènes karstiques géomorphologiques (gouffres, grottes, dolines, mardelles).	28
Figure 8 : phénomènes karstiques hydrologiques (sources, pertes, traçages).	29

Figure 9 : évolution du volume total d'eau exhaurée entre 1946 et 1996.	34
Figure 10 : évolution du volume d'eau exhaurée par réservoir minier entre 1980 et 1996.	34
Figure 11 : répartition du volume total d'eau exhaurée entre 1946 et 1996, par réservoir minier.	35
Figure 12 : schéma conceptuel du fonctionnement hydrogéologique d'un réservoir minier, avant et après ennoyage (exemple du réservoir Sud, coupe schématique SO-NE).	37
Figure 13 : carte des réservoirs miniers du bassin ferrifère lorrain.	44
Figure 14 : coupe hydrogéologique sud-nord à travers le bassin ferrifère	45
Figure 15 : carte détaillée des réservoirs Sud et Hayange Sud.	48
Figure 16 : carte détaillée des réservoirs Centre et Burbach.	49
Figure 17 : coupe hydrogéologique simplifiée à travers le réservoir Sud.	50
Figure 18 : coupe hydrogéologique simplifiée à travers le réservoir Centre.	50
Figure 19 : coupe hydrogéologique simplifiée à travers le réservoir Nord.	51
Figure 20 : schéma de fonctionnement du débordement du réservoir Centre.	51
Figure 21 : carte détaillée du réservoir Nord en 2005, avant le début de son ennoyage.	52
Figure 22 : carte détaillée du réservoir Nord en 2006, après le début de son ennoyage.	53
Figure 23 : carte détaillée des réservoirs Serrouville, Godbrange, Moulaine, Longwy, Bazailles.	54
Figure 24 : photos des travaux miniers, avant et après ennoyage (photos 1, 4 et 5 : Gisos ; photos 2, 3 : Géodéris).	55
Figure 25 : carte des 59 points du réseau de surveillance à la fin 2005, et des points de surveillance complémentaires possibles	59
Figure 26 : relation entre la conductivité et la concentration en sulfate pour des échantillons de roche prélevés dans le réservoir Nord (travaux du GISOS, in Collon, 2003).	62
Figure 26 : évolution des niveaux piézométriques dans le bassin Sud depuis 1994.	67
Figure 27 : évolution des niveaux piézométriques dans le bassin Centre depuis 1994.	67
Figure 28 : évolution des niveaux au droit d'une zone foudroyée du bassin Sud.	68
Figure 29 : évolution des niveaux au droit d'une zone foudroyée du bassin Centre.	68
Figure 30 : évolution du niveau piézométrique du réservoir Sud depuis 1998.	69
Figure 31 : évolution du débit de débordement du réservoir Sud depuis 1998.	69
Figure 32 : évolution du niveau piézométrique du réservoir Centre depuis 1998.	70
Figure 33 : évolution des débits de débordement du réservoir Centre depuis 1998.	70
Figure 34 : évolution de la concentration en sulfate depuis 1998 aux points de débordement du réservoir Sud.	74
Figure 35 : évolution de la concentration en sulfate depuis 1998 aux points de débordement et de fuite du réservoir Centre.	74

Figure 36 : évolution de la concentration en sulfate depuis 1998 dans les anciens puits miniers des réservoirs Sud et Centre.	75
Figure 37 : évolution de la concentration en sulfate depuis 1998 dans les puits des réservoirs Sud et Centre.	76
Figure 38 : un exemple de système d'échantillonnage de conception BRGM composé d'une tête laiton, d'un tuyau double protégé par un tuyau PVC (montage adapté aux faibles profondeurs qui est remplacé par un bitube rilsan protégé par une membrane comme ci-dessous) et d'un tube de prélèvement (remplacé par une bouteille inox de volume plus important).	108
Figure 39 : un exemple de préleveur mobile avec 300 m de bitube rilsan protégé par une membrane sur touret de capacité 600 m, et bouteille portable d'azote sous pression.	108

Liste des tableaux

Tableau 1 : les soutiens d'étiage dans le bassin ferrifère.	40
Tableau 2 : principales caractéristiques des réservoirs miniers du bassin ferrifère.	41
Tableau 3 : les exutoires des réservoirs miniers du bassin ferrifère.	46
Tableau 4 : liste des 59 points de surveillance des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain à la fin 2005, et liste complémentaire de 18 points de surveillance possibles (en grisé).	58

1. Introduction

1.1. LES BASSINS MINIERS NORD-LORRAINS

Depuis la deuxième moitié du 19^{ème} siècle, le nord de la Lorraine a connu une importante activité minière sur deux secteurs :

- le bassin ferrifère, situé principalement dans le nord-ouest mosellan, le nord de la Meurthe-et-Moselle (Pays-Haut) et une frange meusienne ;
- le bassin houiller, dans le secteur de Forbach-St-Avold-Creutzwald.

Ces deux bassins miniers se prolongent au nord, en territoires belge, luxembourgeois et allemand. L'exploitation de ces gisements, qui est aujourd'hui arrêtée sur les deux bassins ne s'est pas faite sans incidence sur les eaux superficielles et souterraines.

1.2. LE BASSIN FERRIFERE LORRAIN

Les exploitations minières de fer en Lorraine se situent sous le plateau du revers occidental de la côte de Moselle, à l'ouest d'une ligne Thionville - Metz - Nancy. Les bassins concédés s'étendent ainsi sur environ 100 km du nord au sud, entre la frontière franco-luxembourgeoise et Nancy, pour une largeur qui varie entre 10 et 30 km. Ils intéressent trois départements qui sont, d'est en ouest, la Moselle, la Meurthe-et-Moselle et, pour une faible part, la Meuse.

Le gisement, qui affleure en particulier le long de la côte de Moselle, s'interrompt sur près de 25 km en son centre, entre Pagny-sur-Moselle et Pont-à-Mousson. Cette discontinuité partage la région en deux zones distinctes :

- le bassin ferrifère de Nancy au sud, hors de la zone de notre étude,
- le bassin ferrifère de Briey-Longwy au nord, entièrement inclus dans la zone d'étude.

L'extension des travaux miniers du bassin de Briey-Longwy est d'environ 50 km du nord au sud pour 30 km d'est en ouest (Figure 1).

Dans le bassin ferrifère de Briey-Longwy, l'exploitation du bassin ferrifère par chambres et piliers a souvent conduit au foudroyage des galeries abandonnées, et donc à la fissuration des terrains situés au-dessus des zones exploitées, induisant une modification du régime des nappes d'eau souterraine et des rivières : pertes dans le lit mineur des cours d'eau, rabattement de nappes influant sur l'alimentation des cours d'eau, mise en communication de bassins souterrains jadis hydrologiquement isolés,...

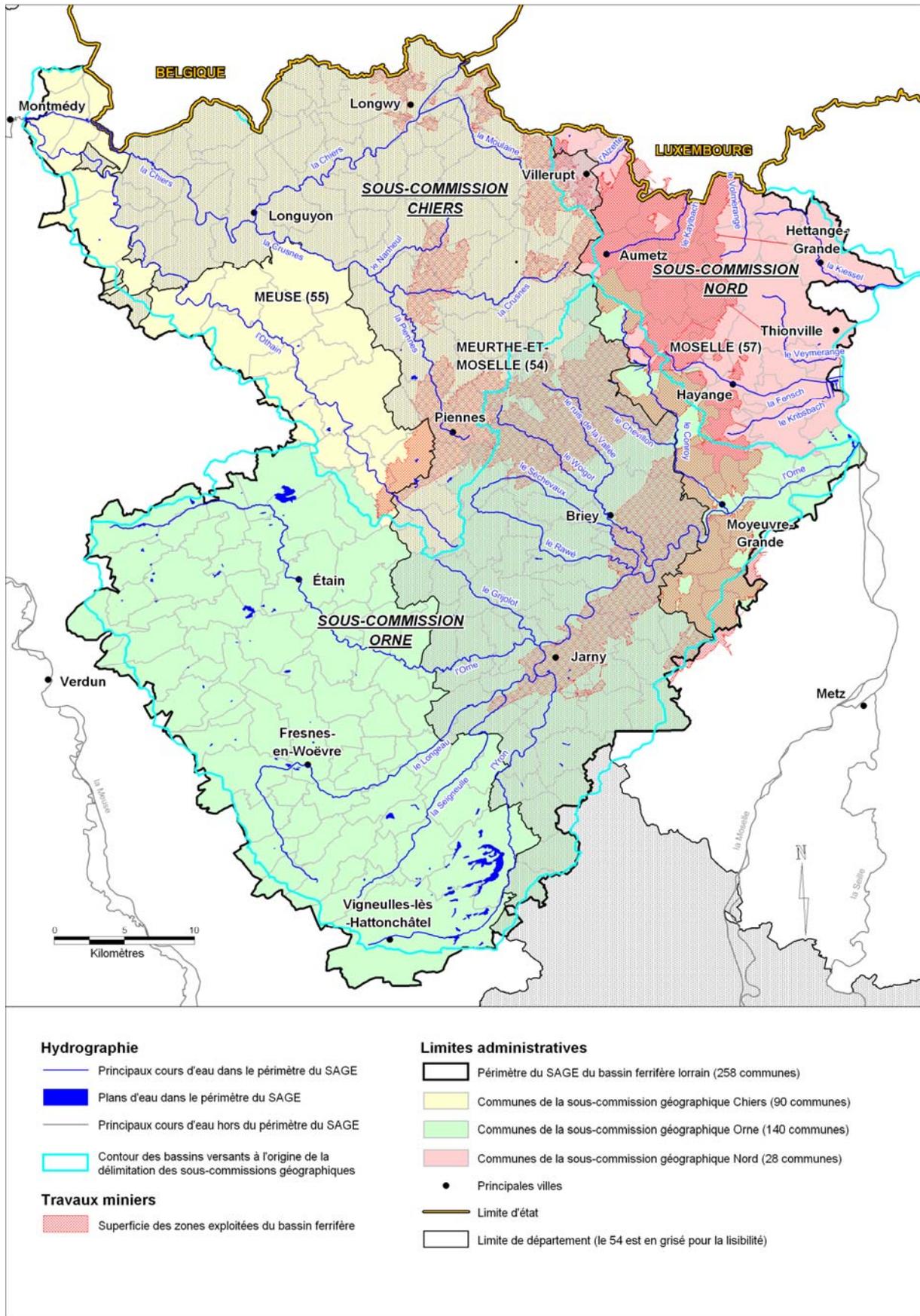


Figure 1 : cadre géographique du bassin ferrifère lorrain.

L'activité minière n'a alors été possible que grâce à la mise en place d'importants pompages d'exhaure, permettant d'évacuer hors des mines les grandes quantités d'eau souterraine qui s'y infiltraient. Les rejets d'eau d'exhaure dans les cours d'eau compensaient alors partiellement les autres impacts constatés durant la période d'exploitation, notamment grâce à la dilution des rejets d'eaux usées domestiques ou des effluents liés aux activités industrielles connexes au travail de la mine. Durant toute la période d'exploitation du bassin ferrifère, un nouvel équilibre hydrodynamique s'est progressivement mis en place, différent de celui qui prévalait avant l'exploitation.

Ainsi, durant plus d'un siècle d'exploitation dans le bassin ferrifère nord lorrain, 3 milliards de tonnes de minerai de fer ont été excavés (40 000 km de galeries). 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 (cf. Encadré 1).

Le déclin de l'exploitation du minerai de fer lorrain

Le gisement lorrain a été exploité épisodiquement depuis le XIII^{ème} siècle, et régulièrement depuis le XVIII^{ème} siècle. Les mines de fer de Lorraine, qui produisaient un minerai assez pauvre et phosphoreux, ont été le support de la sidérurgie locale et ont connu leur heure de gloire tant que l'exploitation et le transport de minerais plus riches ne sont pas venus les concurrencer en Lorraine même. L'installation de sidérurgies portuaires, plus modernes et plus facilement approvisionnables en minerais, puis la crise générale de la sidérurgie, sont venues accélérer le déclin. Le processus de fermeture totale des mines est aujourd'hui achevé. Après avoir dépassé les 60 millions de tonnes de production annuelle de 1960 à 1962, les mines de fer ont connu un plateau de stabilisation de leur production autour de 50 millions de tonnes par an de 1968 à 1974, puis ont plongé pour descendre autour de 10 millions de tonnes par an après 1988. On estime que 3 milliards de tonnes ont été extraites depuis l'origine.

Administrativement, le bassin a été morcelé en quelques centaines de concessions couvrant environ une centaine de km du nord au sud et une trentaine de km au maximum d'est en ouest, et s'étendant sur 3 départements (Meuse, Meurthe-et-Moselle, Moselle). Ces concessions étaient pour la plupart jointives (surtout dans le bassin Briey-Longwy), et la plupart du temps, les travaux d'une mine communiquaient avec ceux de la mine voisine. Les exploitants des différentes mines ont été multiples, au temps de la splendeur (mines marchandes, mines intégrées dans les grands groupes...). La crise de la sidérurgie les a fait disparaître ou se regrouper, et il n'en est resté finalement plus que deux : l'ARBED, qui a approvisionné la sidérurgie luxembourgeoise, et LORMINES, qui était la filiale du groupe USINOR-SACILOR ayant regroupé tous les intérêts miniers français.

Source : Rapport sur l'exhaure des mines de fer en Lorraine, Suzanne et Fournerey, 1996.

Encadré 1 : le déclin de l'exploitation du minerai de fer lorrain.

1.3. L'ARRET DE L'EXPLOITATION MINIERE

La cessation de l'activité minière et l'arrêt des pompages d'exhaure a entraîné l'envoyage des réservoirs Centre et Sud entre 1994 et 1999, tandis que l'envoyage du réservoir Nord a commencé le 1^{er} décembre 2005 et s'achèvera début 2008. La surface totale de l'ensemble des travaux miniers du bassin ferrifère est de près de 430 km², dont les ¾ sont envoyés, ce qui représente un volume d'eau supérieur à 450 millions de m³ d'eau.

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

Par exemple, si l'envoyage des mines permet aujourd'hui, sur certains secteurs, de retrouver de bonnes conditions de réalimentation naturelle des cours d'eau (Conroy et Chevillon par exemple), dans la plupart des cas le retour au régime hydrologique *ante* minier conduit à une forte baisse des débits comparativement aux apports par exhaures, voire des situations d'assec en période d'étiage.

1.4. UN SCHEMA D'AMENAGEMENT ET DE GESTION DES EAUX (SAGE) POUR LE BASSIN FERRIFERE

Ce constat a conduit les pouvoirs publics à initier en 1994 l'élaboration d'un schéma d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE). L'arrêté inter-préfectoral fixant le périmètre du SAGE a été pris le 5 avril 1994. Le périmètre du SAGE englobe 258 communes, pour une superficie de 2418 km², et une population de 376 703 personnes en 1999. Le périmètre du SAGE s'étend sur les départements lorrains de la Moselle, de la Meurthe-et-Moselle et de la Meuse (Figure 1).

A cette époque, le SAGE n'a pas pu aboutir. Il a été relancé en 2003 sous l'impulsion des représentants des collectivités locales. La séance d'installation de la CLE a eu lieu le 5 novembre 2004 à la Préfecture de Région. La Région Lorraine est la structure porteuse du projet du SAGE du bassin ferrifère. Les deux premières séquences de l'élaboration du SAGE ont été validées par la CLE en mars 2007. Elles ont donné lieu à deux rapports de référence :

- Séquence n°1 – l'état des lieux : ce document cartographique, qui a pour ambition de devenir une référence objective pour les acteurs du territoire, vise à donner une vision globale du bassin ferrifère, aussi complète que possible, au travers de l'ensemble des milieux et des usages liés au domaine de l'eau.
- Séquence n°2 – synthèse, diagnostic et tendances : ce document a pour objectif d'évaluer de manière globale et objective le territoire, de présenter le

point de vue des acteurs, de définir les tendances d'évolution des milieux et des usages, afin de définir les enjeux du SAGE.

La réalisation de ces documents, financée à 90 % par l'Agence de l'eau Rhin-Meuse, a été confiée au groupement BRGM-SINBIO sur appel d'offre. L'étude s'est déroulée du 17 octobre 2005 au 31 mars 2007. Les documents produits constituent la base du travail de concertation engagé au sein de la CLE, pour la définition des objectifs du SAGE, qui devront être déclinés en mesures et en préconisations.

1.5. LA SURVEILLANCE RENFORCEE DES EAUX SOUTERRAINES DU BASSIN FERRIFERE LORRAIN

A partir de 1995, en complément de la surveillance prescrite en 1994 par arrêtés préfectoraux à l'ancien exploitant minier Lormines, l'Agence de l'eau Rhin-Meuse et la DIREN Lorraine ont souhaité engager des actions de prévention et de protection de la ressource. Ils avaient donc demandé au BRGM Lorraine d'assurer, dans le cadre de ses missions de Service Public, le suivi d'un réseau de surveillance des eaux souterraines des bassins Sud et Centre, dont l'ennoyage des réservoirs venait de débuter. A partir du 1^{er} janvier 2001, date à laquelle Lormines a été dégagé de ses obligations concernant la surveillance des eaux souterraines, les points suivis par Lormines ont été intégrés au réseau de surveillance exploité par le BRGM.

En 2005, dans le cadre des obligations qui lui ont été prescrites par l'arrêté préfectoral du 29 octobre 1998, la société ARBED (Arcelor Luxembourg) a installé un réseau de surveillance des eaux souterraines dans le bassin Nord. Ce réseau est opérationnel depuis le 1^{er} décembre 2005, date à laquelle l'ennoyage du réservoir Nord a débuté. Ce réseau a été transféré en 2006 à l'Etat représenté par la DRIRE Lorraine, qui en a confié l'exploitation au BRGM Lorraine.

Le coût d'acquisition des données et de leur interprétation en termes de fonctionnement hydrogéologique et chimique des bassins, d'abord assumé entièrement par l'Agence de l'eau, a été partagé par le BRGM dès 1997, avec une participation de la DIREN Lorraine en 2000 et 2001. Depuis 2004, le BRGM est maître d'ouvrage de l'étude annuelle de surveillance, et bénéficie d'une aide financière annuelle de l'Agence de l'eau.

2. Le contexte hydrogéologique

2.1. LE RELIEF ET LES REGIONS NATURELLES

Le territoire du SAGE du bassin ferrifère est situé entre les cours de la Meuse à l'ouest, et de la Moselle à l'est (Figure 2).

D'une superficie de 2418 km², le territoire s'inscrit dans un rectangle de 62,4 km de large (d'est en ouest) et de 68,5 km de long (du nord au sud). Il est encadré par les grandes agglomérations de Verdun à l'ouest, Metz à l'est, Pont-à-Mousson au sud, tandis que sa limite nord est constituée par la frontière française avec la Belgique et le Luxembourg.

Deux grandes régions naturelles, aux caractéristiques très différentes, peuvent être distinguées : la plaine de la Woëvre au sud du territoire, et le plateau du Pays-Haut au nord.

- La plaine de la Woëvre, d'altitude comprise entre 220 et 230 mètres, occupe la plus grande partie de la moitié sud du territoire. Sur ses limites sud-ouest et sud-est, cette grande dépression topographique s'appuie sur les reliefs calcaires des côtes de Meuse et de Moselle. La plaine de la Woëvre est constituée de terrains argileux imperméables, et caractérisée par la présence de nombreux terrains marécageux et de retenues telles que l'étang d'Amel et l'étang de Lachaussée.
- Le plateau marno-calcaire du Pays-Haut, dans la partie nord du territoire, est limité à l'est par la vallée de la Moselle, à l'ouest par la confluence Chiers-Othain, au sud par la plaine de la Woëvre, tandis que sa limite nord correspond approximativement à la frontière avec la Belgique et le Luxembourg. La surface du plateau est légèrement inclinée du nord-est vers le sud-ouest, son altitude variant de 450 à 230 m. Le point culminant du Pays-Haut, situé à proximité d'Aumetz, est un point de partage des eaux vers les trois bassins versants du territoire (la Chiers, l'Orne, et les petits cours d'eau du bassin versant de la Moselle). Les cours d'eau parcourant le plateau calcaire s'y enfoncent rapidement, et coulent souvent dans des vallées encaissées.

2.2. LES COURS D'EAU

La région Lorraine est parcourue par de nombreux cours d'eau, les deux principaux étant la Moselle et la Meuse, orientés sud-nord. Les cours d'eau du bassin ferrifère appartiennent aux deux bassins versants de ces grands cours d'eau : en Lorraine, la Chiers est l'affluent le plus important de la Meuse, tandis que l'Orne est un affluent important de la Moselle.

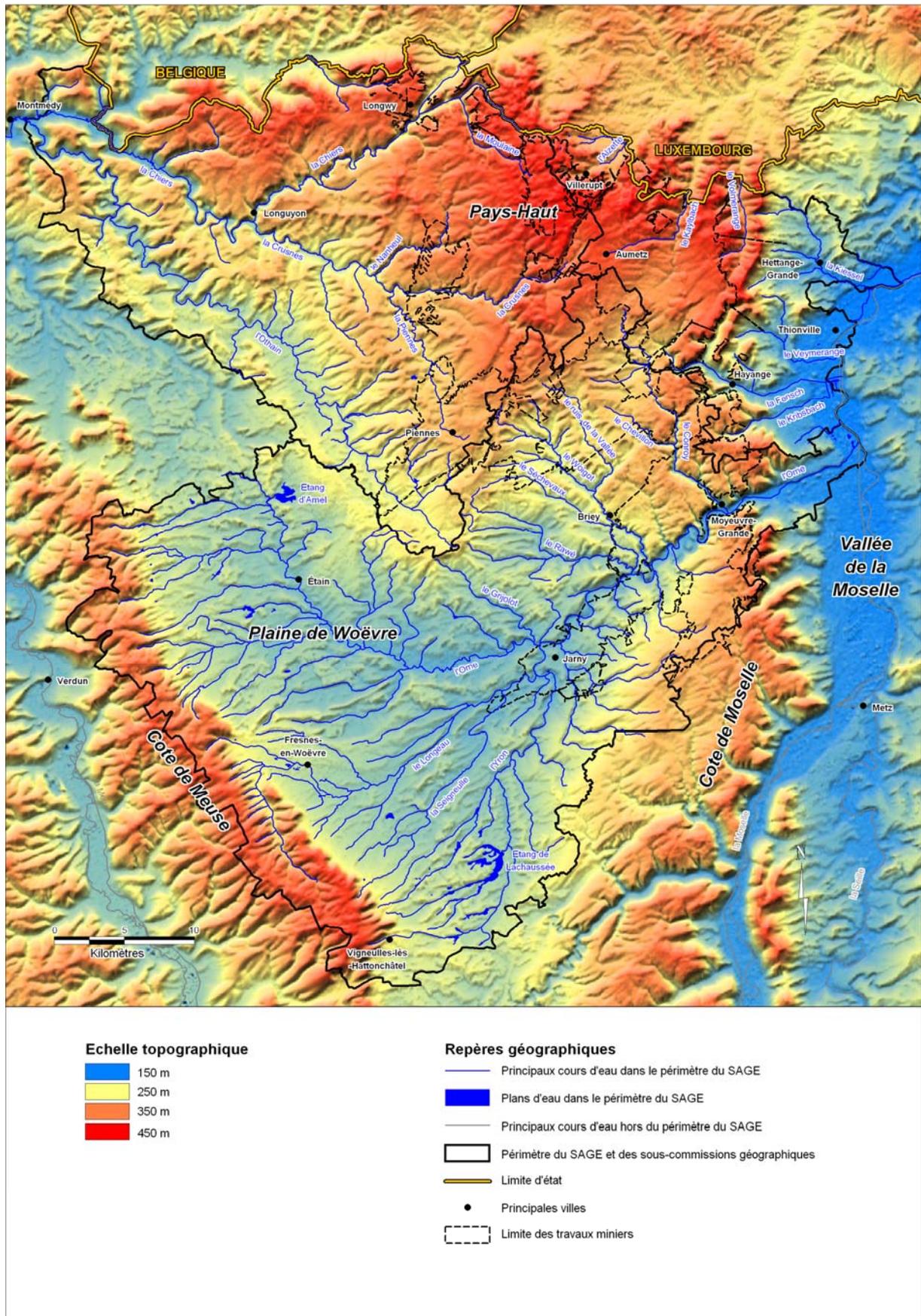


Figure 2 : le relief et les régions naturelles du bassin ferrifère.

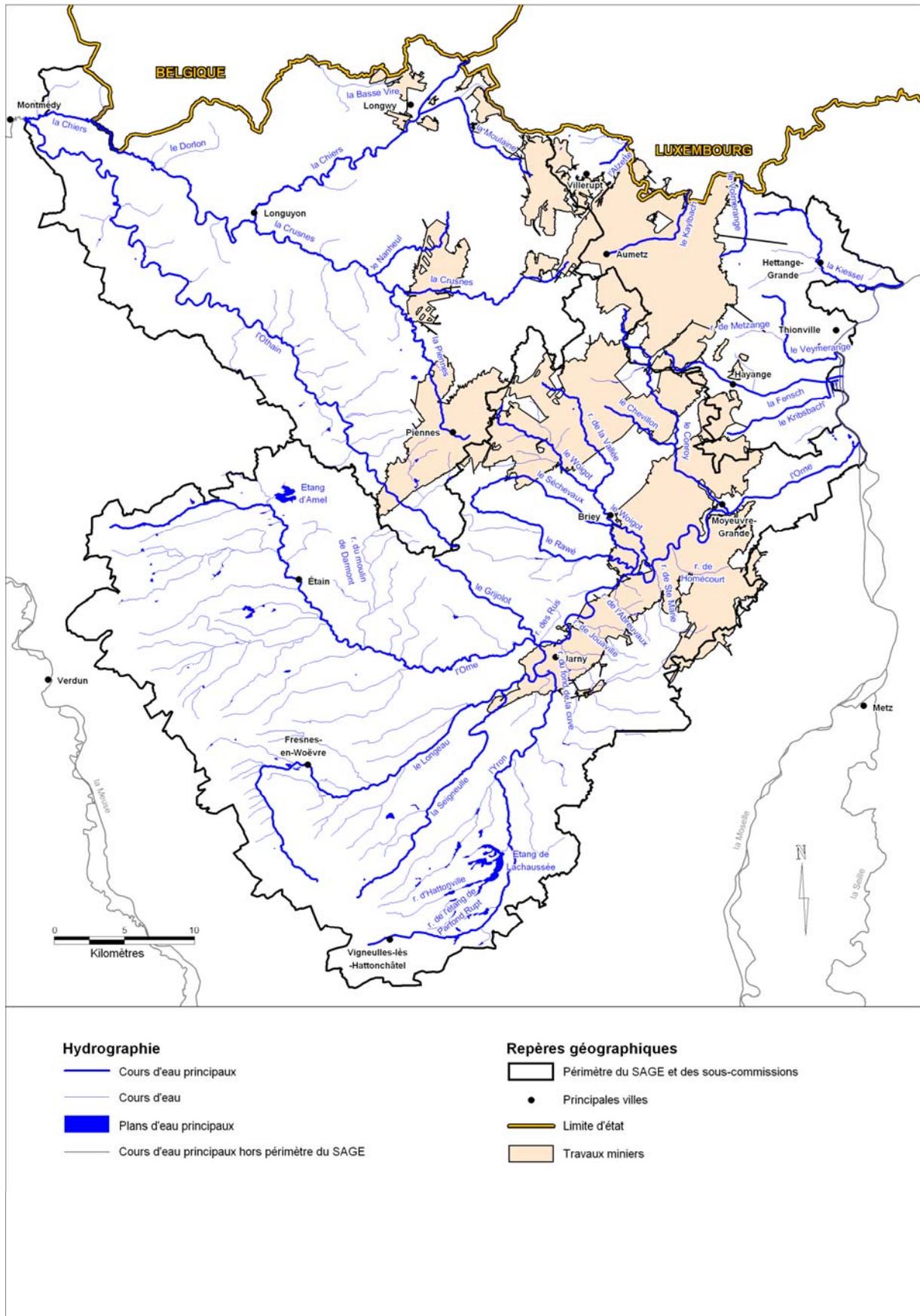


Figure 3 : les cours d'eau du bassin ferrifère.

Les principaux cours d'eau du territoire du SAGE du bassin ferrifère sont cartographiés sur la Figure 3 :

- Le bassin versant de l'Orne, c'est-à-dire l'Orne et tous ses affluents, dont les principaux sont :
 - l'Yron et ses affluents (Longeau, Seigneulles),
 - le Rawé et ses affluents (Séchevaux),
 - le Woigot et ses affluents (La Vallée),
 - le Conroy et ses affluents (Chevillon).
- Le bassin versant de la Chiers dans sa zone amont :
 - la Chiers jusqu'à Montmédy,
 - la Moulaine,
 - la Crusnes et ses affluents (la Piennes),
 - l'Othain et ses affluents.
- Des petits cours d'eau du bassin versant de la Moselle :
 - la Fensch et ses affluents (Krisbach),
 - le Veymerange et ses affluents (Metzange),
 - la Kiessel et ses affluents (Reybach),
 - l'Alzette et ses affluents (Kaylbach et Volmerange).

2.3. LES GRANDES NAPPES D'EAU SOUTERRAINES SUR LE TERRITOIRE DU SAGE

2.3.1. Les formations géologiques sur le territoire du SAGE

Dans le périmètre du SAGE du bassin ferrifère, les formations géologiques les plus anciennes se rencontrent sur sa limite est et nord : il s'agit de la formation gréseuse de l'Hettangien, puis d'autres formations plus récentes du Lias, à dominante argileuse avec des passées gréseuses (Figure 4).

La couche de minerai de fer, qui a été exploitée de manière industrielle pendant plus d'un siècle, est d'âge Aalénien. Elle affleure à l'est (elle n'est pas visible sur la carte, en raison de la trop faible superficie de son affleurement), au niveau des escarpements qui bordent la vallée de la Moselle, puis s'enfonce vers l'ouest avec un pendage moyen de l'ordre de 3 %, pour atteindre une profondeur d'environ 300 m à l'aplomb des limites de la zone exploitable et concédée (cf. coupe géologique de la Figure 5).

Sa structure, comme celles des couches qui l'encadrent, s'inscrit dans celle de l'est du bassin parisien : de la sorte, la couche minéralisée aalénienne repose en conformité sur l'étage terminal du Lias, le Toarcien.

Elle est progressivement recouverte d'est en ouest par la succession des formations calcaires et marneuses du Jurassique moyen, constituant ainsi la série sédimentaire complète du Dogger.

Plus à l'ouest, les formations marno-calcaires du Dogger sont elles-mêmes recouvertes par les argiles de la Woëvre (Callovo-Oxfordien), puis par les calcaires oxfordiens formant le relief de la côte de Meuse.

2.3.2. Les nappes d'eau souterraines sur le territoire du SAGE

La carte de la Figure 4 permet aussi de visualiser les affleurements des principales nappes d'eau souterraine du territoire. Il s'agit :

- **des nappes alluviales** qui accompagnent les grands cours d'eau traversant le territoire, souvent captées pour l'alimentation en eau potable ou industrielle :
 - nappes des alluvions récentes et anciennes de la Moselle,
 - nappes des alluvions de l'Orne et de son affluent le Conroy,
 - nappe des alluvions de la Chiers.
- **des nappes présentes dans des roches calcaires poreuses et/ou fissurées, localement karstiques**, dont les affleurements couvrent l'essentiel du territoire du SAGE (à l'exception de la plaine de la Woëvre), et qui sont captées pour la plupart pour l'alimentation en eau potable ou industrielle :
 - nappe des calcaires de l'Oxfordien, reposant sur les argiles du Callovo-Oxfordien,
 - nappe de la Dalle d'Etain du Bathonien supérieur, reposant sur les marnes à Rhynchonelles,
 - nappe des Caillasses à Anabacia du Bathonien inférieur, reposant sur les marnes à Térébratules,
 - nappe de l'Oolithe de Doncourt, reposant sur les marnes de Gravelotte,
 - nappe de l'Oolithe de Jaumont, reposant sur les marnes de Longwy,
 - nappe principale des calcaires du Dogger (Bajocien inférieur et moyen), reposant sur les marnes micacées,

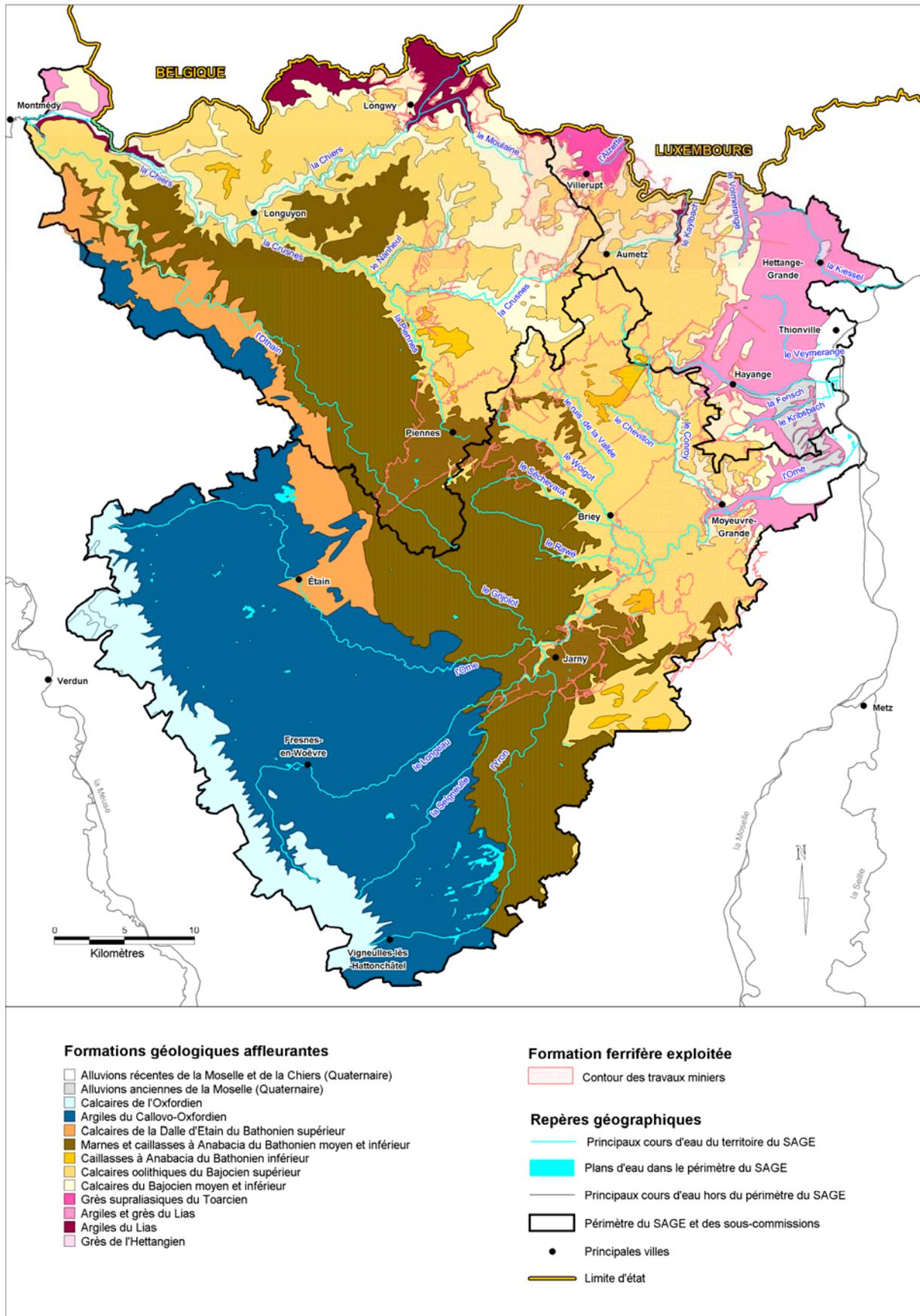


Figure 4 : les formations géologiques affleurant dans le bassin ferrifère.

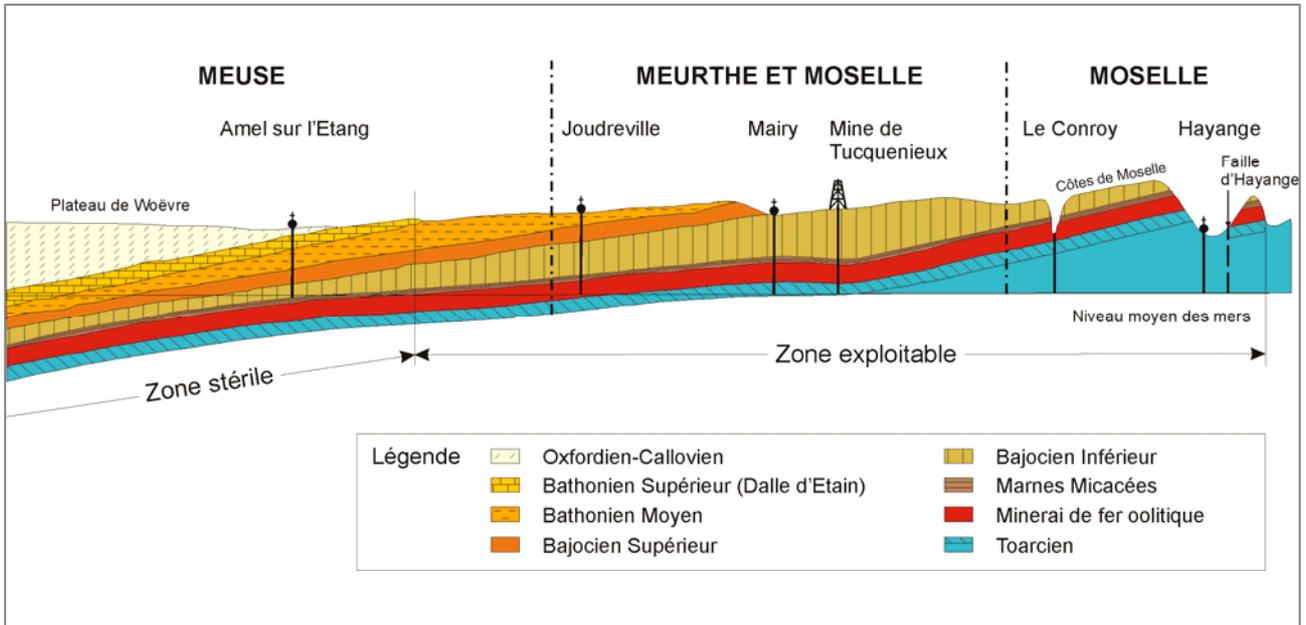


Figure 5 : coupe géologique ouest-est à travers le bassin ferrifère.

- **des nappes présentes dans des roches gréseuses, en limite nord et nord-est du territoire, toutes captées pour l'alimentation en eau potable ou industrielle :**
 - nappe des grès supraliasiques,
 - nappe des grès du Lias,
 - nappe des grès de l'Hettangien.

Deux nappes de première importance n'affleurent pas :

- **les réservoirs miniers** (cf. définition de l'Encadré 3, au début du chapitre 3), représentés sous forme d'un figuré translucide sur la carte de la Figure 4 : cet aquifère totalement artificiel, puisque créé de toutes pièces par l'activité humaine, est capté pour l'alimentation en eau potable et industrielle,
- **la nappe des grès du Trias inférieur** : cette nappe d'importance régionale se situe à grande profondeur (de l'ordre de 500 à 600 m), mais elle est chaude et salée à l'ouest d'un axe Forbach-Metz-Nancy-Vittel ; elle n'est captée sur le territoire du SAGE que pour les besoins en eau des installations thermales d'Amnéville.

2.4. LE DETAIL DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINES AU DROIT DES TRAVAUX MINIERES

Il est important de connaître les grands traits de l'organisation des formations géologiques et hydrogéologiques au droit des travaux miniers, pour comprendre le fonctionnement hydrogéologique et chimique des réservoirs miniers, et pouvoir en tirer

les conséquences en ce qui concerne leur vulnérabilité et leur exploitabilité actuelle et future.

2.4.1. Les formations géologiques au droit des travaux miniers

L'Encadré 2 et la coupe géologique de la Figure 6 donnent le détail de l'organisation des formations géologiques au droit des travaux miniers.

Le substratum du gisement de fer est constitué d'une épaisse couche de marnes du Toarcien, imperméables.

Le minerai de fer lorrain est, lui, de type oolithique : il s'agit d'une roche formée d'une multitude de petits grains arrondis, les oolithes, généralement constitués d'oxydes de fer hydratés et liés entre eux par un ciment de nature carbonatée ou siliceuse. L'épaisseur de la formation ferrugineuse aalénienne oscille entre 30 et 60 m au nord et entre 30 et 40 m au sud. La minéralisation de la roche est très hétérogène et on observe des alternances d'horizons de calcarénites plus ou moins riches en oolithes ferrugineuses, lesquels ont guidé les travaux d'exploitation, et de niveaux marneux. A l'état naturel, cette formation est relativement perméable et aquifère, donnant naissance à quelques sources à flanc de coteau.

Au-dessus de la formation ferrifère se trouve un horizon très peu perméable constitué d'argiles et de marnes : les marnes micacées. Cette couche imperméable constitue, à l'état naturel, le toit de la formation ferrifère.

Le Dogger, surmontant les marnes micacées, est constitué par une alternance d'horizons calcaires et marneux, qui détermine un système de nappes d'eau souterraine superposées, séparées par des écrans imperméables ou peu perméables (toutefois, l'un de ces écrans, les marnes de Longwy, n'est pas toujours présent).

2.4.2. Les nappes d'eau souterraines au droit des travaux miniers

D'un point de vue hydrogéologique, on peut distinguer, au droit des zones exploitées, trois principaux ensembles aquifères superposés (Figure 6 et Encadré 2), ainsi que quelques nappes alluviales de faible importance (alluvions du Conroy et de l'Orne). Du bas vers le haut, on trouve :

- **les réservoirs miniers**, dans la formation ferrifère : cet aquifère, modeste à l'état naturel, devient un véritable « réservoir » d'eau souterrain artificiel, lorsqu'il est percé de galeries ; un réservoir peut être rempli ou non d'eau (il peut être ennoyé, partiellement ennoyé ou non ennoyé),
- **la nappe principale du Dogger** : contenue dans les calcaires à polypiers du Bajocien moyen et dans les calcaires du Bajocien inférieur,
- **plusieurs petites nappes perchées et discontinues**, les nappes des oolithes de Jaumont et de Doncourt, qui reposent sur des niveaux marneux.

2.5. LES PHENOMENES KARSTIQUES

Les plateaux calcaires de Lorraine sont souvent karstifiés (Harmand et Leroux, in collectif, 2006). Les karsts les plus développés se situent d'ouest en est dans le Barrois (calcaires du Tithonien), dans le Haut-Pays (calcaires de l'Oxfordien), et sur les revers des côtes de Moselle (calcaires du Dogger, dont le Pays-Haut) et de Lorraine (calcaires du Muschelkalk).

Les données présentées Figure 7 et Figure 8 proviennent d'un inventaire réalisé par le CEGUM (Centre d'études géographiques de l'université de Metz) en 1999, pour le compte de l'Agence de l'eau Rhin-Meuse. Elles se rapportent aux formations géologiques des calcaires du Bajocien et du Bathonien inférieur et moyen.

Sur le territoire du SAGE, on recense 947 phénomènes karstiques dont 32 gouffres, 21 grottes, 169 dolines et 78 mardelles (Figure 7), ainsi que 86 pertes de cours d'eau et 561 sources (Figure 8).

De nombreuses expériences de traçages ont été menées, permettant d'établir 78 liaisons entre un point d'injection et un ou plusieurs points de restitution des traceurs (Figure 8). Dans 32 cas, les traceurs injectés en surface ont été observés en galerie de mine, ainsi que 12 fois dans une eau d'exhaure minière.

Les phénomènes karstiques de surface inventoriés correspondent aux deux grands types de karst que l'on peut trouver en Lorraine.

- **Le karst de contact lithostratigraphique**, qui se développe à proximité d'une ligne de contact entre une couche calcaire et une couverture argileuse qui la surmonte. Ce type de karst se concrétise sous la forme d'un liseré de formes karstiques (dolines et pertes) situé aux limites de la couverture argileuse. En Lorraine, ce type de karst ne peut se développer que lorsque la couverture argileuse a une épaisseur comprise entre 1 à 2 m minimum et 20 à 30 m maximum (Gamez, 1992, Jaillot et Gamez, 1995). Sur le territoire du SAGE, les formations géologiques concernées par ce type de fonctionnement sont l'oolithe de Jau-mont et l'oolithe de Doncourt (cf. coupe géologique de la figure 15). Ces deux aquifères calcaires sont surmontés respectivement par les niveaux imperméables des marnes de Gravelotte et des marno-calcaires du Bathonien moyen et inférieur (marnes à Térébratules, caillasse à Anabacia et marnes à Rhynchonelles).
- **Le karst de vallée (sous-alluvial)**, qui se développe sous le fond des vallées et est alimenté à partir de pertes dans le lit du cours d'eau. De nombreuses rivières du Pays-Haut sont concernées : Woigot, Fensch, Piennes, Crusnes, Conroy.

Détail des formations géologiques et des nappes d'eau souterraines au droit des travaux miniers.

- **Les marnes à rhynchonelles**, épaisse formation essentiellement marneuse et peu perméable, représentant l'essentiel des niveaux du Bathonien inférieur et moyen.
- **Les caillasses à Anabacia**, complexe peu épais de calcaires et marnocalcaires, aquifères, donnant naissance à de petites sources au-dessus des marnes à térébratules.
- **L'oolithe de Doncourt**, aussi appelée oolithe miliare supérieure du Bajocien supérieur, contenant une nappe perchée secondaire, parfois liée à la nappe principale, et alimentant de nombreuses petites sources au contact des marnes de Gravelotte. Les marnes à térébratules, formation mince et peu perméable, inexistante au sud de bassin, qui débute la série du Bathonien, constitue le toit de l'oolithe de Doncourt.
- **Les marnes de Gravelotte**, épais horizon très peu perméable constituant le toit de l'aquifère principal du Dogger.
- **L'oolithe de Jaumont**, calcaire coquillier du Bajocien supérieur, aquifère, contenant éventuellement une nappe perchée mais pouvant aussi être localement en communication avec l'aquifère principal des calcaires à polypiers du Dogger.
- **Les marnes de Longwy**, mince horizon marno-calcaire semi-perméable et, semble-t-il, parfois discontinu, remplacées au nord par les calcaires siliceux à petits interbanes marneux du Bajocien supérieur, de forte puissance dans la vallée de l'Orne.
- **Les calcaires du Bajocien moyen**, principalement représentés par les calcaires à polypiers, masse puissante de calcaires oolithiques, coquilliers, cristallins, avec des récifs de polypiers, constituant l'aquifère principal du Dogger, très fissuré dans les fonds de vallée, karstifié dans les zones d'affleurement et encore assez perméable sous couverture.
- **Les calcaires d'Ottange et de Haut-Pont** (calcaires sableux et calcaires à entroques) du Bajocien inférieur, présents sous forme de nombreux bancs s'intercalant très progressivement vers le sommet des marnes précédentes. Ces calcaires constituent la base du Dogger.
- **Les marnes micacées (ou marnes de Charennés)**, horizon très peu perméable d'argiles et de marnes gris-bleu, constituant le toit du gisement ferrifère.
- **Le minerai de fer** (« minette »), à teneur en fer comprise entre 30 et 35 %. Il s'agit d'un vaste dépôt sédimentaire d'origine marine constitué de plusieurs strates dont la gangue a un faciès et une composition très variés, mais où le fer se présente régulièrement sous formes d'oolithes, petites concrétions sphériques de 0,5 à 2 mm formées de couches caractéristiques disposées autour d'un noyau de débris minéral.

Encadré 2 : détail des nappes d'eau souterraines au droit des travaux miniers.

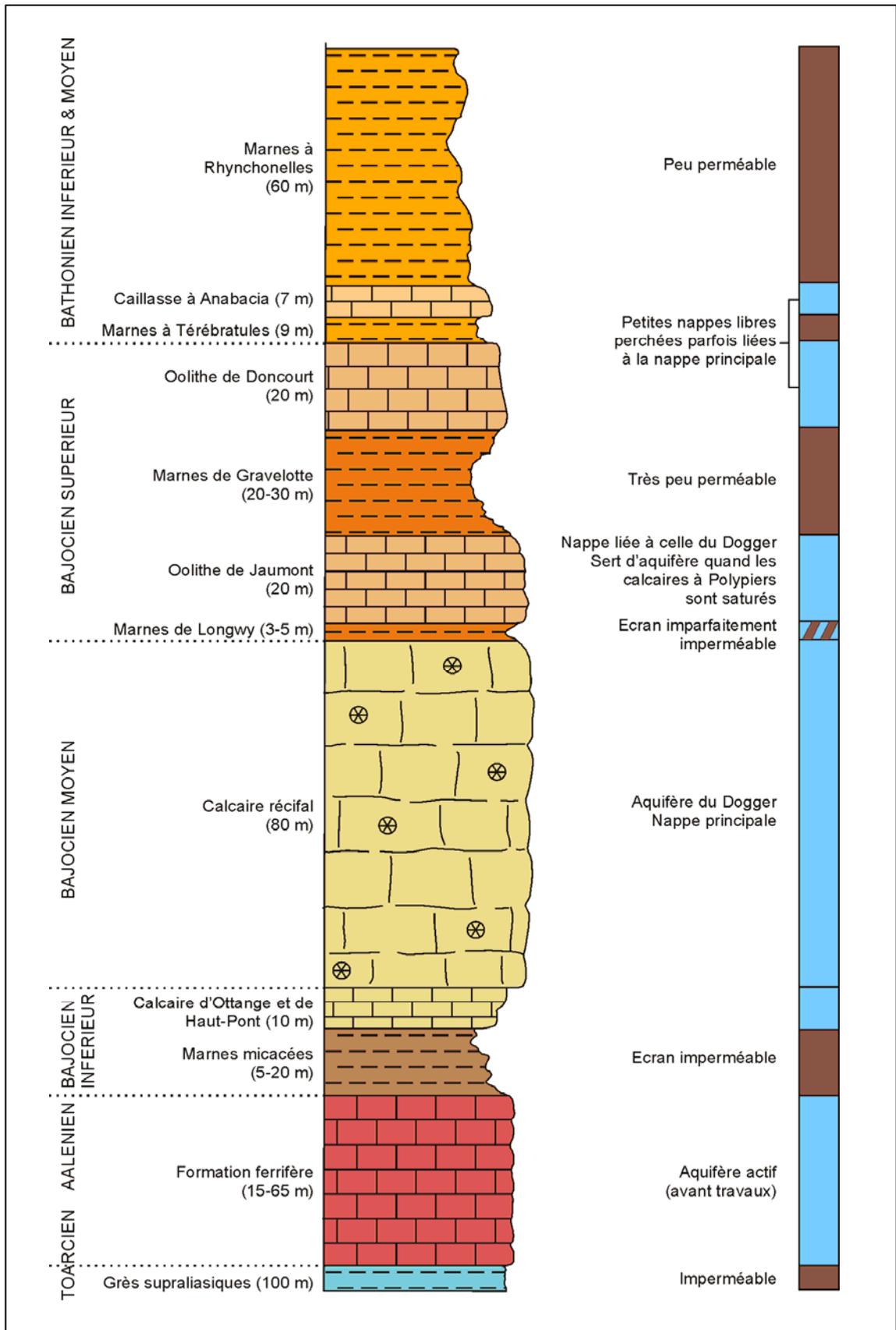


Figure 6 : coupe géologique et hydrogéologique au droit des travaux miniers.

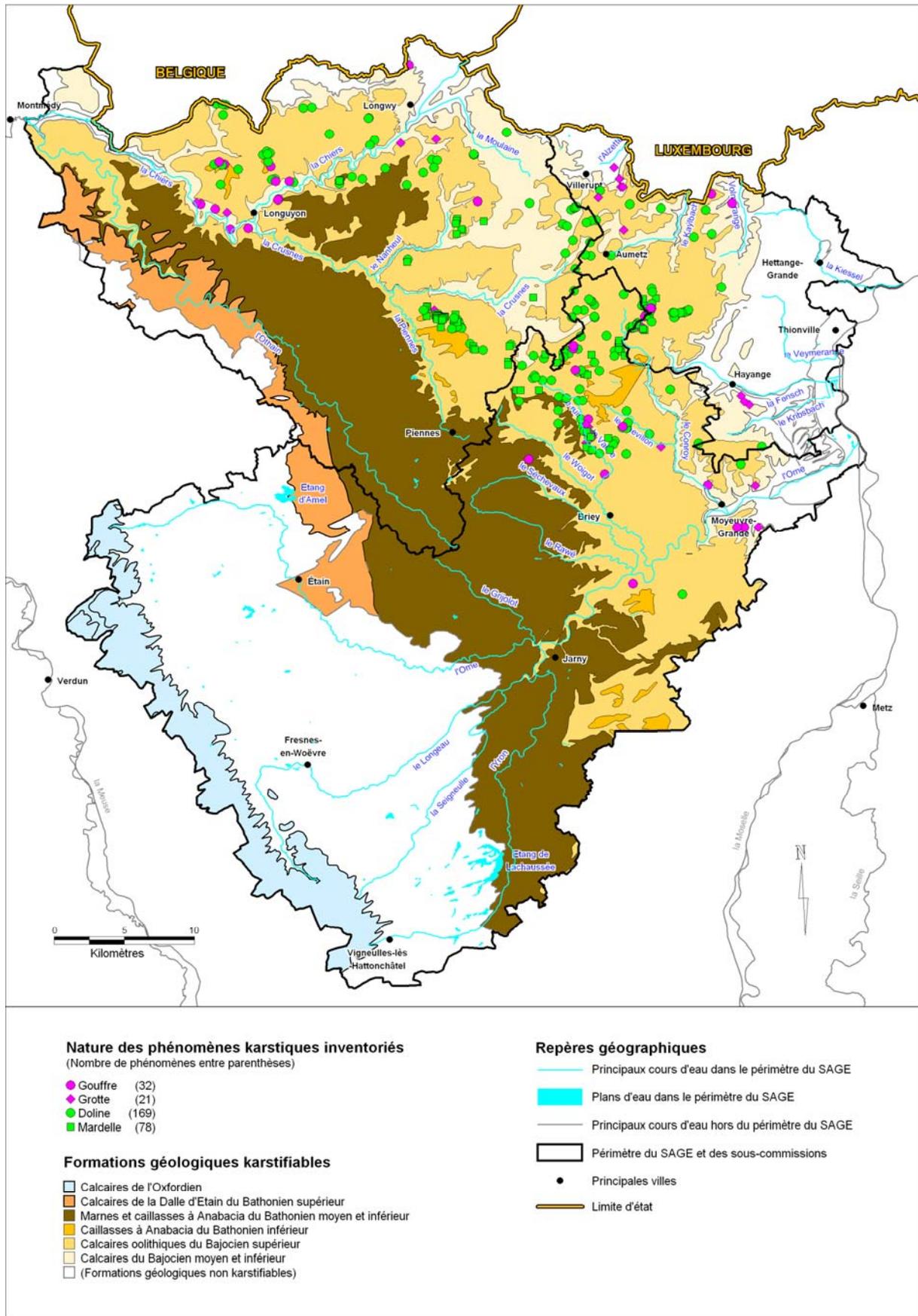


Figure 7 : phénomènes karstiques géomorphologiques (gouffres, grottes, dolines, mardelles).

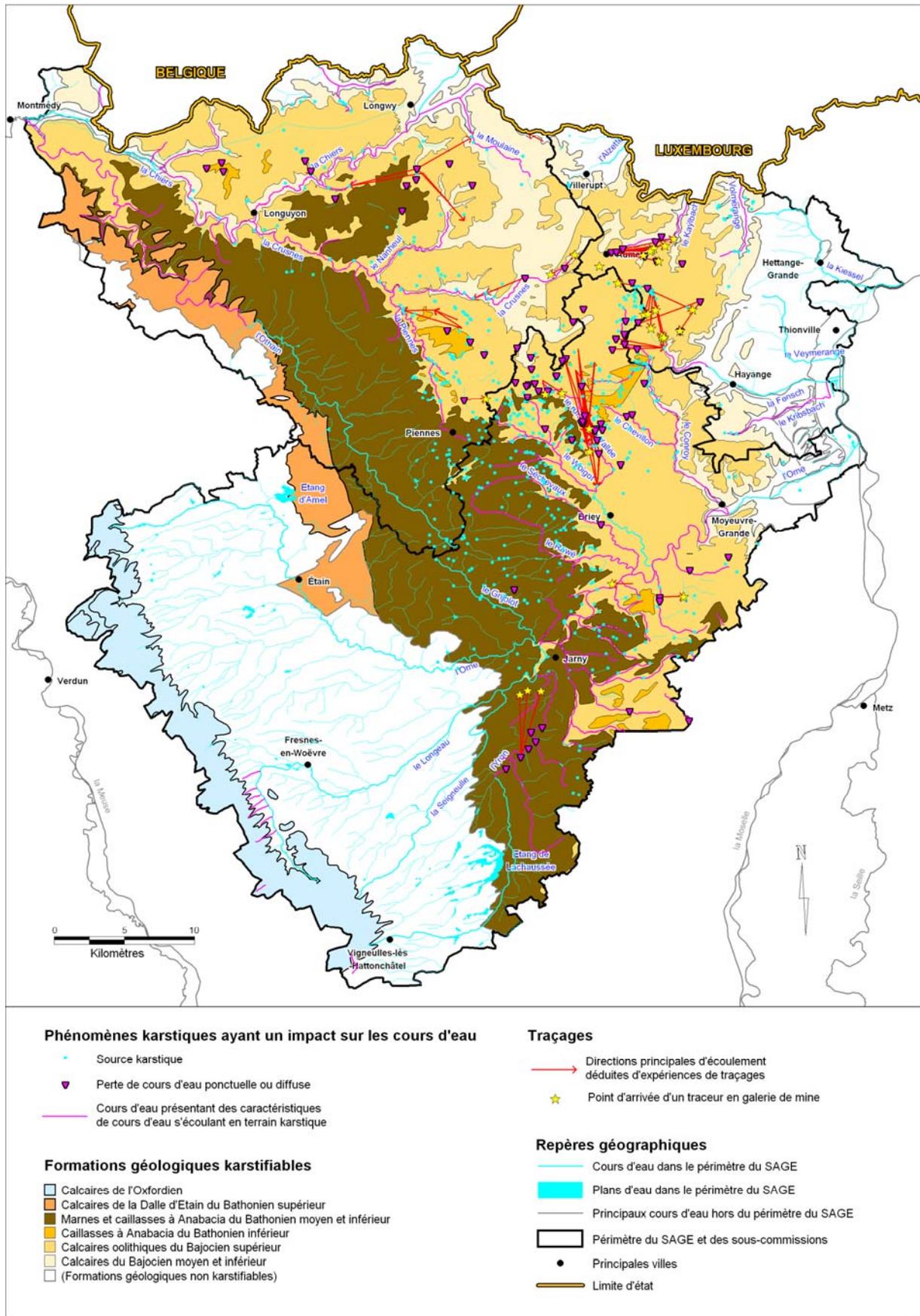


Figure 8 : phénomènes karstiques hydrologiques (sources, pertes, traçages).

3. Les réservoirs miniers : principales caractéristiques et fonctionnement hydrogéologique

Ce chapitre présente une synthèse des caractéristiques et du fonctionnement hydrogéologique des réservoirs miniers, établie grâce à l'interprétation des nombreux résultats de la surveillance des eaux souterraines acquis depuis 1994.

Définition d'un « réservoir minier »

Par convention, un réservoir minier est défini ici comme un aquifère artificiel constitué de l'ensemble des vides laissés par l'homme dans la formation ferrifère. Chaque réservoir est indépendant de ses voisins du point de vue hydraulique (pas ou peu d'échanges d'eau entre réservoirs). Au sein de chaque réservoir, on distingue :

- la zone ennoyée (qui n'est pas toujours présente), dans laquelle les anciennes galeries minières abandonnées sont remplies d'eau, et qui déborde généralement vers un cours d'eau par un ou plusieurs exutoires aménagés spécialement (points de débordement),*
- la zone non ennoyée, qui collecte et conduit l'eau qui s'y infiltre vers la zone ennoyée et/ou vers un ou plusieurs exutoires situés à une cote supérieure à la cote d'ennoyage (si la zone ennoyée existe).*

Encadré 3 : définition d'un réservoir minier.

3.1. DES MILIEUX ARTIFICIELS LIES A L'ACTIVITE MINIERE

3.1.1. Les méthodes d'exploitation du minerai de fer

Après une exploitation de type artisanale des couches minéralisées, qui s'est effectuée à partir des affleurements (du XVII^{ème} au XIX^{ème} siècle), une technique d'exploitation moderne par chambres et piliers est apparue en 1893, consistant à creuser dans la couche de minerai des galeries se recoupant perpendiculairement pour former un maillage carré ou rectangulaire de galeries interconnectées, en laissant en place de larges zones non exploitées (les piliers) qui soutenaient les terrains situés au-dessus (Collectif, 2006). Avec cette méthode, les piliers étaient abandonnés, et on ne récupérait donc qu'une partie du gisement.

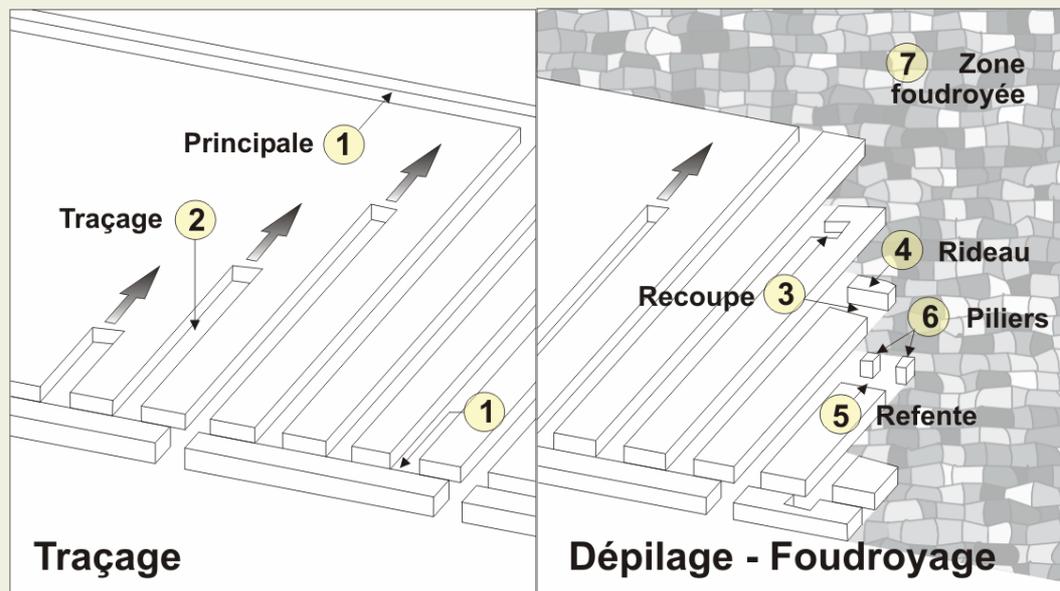
C'est pourquoi la méthode des chambres et piliers abandonnés a évolué vers la méthode dite de traçage et défilage (cf. Encadré 4 et photo Figure 24), qui s'est

généralisée après la seconde guerre mondiale, et qui permettait un taux de récupération plus élevé grâce à la plus faible dimension des piliers résiduels (3 m x 3 m). Ces derniers étaient souvent torpillés en fin d'exploitation, pour assurer la stabilité à long terme des terrains, entraînant le foudroyage (c'est-à-dire l'effondrement) des terrains supérieurs (cf. photo Figure 24).

L'exploitation par traçage, dépilage et foudroyage (d'après Hervé, 1980)

Dans le bassin ferrifère lorrain, l'exploitation d'une mine se déroulait généralement en trois phases principales, de la manière suivante :

Phase de traçage : après avoir divisé la zone à exploiter par le creusement de galeries principales (1), l'exploitant minier crée un réseau de galeries parallèles par creusement dans le minerai en place (2), en délimitant ainsi de longs piliers entre les galeries.



Phase de dépilage : ces longs piliers sont exploités par des creusements perpendiculaires successifs (recoupe (3) et refente (5)), jusqu'à ce que ne subsistent que de maigres piliers résiduels (6).

Phase de foudroyage : le dépilage peut se terminer par le torpillage des piliers résiduels, ce qui provoque la chute du toit : c'est le foudroyage, qui donne naissance à une zone foudroyée (7).

Encadré 4 : l'exploitation par traçage, dépilage et foudroyage.

3.1.2. L'exhaure, conséquence de l'exploitation minière

Les venues d'eau d'infiltration furent toujours un problème majeur pour l'exploitation, puisqu'il fallait sortir de 5 à 20 m³ d'eau pour une tonne de minerai extrait. Ce problème était très fortement lié à la méthode d'exploitation par traçage et dépilage.

En effet, avant l'exploitation minière, la formation ferrugineuse constituait un aquifère indépendant, isolé de la nappe des calcaires du Dogger par l'écran imperméable constitué par les marnes micacées.

Cependant, consécutivement à la pratique du foudroyage, l'écran imperméable sus-jacent constitué des marnes micacées a été fracturé sur une grande surface : la surface des zones foudroyées représente en moyenne 40 à 50 % de la surface exploitée selon les réservoirs (Vaute *et al.*, 2005). Au droit des zones exploitées, la quasi-totalité de la nappe principale du Dogger a ainsi été drainée vers les exploitations minières par l'intermédiaire des zones foudroyées (Figure 12 et Encadré 5). Le développement de l'activité minière, particulièrement depuis le milieu du XX^{ème} siècle, n'a alors pu s'effectuer que grâce à la mise en œuvre de pompages permanents « d'exhaure minière » destinés à maintenir les travaux miniers au sec. Des galeries de drainage et des albraques (bassins d'accumulation spécialement aménagés, ou zones d'anciens travaux miniers partiellement noyées) ont dû être réalisés en fond de mine, ainsi que des puits d'exhaure en surface. De plus, des interconnexions hydrauliques entre les mines ont été créées au fur et à mesure des regroupements de sièges d'exploitation au sein de chaque bassin.

L'exhaure moyenne annuelle du bassin ferrifère (Figure 9 à Figure 11) est évaluée à 179 millions de m³ d'eau par an pour la période 1946-1993 (donc avant l'arrêt des exhaures des réservoirs Centre, Sud et Nord), pour un minimum de 70 (1946) et un maximum de 291 millions de m³/an (1981). Sur cette même période, le volume moyen mensuel d'exhaure s'est élevé à près de 15 millions de m³, pour un volume minimal mensuel de 3 millions de m³ (novembre 1947), et un volume maximal mensuel de 43 millions de m³ (janvier 1982). Pour la période 1987-1993, c'est-à-dire lorsque les 3 grands réservoirs Sud, Centre et Nord étaient seuls à être encore exhaérés, la moyenne annuelle s'est élevée à 177 millions de m³, pour un minimum de 149 millions de m³ (1992) et un maximum de 229 millions de m³ (1987).

Un tel prélèvement d'eau souterraine a considérablement bouleversé les équilibres naturels, tant pour le milieu souterrain que pour les écoulements superficiels. Le rabattement du niveau de la nappe d'eau souterraine (Figure 12 et Encadré 5) a entraîné, en de nombreux endroits, une déconnexion hydraulique entre la nappe principale du Dogger et les nappes des niveaux calcaires supérieurs, qui sont devenues « perchées ». Certaines d'entre elles, ainsi que d'autres naturellement perchées près de la bordure est des côtes de Moselle, ont disparu à cause de l'intense fracturation engendrée par l'exploitation minière dans leur soubassement imperméable.

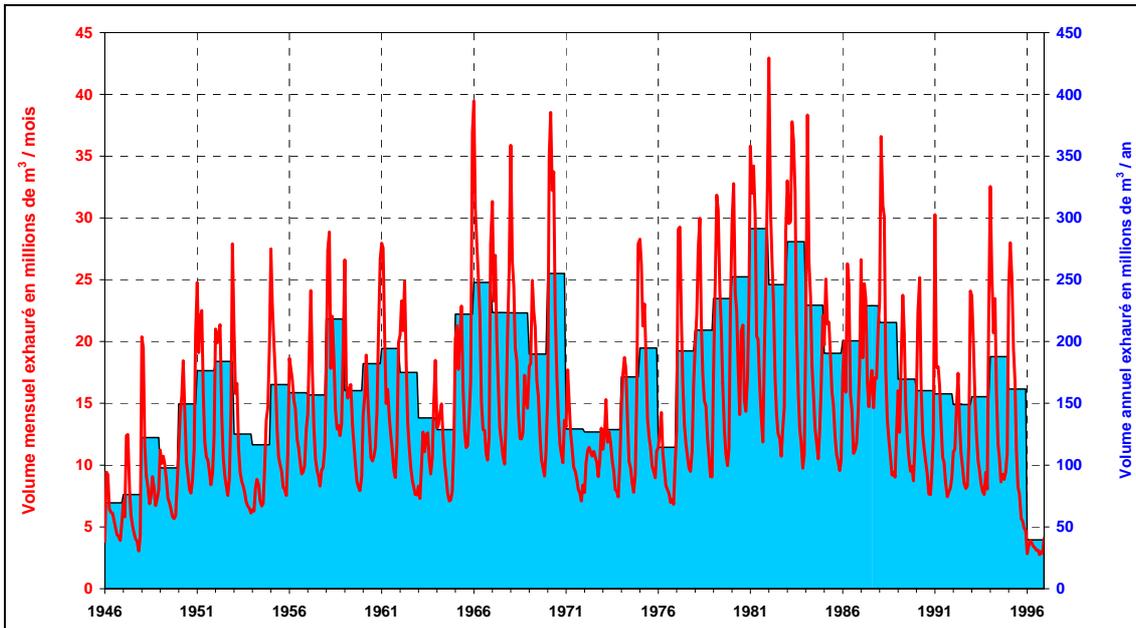


Figure 9 : évolution du volume total d'eau exhaurée entre 1946 et 1996.

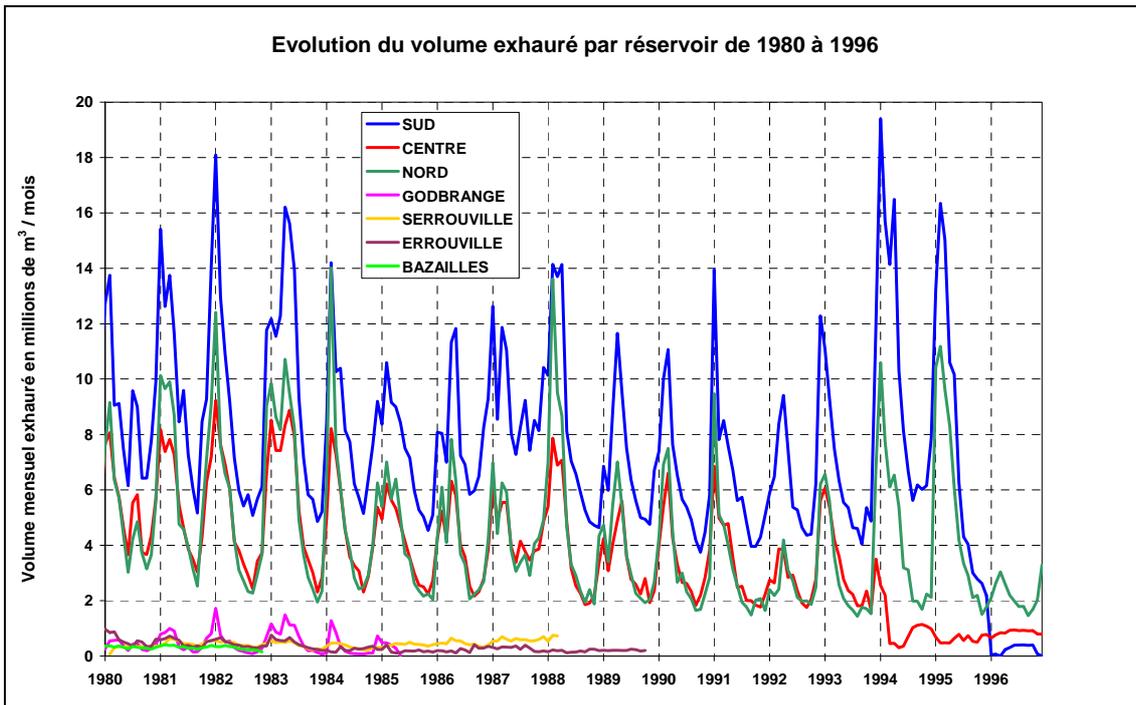


Figure 10 : évolution du volume d'eau exhaurée par réservoir minier entre 1980 et 1996.

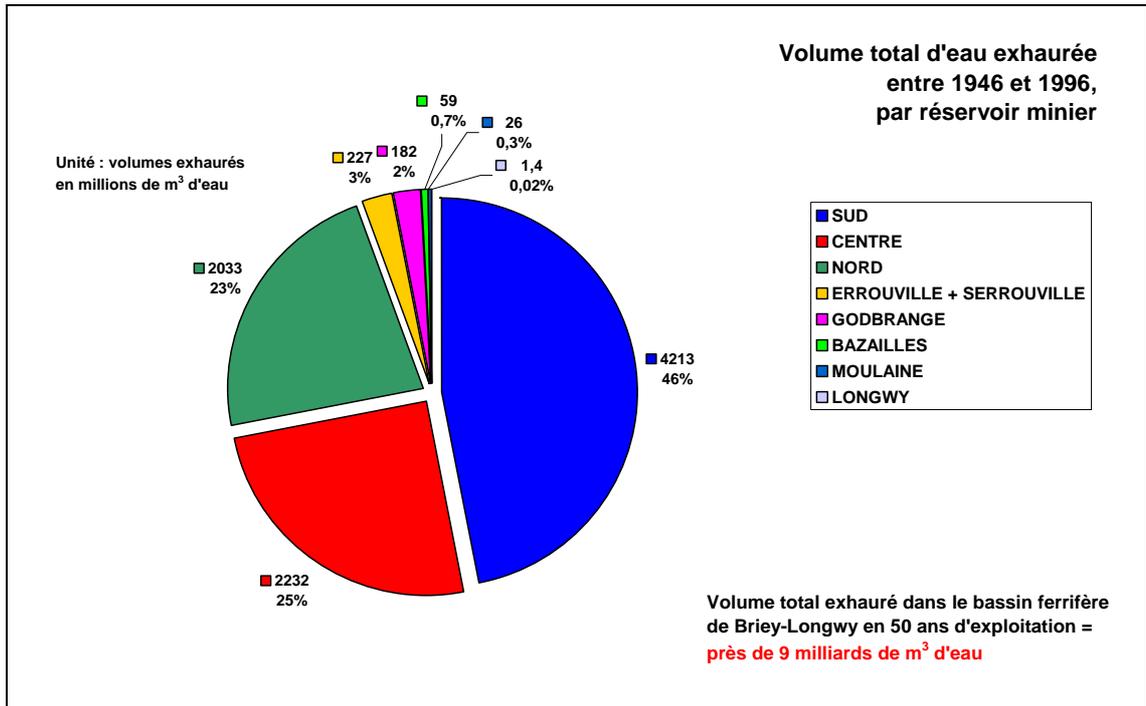


Figure 11 : répartition du volume total d'eau exhaurée entre 1946 et 1996, par réservoir minier.

Ces phénomènes ont fait disparaître des sources, asséchant ainsi le cours amont de certaines rivières. Ils peuvent aussi avoir causé la diminution du débit de certaines rivières par l'apparition de pertes dans des orifices karstiques préexistants et devenus drainant, suite à la baisse du niveau de base des nappes d'eau souterraine. Par ailleurs, le rejet massif des eaux d'exhaure dans les rivières de la région a conduit, par endroits, à une artificialisation du débit des cours d'eau, déjà notablement perturbés par les changements du niveau des nappes d'eau souterraine.

Une faible proportion (10 % environ) de cette eau d'exhaure, facilement disponible, a été utilisée pour l'alimentation en eau potable des communes du bassin ferrifère (soit environ 350 000 habitants), ainsi que pour des usages industriels.

La prolongation de cet état de fait pendant quelques dizaines d'années a rendu possible l'installation d'un nouvel équilibre « dynamique » artificiel, auquel la population s'est habituée. La fermeture des exploitations minières a entraîné l'arrêt des exhaures et la remise en cause de cet équilibre dynamique.

Le fonctionnement hydrogéologique des réservoirs miniers (Figure 12 ci-contre)

1) Pendant la période d'exhaure, des nappes d'eau souterraines réduites à l'état de lambeaux (schéma du haut)

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

Au-dessus des travaux miniers, la nappe des calcaires du Dogger était généralement réduite à l'état de lambeaux, lorsqu'elle n'avait pas complètement disparu, au droit des zones foudroyées notamment (Ramon, 1976 ; Maillou, 1994). L'abaissement généralisé du niveau de la nappe au droit des travaux s'est propagé à plusieurs km à l'extérieur des limites des exploitations, constituant un cône de rabattement de grande ampleur.

2) Après l'ennoyage, des nappes d'eau souterraines en partie reconstituées, et un nouveau fonctionnement hydrogéologique original (schéma du bas)

Après l'arrêt des exhaures, l'eau d'ennoyage a rempli les vides artificiels laissés par l'activité minière : les plus grands vides sont ainsi constitués par le réseau de galeries interconnectées ; les plus petits sont les pores de dimension variée se trouvant dans les amas rocheux des zones foudroyées. La remontée du niveau d'ennoyage des différents réservoirs a été limitée par la présence d'un ou plusieurs points de débordement, qui jouent le rôle de déversoirs des eaux d'ennoyage vers les cours d'eau. Généralement, le niveau d'un réservoir ne peut pas dépasser de beaucoup la cote du seuil de son point de débordement le plus bas, même en période de hautes eaux. En effet, la plupart des points de débordement sont aménagés pour laisser passer des débits de crue très importants, ce qui limite la possibilité d'élévation du niveau du réservoir.

La « nappe » d'un réservoir minier présente une autre particularité hydrogéologique : son niveau piézométrique est pratiquement identique en tout point du réservoir (cf. la ligne rouge horizontale du schéma de la Figure 12). Le très faible gradient piézométrique du réservoir (c'est-à-dire la très faible « pente » du niveau de l'eau dans le réservoir) résulte de la très faible résistance à l'écoulement de l'eau dans le réseau de galerie : autrement dit, l'eau en mouvement dans les galeries n'est pas suffisamment « freinée » par les frottements sur les parois pour acquérir une « pente » mesurable (on dit que les pertes de charge sont très faibles).

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

Encadré 5 : le fonctionnement hydrogéologique des réservoirs miniers.

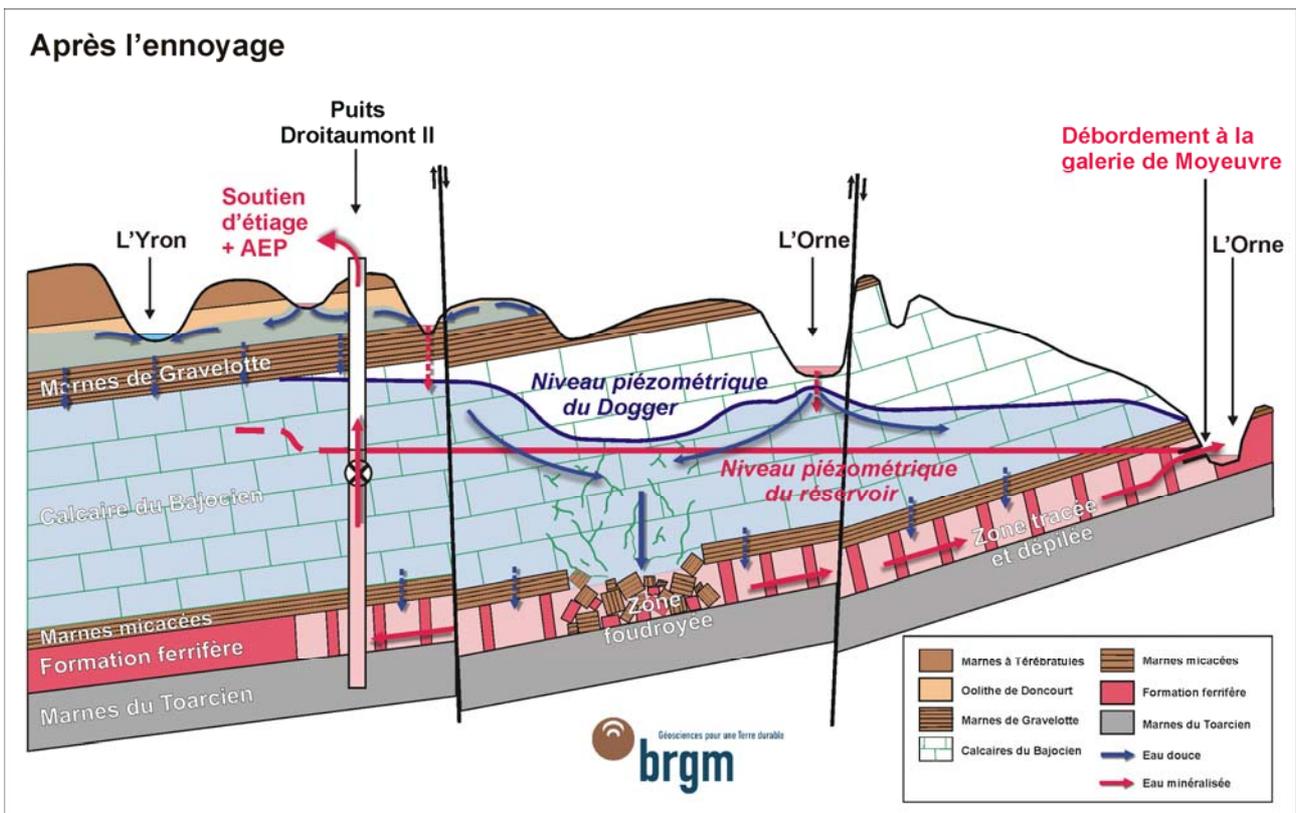
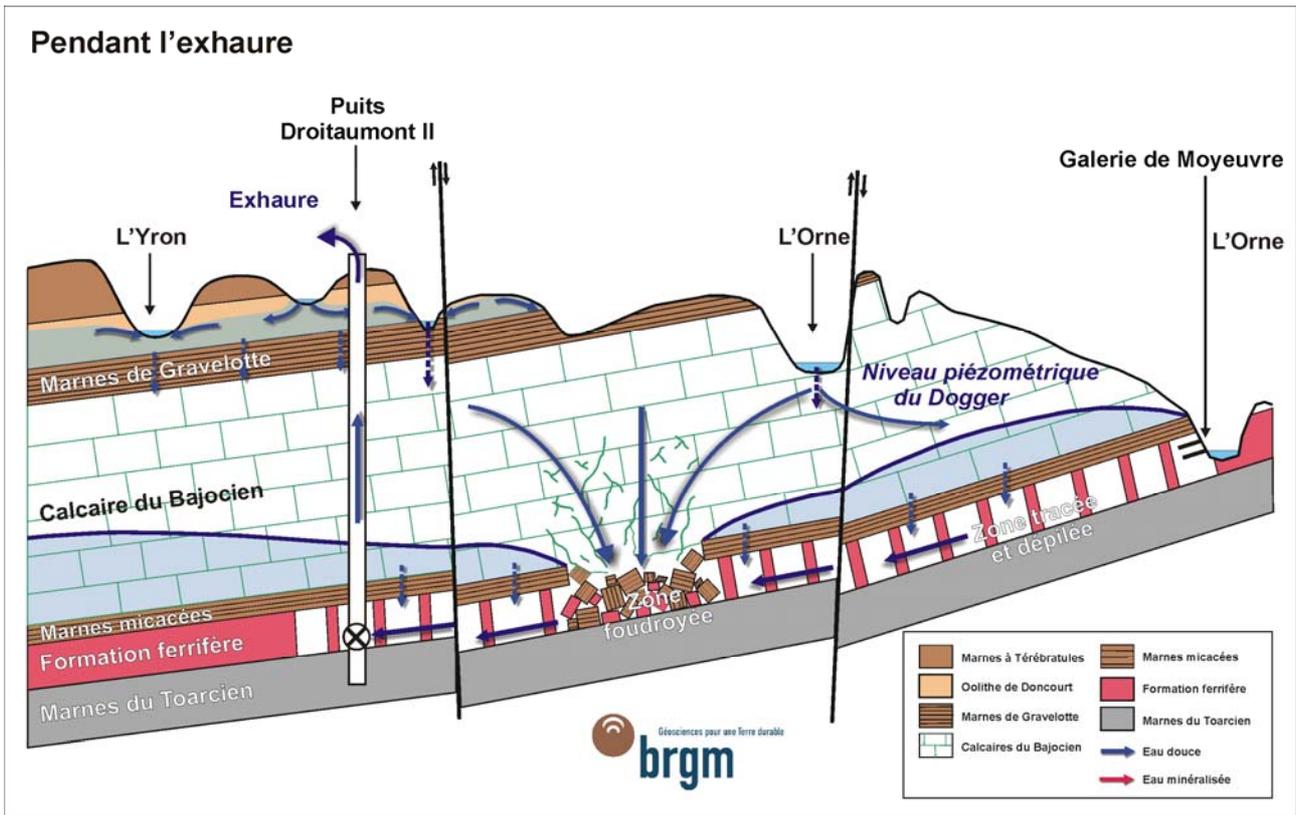


Figure 12 : schéma conceptuel du fonctionnement hydrogéologique d'un réservoir minier, avant et après envoyage (exemple du réservoir Sud, coupe schématique SO-NE).

3.1.3. L'ennoyage des mines, après l'exploitation

Au cours du temps, l'abandon progressif de l'activité d'extraction dans certains secteurs d'un même bassin hydraulique a nécessité la restructuration du réseau d'exhaures minières. Le ou les exploitants miniers qui poursuivaient l'extraction devaient généralement prendre en charge l'exhaure en provenance des mines abandonnées appartenant aux exploitants ayant cessé leur activité, afin d'éviter un ennoyage généralisé de tout le bassin.

L'arrêt des exhaures minières d'un réservoir donné ne pouvait donc avoir lieu que lorsque le dernier exploitant avait décidé de cesser d'exploiter sa concession minière, et obtenu les autorisations administratives nécessaires. Les pompages d'exhaure des 3 plus grands réservoirs ont été arrêtés à partir de 1994 : février 1994 pour le réservoir Centre, mars 1995 pour le réservoir Sud, décembre 2005 pour le réservoir Nord (cf. le Tableau 2 pour plus de détails sur les dates d'ennoyage et de débordement de tous les réservoirs miniers).

Dans un réservoir, l'arrêt des pompages a pour conséquence l'ennoyage progressif des galeries minières (cf. photo Figure 24), qui s'accompagne de la reconstitution partielle de la nappe des calcaires du Dogger sus-jacents (Figure 12 et Encadré 5).

Toutefois, la remontée des niveaux piézométriques au sein des différents aquifères superposés ne permet pas de retrouver l'équilibre naturel antérieur à l'exploitation des mines, du fait d'une part de l'existence de points de débordement des réservoirs miniers, qui limitent la remontée dans les réservoirs miniers, et d'autre part de l'existence de profondes modifications infligées aux couches aquifères :

- vides créés par l'exploitation minière, dont on peut estimer le volume à 550 à 600 millions de m³ (zones ennoyées + zone hors ennoyage) pour l'ensemble des réservoirs du bassin de Briey, et communications hydrauliques artificielles dans le réservoir minier ;
- fracturation et mise en communication de l'aquifère des calcaires du Dogger avec les réservoirs miniers par le biais des foudroyages.

La remontée du niveau de l'eau dans ce système hydrodynamique complexe s'effectue jusqu'à ce qu'un nouvel état d'équilibre s'établisse entre les apports d'eau (infiltration d'eau de pluie, pertes de cours d'eau sur le plateau calcaire karstifié, écoulements souterrains transversaux entre les différents bassins d'exhaure) et les débits des sorties (sources, points de débordement et fuites des réservoirs miniers, forages et puits de pompage).

3.1.4. Les conséquences de l'ennoyage

a) *La modification du fonctionnement des nappes d'eau souterraine et des cours d'eau*

Plusieurs phénomènes se produisent :

- déplacement des exutoires des réservoirs miniers et des aquifères sus-jacents : certains cours d'eau voient leur débit baisser du fait de l'arrêt du rejet des eaux d'exhaure, et d'autres augmenter en raison des débordements de la nappe et de l'apparition de nouvelles sources, tout cela dans des proportions parfois considérables,
- apparition d'exutoires des réservoirs miniers non désirés, sous forme de « fuites » situées en dessous des cotes de débordement envisagées, comme cela a pu être observé dans les vallées du Conroy, du Chevillon, et de l'Orne.

b) *La détérioration de la qualité de l'eau souterraine*

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 (cf. Encadré 6).

Cette situation est transitoire, jusqu'à ce que le stock d'eau minéralisée initial soit évacué par le jeu normal des circulations souterraines (les éléments chimiques responsables de la minéralisation de l'eau sont dissous totalement quelques dizaines de jours après le début de l'ennoyage, et ce stock d'élément pouvant être dissous ne se renouvelle pas en milieu ennoyé, cf. Encadré 6). 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.

c) *L'arrêt de la fourniture d'eau aux collectivités et aux industries*

L'arrêt des pompages d'exhaures a imposé à la plupart des collectivités et industries anciennement clientes des exploitants miniers de se rendre indépendantes de cette ressource en eau abondante et facile d'accès ou de mettre en place les moyens de traitement adaptés : ceci a nécessité l'engagement d'études de restructuration des réseaux d'alimentation en eau potable et industrielle, avec pour objectif par exemple la recherche de ressources de substitution (totales ou partielles), la reprise des stations de pompage d'exhaure avec installation de stations de traitement adéquates (nanofiltration), etc.

3.1.5. Les soutiens d'étiage des cours d'eau, après l'arrêt des exhaures minières

L'exploitation minière du bassin ferrifère lorrain a profondément modifié l'équilibre hydrogéologique et hydrologique des nappes et des rivières. Les pompages d'exhaures destinés à maintenir les travaux miniers hors d'eau, ont notamment conduit à une alimentation artificielle des cours d'eau sur certaines têtes de bassin.

L'arrêt progressif de l'activité minière a entraîné l'arrêt progressif des pompages d'exhaures, et provoqué l'envoyage des différents réservoirs (cf. détails du Tableau 2). Des dispositions spécifiques de soutien d'étiage ont été alors mises en œuvre, notamment sur des rivières sensibles bénéficiant antérieurement d'une dilution des pollutions domestiques par les exhaures minières (cf. détails du Tableau 1).

Réservoir	Point de soutien	Indice national	Type de soutien	Cours d'eau soutenu	Débit (l/s)	Condition sur le débit du cours d'eau	Début soutien	Arrêt soutien
SUD	Puits Droitaumont II	01376X0123	Pompage	Yron	150	Débit < 250 l/s	06 / 1995	07 / 2004
	Puits du Chevillon	01373X0136	Gravitaire	Chevillon	100	Sans condition	12 / 1998	02 / 1999
CENTRE	Puits Amermont III	01364X0042	Pompage	Othain	100	Débit < 250 l/s	début 1994	07 / 2004
	Puits Anderny II	01136X0148	Pompage	Ruis. de la Vallée	100	Débit < 150 l/s	08 / 1994	-
	Puits Tucquegnieux I	01372X0196	Pompage	Woigot	200	Débit < 360 l/s	07 / 1994	-
NORD	Galerie de Metzange (ou Charles)	01138X0147	Gravitaire	Veymerange	130	Sans condition	futur	-
	Puits Ottange II	01133X0046	Pompage	Kaylbach	50	?	01 / 1987 (?)	-
SERROUVILLE	Puits Serrouville	01136X0150	Pompage	Crusnes	50	Sans condition	12 / 1994 (?)	-

Tableau 1 : les soutiens d'étiage dans le bassin ferrifère.

3.2. LES PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DES RESERVOIRS MINIERS

La formation ferrifère est affectée par de nombreuses failles orientées principalement nord-est / sud-ouest, qui subdivisent le bassin ferrifère de Briey-Longwy en 4 bassins géographiques de taille plus restreinte, au sein desquels un ou plusieurs réservoirs miniers sont individualisés.

On rappelle qu'un réservoir minier est défini, par convention, comme un aquifère artificiel constitué de l'ensemble des vides laissés par l'homme dans la formation ferrifère, après la fin de l'exploitation du minerai de fer, ce réservoir pouvant être envoyé, partiellement envoyé ou non envoyé (cf. définition de l'Encadré 3).

3.2.1. Des réservoirs miniers de taille variée

Au total, 11 réservoirs miniers sont identifiés dans le bassin ferrifère de Briey-Longwy, dont 3 grands réservoirs de taille supérieure à 97 km² (Sud, Centre et Nord) et 8 petits réservoirs de taille inférieure à 20 km² (Figure 13). Ces 11 réservoirs appartiennent à 4 « bassins » géographiques :

- le **bassin Sud**, comprenant les réservoirs **Sud** (137,4 km²) et **Hayange Sud** (7,1 km²), situé entre les failles d'Amanvillers au sud et d'Avril et de Hayange au nord (carte détaillée de la Figure 15 et coupe de la Figure 17),
- le **bassin Centre**, comprenant les réservoirs **Centre** (125,6 km²) et **Burbach** (7,6 km²), au nord-ouest des failles d'Avril et de Hayange, et au sud des failles de Fontoy et d'Ottange (carte détaillée de la Figure 16 et coupes des Figure 18 et Figure 20),
- le **bassin Nord**, comprenant les réservoirs **Nord** (96,8 km²) et **Errouville** (3,4 km²), limités au sud-est par la faille de Fontoy, et au nord-ouest par la faille de Mercy-Crusnes (cartes détaillées des Figure 21 et Figure 22, et coupe de la Figure 19),
- le **bassin de Longwy**, comprenant les réservoirs **Godbrange** (19,8 km²), **Bazailles** (16,8 km²), **Longwy-Rehon** (5,5 km²), **Serrouville** (3,1 km²) et **Moulaine** (2,6 km²), situés au nord-ouest de la faille de Mercy-Crusnes (carte détaillée de la Figure 23).

Les principales caractéristiques géométriques des réservoirs miniers sont rassemblées dans le Tableau 2 : superficie des travaux miniers, des zones ennoyées et des zones hors ennoyage, estimation des volumes des zones ennoyées.

Réservoir	Superficie travaux miniers	Superficie zone ennoyée	Superficie zone hors ennoyage	% zone hors ennoyage	Volume ennoyé (estimé)	Date début ennoyage	Date premier débordement
	km ²	km ²	km ²	%	millions m ³		
BAZAILLES	16,8	16,8	0	0	?	?	?
BURBACH	7,7	3,0	4,7	60,8	?	?	?
CENTRE	125,6	121,7	3,9	3,1	154	02/1994	03/1999
ERROUVILLE	3,4	3,4	0	0	2,7	10/1989	02/1991
GODBRANGE	19,8	10,4	9,4	47,6	?	fin 86	01/1988
HAYANGE SUD	7,1	3,2	4,0	55,3	?	?	?
LONGWY-REHON	5,5	0	5,5	100	0	sans objet	sans objet
MOULAINÉ	2,6	0	2,6	100	0	sans objet	sans objet
NORD	96,8	50,4	46,4	47,9	53	12/2005	fin 2007 ?
SERROUVILLE	3,1	3,1	0	0	3,6	04/1988	11/1988
SUD	137,4	105,6	31,8	23,2	229	03/1995	11/1998
DIVERS ISOLEES	4,1	0	4,1	100	0	sans objet	sans objet
Total	429,9	317,7	112,2	26,1	> 442,3		

Tableau 2 : principales caractéristiques des réservoirs miniers du bassin ferrifère.

La surface totale de l'ensemble des travaux miniers du bassin ferrifère de Briey est de près de 430 km², dont les $\frac{3}{4}$ sont ennoyés, représentant un volume d'eau supérieur à 450 millions de m³ (certains volumes ne sont pas connus).

Pour chaque réservoir, une synthèse hydrogéologique détaillée est présentée en annexe 1 sous la forme de fiches descriptives : en replaçant les informations dans leur contexte historique, on y détaille successivement l'origine des informations présentées, le contexte géographique et hydrogéologique, et le fonctionnement hydrogéologique du réservoir avant, pendant et après l'ennoyage.

Les informations présentées dans chaque fiche descriptive de l'annexe 1 sont illustrées par la carte et la coupe générale des réservoirs miniers (Figure 13 et Figure 14), et les cartes et coupes détaillées des bassins Sud, Centre, Nord, et Longwy (Figure 15 à Figure 23).

3.2.2. Des réservoirs miniers voulus indépendants du point de vue hydraulique

Les réservoirs miniers sont généralement indépendants du point de vue hydraulique, c'est-à-dire qu'ils n'échangent pas d'eau avec les réservoirs miniers voisins (ou suffisamment peu pour que ces échanges ne puissent pas être quantifiés). Cette indépendance hydraulique des réservoirs peut résulter :

- de l'histoire de l'exploitation minière, qui a laissé par endroit des zones vierges de travaux entre deux réservoirs, en raison de l'existence d'une limite de concession ou d'une teneur en fer du minerai insuffisante,
- de la configuration géologique des terrains exploités : existence d'une faille importante qui limitait l'extension des travaux dans une direction donnée, pendage des couches géologiques qui favorisait l'écoulement des eaux d'infiltration vers un bassin versant de surface plutôt qu'un autre,
- de la mise en place de barrages souterrains dans les travaux miniers, avant l'ennoyage, permettant de diriger les eaux d'ennoyage des différents réservoirs vers les points de débordement choisis, et ainsi de répartir les débits de débordement vers les cours d'eau susceptibles de les accepter ou, au contraire, susceptible d'en avoir besoin (soutien d'étiage, dilution des effluents d'épuration).

3.2.3. Des niveaux d'ennoyage très différents, et la question des relations hydrauliques entre réservoirs voisins

La principale conséquence de cette indépendance hydraulique des réservoirs miniers est l'existence de cotes d'ennoyage très différentes d'un réservoir à l'autre, même s'ils sont très proches géographiquement, puisque la cote d'ennoyage d'un réservoir est généralement contrôlée par son point de débordement le plus bas (cf. Encadré 5).

La coupe hydrogéologique simplifiée de la Figure 14, qui passe par les points de débordement des 3 grands réservoirs Sud, Centre et Nord, permet d'apprécier les différences significatives de niveau d'ennoyage des réservoirs : près de 53 m séparent les cotes d'ennoyage des réservoirs Sud et Centre, et plus de 15 m séparent celles des réservoirs Nord et Centre.

Ces différences d'altitude des niveaux d'ennoyage posent la question des relations hydrauliques entre réservoirs : le réservoir Centre, en position la plus élevée, peut-il fuir à travers les terrains naturels vers les réservoirs voisins situés plus bas : Sud, Nord, Burbach ? Pour tenter d'apporter une réponse à cette question, des piézomètres de surveillance ont été créés par l'Agence de l'eau et la DIREN, respectivement entre les réservoirs Centre et Sud (6 piézomètres), et Centre et Nord (2 piézomètres) (cf. paragraphe « Le réseau de surveillance des eaux souterraines » au chapitre 4).

A ce jour, aucune donnée concernant les niveaux piézométriques ou la qualité des eaux souterraines n'indique l'existence de transfert d'eau entre le réservoir Centre et ses voisins.

Par ailleurs, concernant le réservoir Nord, les études commandées par les exploitants miniers (Babot, 1996, 2004) confirment l'absence de fuites significatives à travers les failles ou les barrages en galerie qui ont permis d'isoler dans le passé ce réservoir de tous ses voisins (Serrouville, Godbrange, Centre, Burbach, cf. fiches descriptives en annexe 1).

Finalement, les seules relations hydrauliques entre réservoirs adjacents sont celles existant entre les réservoirs Godbrange et Moulaine, par l'intermédiaire d'une galerie de liaison (cf. fiche descriptive en annexe 1 et Figure 23), et celles qui existeront entre les réservoirs Errouville et Nord, à travers une zone foudroyée.

3.2.4. Les exutoires aménagés et les résurgences inattendues des réservoirs miniers

Dans chaque réservoir, d'anciens ouvrages miniers spécialement aménagés ont été retenus comme points de débordement de la zone ennoyée, ou comme exutoires aux écoulements se produisant dans la zone située hors ennoyage.

Ces points suffisent (ou suffiront dans le cas du réservoir Nord, qui est en cours d'ennoyage) à rejeter dans le réseau hydrographique un débit suffisant pour stabiliser le niveau piézométrique des zones ennoyées des différents réservoirs. La liste des points de débordement et de fuite de tous les réservoirs miniers est donnée dans le Tableau 3.

Lors de l'ennoyage des réservoirs Sud et Centre, des résurgences se sont créées par infiltration à travers les terrains naturels à des cotes inférieures aux points de débordement aménagés, dans des zones inhabitées de la vallée du Chevillon et du Conroy pour le réservoir Centre, et dans une partie habitée de la plaine alluviale de Moyeuve-Grande pour le réservoir Sud lors du débordement initial par la galerie du tunnel de Moyeuve.

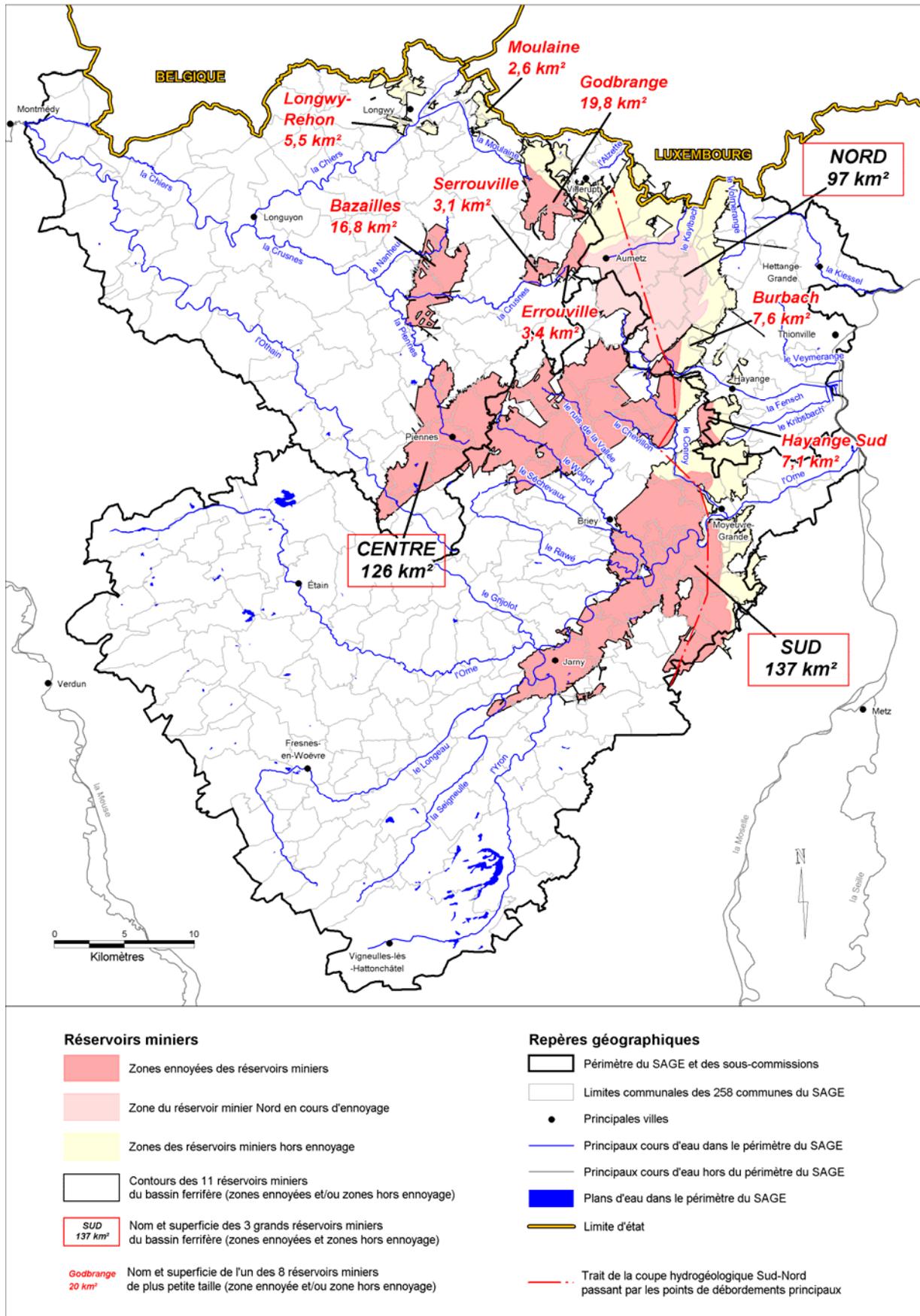


Figure 13 : carte des réservoirs miniers du bassin ferrifère lorrain.

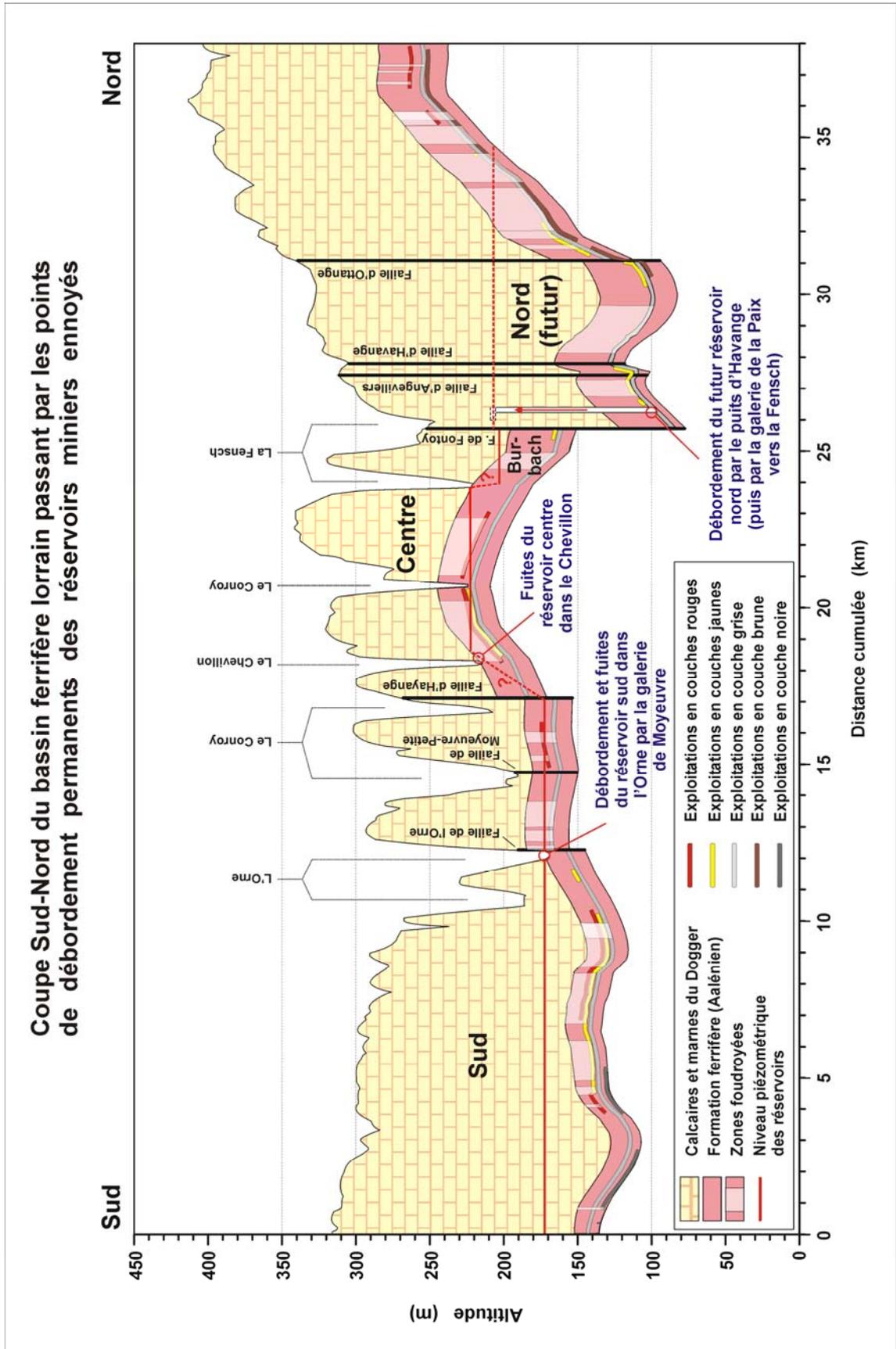


Figure 14 : coupe hydrogéologique sud-nord à travers le bassin ferrifère

Réservoir	Nom de l'exutoire	Indice national	Type d'exutoire	Cote du seuil	Cours d'eau récepteur
BAZAILLES	Puits Bazailles I	01128X0027	Débordement principal		Crusnes
BURBACH	Galerie de Burbach	01138X0172	Débordement principal		Fensch
CENTRE	Galerie du Woigot	01372X0197	Débordement principal	222,74	Woigot
	Galerie de Bois d'Avril	01373X0134	Débordement secondaire hautes eaux	223,15	Conroy
	Galerie de Fontoy	01137X0151	Débordement secondaire hautes eaux	223,50	Fensch
	Puits du Chevillon	01373X0136	Débordement secondaire soutien d'étiage (fermé depuis 1999)	215,50	Chevillon
	Fuites principales du réservoir Centre	01373X0027	Fuites réservoir minier		Chevillon
ERROUVILLE	A travers une zone foudroyée (sera connecté au réservoir Nord après ennoyage de ce dernier)	-	Débordement principal	202,8	(Réservoir Nord)
GODBRANGE	Galerie de Godbrange	01132X4002	Débordement principal	337	Mouline
HAYANGE SUD	Fuites à travers une zone non exploitée	-	Débordement principal		(Réservoir Sud)
LONGWY-REHON	Galerie de Rehon	00898X0051	Exutoire gravitaire capté par CCA Longwy		(Lavoir de Réhon)
MOULAINÉ	Galerie de Mouline	00905X0061	Exutoire gravitaire capté par CCA Longwy + autre		Mouline
NORD	Galerie de Knutange (ou de la Paix)	01138X0184	Débordement principal capté par SOLLAC (débordement futur)	207,47	Fensch
	Galerie de Metzange (ou Charles)	01138X0147	Débordement secondaire soutien d'étiage (débordement futur)	193	Veymerange
	Galerie d'Enrange (ou Charles-Ferdinand)	01141X0024	Exutoire gravitaire capté par la ville de Thionville		
SERROUVILLE	Puits Serrouville	01136X0150	Débordement principal capté par le Fensch Lorraine	303,5	Crusnes
SUD	Galerie du chenal de Moyeuivre (nouvel exutoire)	01374X0273	Débordement principal	168,91	Orne
	Galerie du tunnel de Moyeuivre (ancien exutoire)	01374X0234	Débordement secondaire hautes eaux	172,43	Orne

Tableau 3 : les exutoires des réservoirs miniers du bassin ferrifère.

Dans le cas du réservoir Sud, le traitement de ces fuites génératrices d'inconvénients pour la population (ennoyage de caves) a nécessité la réalisation de travaux de grande ampleur afin de créer un deuxième exutoire à une cote de 3 m inférieure à la cote de l'exutoire initialement prévu. Ces travaux, pris en charge par l'Etat, ont consisté à réaliser une galerie de 140 m de longueur rejoignant d'anciens travaux miniers, un chenal couvert de 600 m de longueur pour évacuer l'eau de débordement vers l'Orne, et un ouvrage de fermeture pour empêcher le déversement de l'Orne dans le réservoir en période de crue.

En ce qui concerne le réservoir Nord en cours d'ennoyage, les différentes expertises (2001) et études (Babot, 2004) menées sur le sujet indiquent qu'il n'est pas attendu de résurgences comparables à celles consécutives à l'ennoyage du réservoir Sud (Préfecture de région Lorraine, 2004), grâce à une configuration géologique favorable.

Si des résurgences inattendues devaient tout de même se produire, l'arrêté du 29 octobre 1998 impose à la société ARBED (Arcelor Luxembourg) de mettre alors « immédiatement en place des mesures propres à en éliminer les effets ».

Tous les exutoires, ainsi que le point de fuite du réservoir Centre (les fuites du réservoir Sud ayant été supprimées) sont figurés sur les cartes et les coupes des Figure 15 à Figure 23. On rappelle aussi que pour chaque réservoir, le détail concernant l'ensemble des exutoires et des points de fuites existants ou ayant existé figure dans les fiches descriptives de l'annexe 1.

3.2.5. Des réservoirs miniers compartimentés en sous-unités hydrogéologiques

L'organisation interne des 4 plus grands réservoirs du bassin ferrifère (Sud, Centre, Nord et Godbrange) a été précisée lors de la réalisation d'une étude de synthèse hydrogéologique des réservoirs miniers, réalisée en 2005 (Vaute *et al.*, 2005).

Grâce à l'examen des dossiers d'abandon, à l'analyse cartographique des plans d'exploitation de chacune des couches exploitées, et sur la base du schéma conceptuel de fonctionnement hydrogéologique présenté sur la Figure 12, il a été possible de délimiter des « sous-unités hydrogéologiques » en zone noyée des réservoirs.

Ces sous-unités hydrogéologiques (Figure 15 à Figure 23) sont des secteurs de réservoir constitués essentiellement de galeries, isolés de leurs voisins par des limites peu (ou moins) perméables constituées par :

- les zones non exploitées,
- les failles réputées imperméables,
- les zones foudroyées, qui sont d'une part des zones de beaucoup plus faible perméabilité que les zones de galeries, et d'autre part des zones d'alimentation des réservoirs dans lesquelles les écoulements descendants depuis les calcaires du Dogger rendent en général plus difficile les échanges latéraux entre sous-unités hydrogéologiques voisines.

Les sous-unités hydrogéologiques sont reliées à certaines de leurs voisines, latéralement ou verticalement, par des liaisons directes par galeries, travers-bancs (galeries de liaison entre deux couches exploitées superposées) et bures (puits verticaux), qui ont été dénombrées dans l'étude.

Des schémas de synthèse en trois dimensions permettent la visualisation immédiate des communications hydrauliques entre sous-unités. Ce type d'outil peut se révéler précieux dans la compréhension détaillée du fonctionnement hydrogéologique de chaque réservoir.

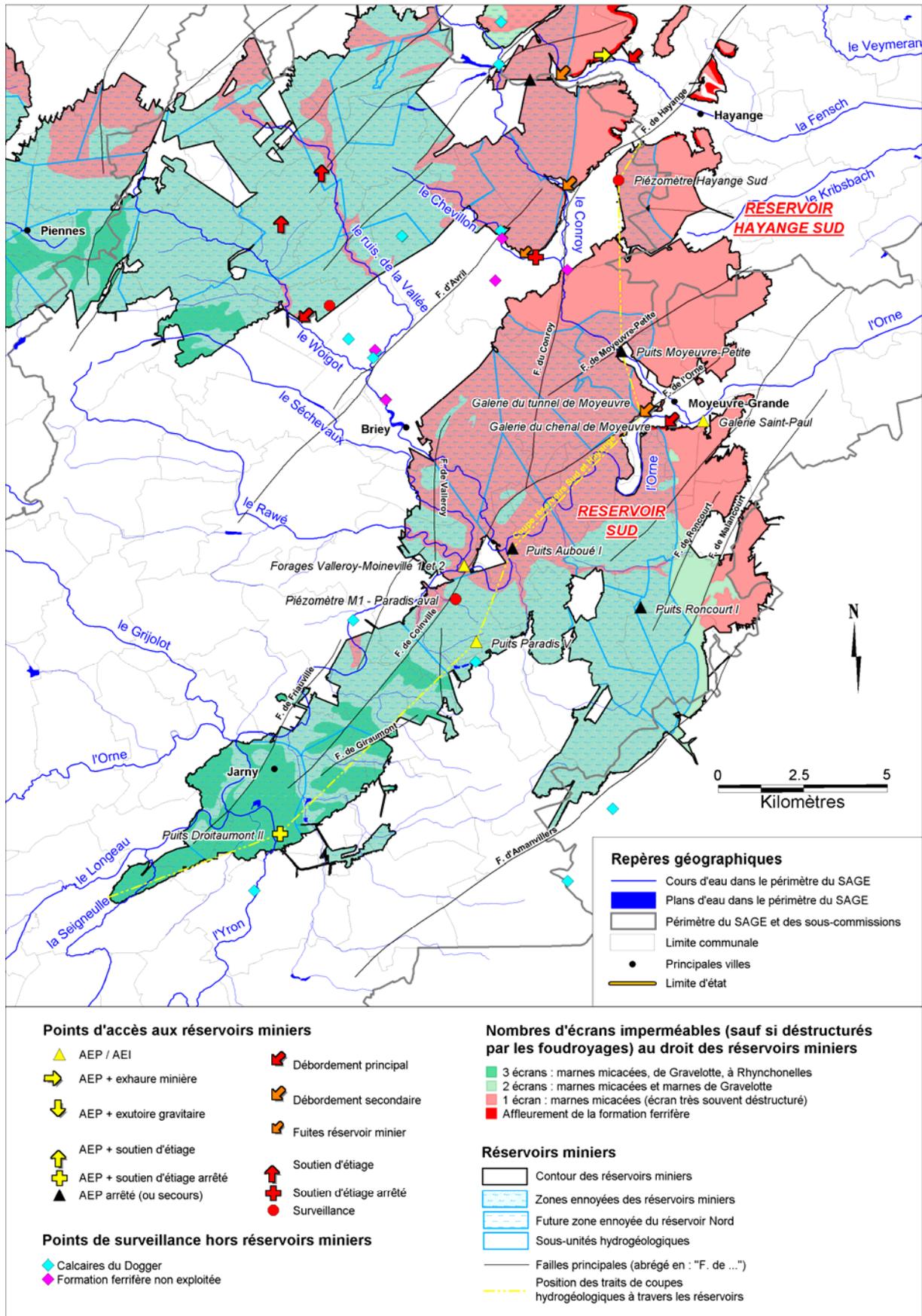


Figure 15 : carte détaillée des réservoirs Sud et Hayange Sud.

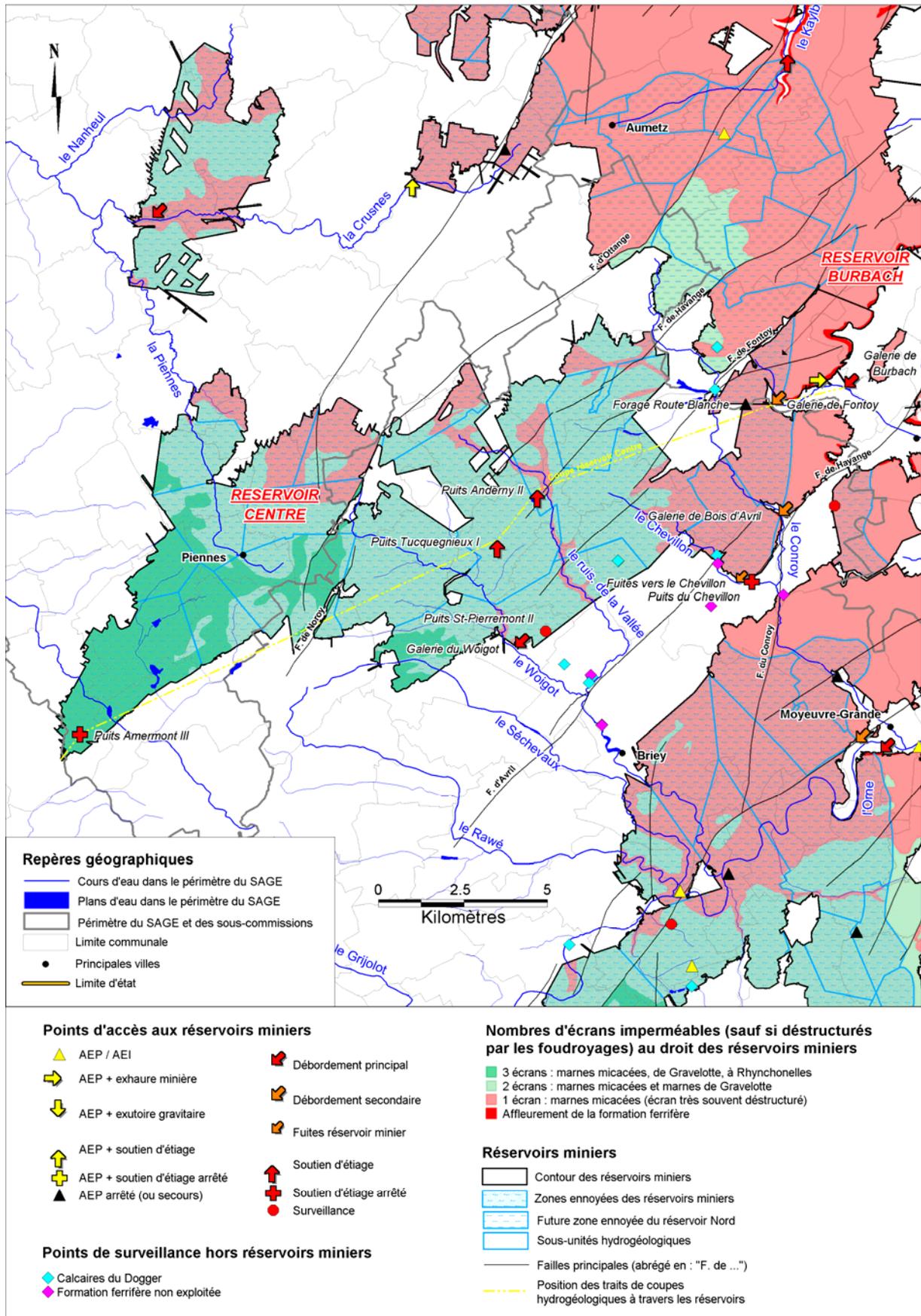


Figure 16 : carte détaillée des réservoirs Centre et Burbach.

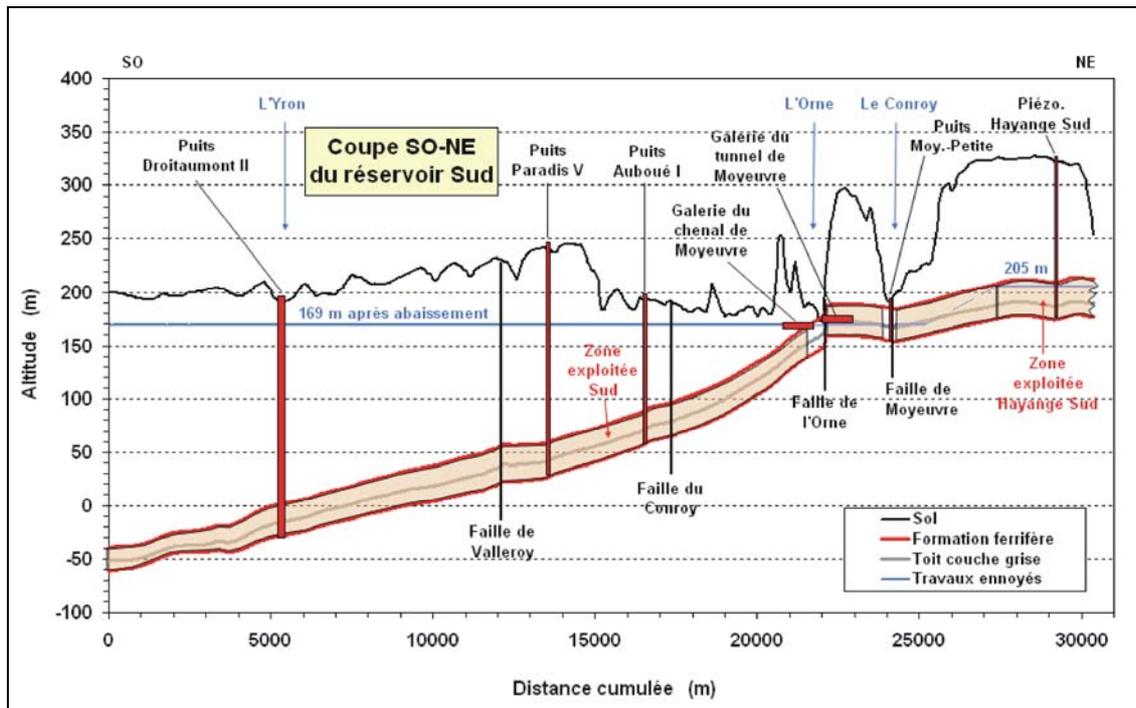


Figure 17 : coupe hydrogéologique simplifiée à travers le réservoir Sud.

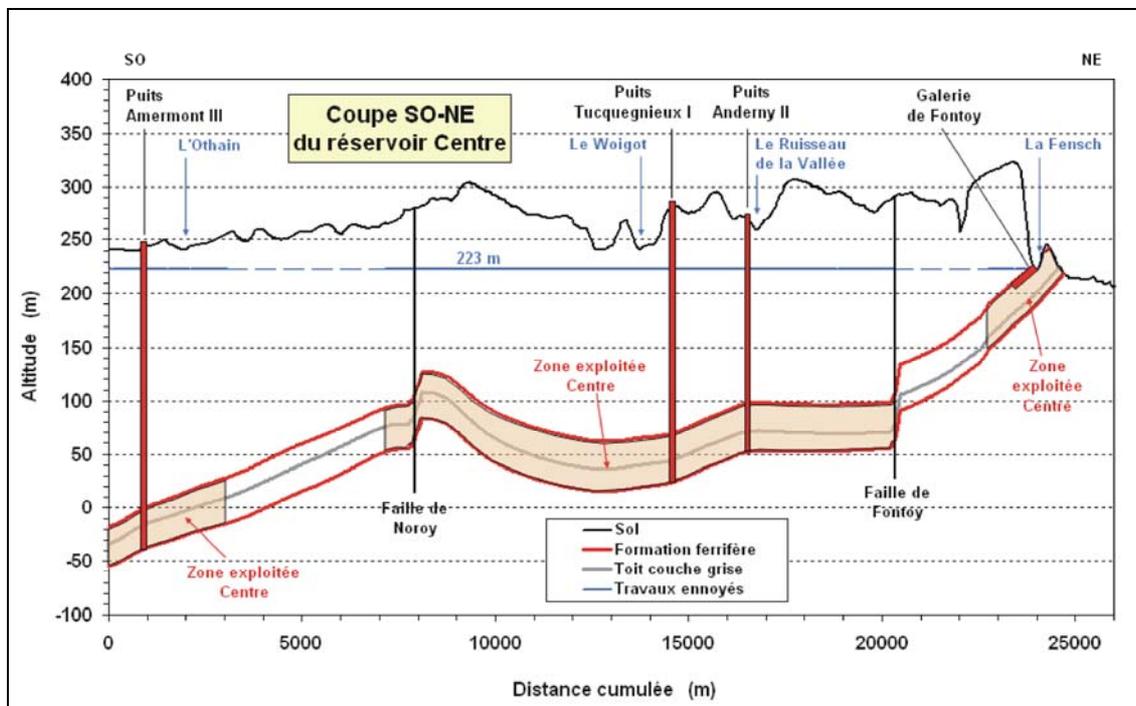


Figure 18 : coupe hydrogéologique simplifiée à travers le réservoir Centre.

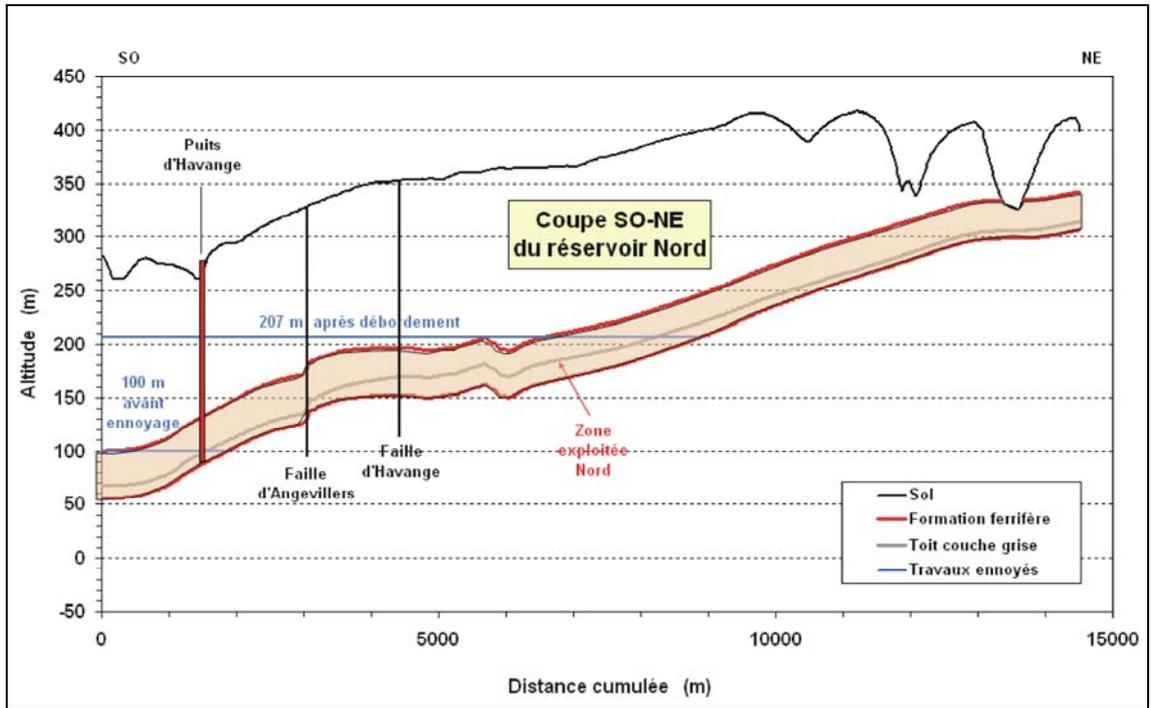


Figure 19 : coupe hydrogéologique simplifiée à travers le réservoir Nord.

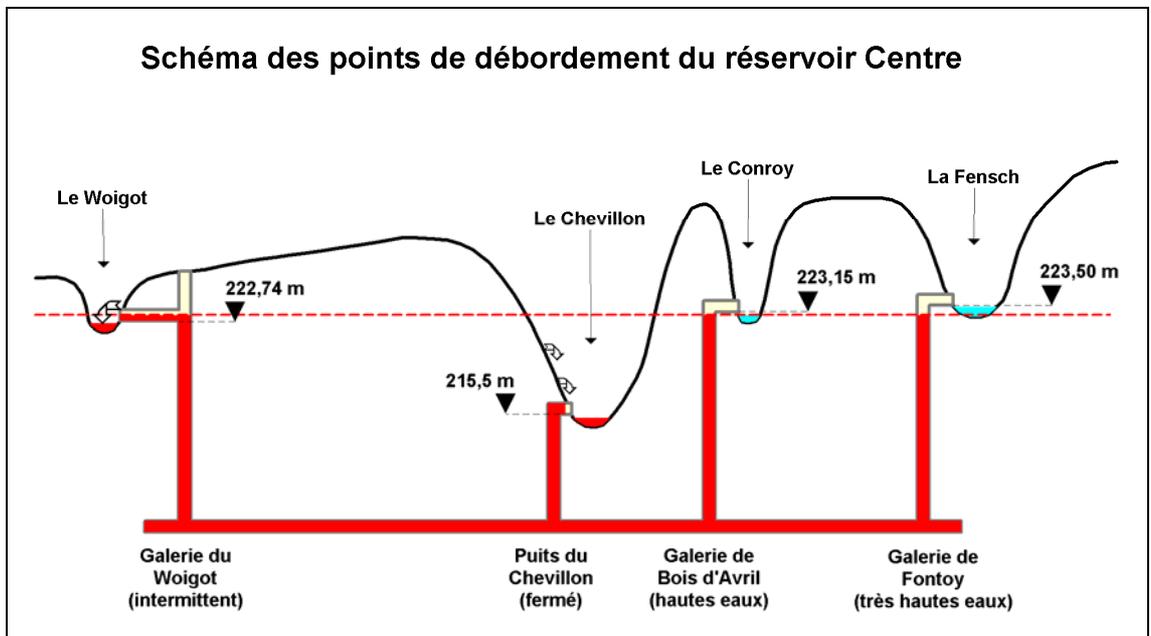


Figure 20 : schéma de fonctionnement du débordement du réservoir Centre.

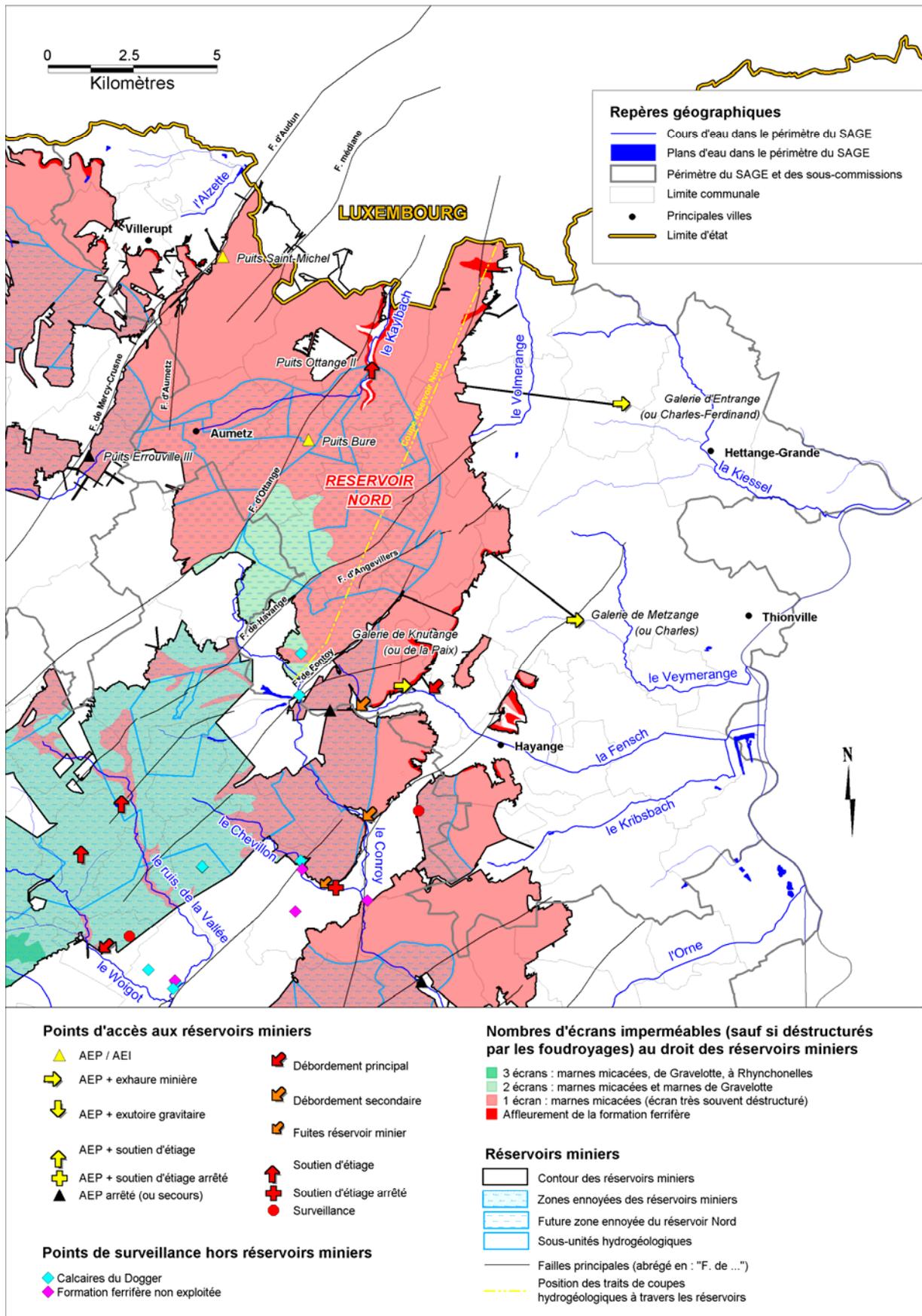


Figure 21 : carte détaillée du réservoir Nord en 2005, avant le début de son ennoyage.

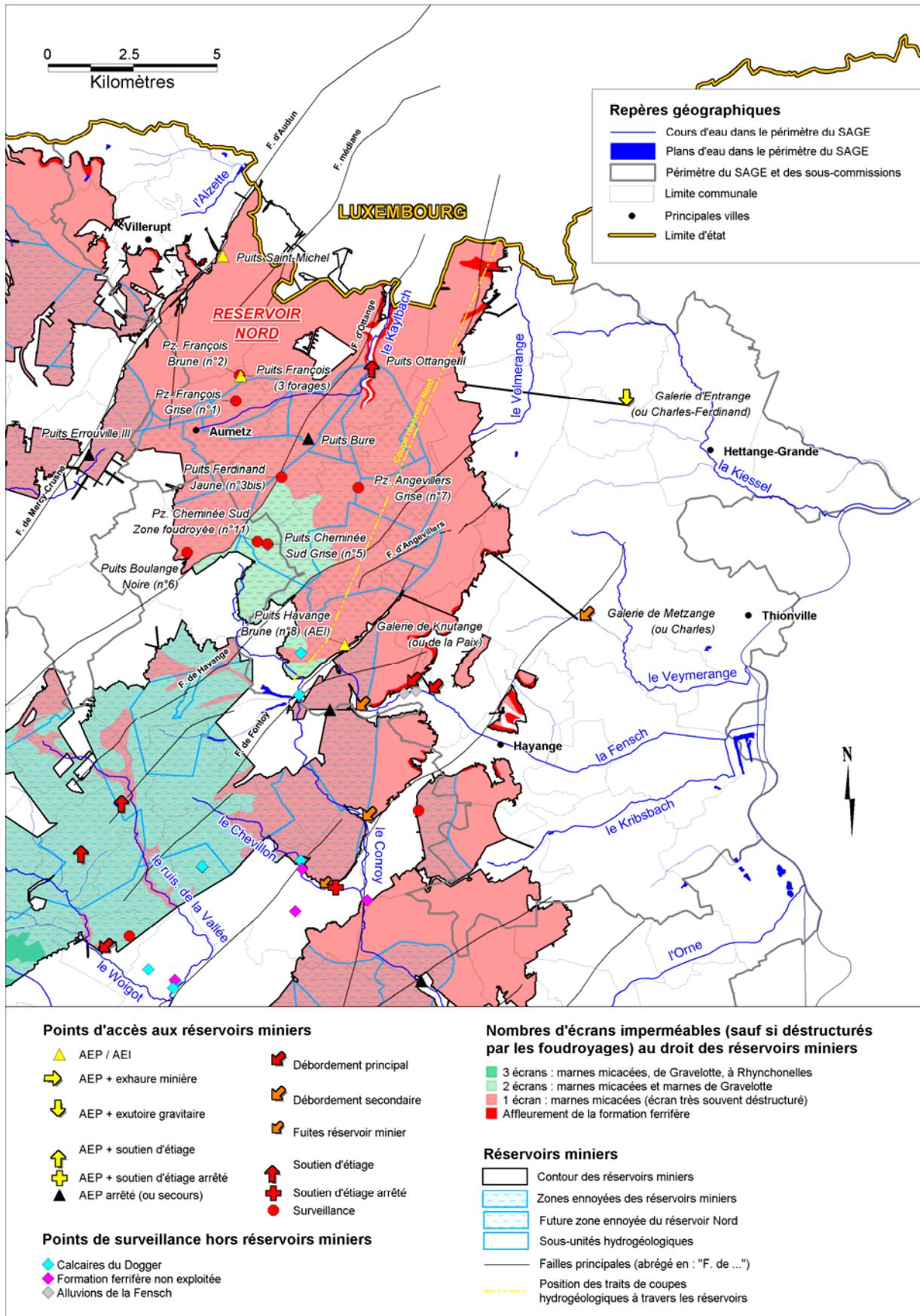


Figure 22 : carte détaillée du réservoir Nord en 2006, après le début de son ennoyage.

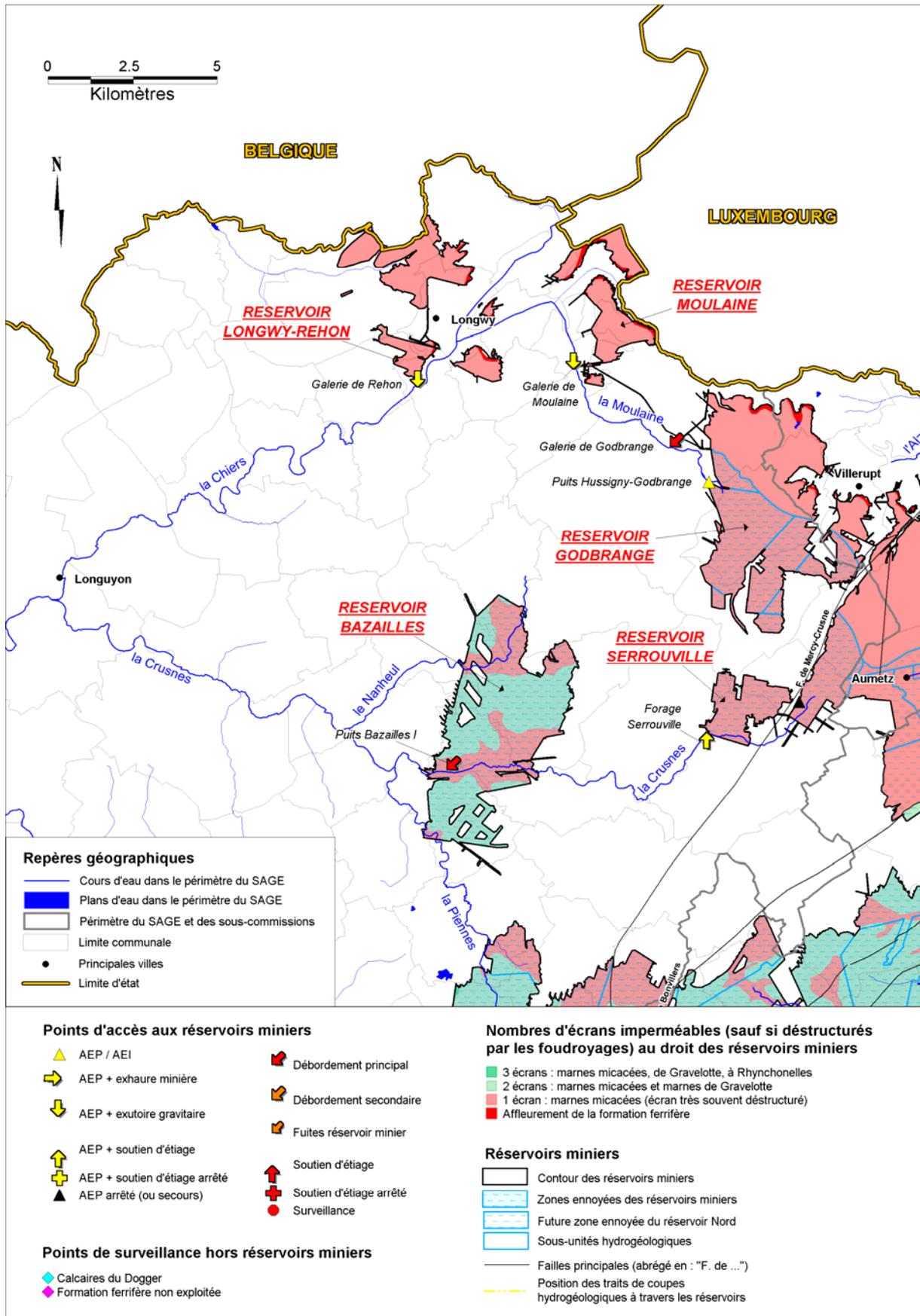


Figure 23 : carte détaillée des réservoirs Serrouville, Godbrange, Moulaïne, Longwy, Bazailles.

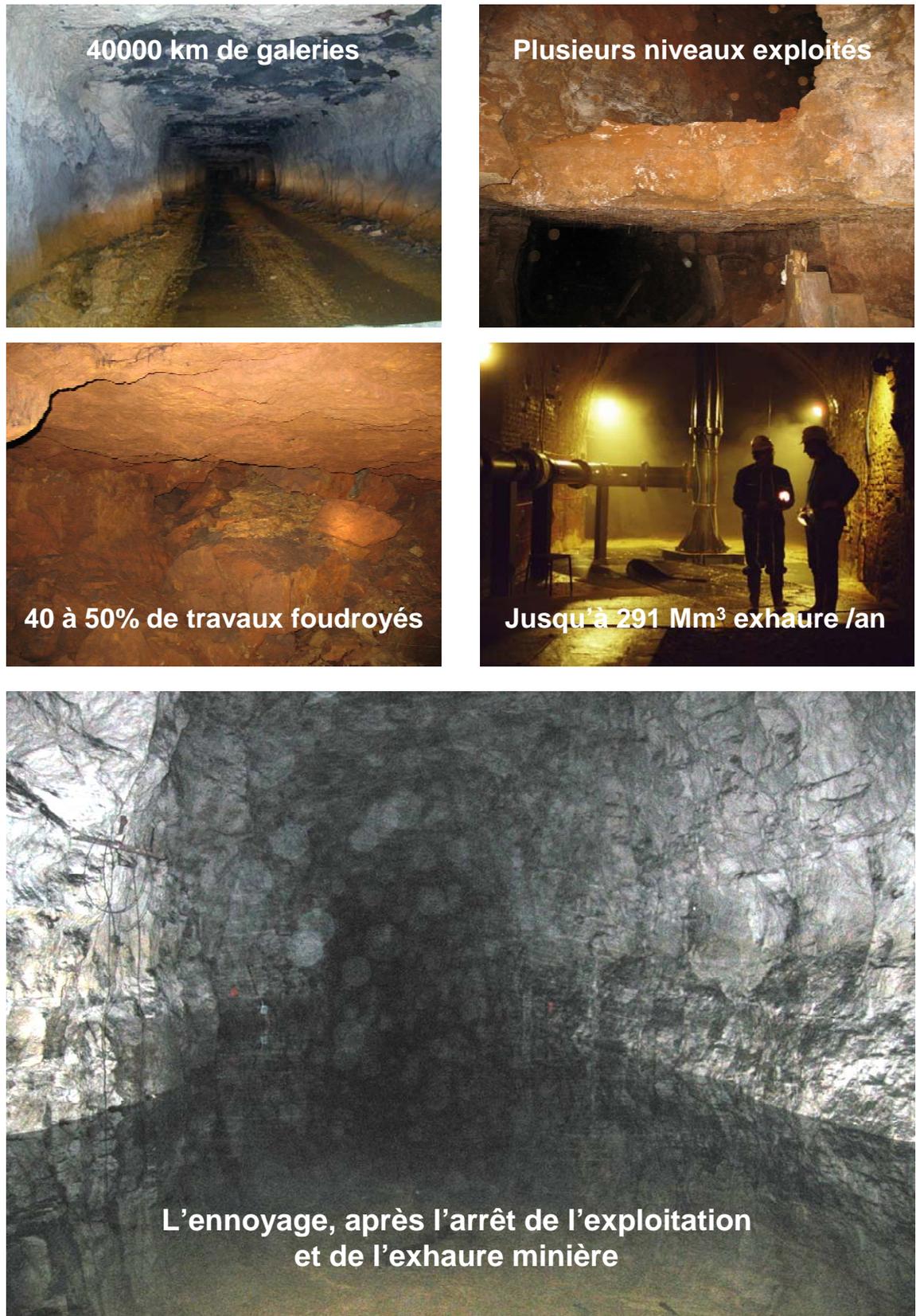


Figure 24 : photos des travaux miniers, avant et après ennoyage
(photos 1, 4 et 5 : Gisos ; photos 2, 3 : Géodéris).

4. Les résultats de la surveillance en 2005

4.1. LE RESEAU DE SURVEILLANCE DES EAUX SOUTERRAINES DU BASSIN FERRIFERE LORRAIN

4.1.1. Les points du réseau de surveillance des eaux souterraines

Le réseau de surveillance des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain est en constante évolution depuis sa création en 1995, le suivi de certains points ayant pu être abandonné alors que d'autres points, beaucoup plus nombreux, ont au contraire été créés. **A la fin 2005, après l'extension du réseau au bassin Nord (cf. paragraphe suivant), le réseau comporte 59 points au total (cf. Tableau 4 et Figure 25), permettant la surveillance :**

- des réservoirs miniers (31 points) : Sud (7 points), Hayange sud (1 point), Centre (10 points), Burbach (1 point), Nord (12 points),
- des nappes des calcaires du Dogger sus-jacentes (20 points),
- de la formation ferrifère non exploitée entre les bassins Sud et Centre (6 points),
- de la nappe alluviale de la Fensch (2 points).

L'Etat et ses établissements publics sont propriétaires de près de la moitié des ouvrages de surveillance, soit 27 piézomètres (18 AERM, 7 DRIRE Lorraine, 2 DIREN Lorraine), permettant la surveillance :

- des nappes des calcaires du Dogger (16 ouvrages),
- de la nappe de la formation ferrifère non exploitée entre les réservoirs Centre et Sud (6 ouvrages),
- des réservoirs miniers (3 ouvrages),
- des alluvions de la Fensch (2 ouvrages).

Les 32 autres ouvrages faisant l'objet d'une surveillance appartiennent à des propriétaires privés ou publics (collectivités), ou ont été rétrocédés par les exploitants miniers à des collectivités publiques (syndicats ou communes).

Parmi les 59 points du réseau sont inclus 3 points ne faisant l'objet que de contrôles sanitaires par les DDASS 54 et 57. Les données correspondantes sont prises en compte dans la surveillance.

Surveillance des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain en 2005

Bassin	Num.	Indice BSS	Nom	Aquifère capté	Suivi BRGM	Réseau de suivi	Commune	Dépt.
BAZAILLES	Ba1	01128X0027	Pts Bazailles I	Réservoir	-		Bazailles	54
BURBACH	Bu1	01138X0172	Gal. de Burbach	Réservoir	QP	BFL	Aigrange	57
CENTRE	C1	01372X0206	For. Ferme de Mance	Dogger	Q	BFL	Mance	54
	C2	01137X0157	For. Route Blanche	Réservoir	QP	BFL	Hayange	57
	C3	01373X0134	Gal. de Bois d'Avril	Réservoir	QP	BFL	Neufchef	57
	C4	01137X0151	Gal. de Fontoy	Réservoir	Q	BFL	Hayange	57
	C5	01372X0197	Gal. du Woigot	Réservoir	QP	BFL	Mancieulles	54
	C6	01373X0131	Pz. A15 - Avril amont	Dogger	QP	BFL	Avril	54
	C7	01373X0130	Pz. A25 - Avril aval	f.f. non exploitée	QP	BFL	Avril	54
	C8	01373X0158	Pz. Chevillon artésien	f.f. non exploitée	Q	BFL	Avril	54
	C9	01372X0204	Pz. M52 - Mance	Dogger	P	RBES	Mance	54
	C10	01372X0211	Pz. Mance bis	f.f. non exploitée	Q	BFL	Mance	54
	C11	01373X0132	Pz. P1 - St-Pierremont	Dogger	QP	BFL	Avril	54
	C12	01373X0133	Pz. P2 - St-Pierremont	Dogger	QP	BFL	Avril	54
	C13	01364X0042	Pts Amermont III	Réservoir	Q	BFL	Dommary-Baroncourt	55
	C14	01136X0148	Pts Anderny II	Réservoir	Q	BFL	Tucquegnieux	54
	C15	01373X0136	Pts du Chevillon	Réservoir	-	BFL	Avril	54
	C16	01372X0198	Pts St-Pierremont II	Réservoir	P	BFL	Mancieulles	54
	C17	01372X0196	Pts Tucquegnieux I	Réservoir	Q	BFL	Tucquegnieux	54
	C18	01373X0027	Source Chapelle (fuites)	Réservoir	Q	BFL	Avril	54
C19	01372X0207	Source de Mance	Dogger	Q	BFL	Mance	54	
GODBRANGE	G1	01132X4002	Gal. de Godbrange	Réservoir	-		Tiercelet	54
	G2	01132X0172	Pts Hussigny-Godbrange	Réservoir	-		Villers-la-Montagne	54
HAYANGE SUD	Ha1	01374X0268	Pz. Hayange Sud	Réservoir	QP	BFL	Neufchef	57
LONGWY	Lo1	00898X0051	Gal. de Rehon	Réservoir	-		Rehon	54
MOULAINE	Mo1	00905X0061	Gal. de Moulaine	Réservoir	-		Haucourt-Moulaine	54
NORD	N1	01133X0099	Pz. François Grise	Réservoir	QP	BFL	Aumetz	57
	N2	01133X0094	Pz. François Brune	Réservoir	QP	BFL	Aumetz	57
	N3	01137X0143	Pts Ferdinand Grise	Réservoir	QP	BFL	Tressange	57
	N3bis	01137X0143	Pts Ferdinand Jaune	Réservoir	QP	BFL	Tressange	57
	N5	01137X0175	Pts Cheminée Sud Grise	Réservoir	QP	BFL	Boulange	57
	N6	01137X0099	Pts Boulange Grise	Réservoir	QP	BFL	Boulange	57
	N7	01137X0169	Pz. Angevillers Grise	Réservoir	QP	BFL	Havange	57
	N8	01137X0170	Pts Havange Brune	Réservoir	QP	BFL	Fontoy	57
	N9	01133X0052	Pts Bure Jaune Sauvage	Réservoir	QP	BFL	Tressange	57
	N10	01132X0189	Pz. Errouville Brune	Dogger	-	BFL	Errouville	54
	N11	01137X0171	Pz. Cheminée Sud	Réservoir	QP	BFL	Boulange	57
	N12	01137X0173	Pz. Chem. Sud Dogger inf.	Dogger	QP	BFL	Boulange	57
	N13	01137X0172	Pz. Chem. Sud Dogger sup.	Dogger	QP	BFL	Boulange	57
	N14	01138X0184	Gal. de Knutange (la Paix)	Réservoir	QP	BFL	Knutange	57
	N15	01138X0185	Pz. Fensch aval 1	Alluvions	QP	BFL	Knutange	57
	N16	01137X0174	Pz. Fensch amont 2	Alluvions	QP	BFL	Knutange	57
	N17	01132X0164	Pts Errouville III	Réservoir	QP	BFL	Errouville	54
	N18	01138X0147	Gal. de Metzange (ou Charles)	Réservoir	-		Angevillers	57
	N19	01141X0024	Gal. d'Entrange (ou Ch.-Ferd.)	Réservoir	-		Entrange	57
	N20	01137X0160	Pz. Fontoy nord	Dogger	QP	BFL	Fontoy	57
	N21	01137X0159	Pz. Fontoy sud	Dogger	QP	BFL	Fontoy	57
	N22	01133X0095	Pts François (3 For.)	Réservoir	-		Aumetz	57
	N23	01133X0046	Pts Ottange II	Réservoir	-		Ottange	57
	N24	01133X0074	Pts Saint-Michel	Réservoir	-		Audun-le-Tiche	57
SUD	S1	01633X0077	For. de Bagneux	Dogger	-	BFL	Vernéville	57
	S2	01377X0210	For. Valleroy-Moineville 1	Réservoir	-		Valleroy	54
	S3	01377X0221	For. Valleroy-Moineville 2	Réservoir	-		Valleroy	54
	S4	01374X0273	Gal. du canal de Moyeuivre	Réservoir	QP	BFL	Moyeuivre-Grande	54
	S5	01374X0234	Gal. du tunnel de Moyeuivre	Réservoir	Q	BFL	Moyeuivre-Grande	54
	S6	01374X0176	Gal. Saint-Paul	Réservoir	Q	DDASS	Rombas	57
	S7	01373X0157	Pz. Avril FF	f.f. non exploitée	Q	BFL	Avril	54
	S8	01377X0209	Pz. B1 - Paradis amont	Dogger	-	BFL	Batilly	54
	S9	01372X0210	Pz. Briey A	Dogger	Q	BFL	Briey	54
	S10	01372X0209	Pz. Briey B	f.f. non exploitée	Q	BFL	Briey	54
	S11	01373X0160	Pz. Conroy aval	f.f. non exploitée	Q	BFL	Neufchef	57
	S12	01368X0008	Pz. de St Jean-lès-Buzy	Dogger	P	RBES	Saint-Jean-lès-Buzy	55
	S13	01376X0149	Pz. H1 - Hatrize	Dogger	Q	BFL	Hatrize	54
	S14	01377X0211	Pz. M1 - Paradis aval	Réservoir	QP	BFL	Moineville	54
	S15	01377X0212	Pz. M2 - Paradis aval	Dogger	QP	BFL	Moineville	54
	S16	01632X0070	Pz. V105 - Ville / Yron	Dogger	P	RBES	Ville-sur-Yron	54
	S17	01632X0071	Pz. V19 - Ville / Yron	Dogger	QP	BFL	Ville-sur-Yron	54
	S18	01377X0205	Pz. Vernéville (nouveau)	Dogger	P	RBES	Vernéville	57
	S19	01377X0099	Pts Auboué I	Réservoir	P	BFL	Auboué	54
	S20	01376X0123	Pts Droitaumont II	Réservoir	Q	DDASS	Jarny	54
	S21	01373X0129	Pts Moyeuivre-Petite	Réservoir	-		Moyeuivre-Petite	57
	S22	01377X0213	Pts Paradis V	Réservoir	Q	DDASS	Moineville	54
	S23	01378X0121	Pts Roncourt I	Réservoir	-		Roncourt	57
SERROUVILLE	Se1	01136X0150	Pts Serrouville	Réservoir	-		Fillières	54

Légende du tableau :

Colonne « Nom » : Pts = puits, Gal. = galerie, For. = forage, Pz. = piézomètre
 Colonne « Aquifère capté » : f.f. = formation ferrifère
 Colonne « Suivi BRGM » : Q = suivi qualité, P = suivi piézométrique ou débit (galeries et sources)
 Colonne « Réseau de suivi » : BFL = réseau de surveillance du bassin ferrifère lorrain
 RBES = réseau piézométrique de bassin Rhin-Meuse
 DDASS = réseau de contrôle sanitaire des DDASS

Formatage du texte : **texte en rouge** = point donnant accès à l'eau des réservoirs miniers
texte en grisé = pas de suivi dans le cadre du réseau de surveillance en 2006

Tableau 4 : liste des 59 points de surveillance des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain à la fin 2005, et liste complémentaire de 18 points de surveillance possibles (en grisé).

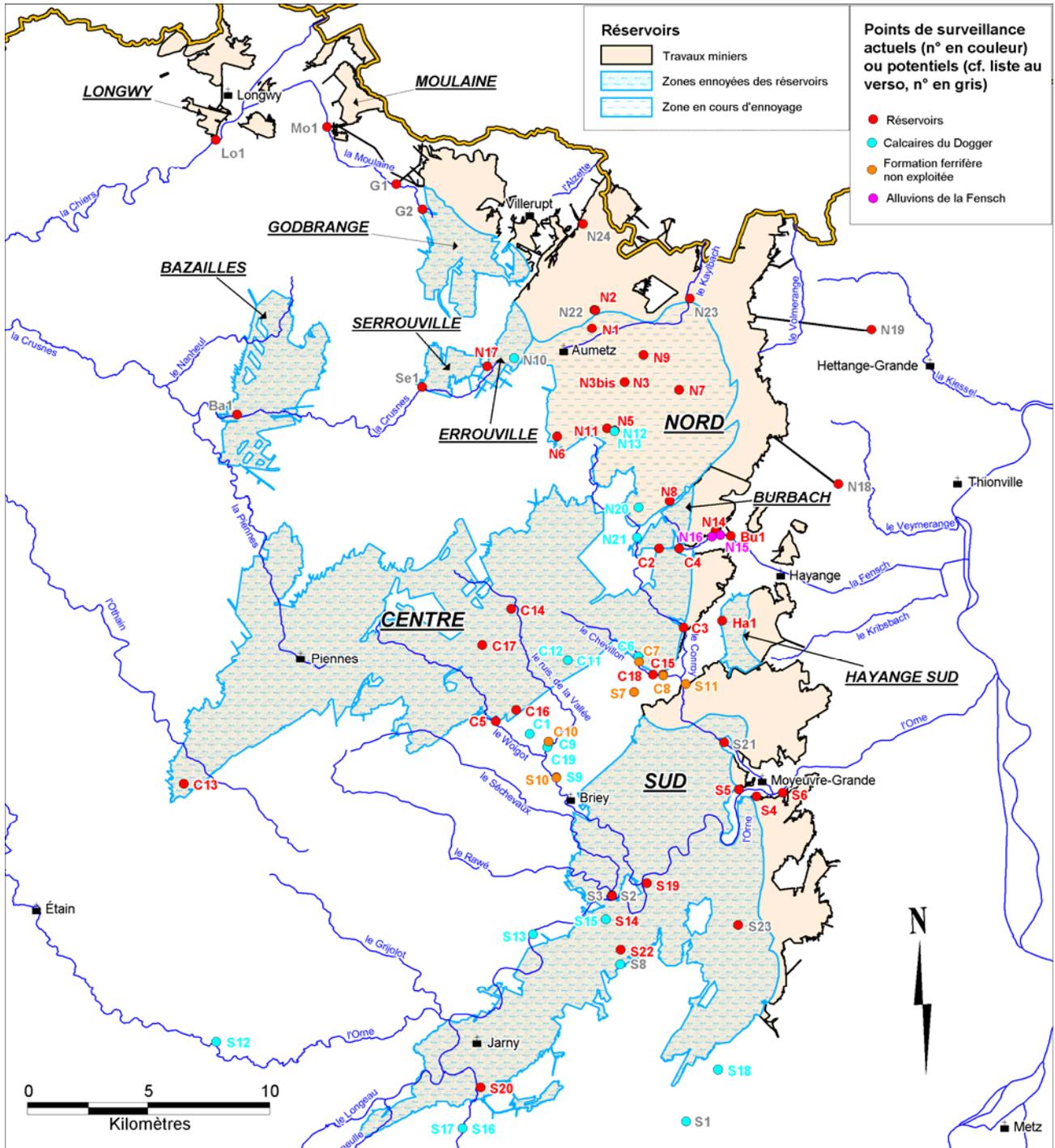


Figure 25 : carte des 59 points du réseau de surveillance à la fin 2005, et des points de surveillance complémentaires possibles

4.1.2. Un nouveau réseau de surveillance pour le bassin Nord en 2005

Dans le cadre des obligations qui lui ont été prescrites par l'arrêté préfectoral du 29 octobre 1998, la société ARBED a installé un réseau de surveillance des eaux souterraines dans le bassin Nord.

Ce réseau est opérationnel depuis le 1^{er} décembre 2005, date à laquelle l'ennoyage du bassin Nord a débuté.

a) *Les points du réseau de surveillance du bassin Nord*

Le réseau du bassin Nord est constitué de 16 ouvrages permettant les mesures de niveau, débit et qualité de l'eau, dont 1 sera équipé en double de manière à permettre la mesure et l'échantillonnage de niveaux aquifères différents. Il comporte donc au total 17 points de mesure dans 16 ouvrages (cf. tableau et carte pages précédentes).

Parmi ces ouvrages, on dénombre :

- 12 puits ou piézomètres non équipés de pompes, permettant l'échantillonnage du réservoir minier en galeries de mine (8) et en zone foudroyée (2), et de la nappe des calcaires du Dogger (2). Les puits miniers de grand diamètre sont spécialement aménagés pour permettre la surveillance des eaux souterraines (passerelle d'accès et cable-guide dans le puits) ; et les piézomètres ont été créés spécialement.
- 2 puits équipés de pompes : puits Bure (SEAFF, pas encore en fonctionnement), puits Havange (SOLLAC, en fonctionnement).
- 2 galeries de débordement permanent (Tunnel d'exhaure de Knutange) ou intermittent (Galerie d'accès de Knutange).

Les têtes d'ouvrages sont toutes rattachées au nivellement général de la France. Les ouvrages ont été équipés par ARBED de matériel d'enregistrement des mesures de niveau piézométrique (capteurs de pression) et d'échantillonnage fixe (préleveurs pneumatiques de conception BRGM, cf. annexe 2).

b) *Une méthodologie d'échantillonnage originale pour les ouvrages de surveillance du bassin Nord*

Pour le bassin Nord, les premières mesures de qualité ne seront disponibles qu'à partir de 2006, lorsque les échantillonneurs les plus profonds pourront fonctionner.

La méthodologie de surveillance de la qualité des eaux souterraines du bassin Nord est originale. En effet, un échantillonnage correct de l'eau d'ennoyage des puits et des piézomètres du réservoir Nord exige de mettre en œuvre des techniques adaptées aux grandes profondeurs en jeu (jusqu'à 260 m), à l'évolution constante du niveau

piézométrique (de zéro à 130 m de hauteur d'eau), et à l'absence de moyens de pompage. Pour le compte d'Arcelor Luxembourg (ex. Arbed), le BRGM a donc conçu et installé un système d'échantillonnage « pneumatique » dans tous les ouvrages de surveillance du bassin Nord. Les principales caractéristiques des échantillonneurs mis en place dans le bassin Nord sont présentées en annexe 2.

4.1.3. Le réseau de suivi de la conductivité mis en place par le GISOS au titre de ses activités de recherche-développement

Il faut aussi noter que des sondes de mesure en continu de la conductivité ont été installées par le GISOS en novembre 2005, dans certains puits et piézomètres du bassin Nord, au titre de ses activités de recherche – développement, en accord avec ARBED (Arcelor Luxembourg) et la DRIRE Lorraine. Ce réseau à vocation de recherche-développement n'a aucune vocation de surveillance de la qualité de l'eau, mais les résultats qu'il fournira pourront conforter les interprétations des mesures acquises dans le cadre de la surveillance faisant l'objet du présent rapport.

Les expériences menées par le GISOS sur des échantillons de roche prélevés dans le réservoir Nord, avant son ennoyage, ont permis d'établir pour l'eau d'ennoyage – et pour elle uniquement – une relation linéaire entre la conductivité et la concentration en sulfate (Figure 26). Cette relation est intéressante car la mesure de la conductivité électrique de l'eau est facile à mettre en œuvre sur le terrain, et peut se faire en continu.

Cette relation permet de vérifier la cohérence des analyses chimiques, de détecter ou d'interpréter les "anomalies" éventuelles, et de convertir la conductivité mesurée en concentration en sulfate. Bien que cette conversion introduise une incertitude supplémentaire, et que la concentration en sulfate calculée ne soit pas aussi fiable qu'une analyse chimique réalisée en laboratoire, cette méthode fournit un moyen rapide et efficace pour obtenir une estimation de l'évolution de la concentration en sulfate en de nombreux points du réservoir.

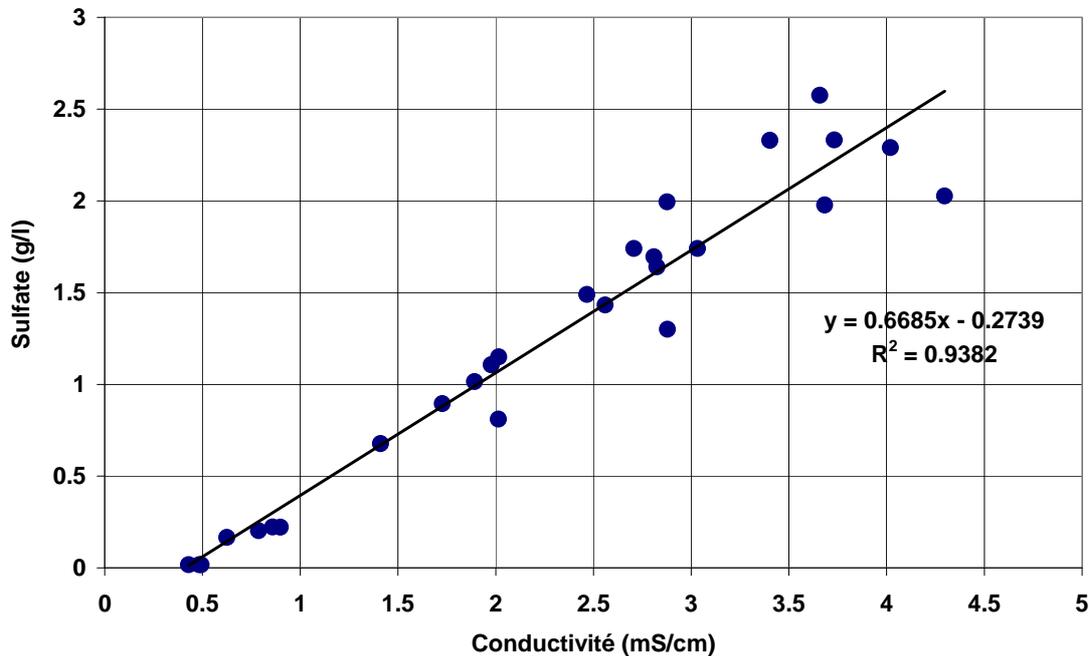


Figure 26 : relation entre la conductivité et la concentration en sulfate pour des échantillons de roche prélevés dans le réservoir Nord (travaux du GISOS, in Collon, 2003).

4.1.4. Les objectifs de la surveillance des eaux souterraines

Les objectifs généraux du programme de surveillance des eaux souterraines sont les suivants :

- suivre l'évolution des niveaux piézométriques, des débits des sources ou des points de débordement, et de la qualité des eaux souterraines, tant dans les réservoirs miniers que dans les aquifères sus-jacents, durant les phases d'envoyage et après celles-ci, en particulier dans les secteurs où se pose la question des relations hydrauliques entre réservoirs miniers,
- interpréter l'ensemble des mesures afin, en particulier, d'améliorer la compréhension du fonctionnement hydrogéologique de l'ensemble réservoirs miniers / nappe du Dogger ; cette interprétation s'appuyant sur les travaux de recherche et les outils développés par le BRGM dans le cadre du GISOS depuis 1999,
- présenter les résultats de la surveillance dans un rapport annuel, 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) et de la DIREN Lorraine (www.lorraine.ecologie.gouv.fr).

La plupart des points d'accès aux réservoirs miniers ont donc fait l'objet d'un suivi piézométrique ou d'une mesure de débit, et/ou d'une mesure de la qualité des eaux souterraines, dans le but d'évaluer la disponibilité de la ressource, et l'évolution de sa qualité en différents points.

En ce qui concerne la nappe des calcaires du Dogger, jusqu'au début de l'année 1999, la configuration du réseau de surveillance permettait essentiellement d'appréhender l'évolution des phénomènes hydrodynamiques à la bordure des bassins Centre et Sud, et peu d'informations étaient disponibles sur le comportement de la nappe des calcaires au centre de ces bassins. C'est pourquoi, sur proposition du BRGM, l'Agence de l'eau a complété le réseau au début de 1999 en faisant forer 6 nouveaux piézomètres. Le choix des secteurs d'implantation des nouveaux piézomètres a découlé de deux objectifs principaux (Vaute *et al.*, 2003) :

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

A la fin de l'année 2001 et au début de 2002, l'Agence de l'eau a fait forer 6 nouveaux piézomètres captant les calcaires du Dogger ou la formation ferrifère non exploitée. Ces nouveaux ouvrages sont implantés entre les deux réservoirs Sud et Centre, dans le but d'évaluer les circulations d'eaux souterraines entre les deux réservoirs (Vaute *et al.*, 2004).

En 2003, la DIREN Lorraine a implanté 2 piézomètres dans les calcaires du Dogger, de part et d'autre de la faille de Fontoy, dans le but d'étudier les circulations d'eaux souterraines à travers la faille après l'envoyage du réservoir Nord (DIREN Lorraine, 2004).

Enfin, en 2005, ARBED (Arcelor Luxembourg) a fait forer 2 piézomètres dans les alluvions de la Fensch, à proximité de la galerie de débordement du réservoir Nord (galerie de Knutange), en amont et en aval. Ces deux ouvrages permettront d'évaluer l'impact du débordement sur la nappe alluviale.

4.1.5. Le contenu du programme de surveillance

La fréquence de mesure du niveau piézométrique est variable selon l'équipement des points de mesure, d'une mesure par heure (3 points en 2005) à une mesure par mois (11 points en 2005). Les 3 réservoirs miniers Sud, Centre et Nord sont équipés chacun d'une centrale d'acquisition télétransmise.

Le débit de débordement et la conductivité des 3 réservoirs sont mesurés une fois par heure par des stations télétransmises (la station du réservoir Nord ne fonctionnera

qu'après le débordement du réservoir, et celle du réservoir Sud, qui n'est plus fonctionnelle depuis l'abaissement définitif du niveau du réservoir, a été remplacée en 2007 par une nouvelle station installée sur la galerie du chenal de Moyeuve, cf. annexe 2). Des jaugeages mensuels sont effectués sur les points non équipés de stations (1 point en 2005).

Concernant le suivi de la qualité des eaux souterraines (49 points), les échantillonnages et les analyses sont effectués à des fréquences trimestrielles à annuelles. Les analyses sont de type « normale » ou « étendue » en fonction du type de point de mesure. Une analyse « normale » correspond à la mesure de la concentration des composés suivants :

- éléments majeurs : calcium, magnésium, sodium, potassium, sulfate, chlorure, bicarbonate,
- composés azotés : ammonium, nitrite, nitrate,
- autres éléments : fer, manganèse, bore.

Une analyse « étendue » correspond à une analyse « normale » à laquelle sont ajoutées les mesures de concentration en :

- strontium,
- nickel,
- hydrocarbures totaux,
- indice phénol.

4.2. LES NIVEAUX PIEZOMETRIQUES ET LES DEBITS

4.2.1. Principales observations relatives aux bassins Sud et Centre

Le fonctionnement hydrogéologique des réservoirs miniers et leurs relations hydrauliques avec les nappes des calcaires du Dogger sus-jacentes a été décrit au chapitre 3, et résumé sous la forme d'un modèle conceptuel illustré par la Figure 12 et commenté dans l'Encadré 5. Cette description s'appuie sur l'interprétation des nombreux résultats de mesure acquis depuis 1994 dans le cadre de la surveillance des eaux souterraines du bassin ferrifère. Les principaux résultats qui ont servi à bâtir le modèle conceptuel sont présentés ci-après.

Les ennoyages successifs des différents réservoirs ont systématiquement provoqué une forte remontée des niveaux des nappes sus-jacentes, au centre des bassins comme à leur périphérie (Figure 27 et Figure 28).

Toutefois, cette remontée des niveaux piézométriques au sein des différents aquifères superposés n'a pas permis de retrouver l'équilibre naturel antérieur à l'exploitation des mines, du fait d'une part de l'existence de points de débordement des réservoirs miniers, qui ont limité la remontée dans les réservoirs miniers, et d'autre part de l'existence de profondes modifications infligées aux couches aquifères (550 à 600

millions de m³ de vides artificiels ; fracturation et mise en communication de l'aquifère des calcaires du Dogger avec les réservoirs miniers par le biais des foudroyages).

Ainsi, la remontée du niveau de l'eau dans les réservoirs s'est effectuée jusqu'à ce qu'un nouvel état d'équilibre se soit établi entre les apports d'eau (infiltration d'eau de pluie, pertes de cours d'eau sur le plateau calcaire karstifié, écoulements souterrains transversaux entre les différents bassins d'exhaure) et les débits des sorties (sources, points de débordement et fuites des réservoirs miniers, forages et puits de pompage).

Une fois le nouvel état d'équilibre atteint, les réservoirs ennoyés ont conservé leur rôle de drainage de la nappe du Dogger. Au-dessus des travaux miniers, la surface piézométrique de la nappe principale des calcaires du Dogger est déprimée, et présente un relief « bosselé » : les « creux » piézométriques correspondent aux zones où le drainage vers le réservoir minier sous-jacent est important (zones foudroyées ou fracturées), les « bosses » correspondent aux zones de drainage moindre (zones non foudroyées ou de perméabilité verticale plus faible).

Cette affirmation est démontrée par l'interprétation des mesures effectuées sur deux sites expérimentaux équipés de piézomètres forés à différentes profondeurs dans la nappe des calcaires du Dogger, au droit de zones foudroyées (Figure 29 et Figure 30). On observe en effet que les écoulements ont une composante verticale descendante de la nappe du Dogger vers le réservoir minier (les écoulements se produisent des niveaux piézométriques élevés vers les niveaux piézométriques bas) : de S8 (Pz. B1, Dogger haut) vers S14 (Pz. M2, Dogger bas) puis S15 (Pz. M1, zone foudroyée) pour le bassin Sud ; et de C12 (Pz. P2, Dogger haut) vers C11 (Pz. P1, Dogger bas) pour le bassin Centre.

Dans chaque réservoir, les niveaux piézométriques mesurés en différents points sont pratiquement identiques, en raison des très faibles résistances à l'écoulement dans les réseaux de galeries ennoyées.

En l'absence de pompages supérieurs aux capacités naturelles de renouvellement, ou de fuites importantes à des cotes inférieures à celles des points de débordement, les battements naturels du niveau des réservoirs sont faibles : en effet, l'élévation du niveau est généralement limitée par l'existence d'un exutoire à fort débit, tel qu'une galerie de débordement. On peut citer le cas du réservoir Sud, dont le battement est de l'ordre de 1 m (Figure 31).

Toutefois, le niveau d'un réservoir peut parfois s'abaisser au-dessous de la cote du point principal de débordement, lorsque le réservoir est exploité pour l'alimentation en eau potable et/ou le soutien d'étiage : c'est le cas des réservoirs Centre, Godbrange et Serrouville. Ainsi, le battement du réservoir Centre a pu atteindre 7 m (Figure 33), et ce réservoir ne présente généralement pas d'écoulements en sortie du point de débordement pendant des périodes de l'ordre de 6 mois.

4.2.2. Principales évolutions du réservoir Sud en 2005

A Ludelage, le cumul de pluie de l'année 2005 (734,1 mm) a été légèrement inférieur à la moyenne des 2 années précédentes (748,3 mm). Si l'on compare le cumul moyen annuel des 3 dernières années (2003 à 2005) à celui des 3 années précédentes (2000 à 2002), on constate une baisse de 42,5 % des précipitations.

Depuis le maximum 2005 de 169,9 m, atteint le 17 février, le niveau du niveau du réservoir Sud a chuté de manière presque continue jusqu'à un minimum de 169,22 m, atteint le 12 septembre. L'étiage 2005 aura duré 5 mois : entre le 8 juillet et le 6 décembre 2005, le niveau du réservoir a oscillé entre 169,22 et 169,29. Ce n'est qu'à partir du 7 décembre que le niveau a très légèrement augmenté, pour atteindre un maximum de 169,42 m le 16 décembre. Le 31 décembre, le niveau était stable, à la cote de 169,40 m (contre 169,48 m en 2004, et 169,37 m en 2003).

Entre septembre 1998 et août 2002, le débit moyen de débordement du réservoir Sud à la galerie du tunnel de Moyeuve était d'environ 250 000 m³/j (Figure 32), avant l'abaissement du niveau du réservoir de 3,52 m et la mise en service du nouvel exutoire (galerie du chenal de Moyeuve, cf. fiche descriptive du réservoir Sud en annexe 1). Une nouvelle station de mesure du débit a été mise en service sur le nouvel exutoire en 2007 (cf. annexe 2).

4.2.3. Principales évolutions du réservoir Centre en 2005

En 2005, la période de débordement du réservoir Centre a duré un peu plus de 6 mois, entre le 2 janvier 2005 et le 10 juillet 2005. L'écoulement à la galerie du Woigot ayant repris le 18 janvier 2006, la période sans débordement aura elle aussi duré un peu plus de 6 mois, comme en 2004.

Après avoir atteint une cote minimale de 221,56 m le 25 octobre 2004, le niveau du réservoir Centre a atteint sa cote maximale hivernale de 223,3 m le 25 février 2005. A la même date, le débit maximum à la galerie du Woigot était de 420 l/s. Puis le niveau a chuté régulièrement pour atteindre 221,62 m le 1^{er} décembre 2005, soit une cote inférieure de 1,12 m à la cote du seuil de débordement de la galerie du Woigot.

La baisse du niveau du réservoir Centre s'explique à la fois par l'existence de fuites à une cote inférieure au seuil de débordement (vallée du Chevillon) et par les prélèvements qui sont effectués pour le soutien d'étiage des cours d'eau.

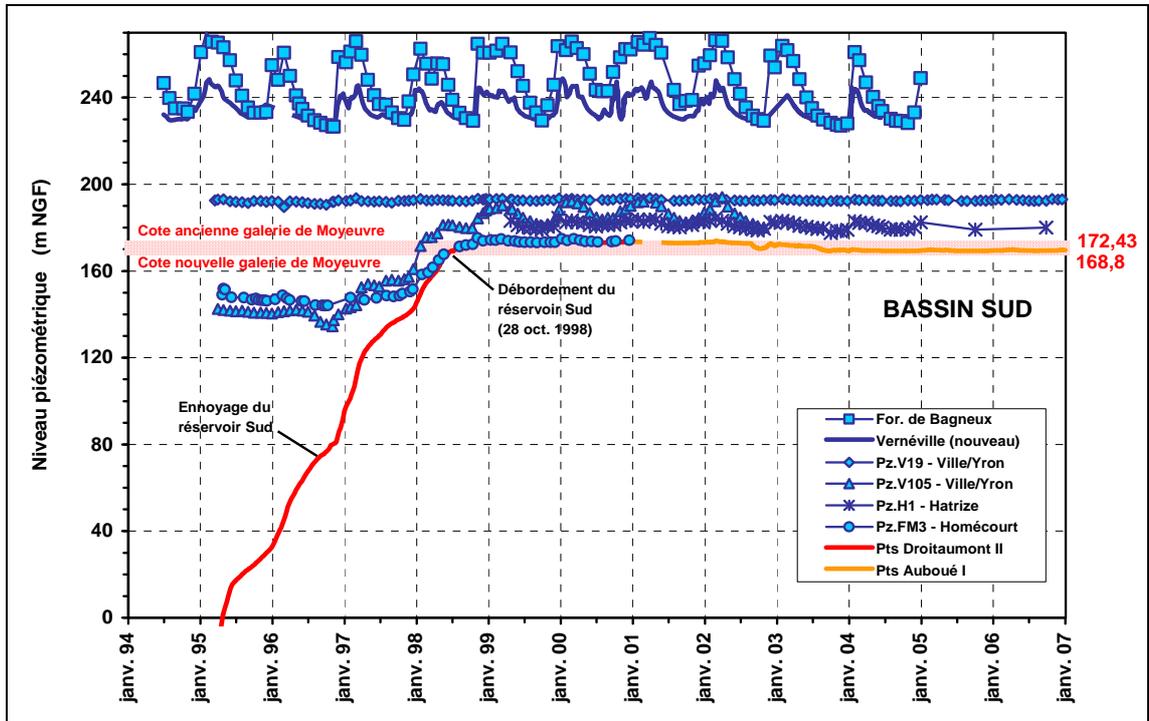


Figure 27 : évolution des niveaux piézométriques dans le bassin Sud depuis 1994.

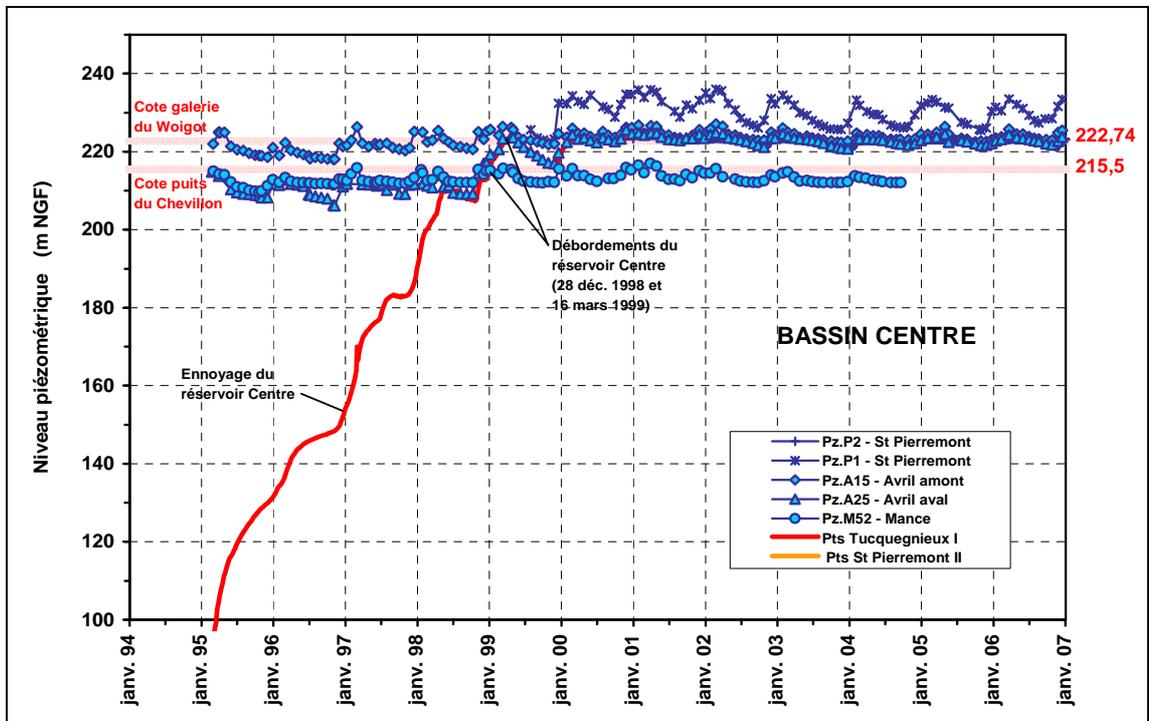


Figure 28 : évolution des niveaux piézométriques dans le bassin Centre depuis 1994.

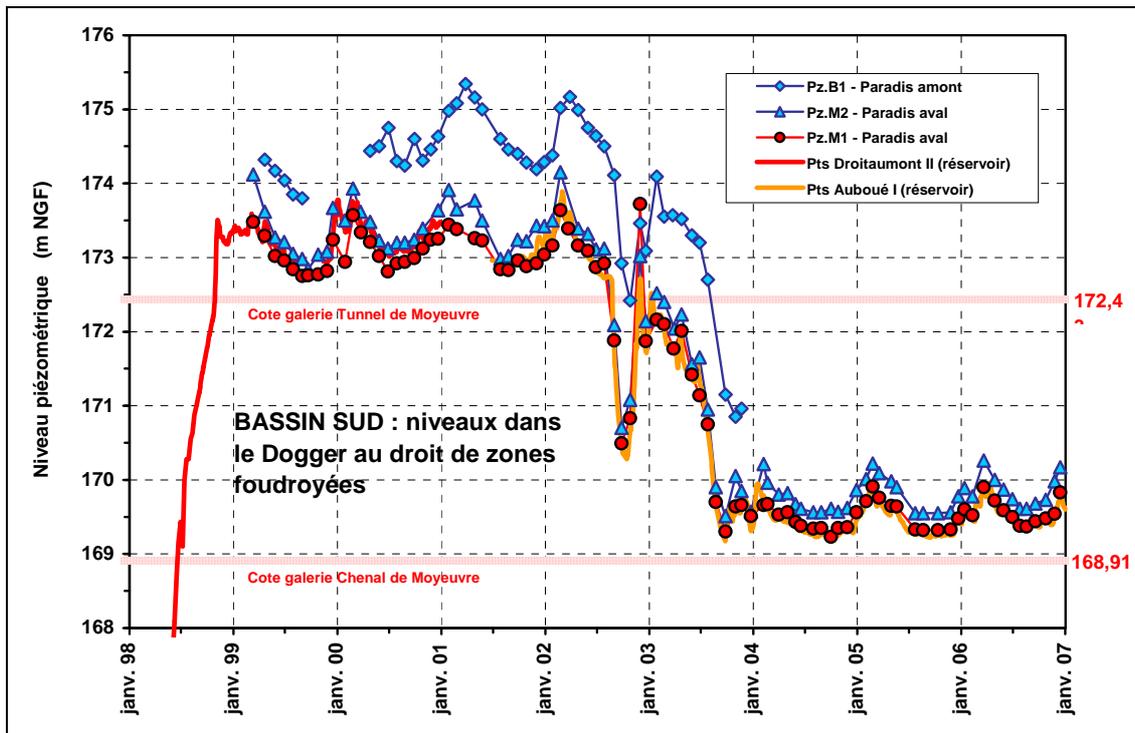


Figure 29 : évolution des niveaux au droit d'une zone foudroyée du bassin Sud.

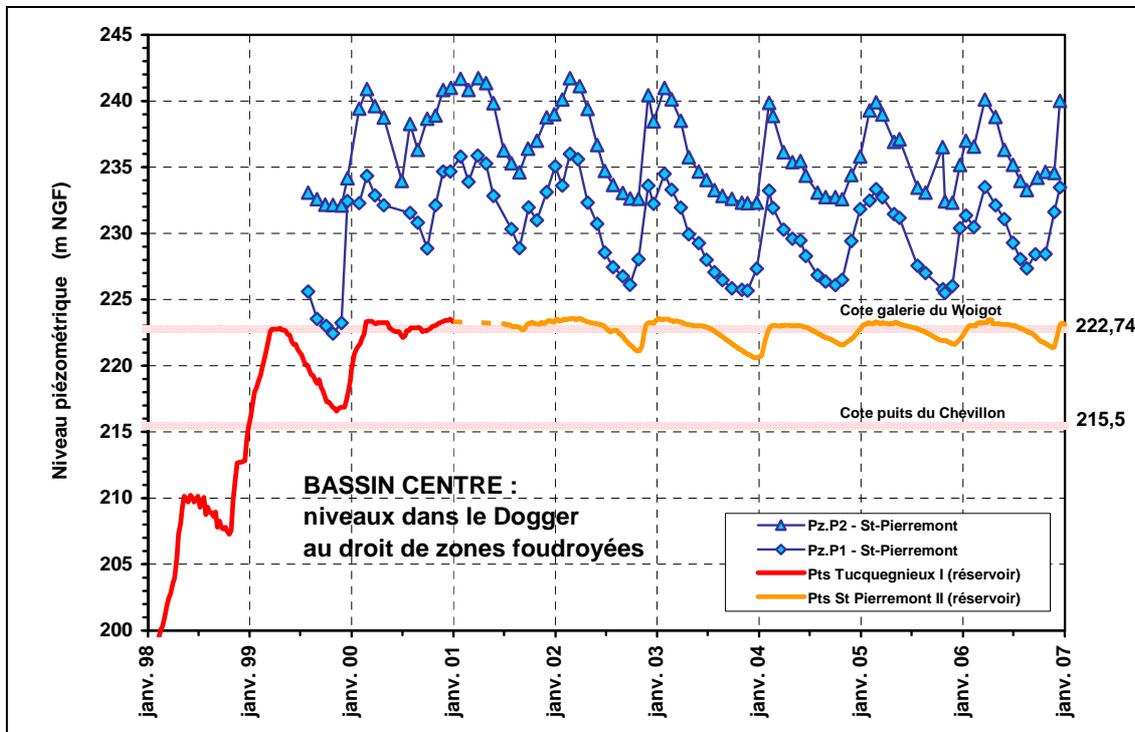


Figure 30 : évolution des niveaux au droit d'une zone foudroyée du bassin Centre.

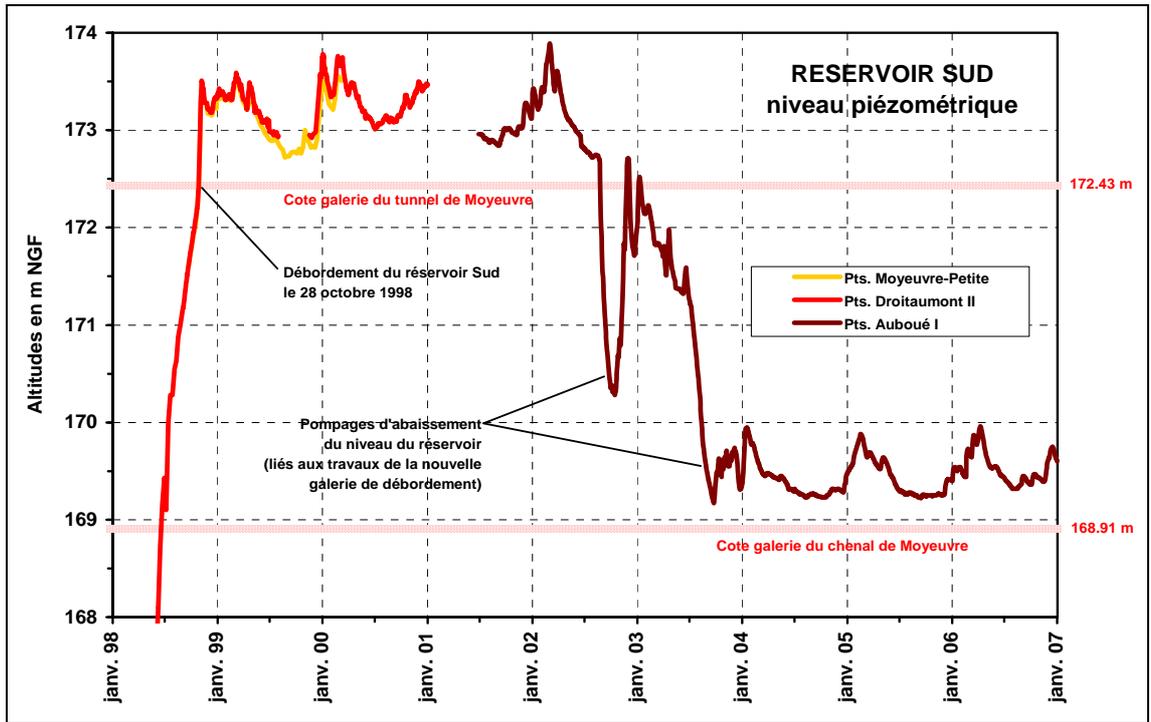


Figure 31 : évolution du niveau piézométrique du réservoir Sud depuis 1998.

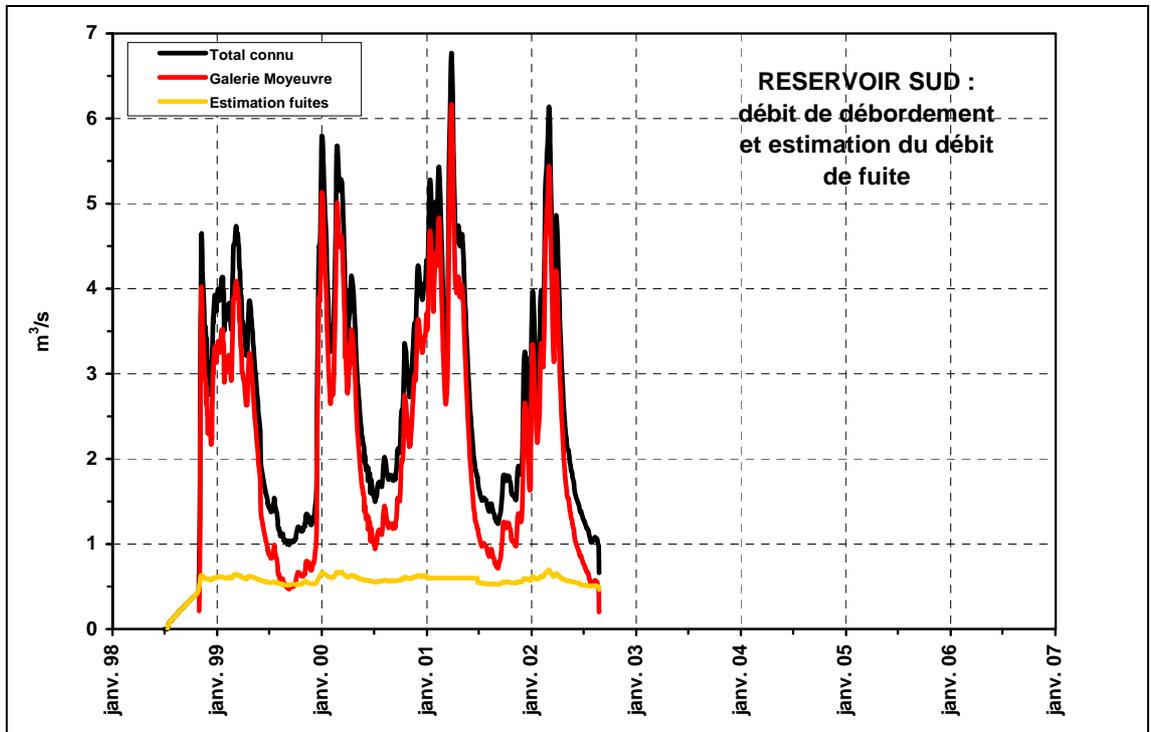


Figure 32 : évolution du débit de débordement du réservoir Sud depuis 1998.

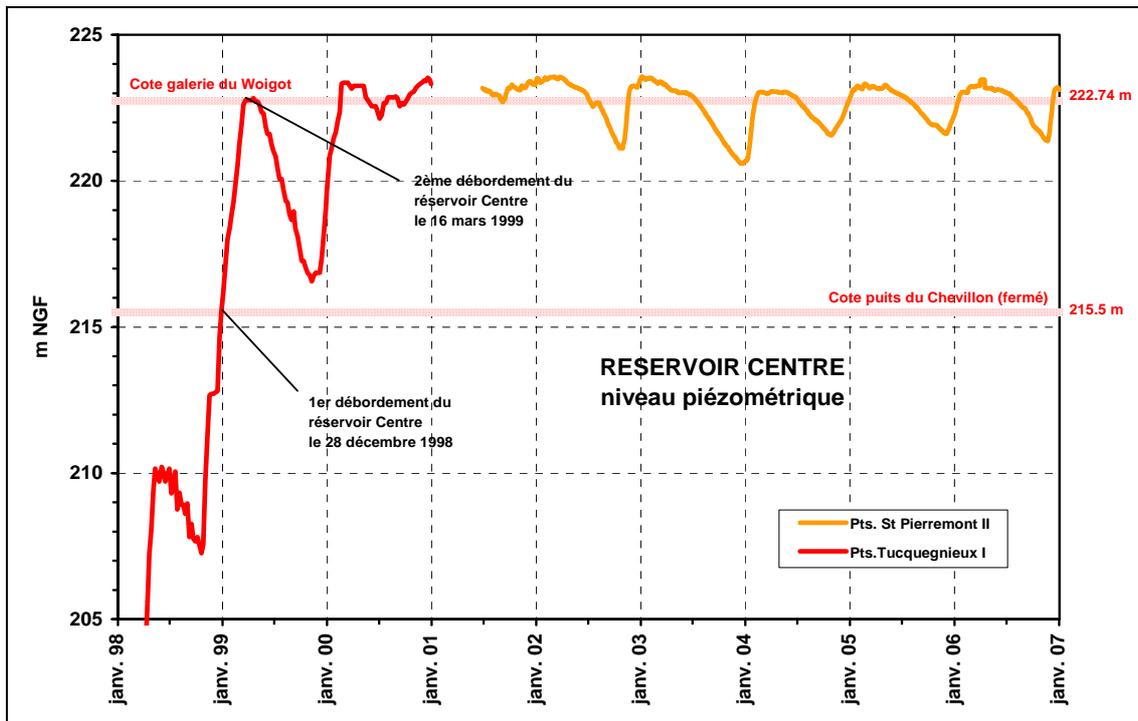


Figure 33 : évolution du niveau piézométrique du réservoir Centre depuis 1998.

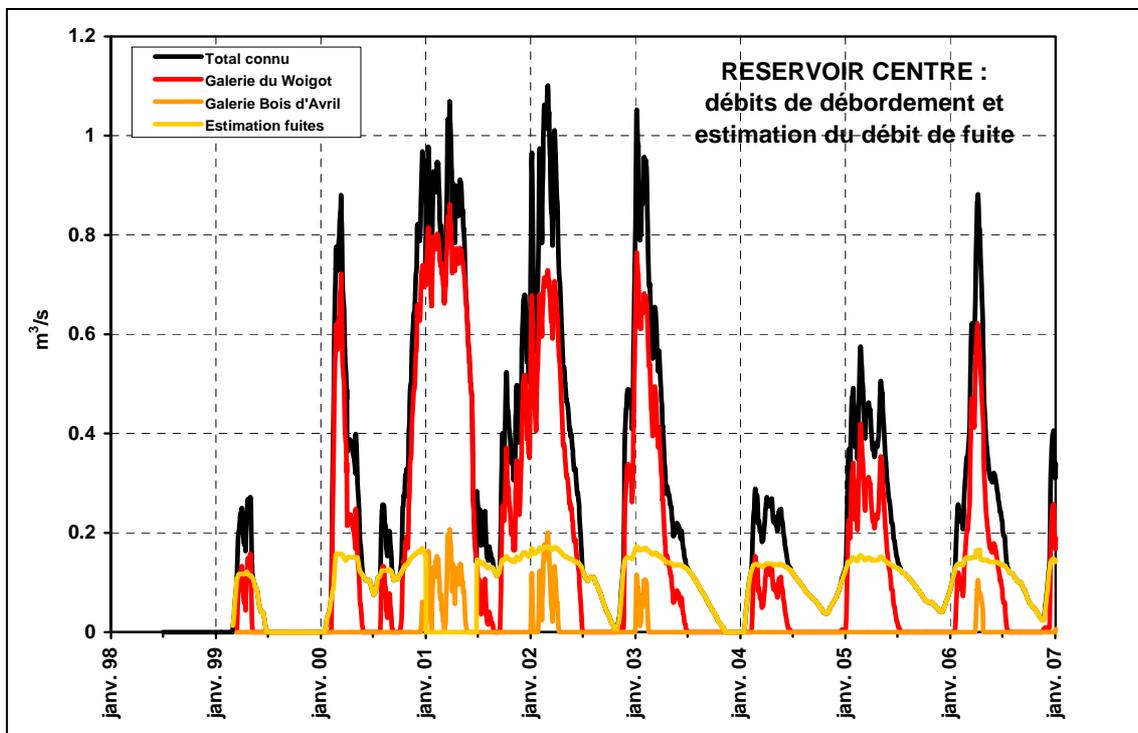


Figure 34 : évolution des débits de débordement du réservoir Centre depuis 1998.

Depuis l'apparition des premières fuites dans la vallée du Chevillon (début mars 1999) et le premier débordement à la galerie du Woigot (16 mars 1999), au moins 63,3 Mm³ se sont écoulés du réservoir Centre, dont 62 % par la galerie du Woigot (point de débordement principal du réservoir Centre) ; 3,5 % par la galerie Bois d'Avril (point de débordement de hautes eaux) ; et 34,6 % par les fuites connues dans le Chevillon et le Conroy. Le débit moyen de débordement du réservoir Centre, calculé pour l'ensemble de ses exutoires (galerie du Woigot, galerie de Bois d'Avril et fuites vers le Chevillon) s'élève à environ 27 000 m³/j (Figure 34).

Nota bene : ce débit de débordement ne doit pas être comparé directement avec celui du réservoir Sud, car le calcul d'un bilan pour chaque réservoir doit tenir compte des différents pompages qui sont effectués pour l'AEP (réservoir Sud) ou le soutien d'étiage (réservoir Centre).

4.2.4. Principales évolutions du réservoir Nord en 2005

L'envoyage du réservoir Nord a débuté le 1^{er} décembre 2005, et s'achèvera lorsque le niveau du réservoir atteindra la cote 207,57 m, ce qui provoquera le débordement principal des eaux du réservoir vers la Fensch, par la galerie de Knutange (la Paix). Il est à noter qu'un premier exutoire, au débit limité à 130 l/s, débordera dès la cote 193 m, dans le but de soutenir le Veymerange via le Metzange.

A partir du 1^{er} décembre 2005, les eaux d'infiltration se sont tout d'abord dirigées vers l'albraque de la Paix. Le 22 décembre 2005, ce dernier s'était totalement rempli jusqu'à la cote 96,07 m NGF, et a débordé vers la cuvette de Boulange, une partie plus profonde de la mine.

Dans cette partie du réservoir Nord, les appareils enregistreurs mis en place (points N5 et N11) ne permettaient pas encore la mesure du niveau de l'eau, ce dernier n'atteignant pas encore une hauteur suffisante dans les ouvrages. Cependant, les mesures effectuées par ARBED en fond de mine ont montré que le niveau de l'eau montait dans cette période à la vitesse de 20 cm par jour environ. Le 21 janvier 2006, le niveau s'établissait à la cote de 81,40 m NGF.

La vitesse de progression du niveau dans un réservoir minier dépend de la quantité et de la chronologie des précipitations ; de la température, qui détermine la fraction de la pluie utile pour la recharge des nappes d'eaux souterraine (pluie efficace) ; et enfin de la géométrie des vides du réservoir. Cette complexité géométrique, ainsi que le caractère aléatoire des précipitations efficaces, rend incertaine la prévision de la date de débordement. Compte tenu du volume des vides à remplir estimés par ARBED à 52,6 millions de m³, et en fonction de la pluviosité des prochaines années, on estime à 2 à 3 ans le temps nécessaire au remplissage total du réservoir Nord.

Les mécanismes chimiques responsables de la minéralisation de l'eau des réservoirs miniers (Thèse de P. Collon, GISOS - INPL, 2003)

1) Le constat : l'eau des réservoirs miniers se charge en éléments minéraux lors de l'ennoyage

- *Au contact des roches du bassin ferrifère lorrain, l'eau d'ennoyage se charge en sulfate, magnésium, sodium, calcium, potassium et bore, et, dans une moindre mesure, en strontium, manganèse, et chlorure. Son pH reste compris entre 7 et 8. Si cette augmentation des concentrations rend l'eau impropre à la consommation humaine en regard des Concentrations Maximales Admissibles (CMA), les éléments présents en excès ne sont, néanmoins, pas toxiques pour l'homme. Dans le bassin ferrifère, le drainage minier est neutre. Ceci est un avantage puisque lorsque le drainage minier est acide (c'est le cas général de beaucoup de mines dans le monde), le phénomène se traduit par un pH bas qui favorise la mise en solution de métaux lourds toxiques pour l'homme et l'environnement.*
- *Le temps de contact entre l'eau et la roche doit être au minimum de 50 jours pour des roches de granulométrie comprise entre 5 et 10 mm, pour que les réactions chimiques de mise en solution des éléments atteignent un état d'équilibre. C'est pourquoi en période d'exhaure le ruissellement rapide à travers les fractures ne permet pas à l'eau d'acquérir des concentrations en ions importantes.*
- *Les masses totales d'éléments solubles sont limitées en quantité : les expériences de lessivage en laboratoire et l'exemple des réservoirs ennoyés depuis longtemps montrent que la minéralisation engendrée par l'ennoyage des roches du bassin ferrifère lorrain décroît au fur et à mesure du renouvellement de l'eau du réservoir.*

2) L'explication : le rôle de l'oxygène à l'ouverture des galeries, et le rôle de l'eau dès le début de l'ennoyage

- *Pendant l'exploitation, l'atmosphère de la mine s'oxygène dès l'ouverture des galeries. La présence conjuguée d'eau et d'oxygène de l'air dans les pores de la roche entraîne l'oxydation de la pyrite contenue principalement dans les intercalaires marneux. La dissolution de carbonates (minéraux des roches calcaires comme la calcite) limite l'acidité produite par cette première réaction et conduit à la précipitation de minéraux sulfatés tels que le gypse (sulfate de calcium). Parallèlement, les baisses locales de pH occasionnées par l'oxydation de la pyrite provoquent une dissolution lente de minéraux contenant des ions sodium, magnésium, et potassium qui se fixent à la surface des oxydes de fer.*
- *A l'arrêt des pompages d'exhaure, l'eau ennoie la mine. La dissolution du gypse formé pendant la période d'exhaure entraîne la mise en solution d'ions sulfate et calcium, ce dernier permettant à son tour par réaction d'échange la libération des ions magnésium, sodium, potassium. Les expériences de laboratoire montrent que les quantités de contaminants libérés dans l'eau du réservoir minier sont limitées : en effet, les réactions chimiques à l'origine de la formation des éléments solubles sont stoppées dès que les roches sont ennoyées.*

Encadré 6 : les mécanismes responsables de la minéralisation de l'eau des réservoirs miniers.

4.3. LA QUALITE DE L'EAU DANS LE BASSIN FERRIFERE

4.3.1. Une minéralisation excessive de l'eau d'envoyage des réservoirs

Lors de l'envoyage des réservoirs miniers, l'eau de remplissage des galeries des anciennes mines de fer se charge en sulfate, magnésium, sodium, calcium, potassium et bore, et, dans une moindre mesure, en strontium, manganèse, et chlorure.

Ces éléments chimiques proviennent des réactions de mise en solution des sels minéraux issus de l'oxydation, lors de l'exploitation minière, de la pyrite contenue dans les inter-bancs marneux de la formation ferrifère. Ils sont dissous totalement quelques dizaines de jours après le début de l'envoyage, et ce stock d'éléments pouvant être dissous ne se renouvelle pas en milieu insuffisamment oxygéné, tel qu'un réservoir noyé (cf. Encadré 6).

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

4.3.2. L'évolution des concentrations en sulfate

a) *Les concentrations en sulfate aux points de débordement du réservoir Sud*

Depuis octobre 1998, l'évolution de la concentration en sulfates à la galerie de Moyeuve a connu trois périodes (Figure 35). Dans un premier temps, la concentration est restée stable pendant un peu plus de 13 mois (à 1560 +/- 80 mg/l en moyenne), jusqu'en décembre 1999. A partir de cette date et jusqu'en juin 2002 (2 ans et demi), des variations saisonnières de la concentration se superposaient à une tendance générale à la baisse des concentrations (augmentation temporaire des concentrations pendant les périodes d'étiage, et baisse en période de hautes eaux). La baisse maximale observée a été de 47 % (soit 786 mg/l) entre le maximum du 17 décembre 1998 (1662 mg/l) et le minimum du 27 mai 2002 (876 mg/l).

Entre juin 2002 et février 2004, la concentration est restée stable, à 1005 +/- 90 mg/l. Depuis cette date, la tendance à la baisse semble reprendre, la concentration en sulfate oscillant entre 890 mg/l et 1050 mg/l, avec une moyenne de 940 mg/l sur la période. Le 28 décembre 2005, la concentration en sulfate était de 960 mg/l. Il est à noter que depuis septembre 2002, les analyses sont effectuées sur des échantillons prélevés dans la nouvelle galerie de débordement du réservoir Sud (chenal de Moyeuve, en remplacement du tunnel de Moyeuve).

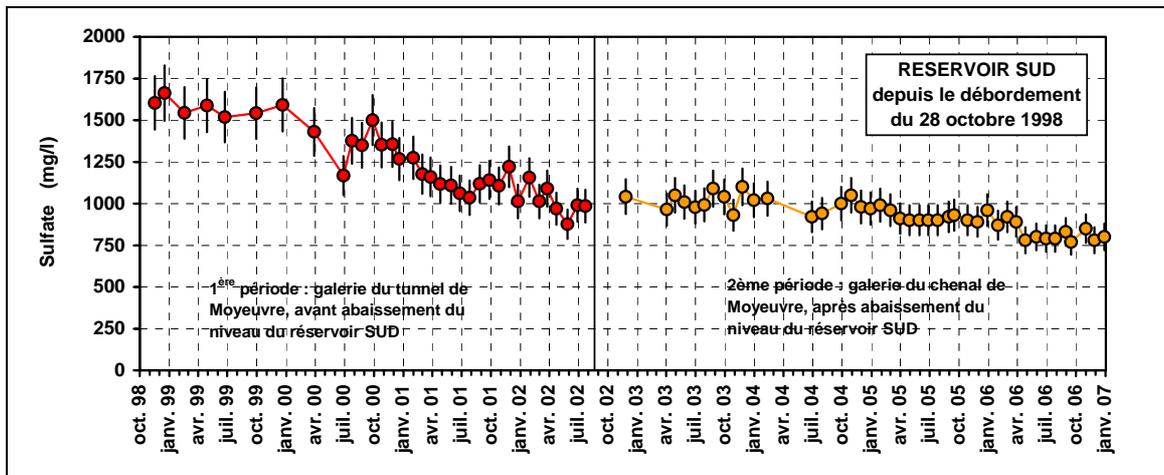


Figure 35 : évolution de la concentration en sulfate depuis 1998 aux points de débordement du réservoir Sud.

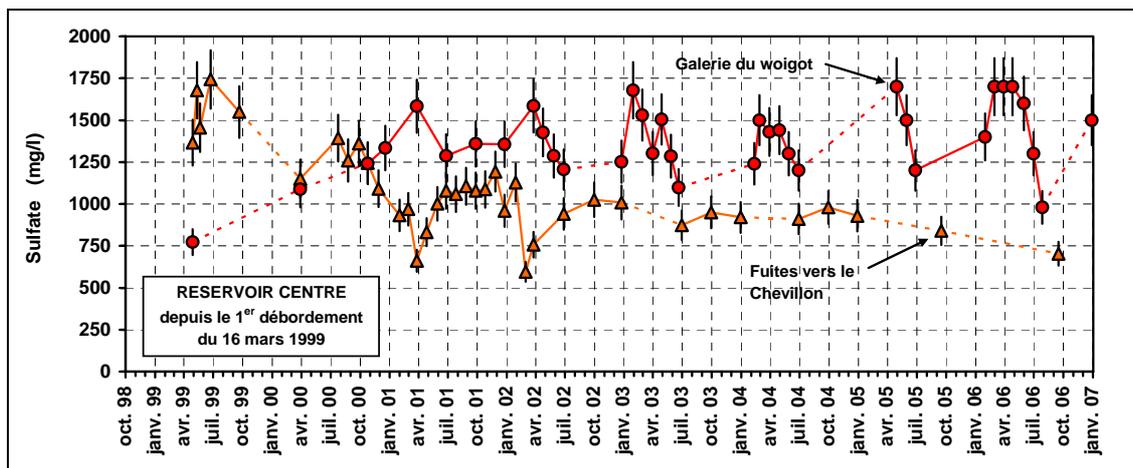


Figure 36 : évolution de la concentration en sulfate depuis 1998 aux points de débordement et de fuite du réservoir Centre.

b) Les concentrations en sulfate aux points de débordement du réservoir Centre

Au point de fuite du réservoir du réservoir Centre dans la vallée du Chevillon, la tendance à la baisse observée en 1999 et 2000 semble due à une configuration particulière locale, car aucune tendance semblable n'est plus décelable depuis lors, ni non plus à la galerie du Woigot, point de débordement principal du réservoir Centre, ni enfin dans les puits miniers (cf. Figure 37). Depuis novembre 2000, la concentration en sulfate à la galerie du Woigot fluctue entre 1098 mg/l (juin 2003) et 1678 mg/l (janvier 2003). La concentration y était de 1200 mg/l le 26 juin 2005.

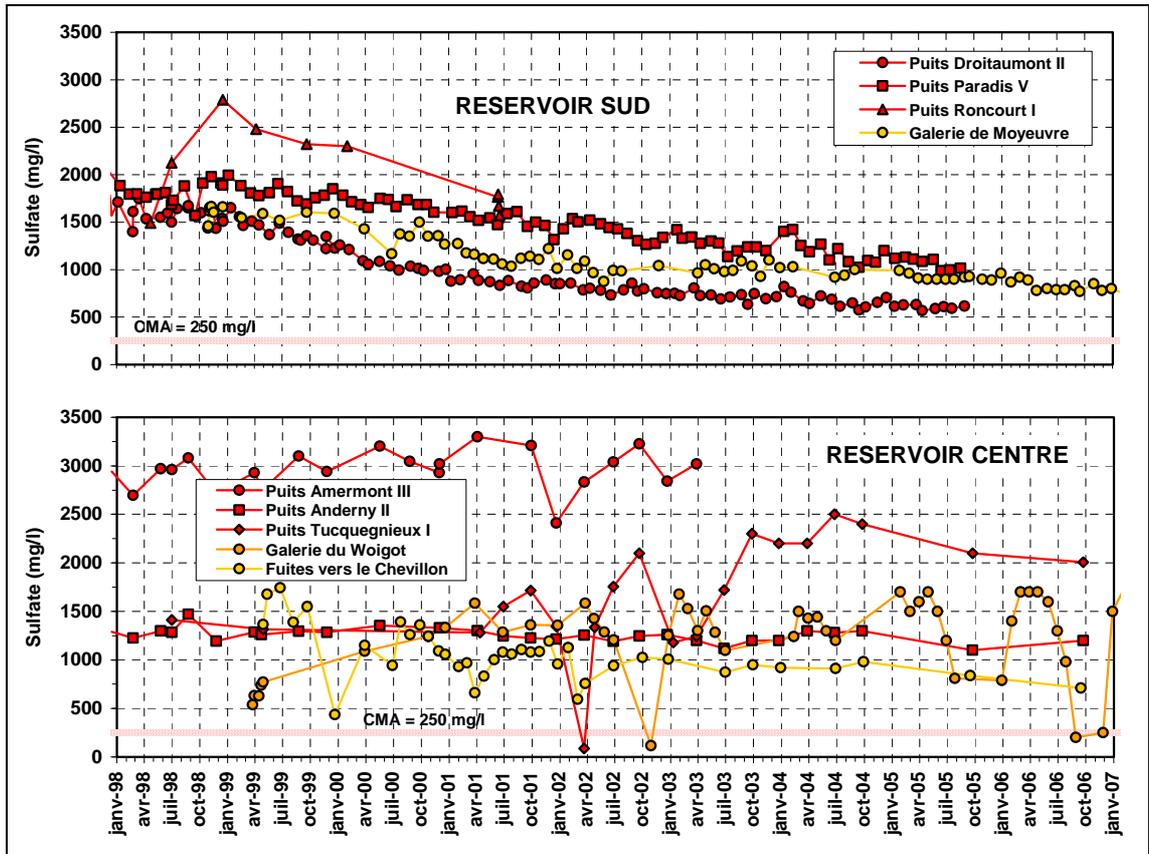


Figure 37 : évolution de la concentration en sulfate depuis 1998 dans les anciens puits miniers des réservoirs Sud et Centre.

c) Les concentrations en sulfate dans les anciens puits miniers des réservoirs Sud et Centre

Les concentrations dans les puits du réservoir sud ont baissé sensiblement depuis 1998, de plus de 60 % pour Droitaumont II, et de plus de 40 % pour Paradis V (Figure 37).

Au contraire, la concentration des eaux prélevées dans les puits du réservoir centre est stable depuis 1998 (Figure 37). Les variations de concentration observées sont très probablement des artéfacts d'échantillonnage. En effet, lorsqu'un puits minier n'est pas en exploitation permanente, de l'eau douce provenant du Dogger envahit la partie supérieure du puits. Dans ce cas, le prélèvement d'un échantillon représentatif de l'eau du réservoir minier n'est possible qu'à la condition de renouveler au préalable toute l'eau stagnante dans le puits, en pompant suffisamment longtemps à un débit supérieur aux arrivées d'eau douce parasites.

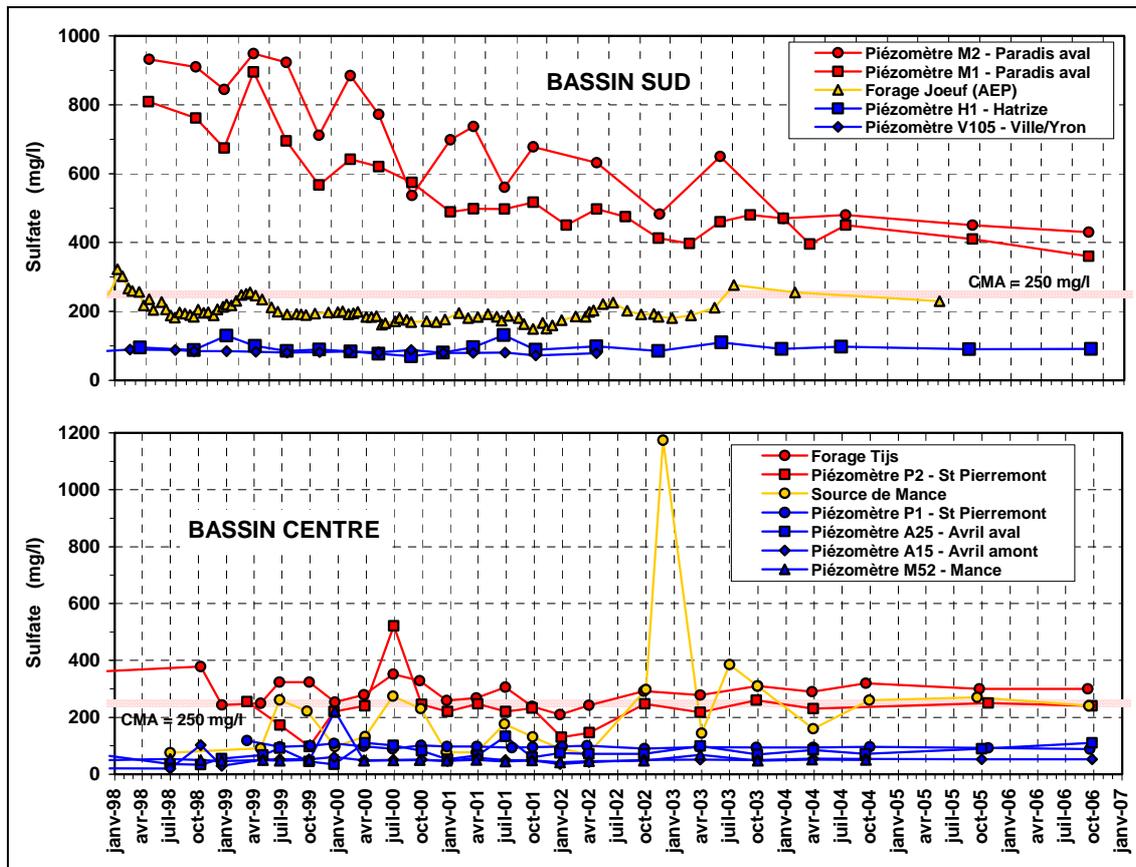


Figure 38 : évolution de la concentration en sulfate depuis 1998 dans les puits des réservoirs Sud et Centre.

d) Les concentrations en sulfate dans la nappe des calcaires du Dogger dans les bassins Sud et Centre

La contamination de la nappe des calcaires du Dogger par infiltration d'eau de rivière minéralisée (elle-même contaminée par des rejets de soutien d'été ou des rejets de nanofiltrats) est un phénomène assez général, observé autant dans le bassin Sud que dans le bassin Centre.

C'est notamment le cas pour le doublet de piézomètres du site de paradis (M1 et M2). L'eau de ces piézomètres est d'autant moins contaminée qu'ils sont profonds (M1 est plus profond que M2), et leurs variations de concentrations sont saisonnières, ce qui démontre l'existence d'un débit permanent d'eau contaminée provenant de la surface. On observe le même phénomène pour le piézomètre P2 - St-Pierremont, contaminé alors qu'il capte le sommet de la nappe, alors que P1 plus profond n'est pas contaminé.

4.3.3. Les autres paramètres de qualité des eaux souterraines

Dans les réservoirs miniers, les eaux sont fortement minéralisées : les concentrations en sodium et magnésium sont très supérieures aux concentrations maximales admissibles pour l'alimentation en eau potable (CMA). D'autre part, ces eaux sont caractérisées par des concentrations en éléments indésirables parfois plus fortes que les CMA : ceci concerne les éléments fer, manganèse et bore, ainsi que très ponctuellement les indicateurs de contamination humaine « indice hydrocarbures totaux », « indice phénols » et ammonium. A l'exception du nickel de façon ponctuelle, les concentrations en éléments toxiques sont toujours inférieures aux valeurs limites de qualité des eaux destinées à la consommation humaine actuellement en vigueur en France.

5. Conclusion

Le bassin ferrifère lorrain est un système hydrodynamique et chimique complexe, formé par la superposition d'un aquifère calcaire fracturé et localement karstique (nappe du Dogger) et d'un aquifère artificiel constitué de grands vides anastomosés (réservoir minier).

Dans la continuité du suivi initié en 1995, la surveillance de la quantité (niveaux, débits) et de la qualité des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain en 2005 a permis d'une part de mieux comprendre le fonctionnement de ce système, et d'autre part de continuer la constitution d'un ensemble de bases de données (géographiques, géologiques, minières, hydrodynamiques, chimiques) vouées aux eaux souterraines de ce secteur.

A l'échelle du bassin, ces données serviront à nourrir les modèles de gestion des eaux souterraines et de surface en projet ; à l'échelle locale, elles servent déjà à alimenter les études hydrogéologiques et environnementales.

Du point de vue de la surveillance des eaux souterraines, l'événement marquant de l'année 2005 aura été le début de l'envoyage du réservoir Nord le 1^{er} décembre 2005. Ce suivi a nécessité la mise en place d'un matériel et d'une méthodologie spécifique, adaptés aux contraintes techniques de mesure et d'échantillonnage dans des ouvrages profonds dans lesquels le niveau d'eau s'élève constamment.

6. Bibliographie

Agence de l'eau Rhin-Meuse (1973) – Protection des eaux d'exhaure dans le bassin hydrologique de l'Orne. 30 p., 8 ann.

Agence de l'eau Rhin-Meuse (1975) – Protection naturelle des ressources en des eaux en eau souterraine du bassin ferrifère d'Amermont-Ottange. 22 p., 8 ann.

Allemmoz M. (1991) – Société pour l'amélioration en eau du nord de la Meurthe-et-Moselle (SAENOMM) ; District urbain de Longwy ; Périmètres de protection des eaux d'exhaure destinées à l'alimentation en eau potable ; Propositions de l'hydrogéologue agréé. Rapport BRGM 4S/LOR n°91/37, 20 p., 21 ann.

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-a) – Diren Lorraine ; Bassin ferrifère ; Etude de synthèse sur les bassins versants dont le débit est soutenu par pompage dans les réservoirs miniers ; Phase 1 : Etat des milieux. Rapport Diren Lorraine, 122 p.

ANTEA, GEREEA (2004-b) – Diren Lorraine ; Bassin ferrifère ; Etude de synthèse sur les bassins versants dont le débit est soutenu par pompage dans les réservoirs miniers ; Phases 2 : analyse des milieux ; Phase 3 : les réponses. Rapport Diren Lorraine, 79 p.

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.

Babot Y. (1996) – ARBED ; Abandon des travaux miniers ; études hydrogéologiques et hydrologiques. Rapport ANTEA A 08137, 6 p., 3 rapports séparés annexés.

Babot Y. (2004) – ARBED ; Ennoyage du bassin nord (57) ; Risques de résurgences. Rapport ANTEA A 34198/A, 12 p., 2 fig., 3 ann.

Babot Y., Vançon J-P. (1997) – ARBED ; Arrêt des travaux miniers ; étude hydrogéologique. Rapport ANTEA A 09553, 22 p., 15 fig., 3 ann.

Bouly S. (1991) – Syndicat Mixte de Production d'Eau Fensch-Moselle (54) ; Périmètres de protection des réservoirs miniers d'Errouville et de Serrouville ; Propositions de l'hydrogéologue agréé. Rapport de l'Association Scientifique pour la Géologie et ses Applications, 28 p., 14 ann.

BURGEAP, AERM (2003) – Etude méthodologique pour la mise en place de périmètres de protection dans le bassin ferrifère. Rapport Agence de l'eau Rhin-Meuse RSt.202, 28/01/2003 - 63, Cote : 23140 - 5 RM, 53 p., 7 fig. 5 ann.

Centre d'études géographiques de l'université de Metz (1999) – Inventaire des phénomènes karstiques et des expériences de traçage du Dogger de Lorraine, secteur bassin ferrifère. Rapport Agence de l'eau Rhin-Meuse n° 23271-1 RM, 10 p., 6 ann., 1 carte, 1 base de données Access.

Collectif (2006) – Géologie et géographie de la Lorraine, sous la direction d'Annette Lexa-Chomard et Christian Pautrot. Editions Serpenoise, 286 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.

Conseil général de la Moselle (2005) – L'eau potable en Moselle ; Situation & enjeux ; Schéma départemental d'alimentation en eau potable. Rapport du Conseil général de la Moselle, 66 p., 7 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.

Dumont J. (1999) – Schéma d'alimentation en eau potable du bassin ferrifère ; Projet de rapport du directeur régional de l'agriculture et de la forêt. Rapport de la Direction régionale de l'agriculture et de la forêt de Lorraine, 65 p.

Gamez P. (1992) – Hydrologie et karstologie du bassin du Loison (Lorraine septentrionale). Thèse, Mosella t. XXI, université de Metz, CEGUM. 397 p.

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.

Jacquot N. (2006) – Communauté de communes de l'agglomération de Longwy ; Dossier préalable à l'établissement des périmètres de protection de l'exhaure de la mine Moulaine à Haucourt-Moulaine. Rapport ANTEA A 37953/A, 32 p., 8 fig., 20 ann.

Jaillet S. (1999) – Recul de couverture et karstification dans un karst couvert de bas plateaux : Le Barrois (Lorraine / Champagne – France). Actes du colloque Karst-99.

Jaillet S., Gamez P, (1995) – Observations morphologiques sur le géosystème karstique du Rupt du Puits. Karstologia n°26, F.F.S, A.F.K. Bordeaux. p. 27-38.

Maillou F. (1994) – Réactualisation des cartes piézométriques de la nappe aquifère du Dogger entre le Rupt de Mad et la Chiers. Rapport de stage hydrogéologique, Agence de l'eau Rhin-Meuse, 26 p., 8 fig., 3 ann.

Préfecture de région Lorraine (2005-a) – Directive territoriale d'aménagement des bassins miniers nord-lorrains. 124 p, 3 ann., 1 planche.

Préfecture de région Lorraine (2005-b) – L'après-mine dans le bassin ferrifère lorrain ; Octobre 2005. 46 p., 1 ann.

Ramon S. (1976) – Réservoir aquifère des côtes de Moselle ; Carte piézométrique de la nappe dans les Ardennes et le nord de la Lorraine en juillet 1976. Rapport Agence de l'eau Rhin-Meuse, 10 p., 2 cartes.

Ricour J., Lallemand-Barrès A. (1994) – Sites pollués et déchets. Manuel et méthodes, éditions BRGM. 128 p.

Salomon J-N. (2000) – Précis de karstologie. Presses universitaires de Bordeaux, 250 p.

Service régional de l'aménagement des eaux de Lorraine (1983) – Vulnérabilité des eaux souterraines du bassin ferrifère à la pollution. Notice explicative. 5 cartes annexées.

Suzanne J-C, Fournieret P. (1996) – Ministère de l'environnement ; Rapport sur l'exhaure des mines de fer en Lorraine. Rapport 96-082 du Conseil général des ponts et chaussées, 27 p., 13 ann.

Vaute L. (2001) – Evaluation de l'impact sur les eaux souterraines du rejet d'une partie des eaux pluviales de Villerupt (54) dans la faille de Crusnes. Rapport BRGM/RP-50777-FR, 39 p., 2 fig., 4 tabl., 6 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., Frappier G. (2004) – Surveillance des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain en 2003. Rapport BRGM/RP-53276-FR, 108 p., 45 fig., 1 tab., 5 ann (cd-rom).

Vaute L., Khat M-O, Douche A., Fourniguet G., Frappier G., Goubot M-J., Josefiak M. (2005) – Construction et mise en œuvre d'un simulateur hydrogéologique 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).

7. Annexe 1 : fiches descriptives des réservoirs miniers

7.1. LE RESERVOIR BAZAILLES

Les données concernant ce réservoir sont trop peu nombreuses pour pouvoir en synthétiser l'historique ou les principales caractéristiques.

7.2. LE RESERVOIR BURBACH

Les données concernant ce réservoir sont trop peu nombreuses pour pouvoir en synthétiser l'historique ou les principales caractéristiques.

7.3. LE RESERVOIR CENTRE

7.3.1. Sources de données

Les informations qui suivent sont issues de la consultation :

- des rapports sur le suivi des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain (Vaute, 2004) et des chroniques associées qui sont éditées périodiquement par l'Agence de l'eau.
- des études techniques signalées en bibliographie.

7.3.2. L'ennoyage du réservoir Centre

Dans le réservoir Centre, l'ennoyage a commencé par l'ouest, à Amermont, zone la plus profonde, avant l'arrêt définitif de l'exhaure en février 1994. Le niveau de l'eau est passé de -50 m NGF (cote du fond) à +14 m NGF en février 1993, pour atteindre +85,95 m NGF en avril 1994. Cette cote permettant le déversement de l'eau dans un compartiment hydraulique voisin, par l'intermédiaire d'un seuil, elle s'est maintenue jusqu'en janvier 1995, date à laquelle les deux niveaux d'eau se sont rejoints. Ensuite le niveau d'eau global n'a cessé de monter par paliers réguliers jusqu'à la mi-mai 1998, où il a atteint la cote 210 m NGF environ (210,16 m le 11/05/98). Cela représente une vitesse moyenne de progression de l'ordre de 3 m/mois (10 cm/jour).

A partir de cette date et jusqu'à la fin octobre 1998, le niveau s'est stabilisé puis s'est abaissé de 3 m jusqu'à la cote 207 environ (207,3 le 19/10/98). Il est probable que la baisse du niveau piézométrique dans le réservoir minier Centre à cette période soit due à une recharge du réservoir Centre inférieure aux pompages effectués pour les

soutiens d'étiages du Woigot et du ruisseau de la Vallée, puisque les seules fuites connues ne semblent se produire qu'à partir de la cote 221 m environ (cf. § suivant).

Les fortes pluies de la fin octobre 1998 ont ensuite provoqué une rapide reprise de la montée du niveau piézométrique jusqu'à la cote 212,7 m, puis une nouvelle stabilisation du niveau est enregistrée du 15 novembre au 15 décembre 1998. Enfin, un nouvel épisode de pluie survenu à la fin du mois de décembre a provoqué la reprise de la montée du niveau piézométrique, jusqu'au débordement par le puits du Chevillon constaté le 28 décembre. Cet exutoire ne permettait le déversement des eaux du réservoir minier dans le Chevillon qu'à un débit limité à 100 l/s, et il a été fermé le 7 février 1999.

7.3.3. Le fonctionnement du réservoir Centre depuis le premier débordement

Le niveau a donc continué sa progression jusqu'à atteindre la cote du point de débordement principal du réservoir Centre, la galerie du Woigot (222,74 m NGF), le 16 mars 1999, date du premier débordement du réservoir par l'exutoire principal prévu.

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).

On observe chaque année des arrêts de débordement à la galerie du Woigot, fréquemment d'une durée proche de 6 mois (sous l'influence, pour partie, des pompages réalisés sur les sites de Tucquenieux et d'Anderny, pour le soutien des débits du Woigot et du ruisseau de la Vallée). Les deux autres exutoires fonctionnent plus rarement. La galerie de Bois d'Avril a connu 4 périodes de débordement depuis 1999, en 2001 (5 mois), 2002 (3 mois), 2003 (1,5 mois), et 2006 (1 mois). La galerie de Fontoy ne peut commencer à déborder que lorsque le niveau atteint au minimum la cote 223,5 m, ce qui 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).

Selon la quantité et la répartition des pluies au cours d'un cycle hydrologique, l'amplitude de variation du niveau du réservoir Centre peut varier de plusieurs mètres. Le battement total observé depuis le 16 mars 1999 (premier débordement à la galerie du Woigot) est de 7 m exactement.

La baisse du niveau du réservoir Centre en étiage s'explique à la fois par l'existence de fuites à une cote inférieure au seuil de débordement (vallée du Chevillon) et par les prélèvements qui sont effectués pour le soutien d'étiage du Woigot et du ruisseau de la Vallée.

Depuis l'apparition des premières fuites dans la vallée du Chevillon (début mars 1999) et le premier débordement à la galerie du Woigot (16 mars 1999), et jusqu'au 31 décembre 2006, au moins 71,7 Mm³ se sont écoulés du réservoir Centre, dont près de 60 % par la galerie du Woigot (point de débordement principal du réservoir Centre) ; 3

% par la galerie Bois d'Avril (point de débordement de hautes eaux) ; et 37 % par les fuites connues dans le Chevillon et le Conroy.

Le débit moyen journalier de débordement correspondant est d'un peu plus de 25 000 m³/j.

7.3.4. Les fuites du réservoir Centre dans la vallée du Chevillon

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. Le débit des fuites diffuses du réservoir Centre dans le Chevillon et le Conroy (en aval de leur confluence) a été estimé par un calcul de mélange à 185 l/s le 11 mai 1999, dont 75 % dans le Chevillon et 25 % dans le Conroy (Allemmoz, 1999). Dans la zone de fuites, les quelques sources bien individualisées ne représentaient que quelques % du total du débit de fuite, le reste s'écoulant de manière diffuse vers le Chevillon et le Conroy.

Une relation linéaire entre le niveau du réservoir Centre et le débit de fuites a été proposé (Vaute *et al.*, 2004) : selon cette relation, le débit moyen des fuites serait de 116 l/s sur la période 1er mars 1999 – 31 décembre 2006, pour un maximum de 172 l/s et un minimum de 0 l/s.

7.3.5. Evolution des concentrations en sulfate

Au point de fuite du réservoir du réservoir Centre dans la vallée du Chevillon, la tendance à la baisse observée en 1999 et 2000 semble due à une configuration particulière locale, car aucune tendance semblable n'est plus décelable depuis. Lors, ni non plus à la galerie du Woigot, point de débordement principal du réservoir Centre, ni enfin dans les puits miniers faisant l'objet d'une surveillance (Anderny II, Tucquegnieux I). Depuis novembre 2000, la concentration en sulfate à la galerie du Woigot fluctue entre 980 mg/l (juillet 2006) et 1700 mg/l (février-avril 2006). La concentration y était de 1500 mg/l le 28 décembre 2006.

7.4. LE RESERVOIR ERROUVILLE

7.4.1. Sources de données

Les informations qui suivent sont issues de la consultation :

- des archives de l'Agence de l'eau Rhin-Meuse, comprenant des documents et des données de l'Agence, de l'ARBED, et du Fensch Lorraine,
- des données fournies par l'ARBED au BRGM dans le cadre de la mise en place du réseau de surveillance de l'ennoyage du réservoir Nord,

- du rapport relatif à l'établissement des périmètres de protection des réservoirs d'Errouville et de Serrouville (Bouly, 1991),
- du rapport relatif à l'évaluation de l'impact sur les eaux souterraines du rejet d'une partie des eaux pluviales de Villerupt (54) dans la faille de Crusnes (Vaute, 2001),
- de l'exploitation des données statistiques sur les débits d'exhaures des mines de fer, pour la période 1946-1996, fournies par l'Agence de l'eau Rhin-Meuse.

7.4.2. Le fonctionnement du réservoir Errouville pendant la période d'exhaure

Le réservoir d'Errouville a été isolé du réservoir Serrouville qui lui est adjacent par des serremments (barrages en galeries) construits en 1988. Ces serremments barrent les 2 travers-bancs (galeries de liaison entre couches exploitées) qui reliaient les concessions Serrouville et Errouville, à travers la faille de Crusnes.

L'exhaure principale par le puits III de la mine d'Errouville (puits Errouville III, indice national 01132X0164) rejetait ses eaux dans la Crusnes.

Les statistiques des débits d'exhaure de la mine d'Errouville indiquent que l'exhaure moyenne était de 7390 m³/j sur la période 1984-1988.

7.4.3. L'ennoyage du réservoir Errouville

L'arrêt de l'exhaure au puits III, le 25 octobre 1989, a provoqué l'ennoyage progressif de la mine jusqu'à la cote 202,8 m NGF en basses eaux (valeur mesurée en septembre 2006 au puits Errouville III), atteinte vers le 20 février 1991. A partir de cette cote, un débordement se produit à travers une zone foudroyée vers le réservoir Nord. Un réservoir d'environ 2,7 Mm³ s'est ainsi constitué dans la concession Errouville.

7.4.4. Le fonctionnement du réservoir Errouville après l'ennoyage

Il est important de noter que du point de vue hydraulique, le réservoir d'Errouville n'est isolé du réservoir Nord que jusqu'à ce que le niveau d'ennoyage du réservoir Nord atteigne la cote 202,8 m environ. Au-delà de cette cote, les deux réservoirs seront progressivement mis en communication hydraulique, par l'intermédiaire d'écoulements se produisant en zones foudroyées, par une tranche d'eau d'au minimum 5 m d'épaisseur, le seuil de débordement du réservoir Nord étant situé à la cote de 207,47 m.

Jusqu'au début de l'ennoyage du réservoir Nord, l'eau de débordement du réservoir Errouville était collectée par une galerie du réservoir Nord en concession Tressange, et exhaurée avec l'eau du réservoir Nord. De janvier 1993 à décembre 2005, le débit de débordement collecté par la galerie a été mesuré par ARBED : sur la période, le débit

moyen mensuel était de 6260 m³/j, avec un débit maximum instantané de 16780 m³/j et un débit minimum instantané de 860 m³/j.

Afin de tenter d'améliorer de manière significative la qualité de l'eau du réservoir, le Fensch Lorraine a effectué un pompage de renouvellement entre mars 1993 et juillet 1994. La baisse de concentration en sulfate obtenue a été de 1046 mg/l, de la valeur maximale de 1330 mg/l mesurée le 15 mars 1993 à la valeur minimale de 284 mg/l mesurée le 1er juin 1994. Un deuxième test de pompage a été effectué du 26 juin 1997 au 30 septembre 1997, au cours duquel 371400 m³ ont été pompés et rejetés dans la Crusnes. Les concentrations mesurées au puits Errouville III le 1er juillet 1997, au début du test de pompage, étaient de 828 mg/l de sulfate, 259 mg/l de sodium, 1440 µg/l de fer, et 240 µg/l de manganèse. Juste avant l'arrêt du pompage, le 29 septembre 1997, les concentrations avaient peu varié : on trouvait 800 mg/l de sulfate, 236 mg/l de sodium, 1140 µg/l de fer, et 275 µg/l de manganèse.

L'arrêté inter-préfectoral du 21 décembre 1994 autorise le Fensch Lorraine à exploiter le réservoir Errouville au débit de 9000 m³/j et 450 m³/h. Le réservoir Errouville n'a cependant pas été mis en exploitation en raison des trop fortes teneurs en sulfate, sodium, fer et manganèse de l'eau du réservoir, comparativement aux teneurs maximales admises pour la distribution d'eau potable.

7.5. LE RESERVOIR GODBRANGE

7.5.1. Sources de données

Les informations qui suivent sont issues de la consultation :

- des archives de l'Agence de l'eau Rhin-Meuse, comprenant des documents et des données de l'Agence et du SAENOMM (Société pour l'amélioration en eau du nord de la Meurthe-et-Moselle),
- du rapport relatif à l'établissement des périmètres de protection des eaux d'exhaure de Réhon, Moulaine et Godbrange (Allemmoz, 1991),
- du rapport relatif à l'établissement des périmètres de protection du réservoir Moulaine (ANTEA, 2006),
- de l'exploitation des données concernant la qualité des eaux brutes fournies par les DDASS,
- de l'exploitation des données statistiques sur les débits d'exhaures des mines de fer, pour la période 1946-1996, fournies par l'Agence de l'eau Rhin-Meuse.

7.5.2. Le fonctionnement du réservoir Godbrange pendant la période d'exhaure

Le réservoir Godbrange résulte de la continuité hydraulique existant entre les mines de Godbrange et de Bréhain, toutes deux situées au nord-ouest de la faille de Crusnes. En avril 1985, avant l'ennoyage du réservoir, un serrement (barrage en galerie) a été mis en place dans le travers-banc (galerie de liaison entre couches exploitées) qui reliait le réservoir Godbrange (concession Crusnes) au réservoir Nord (concession Aumetz) à travers la faille de Crusnes, pour isoler ces deux réservoirs du point de vue hydraulique.

Les statistiques des débits d'exhaure de la mine d'Hussigny-Godbrange indiquent que l'exhaure moyenne était de 13400 m³/j sur la période 1971-1982, et de 4200 m³/j pendant l'étiage 1982 (juillet à octobre).

7.5.3. L'ennoyage du réservoir Godbrange

La dernière exhaure du réservoir a été arrêtée à la fin de l'année 1986, provoquant l'ennoyage du réservoir. L'ennoyage s'est achevé en janvier 1988, lorsque le niveau du réservoir a atteint la cote 337 m. Le point de débordement du réservoir Godbrange est une galerie qui achemine l'eau vers le ruisseau La Moulaine (Galerie de Godbrange, indice national 01132X4002).

Depuis une date inconnue, une partie de l'eau qui transite par la galerie de débordement vers la Mou-laine peut se déverser partiellement, dans certaines conditions de débit, dans la galerie de liaison qui joint les réservoirs Godbrange et Moulaine, construite à l'origine en vue d'un éventuel captage commun des deux réservoirs. Cette galerie de liaison n'a jamais été mise en service pour cet usage, mais la galerie de débordement du réservoir Godbrange croise la galerie de liaison en passant à quelques mètres au-dessus, et un puits permet le déversement de l'eau de débordement dans la galerie de liaison lorsque le débit dans la galerie de débordement dépasse 44 l/s, soit 3810 m³/j.

7.5.4. Le fonctionnement du réservoir Godbrange après l'ennoyage

Peu après la fin de l'ennoyage, le 6 avril 1988, la concentration en sulfate dans le réservoir a atteint une concentration maximale de 760 mg/l.

Afin d'accélérer le renouvellement de l'eau du réservoir Godbrange, et ainsi améliorer la qualité de l'eau, la SAENOMM a procédé à un pompage de renouvellement entre avril 1988 et décembre 1993 (avec un arrêt entre décembre 1988 et février 1990). Au total, 10 millions de m³ ont été prélevés, par pompage dans un forage situé à 25 m de l'actuel captage AEP du réservoir Godbrange (puits d'Hussigny-Godbrange, ancien puit d'exhaure de la mine, indice national 01132X0172). La baisse de concentration en sulfate obtenue a été de 502 mg/l, entre le maximum de 760 mg/l (mesure du 6 avril 1988) et la valeur moyenne interannuelle de 258 mg/l, calculée pour les deux dernières

années de pompage (sur cette période de 24 mois, le minimum mesuré a été de 191 mg/l, et le maximum de 298 mg/l).

Ces pompages ont entraîné durant les périodes d'étiage une baisse du niveau piézométrique du réservoir : la cote 334 m a été atteinte lors de l'étiage 1990, alors que les pompages étaient effectués au débit de 6700 m³/j. Le débit de débordement du réservoir Godbrange, en l'absence de pompage, a donc été évalué à moins de 6000 m³/j en période d'étiage.

Des jaugeages à l'exutoire du réservoir Godbrange, dans la galerie de débordement vers la Moulaine, ont été réalisés en juin 2001 et mai 2003 (ANTEA, 2006). Les débits mesurés étaient respectivement de 6190 et 3810 m³/j. Il est à noter que ce débit de débordement mesuré est amputé du débit qui s'écoule vers la mine de Moulaine par la galerie de liaison (uniquement lorsque le débit de débordement est supérieur à 44 l/s, soit 3810 m³/j), ainsi que du débit prélevé à l'AEP d'Hussigny-Godbrange, soit 350 m³/j en moyenne.

Le réservoir Godbrange est exploité uniquement au puits d'Hussigny-Godbrange (01132X0172) pour l'alimentation en eau d'une seule UGE, la commune d'Hussigny-Godbrange. Sur la période 2000-2005, la concentration moyenne en sulfate mesurée dans le puits d'Hussigny-Godbrange était de 128,4 mg/l, pour un maximum de 147,7 mg/l et un minimum de 95,9 mg/l.

7.6. LE RESERVOIR HAYANGE SUD

Les données concernant ce réservoir sont trop peu nombreuses pour pouvoir en synthétiser l'historique ou les principales caractéristiques.

7.7. LE RESERVOIR LONGWY-REHON

Les informations qui suivent sont issues de la consultation :

- du rapport relatif à l'établissement des périmètres de protection des eaux d'exhaure de Réhon, Moulaine et Godbrange (Allemmoz, 1991),
- de l'exploitation des données concernant la qualité des eaux brutes fournies par les DDASS.

Le réservoir Longwy-Rehon ne possède pas de zone ennoyée : c'est un réservoir complexe drainé gravitairement, constitué de petites exploitations minières isolées reliées entre elles par des galeries. L'exutoire principal de cet ensemble est la galerie de Réhon (indice national 00898X0051) dite « exhaure du lavoir de Réhon » car le trop-plein de la galerie d'exhaure alimentait le lavoir du village, à l'époque de l'exploitation minière.

De manière plus détaillée, cet exutoire gravitaire draine une petite exploitation minière située au nord de Réhon, elle-même reliée par une galerie de jonction longue de 2 km,

passant sous Longwy-Haut, à un ensemble de travaux miniers plus vaste situé au nord-ouest de Longwy.

Seule la pointe sud de ce deuxième ensemble est en réalité drainée vers la galerie de Rehon au sud, la partie nord-ouest des travaux étant drainés vers le ruisseau de Coulmy à l'ouest, alors que la partie nord-est des travaux est drainée vers les égouts de Gouraincourt à l'est.

Le débit d'étiage sévère en octobre 1990, mesuré à la galerie de Rehon, était de 2250 m³/j, ce qui permet de calculer l'ordre de grandeur du débit moyen annuel : 4500 m³/j environ.

Le réservoir Longwy-Rehon est exploité uniquement à la galerie de Rehon pour l'alimentation en eau d'une seule UGE, la CCAL. Sur la période 2000-2005, la concentration moyenne en sulfate mesurée dans à l'exutoire du réservoir Longwy était de 133,9 mg/l, pour un maximum de 135,4 mg/l et un minimum de 131,4 mg/l.

7.8. LE RESERVOIR MOULAIN

Les informations qui suivent sont issues de la consultation :

- des archives de l'Agence de l'eau Rhin-Meuse, comprenant des documents et des données de l'Agence,
- du rapport relatif à l'établissement des péri-mètres de protection du réservoir Moulain (ANTEA, 2006),
- de l'exploitation des données concernant la qualité des eaux brutes fournies par les DDASS.

L'exploitation de la mine de Moulain a cessé en 1964. L'exhaure de cette mine était gravitaire. Les statistiques des débits d'exhaure de cette mine indiquent que l'exhaure moyenne était de 5200 m³/j sur la période 1955-1962, et de 2390 m³/j pendant l'étiage 1962 (août à octobre).

Le réservoir Moulain ne possède pas de zone ennoyée. Après 1964, la mine a continué à être drainée gravitairement par l'ancienne « galerie des eaux » de la mine, qui est parallèle à la galerie d'accès de la mine. L'eau s'écoulant par l'exutoire gravitaire de la mine Moulain (galerie de Moulain, indice national 00905X0061) se déverse dans la rivière Moulain à l'aval du village de Moulain, au droit de la galerie d'accès à la mine Moulain. Une galerie de liaison a par ailleurs été réalisée entre les mines d'Hussigny-Godbrange et celle de moulain en vue d'un éventuel captage commun des deux réservoirs Moulain et Godbrange. Cette galerie de liaison n'a jamais été mise en service directement pour cet usage, mais sa présence contribue à modifier l'écoulement à l'exutoire du réservoir de Moulain. En effet, l'eau de l'exutoire gravitaire du réservoir Moulain est composée :

- non seulement de l'eau de drainage gravitaire du réservoir Moulain,

- mais aussi de l'eau s'infiltrant directement dans la galerie de liaison joignant les réservoirs Moulaine et Godbrange et dans une galerie annexe dite « de Tiercelet » qui s'y raccorde, les infiltrations se produisant tout le long du linéaire de ces deux galeries,
- et enfin, depuis une date inconnue, d'une partie de l'eau de débordement du réservoir Godbrange, qui se déverse dans la galerie de liaison au droit de leur intersection, lorsque le débit dépasse 44 l/s, soit 3810 m³/j (la galerie de débordement du réservoir Godbrange croise la galerie de liaison en passant à quelques mètres au-dessus, un puits les met en communication lorsque le niveau dans la galerie de débordement dépasse un seuil).

Des jaugeages ont été réalisés en septembre 2000, juin 2001 et mai 2003 (ANTEA, 2006), dans le but de mieux connaître les débits s'écoulant par ces différentes galeries. Les résultats sont les suivants :

- à la sortie du réservoir Moulaine, avant mélange avec la galerie de liaison avec Godbrange : 820 à 1920 m³/j,
- à la galerie de liaison, avant mélange avec le réservoir Moulaine : 2900 à 4880 m³/j,
- à l'exutoire du réservoir moulaine (réservoir Moulaine + galerie de liaison) : 4810 à 8060 m³/j.

Sur la période 2000-2005, la concentration moyenne en sulfate à l'exutoire du réservoir Moulaine était de 114 mg/l, avec un maximum de 119,5 mg/l et un minimum de 110 mg/l.

Le réservoir Moulaine est exploité à l'exutoire gravitaire pour l'alimentation en eau de 2 UGE (CCAL et Cité Saint-Charles – Hameau Moulaine).

7.9. LE RESERVOIR NORD

7.9.1. Sources de données

Les informations qui suivent sont issues de la consultation :

- du dossier d'arrêt définitif des travaux et des installations minières de 14 concessions, déposé par ARBED au début de l'année 1997,
- du rapport de la préfecture de région Lorraine, relatif à l'après-mine dans le bassin ferrifère lorrain (2005),
- des études techniques signalées en bibliographie, qui figurent pour une grande part au dossier d'abandon d'ARBED.

7.9.2. Contexte géographique et hydrogéologique

La région concernée par les exploitations minières du réservoir Nord couvre une zone de 6,7 km d'est en ouest et de 15 km du nord au sud. Cette zone a l'aspect d'un plateau, échancré au Nord par la vallée de l'Alzette, du Kaylbach et du Volmerange, au sud par la vallée de la Fensch, à l'est par la vallée du Veymerange. Ce plateau, en grande partie calcaire, est coupé de failles et présente des zones à fortes circulations karstiques.

La localisation des phénomènes karstiques est essentiellement liée aux alternances marnes / calcaires : à leurs contacts se forment les grands systèmes karstiques, car un important ruissellement amont sur des terrains peu perméables se concentre sur quelques principaux gouffres descendant dans les karsts. C'est le cas des pertes du Killebrick à Havange et du ruisseau de Boulange, qui convergent vers la source de la Fensch.

Au droit des travaux miniers du réservoir Nord, l'état initial de la nappe principale des calcaires du Dogger, c'est-à-dire avant l'exploitation minière, n'est que très partiellement connue. Par reconstitution de cet état par modélisation (Babot et Vançon, 1997), on estime que tout le débit infiltré sur le plateau calcaire situé au droit du réservoir Nord ressortait par des sources à des cotes s'étageant dans le fond des vallées entre 235 m et 330 m pour les plus importantes, dans les vallées de la Fensch, la Crusnes, le Kaylbach, et le Volmerange. Le régime des eaux souterraines était karstique avec des réponses rapides aux crues.

7.9.3. Le fonctionnement du réservoir Nord pendant la période d'exhaure

Les travaux miniers du réservoir Nord ont été effectués par plusieurs sociétés minières. Le dernier exploitant était la société ARBED, qui a arrêté la production en 1997. Du fait de l'existence de communications créées entre les différentes mines, un bassin hydrologique s'est constitué, regroupant plusieurs concessions dont le point le plus bas se situe au niveau de l'ancienne salle des pompes de la Paix, à la cote 92 m NGF.

ARBED a été amené à gérer l'ensemble des eaux du réservoir Nord, suite à l'abandon des concessions voisines : 60 % des eaux d'exhaures d'ARBED venaient ainsi des anciens travaux miniers adjacents aux travaux ARBED. En 1996, le réservoir Nord constituait un ensemble qui nécessitait, après rationalisation de l'exhaure au fil des années, le maintien en service de 10 salles des pompes et de 39 pompes. Les débits unitaires des pompes allaient de 5 à 35 m³/mn (7200 à 50 400 m³/j), afin de faire face aux débits importants durant les périodes de fortes pluviosité, et d'être par ailleurs en mesure de s'adapter aux débits d'étiage. La capacité totale des pompes était de 492 m³/mn, soit 708 480 m³/j, et le volume des albraques et réservoirs servant de tampon en cas de fortes venues d'eau était de 2 millions de m³.

Les débits moyens annuels exhaures dans le réservoir Nord pendant la période 1982-1996 ont été de 141 190 m³/j en moyenne, soit 51,5 millions de m³ par an, pour un minimum de 62 220 m³/j en 1996, et un maximum de 244 000 m³/j en 1983. Il faut noter que le débit d'étiage le plus faible enregistré sur la période, en moyenne

mensuelle, a été de 40 800 m³/j en septembre 1996, alors que le débit de pointe sur un jour a atteint la valeur considérable de 590 400 m³/j le 3 février 1995. Ce débit de pointe, de période de retour au moins cinquante-naire, a représenté 83 % de la capacité de pompage du réservoir Nord.

Les observations ont montré que les fortes pluies se traduisaient par une augmentation des débits à exhaurer dans les salles des pompes environ 8 jours après leur survenue.

Une modélisation a montré que le niveau piézométrique de la nappe principale des calcaires du Dogger a probablement baissé de l'ordre de 100 à 120 m au centre et au sud du réservoir, et de 50 à 60 m sur la bordure ouest, le long de la faille de Crusnes.

Jusqu'au début de l'ennoyage du réservoir Nord, les eaux d'exhaures étaient utilisées pour l'alimentation en eau potable et industrielle, en sortie de 2 puits et 2 galeries d'exhaure.

Les UGE utilisatrices de ces exhaures étaient :

- le SIE Fontoy – Vallée de la Fensch (SEAFF) : exhaure du puits Bure, et exhaure de la galerie la Paix, à Knutange (numéro d'indice national = 01138X0184),
- la commune de Thionville : exhaure de la galerie Charles-Ferdinand, à Entringe (numéro d'indice national = 01141X0024),
- la commune d'Audun-le-Tiche : exhaure du puits Saint-Michel (numéro d'indice national = 01133X0074).

7.9.4. L'ennoyage du réservoir Nord

Le dossier d'arrêt définitif des travaux et des installations minières de 14 concessions, couvrant notamment le réservoir Nord, a été déposé par la société ARBED au début de l'année 1997.

L'arrêté préfectoral du 29 octobre 1998 fixait l'ennoyage du réservoir Nord au 30 novembre 2002 et les arrêtés préfectoraux des 27 avril 2002 et 21 juillet 2004 l'ont reporté successivement aux 30 novembre 2004 et 2005. Ces reports ont permis de réaliser l'ensemble des études de l'aléa minier, de mettre en place les mesures de surveillance des mouvements de terrains nécessaires, de mettre en place des mesures de substitution de l'approvisionnement en eau et de gestion des eaux de surface. Les prescriptions de l'arrêté préfectoral du 29 octobre 1998, relatives à l'ennoyage, sont réalisées. Dans le domaine de l'eau, on retiendra notamment que :

- les possibilités de poursuivre l'exhaure ont été explorées par de multiples études, expertisées et soumises à débat,
- les mesures de substitution pour l'approvisionnement en eau potable sont en place (ou en cours de finalisation),

- l'aménagement de la Fensch est en cours,
- les problèmes d'inondation comparables à ceux qui ont pu être rencontrés sur le bassin Sud ne sont pas à craindre,
- le dispositif de suivi de l'ennoyage est en place.

L'ennoyage du réservoir Nord a débuté le 1^{er} décembre 2005, et s'achèvera lorsque le niveau du réservoir atteindra la cote 207,47 m, ce qui provoquera le débordement principal des eaux du réservoir vers la Fensch, par la galerie de Knutange (la Paix). Il est à noter qu'un premier exutoire, au débit limité à 130 l/s, débordera dès la cote 193 m, dans le but de soutenir le Veymerange via le Metzange.

Les galeries d'exploitation sont toutes tracées en couche à l'exception de quelques travers-bancs. Les galeries ont une largeur qui varie de 4,5 à 5,5 m pour une hauteur variant en fonction de l'ouverture de la couche, qui est en moyenne de 3,7 m. Le volume des vides à remplir par l'eau comprend le volume des galeries ouvertes, auquel il faut ajouter celui laissé par le foisonnement du foudroyage dans les zones foudroyées. La capacité du réservoir Nord estimée par ARBED est dans ces conditions de 52,6 millions de m³ pour un débordement par la galerie de la Paix (ou de Knutange) à partir de la cote 207,47 m. La durée de remplissage est estimée à 21 mois, pour une pluviosité moyenne.

Dans les premiers jours de l'ennoyage, l'eau d'infiltration s'est d'abord dirigée vers l'albraque de la Paix (petit réservoir situé au droit du puits d'Havange), puis, à partir du 22 décembre 2005, ont envahi les parties les plus profondes du réservoir Nord. Le suivi du niveau a d'abord été effectué manuellement par ARBED, jusqu'à la mi-février 2006, puis automatiquement à l'aide d'une centrale de mesure télétransmise installée par le BRGM.

Entre le 23 décembre 2005 (cote 75,8 m) et le 5 mars 2007 (cote 168,69 m), le niveau du réservoir s'est élevé de près de 93 m. Sur cette période, on peut calculer que la progression moyenne du niveau est de 21,3 cm par jour. Comme dans les autres réservoirs déjà ennoyés, le niveau piézométrique est partout le même dans le réservoir Nord, en raison des très faibles résistances à l'écoulement dans le réseau de galeries interconnectées.

Depuis le début de l'ennoyage, la progression quotidienne du niveau a varié entre 3 et 57 cm par jour. Les vitesses moyennes de progression quotidiennes enregistrées pendant l'année 2006 sont les suivantes : 31,6 cm/j en hiver ; 28,4 cm/j au printemps ; 11,5 cm/j en été ; 8,6 cm/j en automne. La vitesse de progression dépend de la quantité et de la chronologie des précipitations ; de la température, qui détermine la fraction de la pluie utile pour la recharge des nappes d'eaux souterraine (pluie efficace) ; et enfin de la géométrie des vides du réservoir. Cette complexité géométrique, ainsi que le caractère aléatoire des précipitations efficaces, rend incertaine la prévision de la date de débordement. Le débordement pourrait intervenir dès la fin de l'année 2007.

7.9.5. Le fonctionnement du réservoir Nord après l'ennoyage

Le point de débordement le plus bas du réservoir Nord est la galerie Charles, à Metzange (numéro d'indice national = 01138X0147), dont le seuil est à la cote 193 m. Le ruisseau Veymerange, qui reçoit l'eau s'écoulant dans la galerie, ne pouvant accepter le débit de débordement de tout le réservoir Nord, un serrement barrant la galerie a été construit par ARBED, afin de permettre le débordement par le deuxième point de débordement possible, la galerie de la Paix à Knutange. Cet exutoire, dont le seuil est à la cote 207,47 m, permet le débordement du réservoir Nord vers la Fensch.

Toutefois, la réalisation d'un serrement totalement étanche aurait entraîné la disparition du caractère pérenne du ruisseau le Veymerange. A la demande de la ville de Thionville, le serrement dans la galerie Charles a été aménagé de manière à laisser passer un débit de 130 l/s, ce débit permettant d'assurer un écoulement pérenne du Veymerange sans dégrader l'écoulement de la Fensch par rapport à la situation actuelle (Allemmoz, 2003).

Le seuil de débordement du réservoir Nord est ainsi situé à la cote 207,47 m NGF. Cette cote est plus basse que les seuils de débordement des principaux réservoirs périphériques : 337 m pour le réservoir Godbrange, 303,5 m pour le réservoir Serrouville, 222,74 m pour le réservoir Centre. Seuls font exception les réservoirs Errouville (202,8 m en basses eaux) et Burbach (203 m) : le réservoir Errouville sera connecté au réservoir Nord par une tranche d'eau d'épaisseur supérieure à 5 m, par l'intermédiaire de zones foudroyées, tandis que des études ont montré que le réservoir Burbach était isolé du réservoir Nord (Babot, 1996 et 2004).

Le fonctionnement de l'ouvrage de débordement du réservoir Nord est assez complexe : l'évacuation de l'eau de débordement vers la Fensch s'effectuera par deux galeries superposées connectées au puits d'Havange, appelées pour l'une, la galerie des eaux (la plus basse), et pour l'autre, le tunnel d'accès (la plus haute). 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 le tunnel d'accès servait d'accès à la mine de la Paix par véhicules. Dans sa partie aval, le tunnel d'accès de La Paix est en communication avec la galerie des eaux de La Paix par l'intermédiaire d'un déversoir interne.

Lorsque le niveau du réservoir atteindra la cote de 207,47 m NGF, l'eau débordera par la galerie des eaux de la Paix. A partir de la cote 207,91 m, soit pour un débit de débordement estimé à 3 m³/s, la galerie des eaux se déversera dans la partie aval du tunnel de la Paix par l'intermédiaire du déversoir interne, les deux galeries de débordement fonctionneront donc en parallèle. Enfin, à partir de la cote 209,50 m, soit pour un débit estimé à 5 m³/s, la galerie des eaux continuera à déborder, mais elle sera en charge, et le tunnel d'accès débordera depuis sa partie amont connectée au puits d'Havange.

Après l'ennoyage du réservoir, le niveau piézométrique de la nappe principale des calcaires du Dogger remontera, mais restera notablement plus bas que l'état initial calculé par modélisation, de l'ordre de 80 à 100 m au centre du réservoir Nord. En

particulier, les niveaux piézométriques d'étiage ne remonteront pas assez haut pour soutenir les sources de la Fensch. Les eaux de crue de la nappe principale du Dogger continueront à être évacuées par les trop-pleins naturels et saisonniers, dont le plus important et le plus bas en altitude est la source karstique de la Fensch, sur la faille de Fontoy, à la cote 235 m.

Avant l'ennoyage, l'eau d'exhaure s'écoulant en sortie de 3 galeries d'exhaure et de 2 puits d'exhaure était utilisée pour l'alimentation en eau potable et industrielle. L'ennoyage du réservoir Nord a nécessité la restructuration de l'alimentation en eau potable et industrielle du secteur. Après l'ennoyage, l'eau du réservoir sera exploitée pour l'AEP par l'intermédiaire d'une galerie d'écoulement gravitaire (Entrange) et 2 puits de pompage (Saint-Michel et François). En ce qui concerne l'alimentation en eau industrielle, Arcelor-Mittal (ex Sollac) a mis en place une station de nanofiltration sur l'eau pompée dans le puits d'Havange.

En décembre 2006, l'analyse de l'eau prélevée dans un puits profond du réservoir Nord (point N5 de la carte du réseau de surveillance du bassin ferrifère) à la profondeur de 256 m montre que la concentration est d'environ 2,5 g/l (à +/- 10 %) dans ce secteur profond du réservoir. Au futur point de débordement du réservoir Nord (point N14 de la carte du réseau de surveillance du bassin ferrifère), la concentration mesurée est stable à 1,5 g/l depuis au moins septembre 2006. Dans l'attente du débordement, l'échantillonnage est réalisé sur l'eau pompée dans le puits d'Havange pour l'alimentation en eau industrielle, cette eau ayant la même origine.

La concentration en sulfate dans la Fensch, à la station de Knutange située 500 m en aval du futur point de débordement, est calculée à partir de la mesure de la conductivité en continu. Cette concentration est influencée par les variations naturelles de débit du cours d'eau (fortes baisses à partir du 21 novembre 2006 en raison des crues d'hiver), ainsi que par le fonctionnement intermittent du dispositif de trop-plein du bac qui reçoit l'eau pompée dans le réservoir Nord, pour l'alimentation en eau industrielle, en sortie de la galerie de Knutange (La Paix).

7.10. LE RESERVOIR SERROUVILLE

7.10.1. Sources de données

Les informations qui suivent sont issues de la consultation :

- des archives de l'Agence de l'eau Rhin-Meuse, comprenant des documents et des données de l'Agence, de l'ARBED, et du Fensch Lorraine,
- du rapport relatif à l'établissement des périmètres de protection des réservoirs d'Errouville et de Serrouville (Bouly, 1991),
- du rapport relatif à l'évaluation de l'impact sur les eaux souterraines du rejet d'une partie des eaux pluviales de Villerupt (54) dans la faille de Crusnes (Vaute, 2001),

- de l'exploitation des données concernant la qualité des eaux brutes fournies par les DDASS,
- de l'exploitation des données statistiques sur les débits d'exhaures des mines de fer, pour la période 1946-1996, fournies par l'Agence de l'eau Rhin-Meuse.

7.10.2. Le fonctionnement du réservoir Serrouville pendant la période d'exhaure

Dans la mine de Serrouville, appartenant à l'ARBED et mise en exploitation en 1973, le minerai a été abattu en totalité à l'aide de mineurs continus, jusqu'à l'arrêt de l'exploitation en 1987. Le mineur continu, qui se déplace sur chenilles, est une machine constituée d'un tambour frontal horizontal, munie de pics au carbure de tungstène, qui creuse le front de taille et abat directement le minerai sans explosifs. La mine de Serrouville sera le seul cas d'application de cette technique dans le bassin ferrifère.

En raison de la mise en œuvre de cette technique, la mine n'a fait l'objet de foudroyages que sur une faible proportion de sa superficie.

Les statistiques des débits d'exhaure de la mine de Serrouville indiquent que l'exhaure moyenne était de 13030 m³/j sur la période 1980-1988, et de 7180 m³/j pendant l'étiage 1983 (octobre).

7.10.3. L'ennoyage du réservoir Serrouville

Le réservoir de Serrouville fonctionne comme un réservoir fermé, puisque les deux travers-bancs (galerie de communication entre couches exploitées différentes) qui le reliaient au réservoir d'Errouville ont été barrés par des serrements (barrage en galeries) en 1988. Le point de débordement de ce réservoir est l'ancien forage d'exhaure de la mine, situé au lieu-dit « Le Moulin au Bois » (Puits Serrouville, indice national 01136X0150). L'ennoyage du réservoir s'est effectué entre le 1^{er} avril et le 8 novembre 1988, date du débordement. La réserve d'eau est estimée à 3,6 millions de m³.

7.10.4. Le fonctionnement du réservoir Serrouville après l'ennoyage

Le point de débordement est situé à la cote 303,5 m environ (cote NGF de la dalle du forage), et le débit d'écoulement rejoint la rivière Crusnes distante d'une centaine de mètres. Entre novembre 1988 et novembre 1991 (avant exploitation par pompage), le débit moyen journalier de débordement a varié entre 5880 et 12960 m³/j.

En raison des pompages qui sont effectués dans le réservoir, le débordement naturel n'a plus lieu depuis 1993 (date du pompage longue durée qui a précédé la mise en exploitation du réservoir, cf. ci-dessous).

Au point de débordement du réservoir Serrouville, la concentration en sulfate avait chuté naturellement de 295 mg/l le 14 décembre 1988 à 175 mg/l le 28 juin 1991, soit une valeur inférieure à la limite de qualité pour l'eau destinée à la consommation humaine (250 mg/l).

Afin de faire baisser de manière encore plus significative la concentration en sulfate du réservoir de Serrouville, le Fensch Lorraine a effectué un pompage de renouvellement entre septembre 1993 et juillet 1994. La baisse de concentration obtenue a été de 75 mg/l, de la valeur maximale de 190 mg/l mesurée le 18 octobre 1993 à la valeur minimale de 115 mg/l mesurée le 18 mai 1994.

Le réservoir de Serrouville a été mis en exploitation par le Fensch Lorraine à partir du 6 octobre 1994, suite à l'arrêté préfectoral d'autorisation du 30 septembre 1994, complété par l'arrêté du 21 décembre 1994 précisant les débits maxima à prélever (14400 m³/j et 600 m³/h), le débit de 50 l/s réservé au soutien d'étiage de la Crusnes, et définissant les périmètres de protection. Sur le site de Moulin-au-Bois, à proximité immédiate du forage d'exhaure désaffecté, l'exploitation est assurée par 3 forages, une dérivation permettant de rejeter le débit réservé à la Crusnes.

Sur la période 2000-2005, la concentration moyenne en sulfate de l'eau pompée à Moulin-au-bois dans le réservoir Serrouville était de 107 mg/l, pour un maximum de 120 mg/l et un minimum de 100 mg/l.

7.11. LE RESERVOIR SUD

7.11.1. Sources de données

Les informations qui suivent sont issues de la consultation :

- des rapports sur le suivi des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain (Vaute, 2004) et des chroniques associées qui sont éditées par l'Agence de l'eau périodiquement,
- des études techniques signalées en bibliographie.

7.11.2. L'envoyage du réservoir Sud

Dans le réservoir Sud, l'envoyage a commencé par l'ouest, à Droitaumont, zone la plus profonde, à partir de février 1995, date de l'arrêt de l'exhaure. De la cote -36 m, le niveau d'eau s'est élevé à la cote +169,5 m à la fin du mois de juin 1998 (169,43 m le 29 juin 1998). Cela représente une vitesse moyenne de progression de l'ordre de 4,5 m/mois (15 cm/jour).

A partir du mois de juillet 1998 et jusqu'à la fin du mois d'octobre, la progression moyenne ralentit fortement, pour atteindre une valeur de 0,75 m/mois (2,5 cm/jour). La période hydrologique octobre 1997 - septembre 1998 n'ayant pas été particulièrement sèche en Lorraine, on peut attribuer au moins en partie le ralentissement de la montée

du niveau piézométrique dans le réservoir Sud à l'apparition de fuites en dessous de la cote de débordement de la galerie du tunnel de Moyeuivre.

La création de cet exutoire naturel parasite a eu pour conséquence la montée du niveau piézométrique dans la nappe alluviale constituant le soubassement de la ville de Moyeuivre-Grande à partir du mois de juillet 1998, et l'apparition de sources dans le lit de l'Orne. L'envahissement de la nappe alluviale se fait majoritairement par déversement à partir de l'affleurement de la formation ferrifère formant la base de la colline qui borde la ville au sud.

A la fin du mois d'octobre 1998, les fortes pluies tombées dans la période du 23 au 31 (220 mm à Ludelange) ont provoqué une rapide reprise de la montée du niveau piézométrique dans le réservoir minier, jusqu'au débordement à la galerie du tunnel de Moyeuivre, constaté le 28 octobre 1998.

Entre décembre 1998 et août 2002, le niveau d'eau dans le réservoir minier a oscillé entre les cotes 172,55 m et 173,89 m, soit entre 12 cm et 1,46 m au-dessus de la cote du seuil de débordement (172,43 m NGF). Le battement maximum de la nappe du réservoir minier Sud était donc de 1,34 m.

Sur la période septembre 1998 – août 2002, le débit moyen journalier de débordement était d'environ 250 000 m³/j pour le réservoir Sud.

7.11.3. La création d'un nouvel exutoire

La mise en service définitive d'un nouvel ouvrage de débordement a été décidée pour sécuriser le réservoir Sud (afin d'assurer l'évacuation des eaux en cas de défaillance de la galerie initiale), et surtout mettre un terme aux problèmes récurrents d'inondations de caves d'habitations individuelles dans la ville de Moyeuivre-Grande.

Le 23 août 2002 s'est ainsi produit un événement exceptionnel dans l'histoire du réservoir Sud : le pompage d'abaissement du niveau du réservoir Sud a débuté. Ce pompage était destiné à abaisser le niveau de 3,52 m, de manière à achever les travaux de construction de la nouvelle galerie de débordement.

Sous l'effet du pompage, le débit de débordement du réservoir, a chuté rapidement dans les heures qui ont suivi la mise en route de la pompe (d'un débit nominal de 4 m³/s environ), jusqu'à s'annuler le 25 août. Le 30 septembre, le niveau du réservoir avait baissé de 2,35 m en 40 jours, pour atteindre la cote 170,36 m NGF dans le puits Auboué I.

Au mois de novembre, les travaux et le pompage ont été provisoirement suspendus en prévision des crues d'hiver. Le niveau dans le réservoir a donc été temporairement contrôlé par la cote provisoire du nouveau point de débordement et la cote de l'ancienne galerie de débordement de Moyeuivre : il a oscillé entre ces deux cotes en fonction de la recharge par la pluie du réservoir minier. L'ancien point de débordement a ainsi fonctionné à deux reprises en décembre 2002 et janvier 2003.

Les travaux d'abaissement ont repris au printemps 2003 pour s'achever à l'automne de la même année. La nouvelle galerie de débordement (dénommée galerie du chenal de Moyeuivre) est désormais l'exutoire principal du réservoir Sud, l'ancienne galerie ne fonctionnant qu'en période de très forte crue.

Depuis la mise en service définitive de la galerie du chenal de Moyeuivre à l'automne 2003, le niveau d'eau dans le réservoir minier a oscillé entre les cotes 169,22 m et 169,96 m, soit entre 31 cm et 1,05 m au-dessus de la cote du seuil de débordement (168,91 m NGF). Le battement maximum de la nappe du réservoir minier Sud est donc de 0,74 m.

7.11.4. Evolution des concentrations en sulfate

Depuis octobre 1998, l'évolution de la concentration en sulfates au point de débordement du réservoir Sud a connu plusieurs périodes. Dans un premier temps, la concentration est restée stable pendant un peu plus de 13 mois (à 1560 +/- 80 mg/l en moyenne), jusqu'en décembre 1999. A partir de cette date et jusqu'en juin 2002 (2 ans et demi), des variations saisonnières de la concentration se superposaient à une tendance générale à la baisse des concentrations (augmentation temporaire des concentrations pendant les périodes d'étiage, et baisse en période de hautes eaux). La teneur a ainsi diminué jusqu'à 1000 mg/l environ (une valeur minimale de 876 mg/l a été observée le 27 mai 2002).

En septembre 2002, la nouvelle galerie de débordement des eaux du réservoir Sud a été créée à Moyeuivre-Grande, en rive droite de l'Orne. Le niveau d'envoyage a été abaissé de 3,5 m environ, et les circulations au sein de la zone envoyée ont été fortement modifiées. Le même phénomène que celui de 1998 semble s'être répété, avec une amplitude de variations plus faible : de juin 2002 à février 2004 (20 mois), la concentration est restée stable, à 1005 +/- 90 mg/l. Depuis cette date, la tendance à la baisse a repris, pour atteindre 770 mg/l le 15 septembre 2006, valeur la plus basse atteinte en sortie du réservoir depuis le débordement du réservoir Sud. Depuis avril 2006, la concentration semble cependant marquer un palier autour de 800 mg/l (valeur du 28 décembre 2006).

Le réservoir Sud est capté pour l'alimentation en eau potable par 2 anciens puits miniers (Droitaumont II, et Paradis V ; 2 forages qui captent le « réservoir de Valleroy », ancien albraque relativement isolé du reste du bassin (forages Valleroy-Moineville) ; et une galerie gravitaire (galerie Saint-Paul). Deux anciens puits miniers servent de secours et pourront être remis en service lorsque la qualité de l'eau sera compatible avec la distribution d'eau potable.

Depuis le débordement d'octobre 1998, les concentrations dans les anciens puits miniers du réservoir sud ont baissé sensiblement, d'environ -60 % pour Droitaumont II, -40 % pour Paradis V.

7.11.5. Le cas particulier du « réservoir de Valleroy »

L'ancienne mine de Valleroy est située sous le territoire de la commune du même nom et a été exploitée jusqu'en 1967. La mine de Valleroy est en relation directe avec la mine voisine de Moutiers, elle aussi abandonnée. L'ensemble Valleroy-Moutiers est relativement isolé des mines voisines (Paradis et Auboué notamment) dites encaissantes, grâce à des barrages réalisés en galerie entre les cotes 60 et 70 m NGF.

Le réservoir de Valleroy-Moutiers a été ennoyé en plusieurs fois, à partir de 1972. L'ennoyage s'est stabilisé aux environs de la cote 100 m en 1978, lorsque le réservoir s'est déversé par débordement vers la concession d'Auboué-Moineville. Après 1983 ce réservoir a été utilisé comme réserve capacitive par l'exploitant minier, en procédant à des vidanges partielles systématiques en période d'étiage (à la cote 64 m). Le plan d'eau évoluait entre les cotes 95 et 107 m en fonction de la pluviosité et des soutirages effectués.

Dès l'ennoyage, la teneur en sulfate a rapidement augmenté pour atteindre 540 mg/l en 1978. Sous l'effet du renouvellement des eaux (apports naturels, soutirages à 64 m NGF et surverse à 101 m NGF), les concentrations en sulfate ont diminué pour atteindre finalement une valeur proche de 200 mg/l en 1994.

Au cours de l'ennoyage généralisé du réservoir Sud (mars 1995 – octobre 1998), la concentration en sulfate a augmenté à nouveau fortement dans le réservoir de Valleroy, lorsque le niveau piézométrique temporairement supérieur du réservoir Sud a entraîné le déversement d'eaux sulfatées.

Les concentrations en sulfate ont ainsi atteint la valeur maximale de 500 mg/l en février 1997. Depuis cette date, la situation privilégiée du réservoir de Valleroy a permis la baisse progressive de la concentration en sulfate.

En effet, le réservoir de Valleroy jouit d'une alimentation par l'infiltration des pluies, mais également par l'infiltration de cours d'eau tels que le le Rawé et le Sechevaux, voire l'Orne et le Woigot. L'infiltration du Rawé et du Sechevaux qui alimente uniquement le réservoir de Valleroy est estimée à 110 l/s (9500 m³/j) au minimum.

Le SIEGVO capte, depuis de nombreuses années, les eaux du réservoir de la mine ennoyée de Valleroy. Le captage se faisait initialement par l'intermédiaire d'un barrage en galerie et d'une canalisation amenant l'eau au puits d'Auboué.

Lors de l'ennoyage du réservoir Sud, les eaux du puits d'Auboué ont vu leur minéralisation augmenter fortement alors que les eaux du réservoir de Valleroy restaient à des teneurs en sulfate inférieures à 500 mg/l. Cette augmentation a été expliquée par une défectuosité de la canalisation d'amenée des eaux en galerie, qui collecterait des eaux d'ennoyage du réservoir Sud très minéralisées.

Pour continuer à exploiter les eaux de Valleroy, le SIEGVO a créé en 1999 et 2002 deux nouveaux points de prélèvement à Moineville, par la réalisation de 2 forages

atteignant une galerie du réservoir de Valleroy. Entre mai 1999 et octobre 2003, la concentration en sulfate du réservoir de Valleroy a varié entre 440 mg/l à 318 mg/l.

Toutefois, le volume qu'il est possible de prélever est limité par le risque de resulfatation des eaux du « réservoir » de Valleroy en cas de pompage trop important (Vaute, 2003). En effet, ce dernier favorise l'écoulement d'eau minéralisée depuis le reste du réservoir Sud, par le biais de la canalisation défectueuse toujours en place entre le puits d'Auboué I et le « réservoir » de Valleroy.

8. Annexe 2 : caractéristiques des systèmes de mesure installés dans les bassins Nord et Sud

8.1. LE SYSTEME D'ECHANTILLONNAGE INSTALLE DANS LES OUVRAGES DE SURVEILLANCE DU BASSIN NORD EN 2005

Un échantillonnage correct de l'eau d'envoyage des puits et des piézomètres du réservoir Nord **dès le début de l'envoyage** exige de mettre en œuvre des techniques adaptées aux grandes profondeurs en jeu (jusqu'à 260 m), à l'évolution constante du niveau piézométrique (de zéro à 130 m de hauteur d'eau), et à l'absence de moyens de pompage.

Pour le compte d'Arcelor Luxembourg (ex. Arbed), au deuxième semestre 2005, avant le début de l'envoyage du bassin Nord, le BRGM a donc conçu et installé un système d'échantillonnage « pneumatique » dans tous les ouvrages de surveillance du bassin Nord.

8.1.1. Justification du choix du système mis en place

Deux méthodes sont proposées pour échantillonner de l'eau dans les forages profonds : méthode classique avec purge préalable du forage, et méthode plus récente sans purge (seul un rinçage du système d'échantillonnage est effectué).

a) *Méthode d'échantillonnage traditionnelle avec purge totale du forage*

De nombreux auteurs préconisent de purger le forage, en pompant un volume d'eau équivalent à plusieurs fois le volume de la zone non crépinée, ou jusqu'à stabilisation de certains paramètres physico-chimiques (conductivité, température, potentiel rédox, pH, oxygène dissous). En effet, l'eau stagnante située dans le tubage, au-dessus de la crépine, voit sa composition chimique modifiée par le contact avec l'atmosphère et le tubage, alors que l'eau de la crépine est constamment renouvelée par l'écoulement naturel de l'eau dans l'aquifère. Le pompage a donc pour but d'évacuer toute cette eau stagnante. L'opération doit cependant être conduite avec précaution, car elle peut provoquer le mélange de l'eau de la couche étudiée avec de l'eau provenant de couches différentes de l'aquifère.

Les procédures d'échantillonnage des eaux souterraines dans les forages non équipés de pompes sont décrites dans le « Guide pratique d'échantillonnage des eaux souterraines » (Lallemand-Barrès, rapport BRGM R 37390, 1993). Ces procédures, ont été appliquées jusqu'ici lors des opérations de prélèvement dans les forages du bassin ferrifère (bassins Sud et Centre), avec un matériel portable.

Cependant, compte tenu des caractéristiques des ouvrages du réseau du bassin Nord (puits miniers de grand diamètre ouverts en galerie, forages jusqu'à 260 m de profondeur totale), et de profondeur du niveau de l'eau (en début d'envoyage, jusqu'à 260 m de HMT), il n'est pas techniquement envisageable de procéder à l'échantillonnage de la majorité des ouvrages du réseau en utilisant cette technique classique, à un coût acceptable.

b) *Méthode d'échantillonnage sans purge de l'ouvrage*

Dans le but de supprimer les inconvénients techniques et financiers entraînés par le pompage de grandes quantités d'eau, d'autres auteurs démontrent qu'il est possible de prélever des échantillons au niveau de la crépine, sans purger préalablement le forage. Puisque l'eau contenue dans la zone crépinée est constamment renouvelée, il suffit de placer une pompe en son milieu et de pomper à un débit maximal de 100 à 500 ml/mn pour ne solliciter que la zone du forage en circulation, et éviter à la fois le mélange avec l'eau stagnante dans la partie non crépinée, et la mise en suspension des particules du fond du forage. Un simple rinçage de l'eau contenue dans le système de pompage permet ensuite d'obtenir un échantillon représentatif.

Cependant, la mise en place d'un appareil mobile de ce type à chaque prélèvement peut provoquer le mélange entre la zone stagnante et la zone crépinée lors de la descente jusqu'à la zone à échantillonner. D'autre part, des contaminations croisées entre forages peuvent se produire lors de l'utilisation du même système mobile dans plusieurs forages successivement. L'utilisation des systèmes mobiles demande ainsi un travail méticuleux et coûteux en temps de main d'oeuvre.

C'est pourquoi dans le cadre de suivis sur une longue période, des installations pérennes sont en général mises en œuvre. Lorsque l'opération est conduite avec un appareillage fixe adapté, l'échantillonnage donne d'excellents résultats, reproductibles et représentatifs du niveau aquifère étudié.

Parmi les méthodes et les systèmes existants, et compte tenu de l'objectif de la surveillance et des caractéristiques des ouvrages du réseau de surveillance, la méthode d'échantillonnage sans purge à l'aide de systèmes fixes présente le meilleur rapport qualité technique / prix.

8.1.2. Principales caractéristiques des échantillonneurs pneumatiques de conception BRGM

Le BRGM a une grande expérience dans la mise au point, l'installation et la mise en œuvre de systèmes d'échantillonnage sans purge préalable. Ces matériels, d'une conception robuste et fiable, sont fabriqués sur mesure et ont été utilisés à de nombreuses reprises, en particulier en Lorraine par le GISOS : campagnes d'échantillonnage à Moyeuve-Grande dans le bassin Sud, site pilote du bassin Nord du bassin ferrifère (Figure 39), site expérimental du bassin salifère de Nancy.

Le principe de fonctionnement est proche de ceux des pompes à membrane ou des pompes pneumatiques automatiques du commerce, pour un coût nettement inférieur. Les avantages de ce système sont : une grande simplicité de fonctionnement, une robustesse éprouvée, et des caractéristiques de fonctionnement pouvant être adaptées à chaque cas.

Le système installé dans les ouvrages de surveillance du réseau du bassin nord est composé de :

- un tube double en rilsan (matériau plastique inerte) rigide résistant à la pression protégé par une membrane ;
- une bouteille en acier inox 316 fixée à l'extrémité inférieure du tube double, servant de récipient d'échantillonnage ;
- une tête en laiton équipée de vannes fixée à l'extrémité supérieure du tube double, permettant d'une part de recueillir le fluide échantillonné en profondeur, et d'autre part d'injecter de l'azote U (ou autres gaz inertes) sous pression.

Grâce à la mise en œuvre manuelle de cycles compression - décompression à l'aide d'azote sous pression, l'eau échantillonnée dans la bouteille inox est alternativement comprimée (expulsion vers le haut du volume d'eau contenu dans la bouteille) et décomprimée (aspiration de l'eau du forage). Les seuls éléments mobiles en contact avec l'eau sont des clapets à billes, peu sensibles à un colmatage éventuel. Les caractéristiques du matériel sont adaptées aux contraintes des ouvrages du réseau :

- diamètre de la bouteille d'échantillonnage réduit dans les forages (6 cm maximum), mais volume suffisant (1 l) pour permettre un échantillonnage rapide malgré la faible hauteur d'eau en début d'envoyage ;
- tube rilsan résistant à 30 bars de pression pour vaincre la hauteur de refoulement initiale en début d'envoyage (260 m maximum) ;
- matériaux non réactifs et matériel démontable pouvant être nettoyé et décontaminé en cas de colmatage.

Ce système peut être adapté sur un touret mobile (cf. l'exemple de la Figure 40).



Figure 39 : un exemple de système d'échantillonnage de conception BRGM composé d'une tête laiton, d'un tuyau double protégé par un tuyau PVC (montage adapté aux faibles profondeurs qui est remplacé par un bitube rilsan protégé par une membrane comme ci-dessous) et d'un tube de prélèvement (remplacé par une bouteille inox de volume plus important).



Figure 40 : un exemple de préleveur mobile avec 300 m de bitube rilsan protégé par une membrane sur touret de capacité 600 m, et bouteille portable d'azote sous pression.

8.2. CARACTERISTIQUES DE LA CENTRALE DE MESURE DU DEBIT INSTALLEE EN 2007 DANS LA NOUVELLE GALERIE DE MOYEUVRE (POINT S5)

Entre le débordement du réservoir Sud en octobre 1998 et jusqu'en août 2002, le débit de débordement a été mesuré à la galerie du tunnel de Moyeuivre, qui était initialement le seul exutoire du réservoir Sud.

La mise en service d'un nouvel ouvrage de débordement a été décidé pour sécuriser le réservoir Sud (afin d'assurer l'évacuation des eaux en cas de défaillance de la galerie du tunnel de Moyeuivre), et mettre un terme aux problèmes récurrents d'inondations de caves d'habitations individuelles dans la ville de Moyeuivre-Grande (cf. fiche du réservoir Sud en annexe 1). En effet, la mise en service de cet ouvrage devait permettre d'abaisser le niveau du réservoir Sud de 3,5 m environ.

Les travaux ont été réalisés en 2002 et 2003. Depuis la fin du mois d'août 2002, date à laquelle le pompage d'abaissement du niveau du réservoir Sud a débuté (cf. fiche du réservoir Sud en annexe 1), la mesure de débit à la galerie du tunnel de Moyeuivre n'est plus possible, car cet ouvrage ne déborde plus. En effet, La nouvelle galerie de débordement (dénommée galerie du chenal de Moyeuivre) est désormais l'exutoire principal du réservoir Sud, l'ancienne galerie ne fonctionnant qu'en période de très forte crue.

L'installation d'un système de mesure débimétrique dans le nouvel ouvrage de débordement a nécessité de surmonter des difficultés de différentes natures :

- la mesure du débit est influencée à l'aval par le niveau de l'Orne, la rivière dans laquelle s'écoule l'eau de débordement du réservoir Sud par l'intermédiaire du nouvel exutoire,
- le chenal couvert peut être totalement envahi par l'eau de la rivière Orne, lorsque les vannes de l'ouvrage de débordement sont fermées en période de crue (pour éviter que l'eau de la rivière ne s'écoule dans le réservoir Sud),
- l'installation et la maintenance des capteurs n'est possible que lorsque les taux d'oxygène et de gaz carbonique dans le chenal couvert, ainsi que le débit de débordement, sont compatibles avec la sécurité du personnel qui intervient.

Les caractéristiques du matériel choisi pour répondre à ces contraintes sont présentées dans la fiche ci-après. L'installation s'est déroulée après mise en place d'un plan de prévention, à une époque jugée favorable. Le rapport d'intervention présenté ci-après résume les opérations effectuées.

Débitmètre à temps de transit pour écoulement à surface libre

Une solution pour chaque cours d'eau

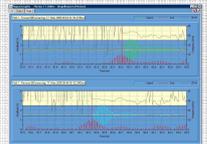
Quelques caractéristiques

- ◆ stations et capteurs adaptés aux conditions de mesure
- ◆ jusqu'à 8 cordes de mesure
- ◆ largeur du cours d'eau : 1 à 1000m
- ◆ précision : ~ 1 à 3 %
- ◆ alimentation : 12Vdc / 24Vdc / 220Vac
- ◆ faible consommation
- ◆ utilisation dans des eaux peu profondes
- ◆ sorties analogiques et numériques (4/20mA, modems, réseaux, USB, ...)
- ◆ possibilité responder sans fil

STATIONS

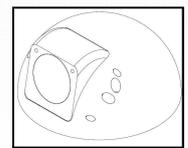


Kanalis : 1 à 30m de large
Fluvius : 1 à 1000m de large



Logiciel FlowVision

CAPTEURS



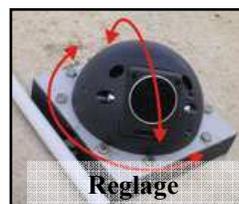
Supports de capteurs



Responder



installation



Reglage



Site de mesure

Partenaires



Your Vision - Our Technology



Principe de fonctionnement

La technique utilisée s'appuie sur la mesure de la durée du trajet d'impulsions ultrasonores traversant la rivière selon un angle par rapport au courant. Plusieurs paires de transducteurs sont montées en opposition sur les rives, à différentes profondeurs bien définies. Chaque transducteur se comporte alternativement comme émetteur puis comme récepteur d'ondes ultrasoniques. Ces ondes sont reçues par les transducteurs opposés de chaque paire après un temps dépendant de la longueur du trajet, de la vitesse du son sur ce trajet et de la vitesse de l'eau. Si l'écoulement est nul, les deux ondes arrivent simultanément, mais quand il est non nul, l'une des deux impulsions arrivera avant l'autre. Ce sont ces différences de temps qui permettent de déterminer avec une grande précision la vitesse moyenne de l'eau



Technologie ISP™

Le débitmètre combine un traitement digital du signal avec des méthodes de corrélation détection. Il utilise des signaux contrôlés dont les caractéristiques sont imposées durant la phase d'émission (durée, fréquence, intensité...). En conséquence, la réception est basée sur un filtrage adapté de ces caractéristiques, afin d'éliminer les perturbations apportées par l'environnement. Les signaux à fréquence modulée sont traités à la réception en corrélant le signal reçu avec une copie du signal attendu. L'utilisation de ce traitement intelligent du signal se justifie par l'obtention de mesures très précises du temps de transit avec une excellente résolution et un gain important.

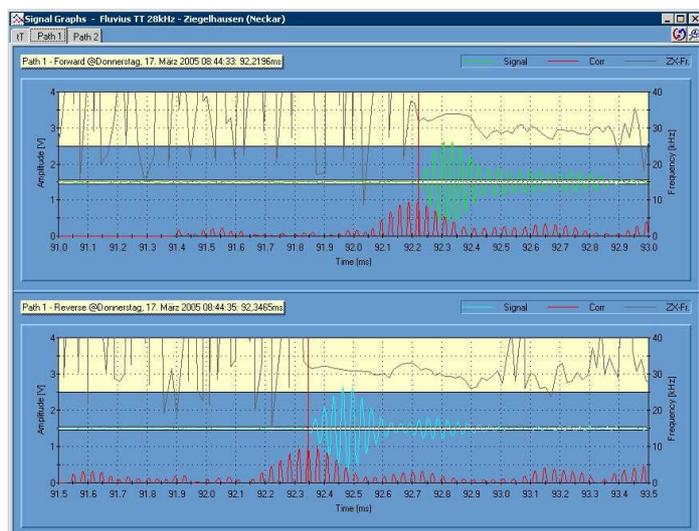
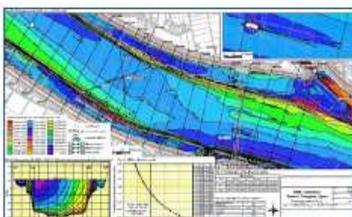


Caractéristiques

Le débitmètre est un instrument compact incorporant les dernières technologies électroniques et digitale en matière de traitement de signal, autorisant un fonctionnement à haute performance et aisé. Grâce à l'utilisation d'un microprocesseur à grande vitesse, le temps de réponse est de l'ordre de la seconde ou moins. Logé dans un boîtier IP 65 et qualifié pour un fonctionnement jusqu'à 60°C, le système est bien adapté à la plupart des environnements industriels. Le débitmètre est conçu pour obtenir une haute précision et peut être utilisé avec divers types de transmetteurs selon la longueur des cordes.

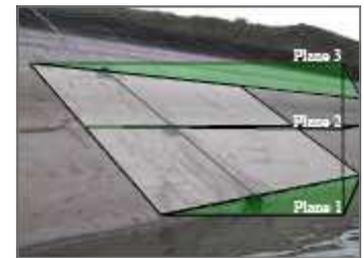
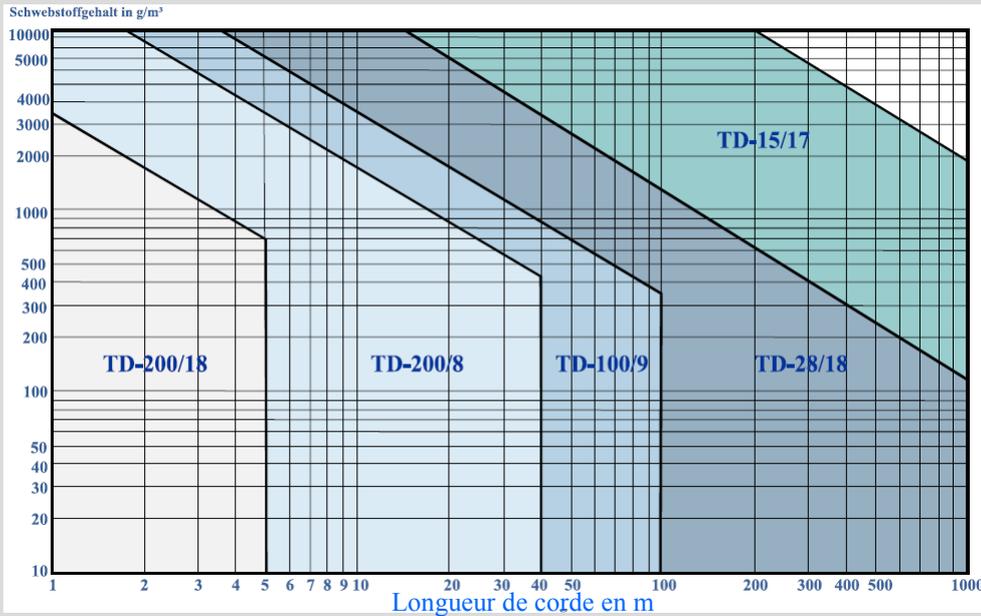
Logiciel FlowVision

La programmation du débitmètre est simple et peut être réalisée avec FlowVision, un logiciel de configuration et d'analyse de signaux compatible avec Windows, fourni avec chaque instrument. Il permet l'accès à un large éventail d'informations. Il peut être également utilisé pour télécharger les données de site et les étalonnages de multiples débitmètres.

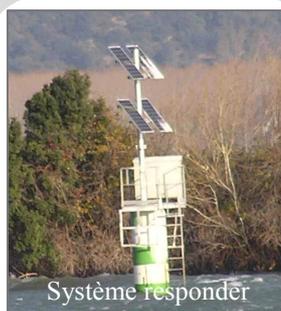


Spécifications techniques des transducteurs

Type	Canaux		Rivières		
	TD-200/18	TD-200/8	TD-100/9	TD-28/18	TD-15/17
Fréquence	200 kHz	200 kHz	100 kHz	28 kHz	15 kHz
Angle du cône à -3 dB	18°	8°	9°	18°	17°
Dimensions	Ø 31,8mm Hauteur : 50mm	Ø 70mm Hauteur : 40mm	Ø 183mm Hauteur : 142mm	Ø 183mm Hauteur : 142mm	Ø 368mm Hauteur : 121mm



Spécifications techniques du débitmètre



	Canaux	Rivières
Système	KANALIS TT	FLUVIUS TT
Précision	Jusqu'à 1% du débit	Jusqu'à 3% du débit
Domaine de vitesses	-20m/s à +20m/s	
Nombre de cordes	1 à 8 cordes (multiples combinaisons possibles)	
Largeur du cours d'eau	1 à 20m	1 à 1 000m
Affichage	20 caractères, 4 lignes alphanumériques, LCD rétro éclairé	
Enregistreur	Enregistreur interne programmable	
Interfaces	VGA, PS/2, 4xUSB, 1xRS232, 2xRJ-45, Ethernet, ...	
Entrées	Jusqu'à 4 entrées analogiques : 0-1/5/10V et 0-4/20mA	
Sorties	analogiques V et mA (max 8) / relais (max 8) / numériques (max 16)	
Programmation	Logiciel FlowVision (programmation et analyse du signal)	
Alimentation	90-260Vac (50/60Hz) / 24 ou 12Vdc	
Consommation	15 à 30 Watt selon options	
Conditions	Température de fonctionnement : -20 à +60°C / 95% d'humidité relative	
Boîtier	Mural IP65 / WxHxD : 365x318x160mm	

Rapport d'intervention

INSTALLATION D'UNE STATION DEBITMETRIQUE DANS LE CHENAL DE MOYEUVE GRANDE

Date d'intervention : 18 et 19 juin 2007

Lieu : Chenal de Moyeuve Grande

Personnel intervenant : HYDROSERVICES : E.RECHT, S. BERI,
S. SCHULER, P. RAPPOLD

Personnel présent : Laurent Vaute (BRGM Lorraine)

I. Mise en place des supports et des capteurs ultrasons

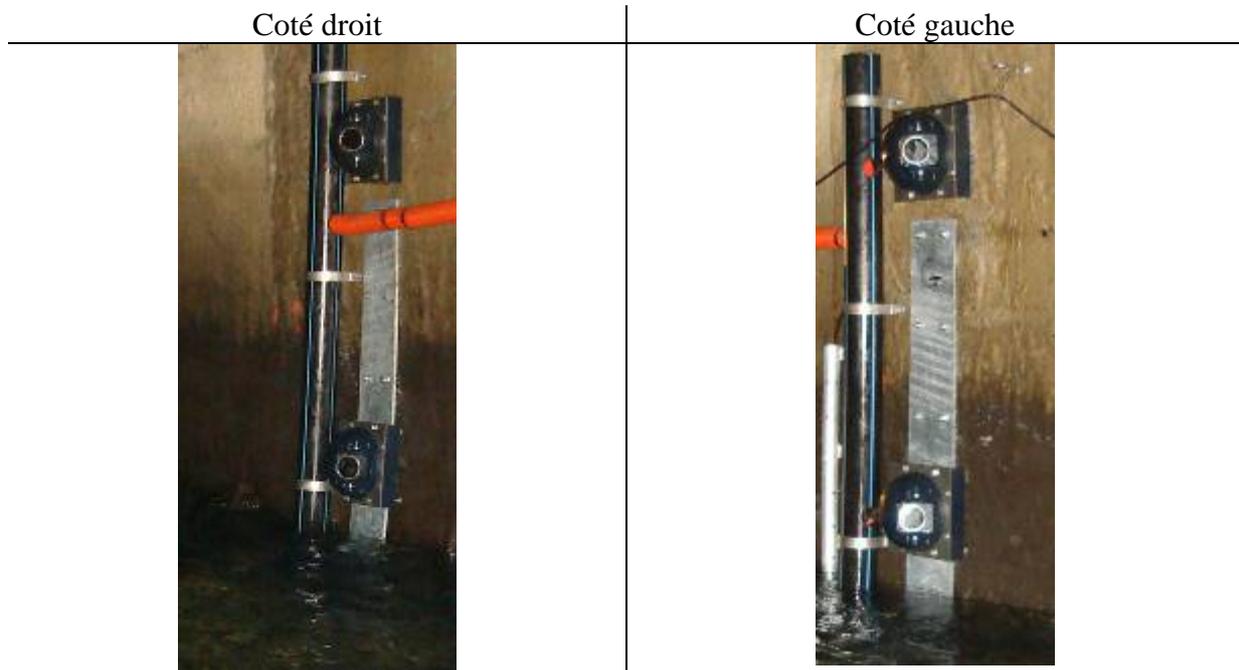
1. Déroulement des travaux

- Etude, plan,
- Travaux en atelier :
 - Fabrication des supports pour les capteurs US
 - Fabrication d'un support de sonde de niveau et conductivité
 - Fabrication de colliers spécifiques
 - Câblage du coffret de mesure
 - ...
- Travaux sur site :
 - Fixation des platines inox servant de support aux US immergés



Les platines ont été spittées au mur avec 8 goujons de 10

Fixation des autres capteurs US



Fixation d'une gaine de protection pour les câbles des transducteurs



Pose du support en acier galva de la sonde de niveau et de conductivité



Les pattes de fixation ont été soudées sur le tube

Le tube a été percé sur toute sa longueur

La sonde de niveau a été placée au niveau des capteurs US du côté gauche et la sonde de conductivité au droit de la descente de l'échelle à crinoline

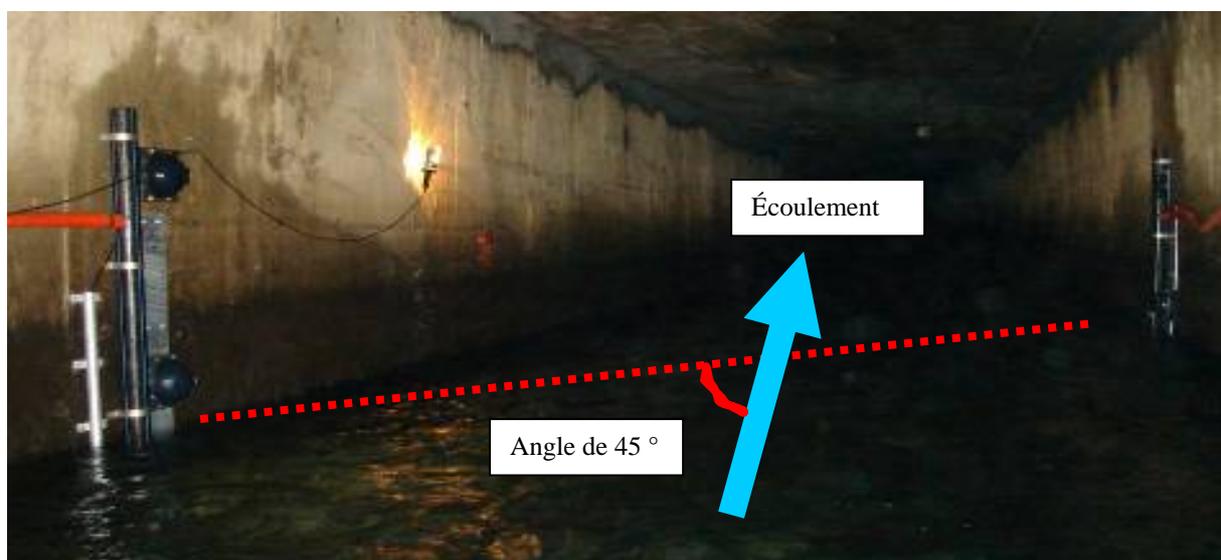
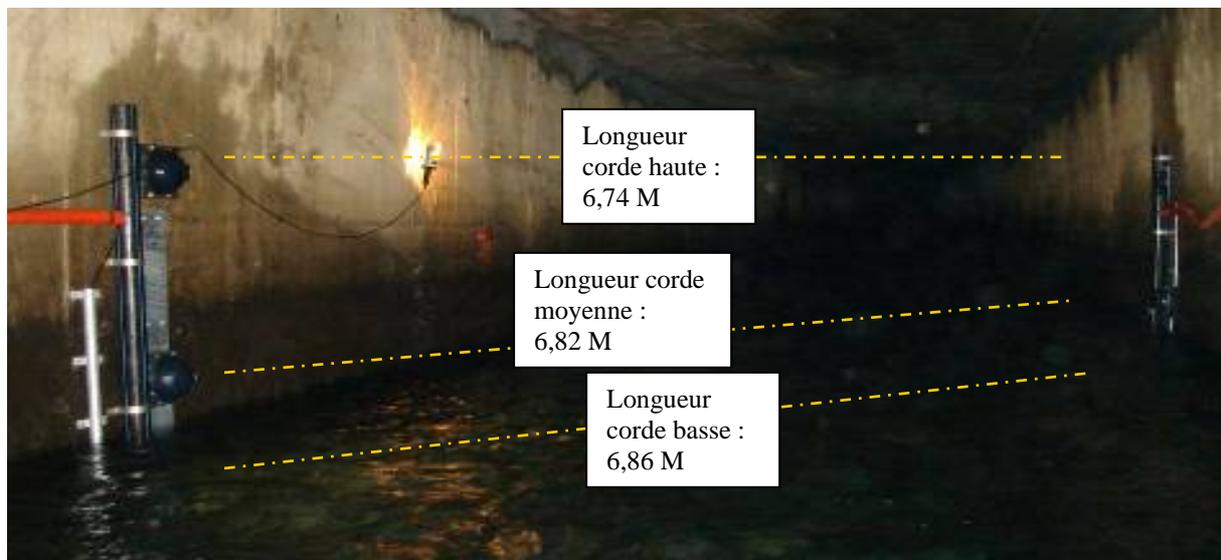
Fixation du coffret de la sonde de conductivité à proximité du capot du trou d'homme d'accès



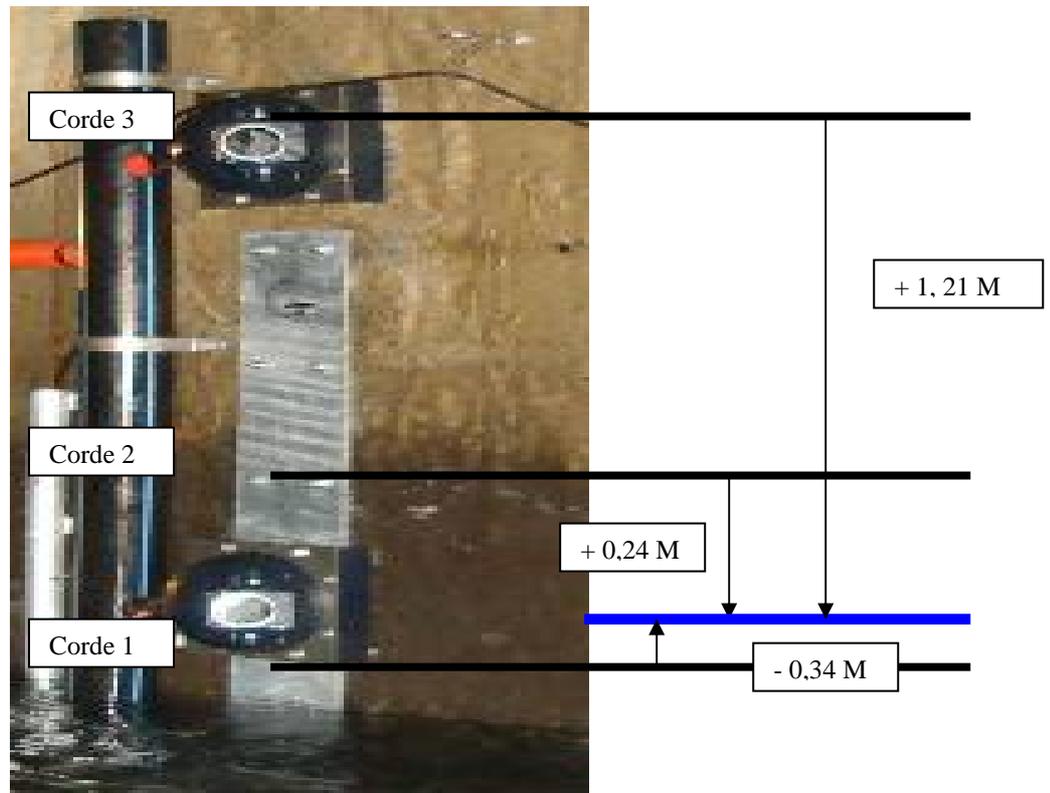
Vue de l'ensemble monté



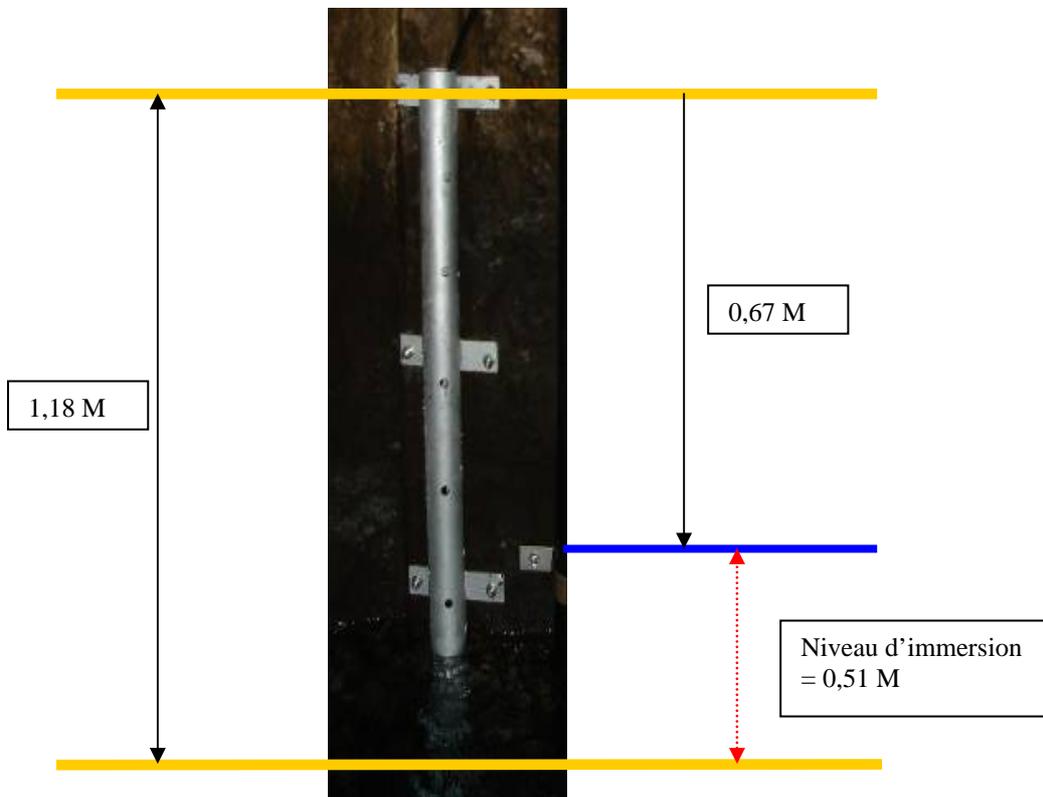
Détail des réglages



Positionnement des US en altitude avec le niveau de l'eau comme référence (19/06/07)



Sonde de niveau



Echelle limnimétrique : 3M



Elle a été calé au niveau d'immersion de la sonde de niveau : 0,51 M

II. Raccordement des capteurs la station de mesure

- Liaison station–capteurs: cheminement de câbles dans gaines déposées existantes
- Tirage des différents câbles

III. Paramétrage et mise en service du débitmètre

- Les capteurs ont été ajustés à l'aide de lunette de façon à mesurer le débit en hautes eaux et en basses eaux.
- Paramétrage du débitmètre, calage du niveau sur l'échelle
- Paramétrage de la sonde de conductivité : ~ 2mS/cm / 12,3°C

IV. Travaux à faire

- Connexion au réseau France Télécom
- Ajustage du paramétrage de la station Kanalis TT
- Vérification du bon fonctionnement



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 – Vandœuvre-les-Nancy
Tél. : 03.83.44.81.49