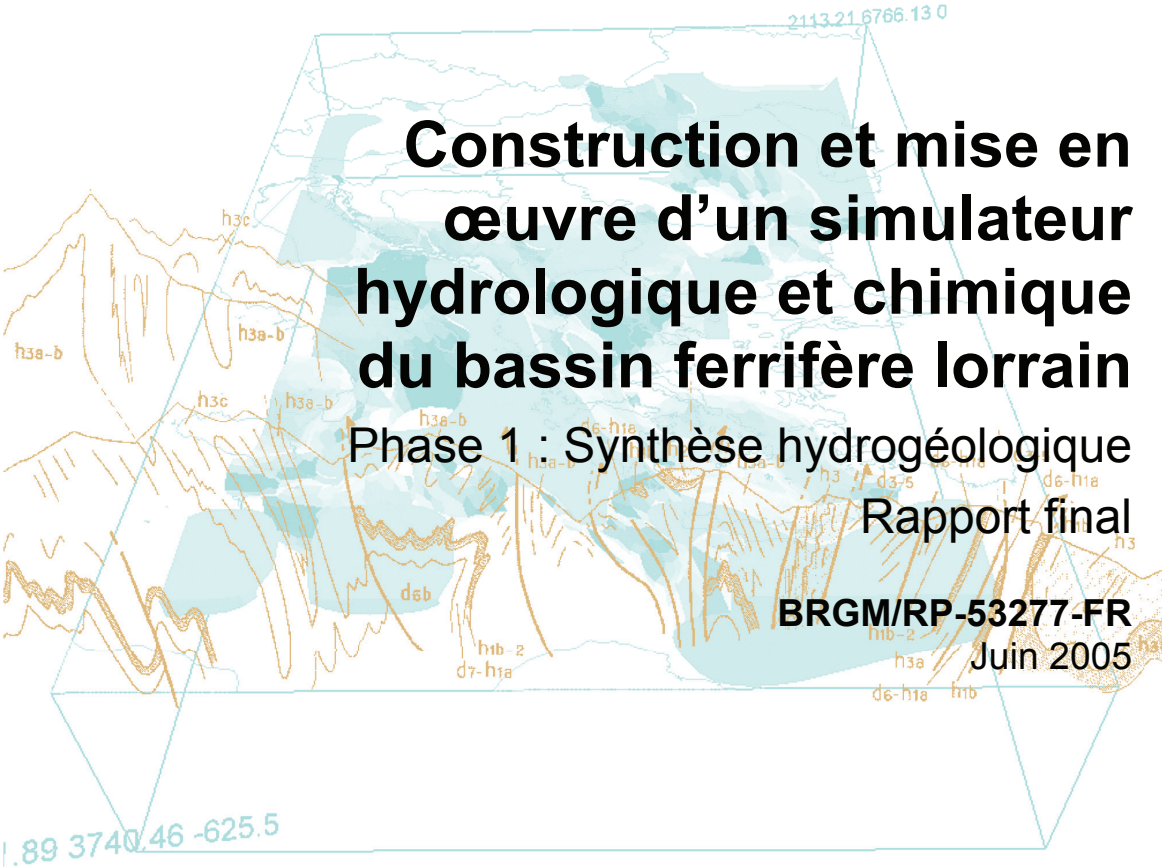


Document public



Construction et mise en œuvre d'un simulateur hydrologique et chimique du bassin ferrifère lorrain

Phase 1 : Synthèse hydrogéologique

Rapport final

BRGM/RP-53277-FR
Juin 2005

DIRECTION RÉGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT LORRAINE

Agence de l'eau Rhin-Meuse

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Document public

Construction et mise en œuvre d'un simulateur hydrologique et chimique du bassin ferrifère lorrain

Phase 1 : Synthèse hydrogéologique

Rapport final

BRGM/RP-53277-FR
Juin 2005

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 03-EAU-D47

L. Vaute, M-O Khiat
Avec la collaboration de
A. Douche, G. Fourniguet, G. Frappier, M-J. Goubot, M. Josefiak

Vérificateur :	**Approbateur :**
Nom : R. Fabriol	Nom : M. Aguillaume
Date : 20/10/2005	Date : 20/10/2005
Original signé par R. Fabriol	Original signé par M. Aguillaume

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

DIRECTION
RÉGIONALE
DE L'ENVIRONNEMENT
LORRAINE

Agence de l'eau
Rhin-Meuse

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Mots clés : bassin ferrifère lorrain, surveillance, eaux souterraines, ennoyage, débordement, réseau, niveau piézométrique, débit, qualité, analyses chimiques, simulateur, hydrologique, chimique, modèle.

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

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

© BRGM, 2005, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Les conséquences de l'arrêt des activités minières et des exhaures dans le bassin ferrifère lorrain constituent une préoccupation constante pour les pouvoirs publics et pour les collectivités.

Les ressources en eau souterraines du bassin ferrifère lorrain constituent un enjeu important pour le nouveau développement de cette région. Mais tant que le retour à une bonne qualité de l'eau n'est pas réalisé, elles ne sont que peu ou difficilement exploitables. La nature et le coût des solutions de substitution temporaires ou définitives dépendent bien évidemment du délai prévisible du retour de l'eau à une qualité correcte.

Ainsi, la volonté d'une gestion globale, concertée, et à long terme des ressources en eau, de même que les conséquences parfois non prévues de l'ennoyage, ont mis en évidence la nécessité d'un outil d'aide à la gestion des ressources en eau du bassin ferrifère. La DIREN Lorraine, l'Agence de l'eau Rhin-Meuse et le BRGM Lorraine ont donc engagé la construction d'un simulateur hydrologique et chimique du bassin ferrifère lorrain (eaux souterraines et eaux de surface). Le simulateur sera constitué de deux modules associés :

- le module de simulation hydrologique sera basé sur la modélisation inverse des chroniques de données (pluviosité, niveaux, débit) avec le logiciel TEMPO, par des méthodes dérivées du traitement du signal ;
- le module de simulation chimique sera basé sur un modèle de réacteurs en réseaux.

Les deux modules seront entièrement couplés et permettront de prévoir l'évolution des débits et de la qualité de l'eau des réservoirs miniers, et des cours d'eau avec lesquels ils sont en relation, ainsi que le volume qui peut être prélevé annuellement dans chaque réservoir (ou partie de réservoir) sans nuire au renouvellement de la ressource ou à la qualité de l'eau des cours d'eau.

Le présent rapport présente la première phase du travail, qui consiste en une synthèse hydrogéologique et cartographique précisant la structure et le fonctionnement de l'ensemble du bassin ferrifère, ainsi que les relations existant entre les réservoirs ennoyés ou non et la surface.

Au cours de ce travail, une grande partie des données nécessaires à une modélisation numérique, et disponibles chez les différents producteurs de données, ont été recherchées, saisies et mises en forme. Le traitement de ces données a donné lieu en particulier au calcul de la recharge de chaque mine pendant la période d'exploitation, grâce à l'ajustement de modèles pluie – débit d'exhaure. La transposition de ces modèles à la période d'ennoyage devrait permettre de fournir une méthode de spatialisation de la recharge des réservoirs ennoyés.

L'analyse cartographique s'est déroulée en deux temps : dans un premier temps, l'analyse des plans d'exploitation des couches repères a permis de délimiter les sous-unités hydrogéologiques en zone noyée des réservoirs, et de dénombrer les galeries de jonction entre ces dernières ; dans un deuxième temps, les communications verticales entre couches au sein d'une même sous-unité et entre les sous-unités ont été quantifiées, afin de tenir compte de la configuration multi-couches des exploitations minières.

Les documents cartographiques produits permettent de visualiser l'ensemble des informations recueillies et analysées sous forme de cartes de synthèse. La construction de schémas de synthèse permettant la visualisation directe des communications hydrauliques en trois dimensions sera un outil précieux dans la compréhension du fonctionnement hydrogéologique de chaque réservoir, ainsi que dans l'analyse comparée de leurs fonctionnements.

A titre d'application pratique du travail de synthèse cartographique, on a montré l'existence, pour quelques sous-unités du réservoir Centre, d'une relation linéaire entre le pourcentage de zones foudroyées et la concentration maximale en sulfates de l'eau d'ennoyage, conformément au modèle conceptuel du bassin ferrifère retenu. Cette relation simple ne se vérifie pas pour le réservoir Sud, en raison de l'existence de perturbations liées aux configurations hydrogéologiques des sous-unités concernées.

Seule la construction d'un simulateur hydrologique et chimique du bassin ferrifère lorrain, prenant en compte toute la complexité de la structure multicouche des réservoirs, permettra pour chaque sous-unité la réalisation de bilans de masse et de bilans hydrologiques corrects.

Sommaire

1. Introduction 11

2. Le bassin ferrifère lorrain : présentation générale 13

2.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE 13

2.2. CADRE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE 13
2.2.1. Morphologie du gisement 13
2.2.2. Nature et succession des niveaux géologiques 17

2.3. LES EXHAURES MINIERES 20
2.3.1. Raisons de leur mise en œuvre 20
2.3.2. Conséquences des exhaures 21

2.4. L'ENNOYAGE DES MINES EN FIN D'EXPLOITATION 24
2.4.1. L'arrêt des exhaures 24
2.4.2. Organisation de l'ennoyage 25
2.4.3. Les conséquences de l'ennoyage 26

2.5. LA SURVEILLANCE DES EAUX SOUTERRAINES DU BASSIN FERRIFERE DE 1994 A 2004 27
2.5.1. Historique du réseau de surveillance 27
2.5.2. Surveillance des réservoirs miniers ennoyés 29
2.5.3. Surveillance des calcaires du Dogger (18 points) 31
2.5.4. Surveillance de la formation ferrifère non exploitée entre les réservoirs Centre et Sud (6 points) 33
2.5.5. Réorganisation du réseau de surveillance dans le cadre de l'ennoyage programmé du bassin Nord 33

3. Acquisition et traitement des données 35

3.1. ACQUISITION DES DONNEES 35
3.1.1. Constitution de la base de données des ouvrages du bassin ferrifère lorrain 35
3.1.2. Acquisition des séries de données chronologiques 37

3.2. TRAITEMENT DES DONNEES 38
3.2.1. Calcul des débits de fuite des réservoirs Sud et Centre 38
3.2.2. Calcul de la recharge des réservoirs 41

3.2.3. Interprétation de diagraphies conductivité-température 47

3.3. LES PRINCIPALES EVOLUTIONS OBSERVEES 62
3.3.1. Les débits de débordement 62
3.3.2. Les niveaux piézométriques 62
3.3.3. La qualité des eaux souterraines 63
3.3.4. La qualité des eaux de surface 65
3.3.5. Choix d'un traceur des eaux d'ennoyage 65

4. Analyse des plans miniers et synthèse cartographique 71

4.1. METHODE DE DETERMINATION DES SOUS-UNITES HYDROGEOLOGIQUES EN ZONE NOYEE DES RESERVOIRS 71
4.1.1. Démarche générale 71
4.1.2. Utilisation des limites de concession 73
4.1.3. Hiérarchisation des écoulements dans un réservoir noyé 75
4.1.4. Dénombrement des galeries de jonction entre sous-unités 76

4.2. CREATION D'UNE BASE DE DONNEES CARTOGRAPHIQUE 77

4.3. ANALYSE CARTOGRAPHIQUE DE LA (DES) COUCHE(S) REPERE(S) : CARTES DE SYNTHESE 79
4.3.1. Cartes de synthèse géologique simplifiées 80
4.3.2. Cartes de localisation des zones foudroyées dans les différentes couches exploitées 80
4.3.3. Cartes de synthèse des sous-unités hydrogéologiques en zone noyée 80
4.3.4. Cartes des sous-unités hydrogéologiques en zone noyée et de leurs aires d'alimentation en zone dénoyée 81
4.3.5. Comparaison des principales caractéristiques des sous-unités et des réservoirs 81

4.4. ANALYSE CARTOGRAPHIQUE MULTICOUCHE : SCHEMAS DE COMMUNICATION 3D ENTRE SOUS-UNITES EN ZONE NOYEE 82
4.4.1. Principe d'analyse des communications inter-couches 82
4.4.2. Schémas des communications hydrauliques multicouche en zone noyée 84

4.5. PREMIERE APPLICATION PRATIQUE : INTERPRETATION DE LA VARIABILITE DES CONCENTRATIONS EN SULFATE DANS LES RESERVOIRS MINIERS 84
4.5.1. Le cas du réservoir Centre 85
4.5.2. Le cas du réservoir Sud 85
4.5.3. Ajustement d'un modèle linéaire 87

5. Conclusion 91

6. Bibliographie 93

Liste des figures

Figure 1 – Contexte géologique et hydrogéologique 14
Figure 2 – Coupe géologique Ouest-Est du bassin ferrifère lorrain 15
Figure 3 – Bassin ferrifère lorrain : carte des bassins et sous-bassins indépendants d'un point de vue hydraulique 16
Figure 4 – Coupe stratigraphique schématique (Kimmel, 2000) 18
Figure 5 – Schématisation de la méthode par traçage et dépilage (d'après Hervé, 1980) 20
Figure 6 – Coupe schématique du bassin Sud pendant la période d'exploitation minière : la mise en place de pompages d'exhaure permettait de maintenir les travaux miniers "au sec" 22
Figure 7 – Coupe schématique du bassin Sud après débordement : l'arrêt des pompages d'exhaure a provoqué l'ennoyage complet du réservoir minier. 23
Figure 8 – Le réseau de surveillance des eaux souterraines du bassin ferrifère 30
Figure 9 – Le réseau de surveillance de la formation ferrifère non exploitée entre les réservoirs Centre et Sud (6 points) en 2004. 32
Figure 10 – Principe du calcul du débit de fuite du réservoir Centre (QR) en aval de la confluence Conroy-Chevillon 39
Figure 11 – Relations « débit de fuite – niveau » et « concentration en sulfate – conductivité » pour les réservoirs Sud (Moyeuvre) et Centre (fuites vers le Chevillon). 40
Figure 12 – Résultats du modèle pluie-débit d'exhaure pour la mine de Tucquegnieux. 45
Figure 13 – Résultats du modèle pluie-débit d'exhaure pour la mine de Droitaumont. 46
Figure 14 – Diagraphies conductivité-température du puits Auboué I. 52
Figure 15 – Diagraphies conductivité-température du puits Paradis V. 53
Figure 16 – Diagraphies conductivité-température du puits Droitaumont II.. 54
Figure 17 – Diagraphies conductivité-température du puits de Roncourt. 55
Figure 18 – Diagraphies conductivité-température du puits Anderny II. 56
Figure 19 – Diagraphies conductivité-température du puits Amermont III. 57
Figure 20 – Diagraphies température du doublet de piézomètres Paradis aval M1et M2. 58
Figure 21 – Diagraphies conductivité du doublet de piézomètres Paradis aval M1 et M2. 59
Figure 22 – Diagraphies température du doublet de piézomètres St Pierremont P1 et P2. 60

Figure 23 – Diagraphies conductivité du doublet de piézomètres St Pierremont P1 et P2. 61
Figure 24 – Evolution des niveaux piézométriques des bassins Sud et Centre. 66
Figure 25 – Evolution de la concentration en sulfate (SO_4^{2-}) dans le bassin ferrifère lorrain. 67
Figure 26 – Carte de localisation des stations de mesure de la qualité de l'eau. 68
Figure 27 – Concentrations en sulfate dans l'Orne et ses affluents (situation actuelle). 69
Figure 28 – Concentrations en sulfate dans l'Othain et ses affluents (situation actuelle). 70
Figure 29 – Corrélations lithologiques entre les bassins de Longwy, Landres-Ottange et l'Orne (d'après L. Bubenicek, 1961) : présentation de la nomenclature homogénéisée pour les trois bassins 72
Figure 30 – Plan minier d'une exploitation en couche Grise du bassin Sud : traçage de reconnaissance à Bellevue, à partir de la concession Auboué-Moineville 73
Figure 31 – Tracé de la limite de sous-unité entre Bellevue et Auboué-Moineville 74
Figure 32 – Tracé de la limite de sous-unité entre Mairy et Tucquenieux-Bettainvillers 74
Figure 33 – Visualisation d'un faisceau de galeries de jonction entre Droitaumont et Brainville 75
Figure 34 – Schéma conceptuel de l'équilibre des niveaux piézométriques, par le biais de galeries, après l'ennoyage du bassin Sud, entre Droitaumont et Brainville 75
Figure 35 – Plans miniers de l'exploitation en couche Grise des concessions Droitaumont et Labry : identification du goulet d'étranglement de galeries de jonction significatives 77
Figure 36 – Schéma conceptuel de la démarche d'analyse cartographique multicouche et de la représentation des communications hydrauliques entre couches et entre sous-unités 83
Figure 37 – Tentative d'établissement de relations quantitatives destinées à vérifier la validité du modèle conceptuel de structure et de fonctionnement du bassin ferrifère lorrain. 88

Liste des tableaux

Tableau 1 – Résultats de l'ajustement des modèles pluie-débit d'exhaure. 44
Tableau 2 – Tableau récapitulatif des différentes couches foudroyées par bassin et des différentes tables Mapinfo résultant du travail de digitalisation (valeur maximale en vert et minimale en bleu) 78
Tableau 3 – Tableau récapitulatif de la synthèse cartographique du bassin ferrifère lorrain (valeurs maximales en vert et minimales en bleu) 82
Tableau 4 – Caractéristiques des principaux ouvrages de surveillance des réservoirs Centre et Sud et des sous-unités dans lesquelles ils sont situés. 87

Liste des annexes (sur cd-rom joint au rapport)

Annexe 1 – Liste des points de surveillance du bassin ferrifère lorrain (Excel 97)

Annexe 2 – Base de donnée des ouvrages captant le bassin ferrifère (Access 97)

Annexe 3 – Séries de données chronologiques recueillies et traitées (Excel 97)

Annexe 4 – Tableau récapitulatif des communications inter-couches (Excel 97)

Annexe 5 – Fiches d'interprétation hydrogéologique des dossiers d'abandon (Excel 97)

1. Introduction

Les conséquences de l'arrêt des activités minières et des exhaures dans le bassin ferrifère lorrain constituent une préoccupation constante pour les pouvoirs publics et pour les collectivités.

Les ressources en eau souterraines du bassin ferrifère lorrain constituent un enjeu important pour le nouveau développement de cette région. Mais tant que le retour à une bonne qualité de l'eau n'est pas réalisé, elles ne sont que peu ou difficilement exploitables. La nature et le coût des solutions de substitution temporaires ou définitives dépendent bien évidemment du délai prévisible du retour de l'eau à une qualité correcte.

Ainsi, la volonté d'une gestion globale, concertée, et à long terme des ressources en eau, de même que les conséquences parfois non prévues de l'ennoyage, ont mis en évidence la nécessité d'un outil d'aide à la gestion des ressources en eau du bassin ferrifère. La DIREN Lorraine, l'Agence de l'eau Rhin-Meuse et le BRGM Lorraine ont donc engagé la construction d'un simulateur hydrologique et chimique du bassin ferrifère lorrain (eaux souterraines et eaux de surface). Le simulateur sera constitué de deux modules associés :

- le module de simulation hydrologique sera basé sur la modélisation inverse des chroniques de données (pluviosité, niveaux, débit) avec le logiciel TEMPO, par des méthodes dérivées du traitement du signal ;
- le module de simulation chimique sera basé sur un modèle de réacteurs en réseaux.

Les deux modules seront entièrement couplés et permettront de prévoir l'évolution des débits et de la qualité de l'eau des réservoirs miniers, et des cours d'eau avec lesquels ils sont en relation, ainsi que le volume qui peut être prélevé annuellement dans chaque réservoir (ou partie de réservoir) sans nuire au renouvellement de la ressource ou à la qualité de l'eau des cours d'eau.

Le présent rapport présente la première phase du travail, qui consiste en une synthèse hydrogéologique et cartographique précisant la structure et le fonctionnement de l'ensemble du bassin ferrifère, ainsi que les relations existant entre les réservoirs ennoyés ou non et la surface.

2. Le bassin ferrifère lorrain : présentation générale

2.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE

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,
- Le bassin ferrifère de Briey - Longwy au nord.

Le travail réalisé se rapporte aux nappes d'eau souterraine présentes dans ce dernier bassin (Figure 1), dont l'extension globale est d'environ 50 km du nord au sud pour 30 km de large.

D'un point de vue hydrographique, ce même bassin de Briey se divise en trois bassins versants principaux : l'Orne au sud et la Fensch au nord-est, qui sont des affluents de la Moselle, et l'Othain au nord-ouest, qui se jette dans la Meuse.

2.2. CADRE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

2.2.1. Morphologie du gisement

La couche de minerai de fer est d'âge aalénien. Elle affleure à l'est, 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.

Sa structure 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.

D'autre part, 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 (Figure 2).

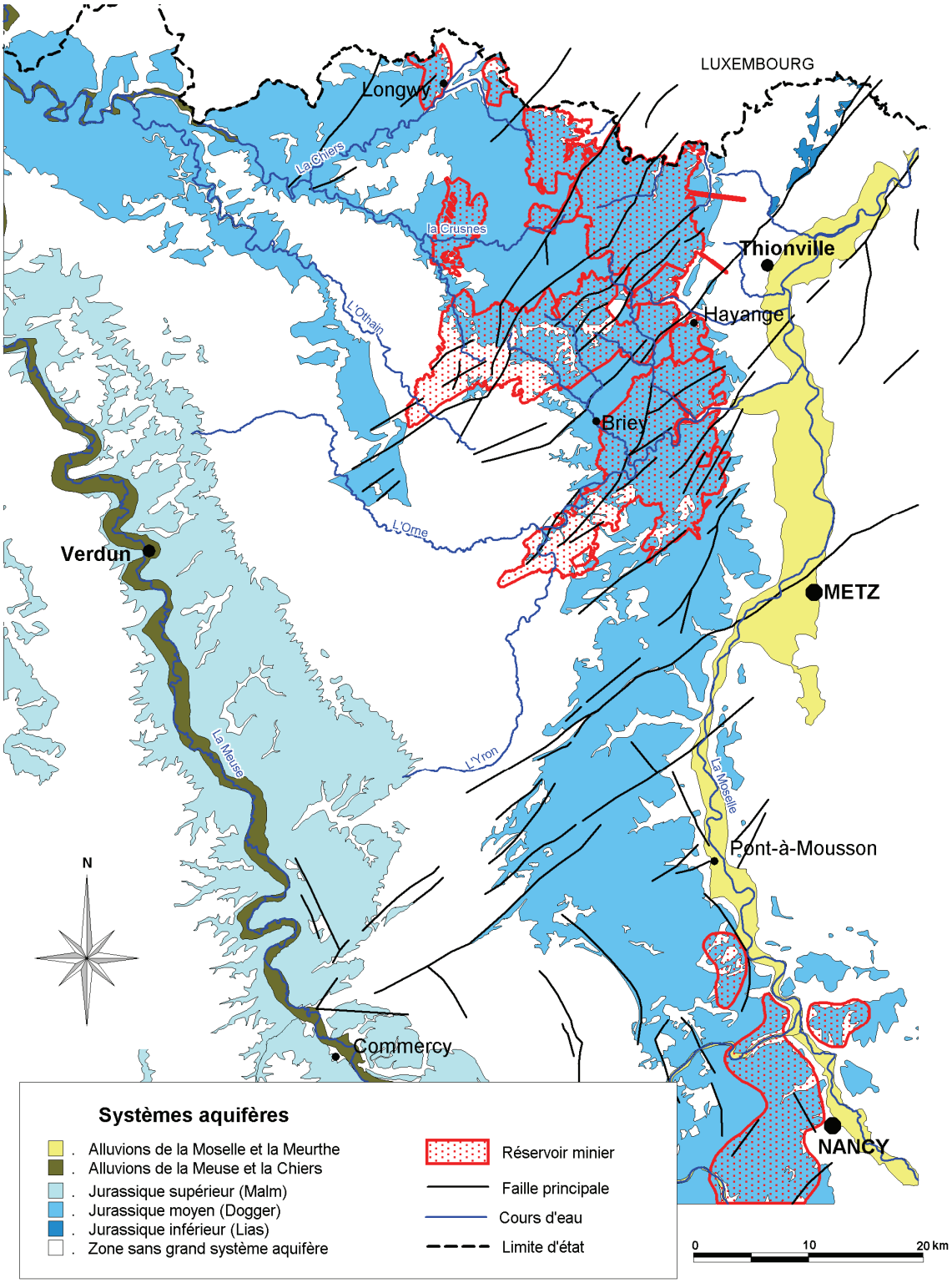


Figure 1 – Contexte géologique et hydrogéologique

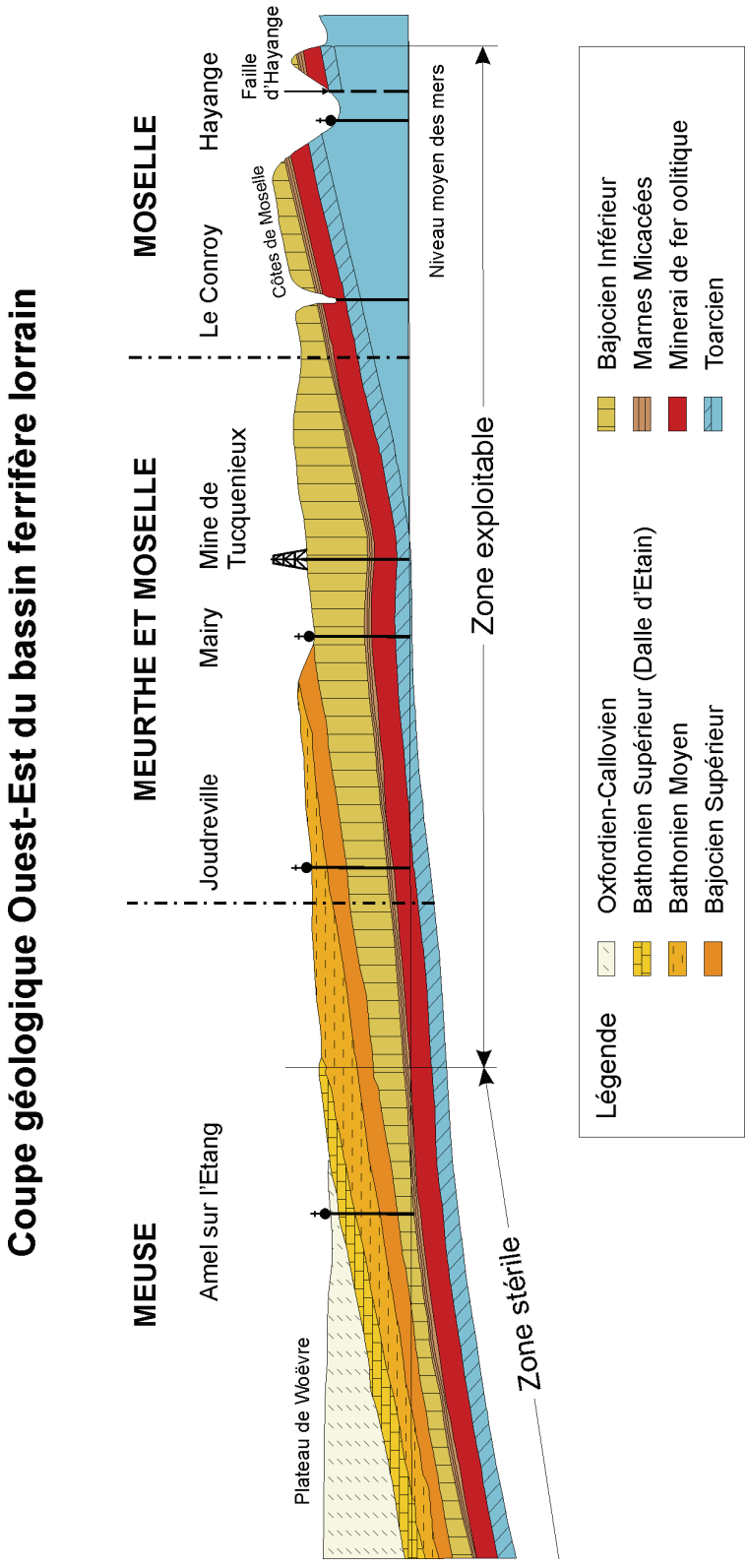


Figure 2 – Coupe géologique Ouest-Est du bassin ferrifère lorrain

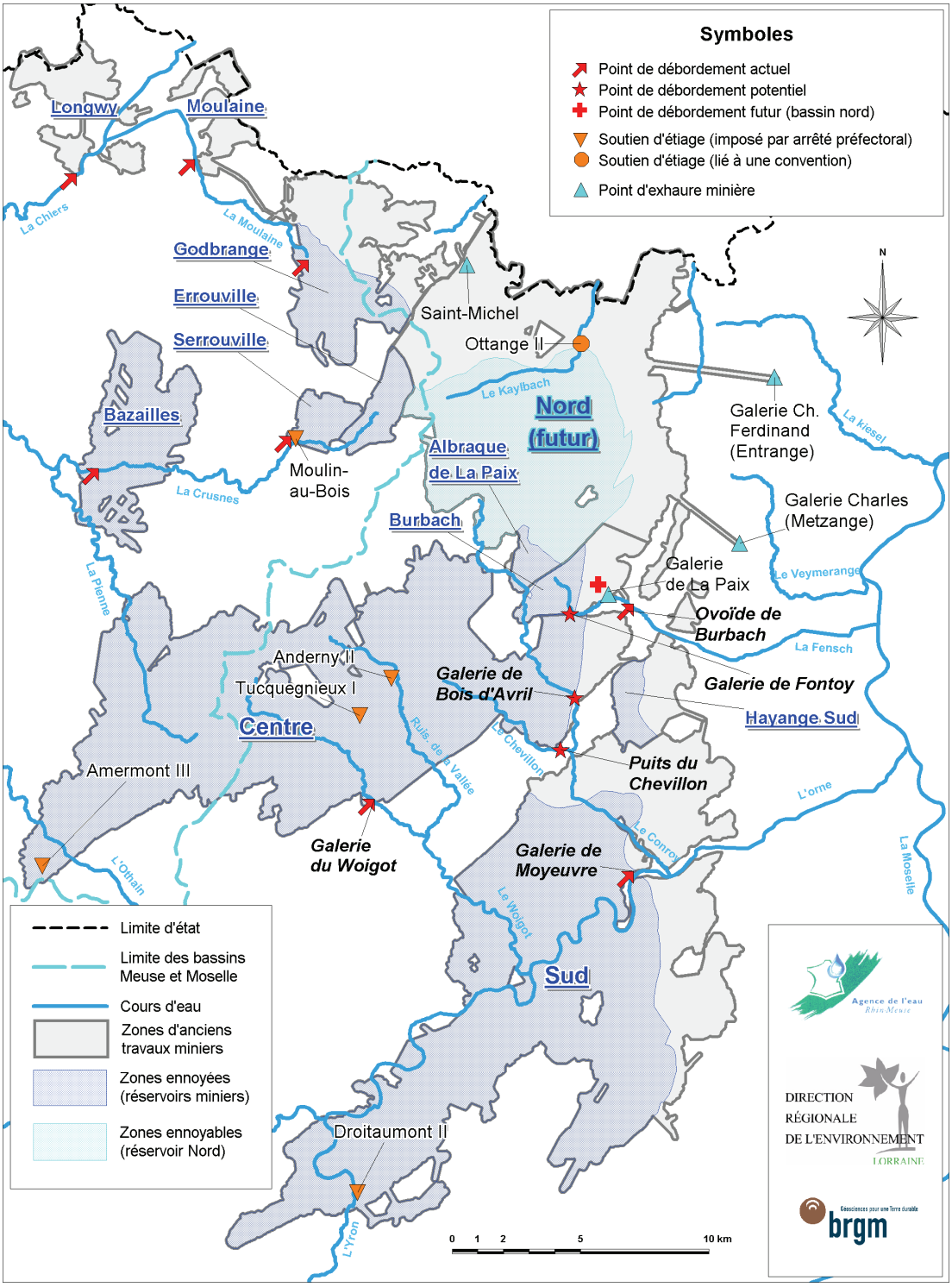


Figure 3 – Bassin ferrifère lorrain : carte des bassins et sous-bassins indépendants d'un point de vue hydraulique.

Par ailleurs, la formation ferrifère est affectée par de nombreux accidents tectoniques orientés principalement nord-est / sud-ouest. Les principales failles qui en découlent subdivisent le bassin de Briey en trois zones géographiques de taille plus restreinte, dans lesquelles la plupart des concessions ont été fusionnées (Figure 3 et planches 1 à 4) :

- Le bassin Nord, limité au sud-est par la faille de Fontoy, et au nord-ouest par la faille de Crusnes.
- Le bassin Centre, développé sur la partie haute du versant occidental du bassin hydrographique de l'Orne, à l'ouest de la double faille d'Avril et de Hayange.
- Le bassin Sud, développé sur le bassin hydrographique de l'Orne et particulièrement son versant oriental, restreint vers le sud-est au passage de la faille d'Amanvillers et limité encore plus au sud par la fracture majeure de Metz - Gorze.

D'autres sous-bassins, de moindre importance, ont aussi été individualisés en fonction des caractéristiques du gisement ou de l'autonomie de l'exploitation, notamment au nord-ouest : Bazailles, Serrouville, Errouville, Godbrange, Moulaine et Longwy.

Ces bassins présentent des comportements hydrodynamiques relativement indépendants les uns des autres, en fonction de la nature des failles qui les limitent.

2.2.2. Nature et succession des niveaux géologiques

Le substratum du gisement de fer est constitué par une épaisse couche de marnes imperméables du Toarcien.

Le minerai de fer lorrain est, lui, de type oolithique : il s'agit d'une roche formée d'une multitude de petits grains arrondis, généralement constitués d'oxydes de fer hydratés (les oolithes) 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, qui ont guidé les travaux d'exploitation, et de niveaux marneux. A l'état naturel, cette formation est déjà relativement perméable et aquifère, donnant naissance à quelques sources à flanc de coteau.

Le Dogger, surmontant la formation ferrifère, est constitué par une alternance de calcaires et de marnes qui détermine un système de nappes d'eau souterraine superposées, séparées par des écrans imperméables.

La Figure 4 présente une coupe stratigraphique schématique de ces différentes formations. On distingue du bas vers le haut :

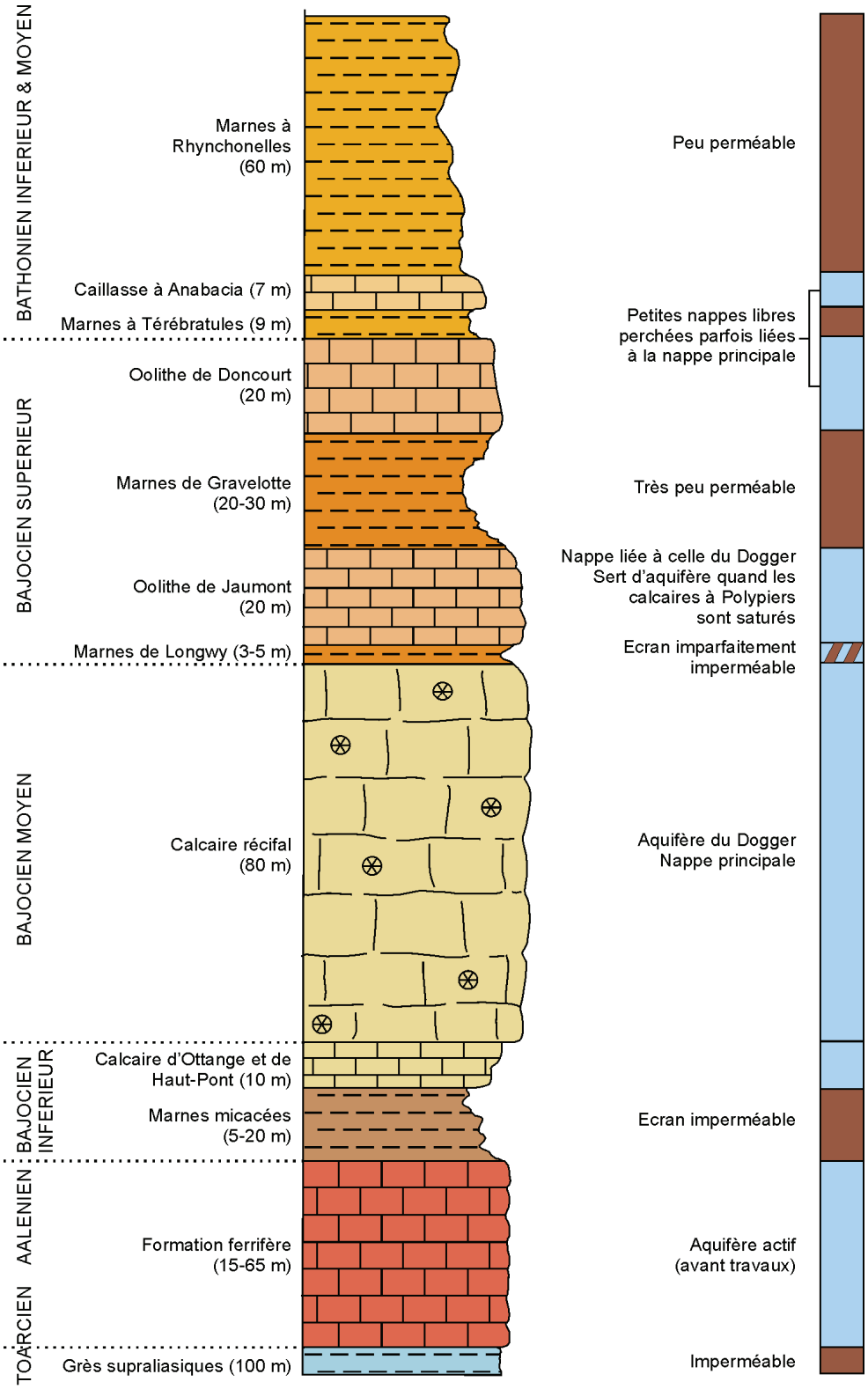


Figure 4 – Coupe stratigraphique schématique (Kimmel, 2000)

- Les marnes micacées, horizon très peu perméable d'argiles et de marnes gris-bleu, constituant le toit du gisement ferrifère.
- Les calcaires d'Ottange et de Haut-Pont (calcaires sableux) et les calcaires à entroques du Bajocien inférieur, présents sous forme de nombreux bancs s'intercalant très progressivement vers le sommet des marnes précédentes.
- 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 marnes de Longwy, mince horizon marnocalcaire semi-perméable et, semble-t-il, parfois discontinu, remplacées au nord par les calcaires siliceux à petits interbancs marneux du Bajocien supérieur, de forte puissance dans la vallée de l'Orne.
- 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.
- Les marnes de Gravelotte, épais horizon très peu perméable constituant le toit de l'aquifère principal.
- L'oolithe de Doncourt, aussi appelée oolithe miliaire 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 du bassin, qui débute la série du Bathonien.
- Les caillasses à anabacia, complexe peu épais de calcaires et marnocalcaires, aquifères, donnant naissance à de petites sources au dessus des marnes à térébratules.
- Les marnes à rhynchonelles, épaisse formation essentiellement marneuse et peu perméable, représentant l'essentiel des niveaux du Bathonien inférieur et moyen.

D'un point de vue hydrogéologique, trois niveaux aquifères superposés sont plus particulièrement différenciés :

- Le « réservoir » minier (oolithe ferrugineuse percée de galeries lorsqu'elle est exploitée),
- La nappe principale du Dogger (calcaire à polypiers du Bajocien moyen),
- Plusieurs petites nappes perchées et discontinues (oolithe de Jaumont et oolithe de Doncourt) reposant sur les niveaux marneux.

2.3. LES EXHAURES MINIERES

2.3.1. Raisons de leur mise en œuvre

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.

Après une exploitation de type artisanale des couches minéralisées, qui s'est effectuée à partir des affleurements (du XVIIème au XIXème siècle), une technique d'exploitation moderne par chambres et piliers est apparue en 1893, et a pris son essor après la première guerre mondiale (Montagne et al., 1992). L'exploitation se déroule en trois phases principales, de la manière suivante (Figure 5) :

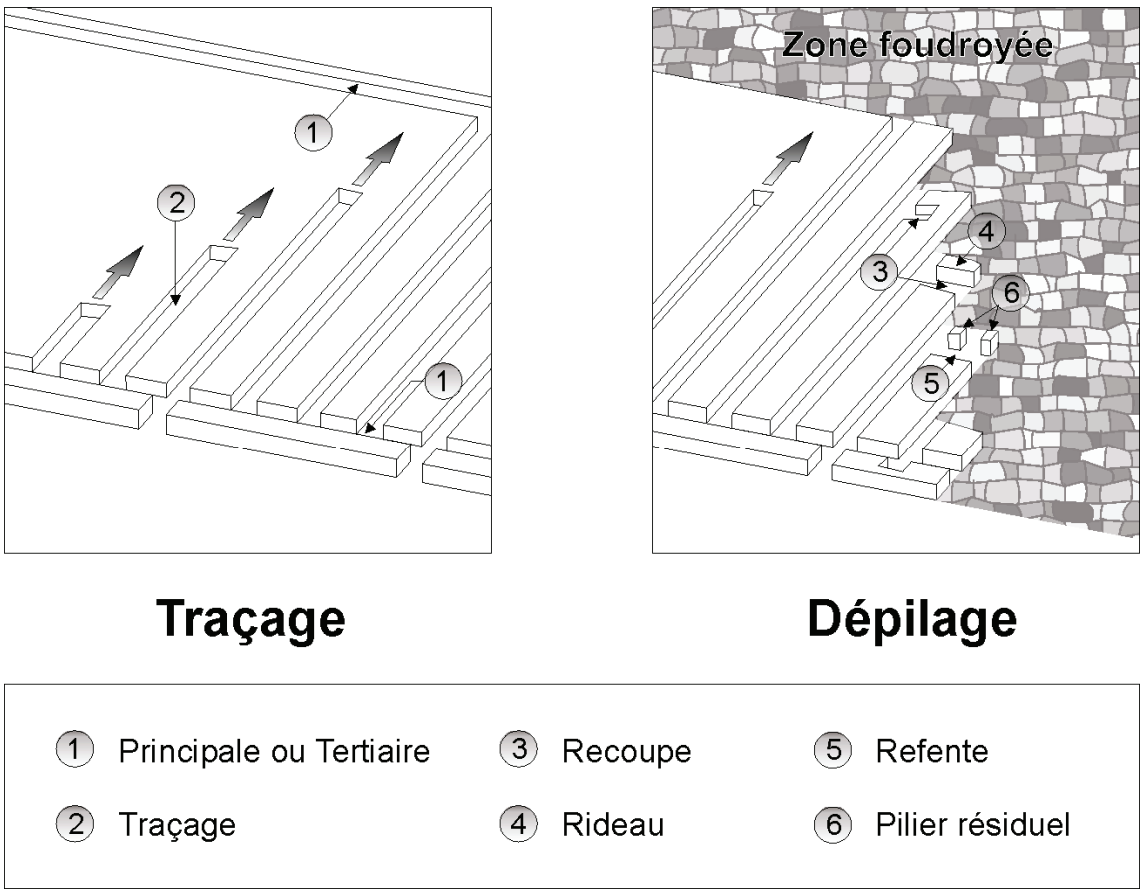


Figure 5 – Schématisation de la méthode par traçage et dépilage (d'après Hervé, 1980)

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

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

– Phase de foudroyage : l'exploitation peut se terminer par le torpillage des piliers résiduels, ce qui provoque la chute du toit : c'est le foudroyage[1].

C'est suite à la pratique de cette technique par chambre et piliers que l'écran imperméable constitué des marnes micacées a été fracturé sur une grande surface : la surface des zones foudroyées représente en effet de 39 à 49 % de la surface exploitée selon les bassins (cf. Tableau 3 page 82). La quasi-totalité de la nappe principale du Dogger a ainsi été drainée par l'intermédiaire de ces zones effondrées, l'eau étant collectée par le réseau de galeries minières (Figure 6).

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. L'exhaure moyenne annuelle par pompage (donc hors drainage gravitaire ne nécessitant pas la mise en œuvre de pompages) des bassins Sud, Centre et Nord a été évaluée à 179 millions de m^3 d'eau par an pour la période 1985-1995 (avec un minimum de 150 et un maximum de 220 millions de m^3/an). Pour la période 1980-1984, avant l'ennoyage du bassin de Godbrange (donc lorsque l'exhaure de ce dernier s'ajoutait aux exhaures des 3 principaux bassins), la moyenne s'élevait à 257 millions de m^3/an, pour un minimum de 229 millions de m^3/an et un maximum de 285 millions de m^3/an.

Pour assurer l'exhaure, de nombreux puits d'exhaure ont été mis en place, tandis qu'étaient créés, en fond de mine, un important réseau de galeries de drainage et de nombreux réservoirs destinés à stocker temporairement l'eau collectée (les albraques). De même, des interconnections hydrauliques entre les mines ont été créées au fur et à mesure des regroupements de sièges d'exploitation au sein de chaque bassin.

2.3.2. Conséquences des exhaures

Un tel prélèvement d'eau souterraine a considérablement bouleversé les équilibres naturels, tant pour le milieu souterrain que pour les écoulements superficiels.

[1] Le terme de zone dépilée est souvent employé à tort comme synonyme de zone foudroyée, tandis que les zones tracées sont elles-même assimilées à tort aux zones dépilées : en toute rigueur, une zone exploitée et effondrée est une zone foudroyée, tandis qu'une zone exploitée et non effondrée est une zone dépilée. Pour clarifier le texte tout en restant cohérent avec les usages, nous emploierons dans ce rapport les termes de zones foudroyées (= effondrées) et de zones tracées (= non effrondrées), en évitant le terme de zone dépilée qui peut prêter à confusion.

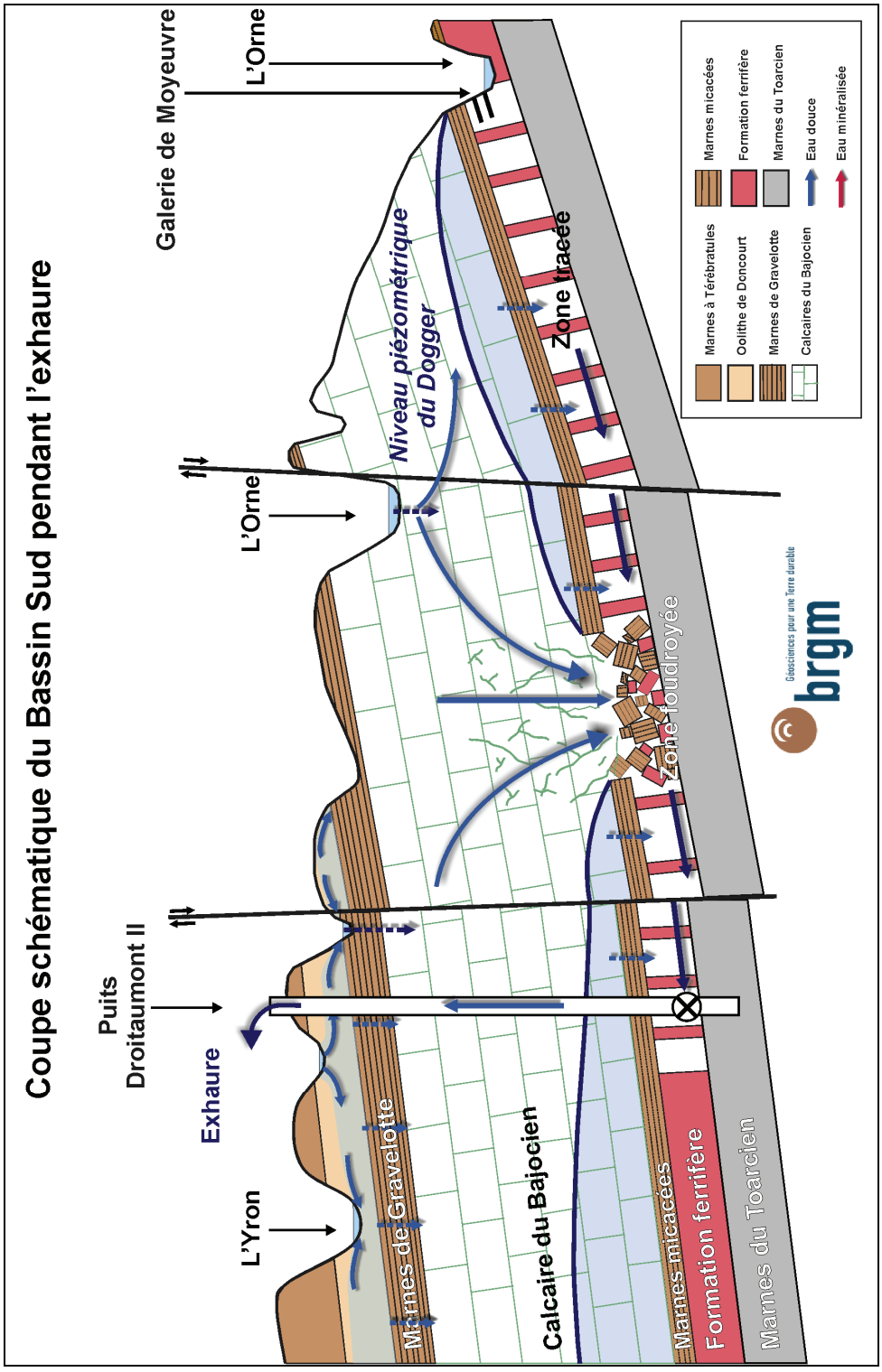


Figure 6 – Coupe schématique du bassin Sud pendant la période d'exploitation minière : la mise en place de pompages d'exhaure permettait de maintenir les travaux miniers "au sec".

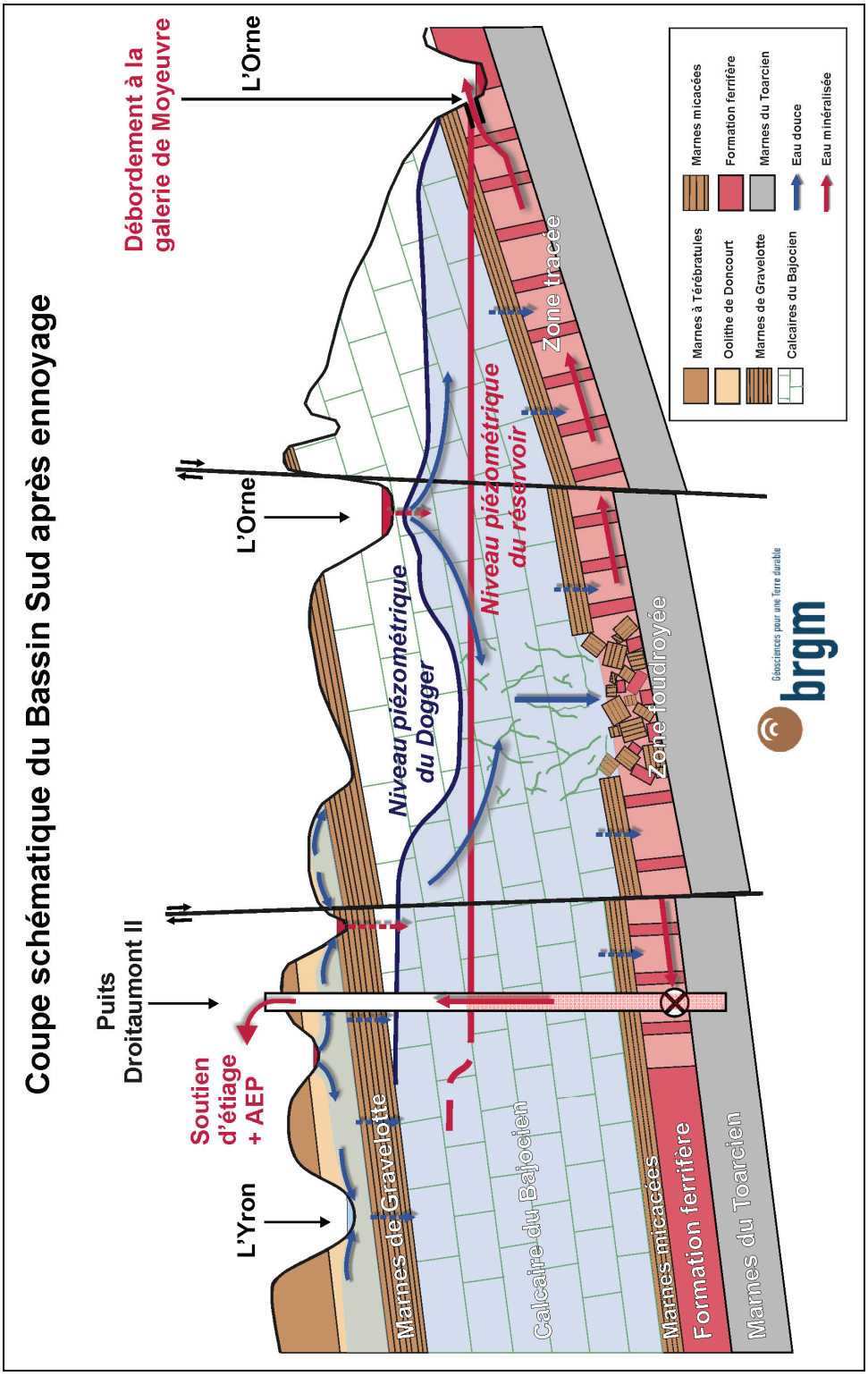


Figure 7 – Coupe schématique du bassin Sud après débordement : l'arrêt des pompages d'exhaure a provoqué l'ennoyage complet du réservoir minier.

Le rabattement du niveau de la nappe d'eau souterraine 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 dans leur soubassement imperméable par l'exploitation minière.

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 drainants, 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 des cours d'eau, déjà notablement perturbés par les changements du niveau des nappes d'eau souterraine.

Une petite partie de cette considérable quantité d'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 eu pour conséquence l'apparition d'un nouvel équilibre « dynamique » artificiel, auquel la population s'est habituée. Cependant, la fermeture des exploitations minières entraîne également l'arrêt des exhaures et la remise en cause de cet équilibre artificiel.

2.4. L'ENNOYAGE DES MINES EN FIN D'EXPLOITATION

2.4.1. L'arrêt des exhaures

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 bassin hydraulique 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 principaux bassins ont été arrêtés aux dates suivantes:

- mai 1985 pour le bassin de Godbrange,
- février 1994 dans le bassin Centre,
- mars 1995 dans le bassin Sud.

Seules les exhaures minières du bassin Nord sont encore maintenues, leur arrêt devrait survenir en décembre 2005.

2.4.2. Organisation de l'ennoyage

Dans un bassin hydraulique, l'arrêt des pompages a pour conséquence l'ennoyage progressif des galeries minières, qui s'accompagne de la reconstitution de la nappe des calcaires du Dogger sus-jacentes (Figure 7). 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 artificiels de débordement des réservoirs miniers, qui limitent la remontée dans les réservoirs miniers à la cote du point de débordement le plus bas, et d'autre part de la persistance des profondes modifications infligées aux couches aquifères :

- existence de vides relatifs aux galeries, que l'on peut estimer à 400 à 500 millions de mètres cubes pour l'ensemble du bassin de Briey, et de communications hydrauliques artificielles dans le réservoir minier ;
- fracturation de l'aquifère des calcaires du Dogger par le biais des dépilages.

La remontée du niveau de l'eau dans ce système hydrodynamique complexe s'effectue jusqu'à ce qu'un état d'équilibre global 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 des réservoirs miniers, forages et puits de pompage).

Dans chaque bassin ou sous-bassins, d'anciens ouvrages miniers ont été retenus comme points de débordement principaux (Figure 3). Ils ont été aménagés en conséquence, ainsi que les galeries qui y aboutissent, et communiquent directement avec la nappe du réservoir minier. Ce sont :

Réservoir Sud :

- La galerie de Moyeuvre en rive droite de l'Orne (nouvelle galerie mise en service en août 2002) : cote du seuil de débordement = 168,91 m NGF, débordement principal dans l'Orne.
- La galerie de Moyeuvre en rive gauche de l'Orne (ancienne galerie ferroviaire) :
  cote du seuil de débordement = 172,43 m NGF, débordement dans l'Orne, trop-plein de crue.

Réservoir Centre :

- Le puits du Chevillon : cote du seuil de débordement = 215,5 m NGF, puits vanné à 100 l/s, débordement dans le ruisseau de Chevillon, affluent du Conroy (fermé depuis janvier 1999).
- La galerie du Woigot (galerie du puits de S^{t}-Pierremont dite encore galerie « des 30 mètres ») : cote du seuil de débordement = 222,74 m NGF, débordement principal dans le Woigot.

– La galerie de Bois d'Avril : cote du seuil de débordement = 223,15 m, trop-plein de hautes eaux, débordement dans le Conroy.

– La galerie de Fontoy : cote du seuil de débordement = 223,50 m, trop-plein de crues par barrages, débordement dans la Fensch.

Réservoir Nord :

– La galerie de la Paix (ou de Knutange) : cote du seuil de débordement = 207 m NGF, débordement principal dans la Fensch, exutoire du puits d'Havange.

Réservoir Godbrange :

– La galerie vers la Moulaine : cote du seuil de débordement = 303 m NGF, débordement principal dans la Moulaine.

Ces points suffisent (ou suffiront dans le cas du bassin Nord) à rejeter dans le réseau hydrographique un débit suffisant pour stabiliser le niveau piézométrique des différents réservoirs aquifères.

2.4.3. Les conséquences de l'ennoyage

a) Modification du fonctionnement des nappes d'eau souterraine et des cours d'eau

Plusieurs phénomènes peuvent se produire :

– déplacement des limites des bassins versants souterrains alimentant les exutoires (sources, pompages), par la mise en communication de réservoirs se situant à différents niveaux ;

– transferts d'eau souterraine éventuels entre les différents bassins ;

– augmentation de la productivité des captages et mise en pression de la nappe captive sous la plaine de la Woëvre ;

– déplacement des exutoires de l'aquifère : 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.

– L'une des conséquences non désirée de l'ennoyage est l'apparition d'autres exutoires, 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 (ces phénomènes sont détaillés dans les chapitres suivants).

b) Détérioration de la qualité de l'eau souterraine

Alors que l'eau du Dogger, alimentant les réservoirs miniers, présente une faible minéralisation, l'expérience de l'ennoyage de petits bassins miniers (Saizerais, Serrouville) a montré que les eaux circulant dans les anciennes mines de fer se minéralisent très fortement. En particulier, les concentrations en sulfate, sodium, magnésium dépassent très souvent les concentrations maximales admissibles pour l'eau potable.

c) Arrêt de la fourniture d'eau destinée à l'alimentation en eau potable des collectivités

L'arrêt des pompages d'exhaures impose aux collectivités et industries anciennement clientes des exploitants miniers de se rendre indépendantes de cette ressource en eau abondante et facile d'accès, et nécessite 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.

2.5. LA SURVEILLANCE DES EAUX SOUTERRAINES DU BASSIN FERRIFERE DE 1994 A 2004

2.5.1. Historique du réseau de surveillance

Afin de pouvoir contrôler l'évolution de l'ennoyage du réservoir minier et prendre des dispositions limitant les conséquences évoquées ci-dessus lorsqu'elles sont néfastes, les préfectures des trois départements concernés par l'ennoyage des bassins Centre et Sud ont pris des arrêtés en février et juin 1994 contraignant jusqu'au 31 décembre 2000 l'ancien exploitant (la société LORMINES) à :

- maintenir, ou reprendre, un pompage minimum pour assurer le soutien des étiages des principales rivières (Yron, Othain, Woigot et ruisseau de la Vallée) (Figure 3) ;
- effectuer des travaux de fermeture pour les sites abandonnés, et des travaux d'aménagements hydrauliques pour ceux dans lesquels un débordement était prévu en fin d'ennoyage ;
- effectuer une surveillance trimestrielle de la remontée du niveau de l'eau dans les principaux réservoirs miniers, ainsi que de la qualité de l'eau.

Dès 1995, en complément à la surveillance prescrite réglementairement par l'Etat à l'exploitant minier LORMINES, l'Agence de l'eau Rhin-Meuse et la DIREN Lorraine ont souhaité engager des actions complémentaires de prévention et de protection de la ressource. Depuis cette date, l'Agence de l'eau a 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 du bassin ferrifère élargi à la nappe des calcaires du Dogger.

Le coût d'acquisition des données et de leur interprétation, 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. Pour 2004, l'Agence a demandé au BRGM de se porter maître d'ouvrage de l'étude, et apporte sa contribution sous la forme d'une aide.

L'interprétation des données recueillies vise à mieux comprendre le fonctionnement de ce système hydrodynamique et chimique complexe qu'est le bassin ferrifère, en s'appuyant sur les travaux de recherche et les outils développés par le BRGM dans le cadre du GISOS depuis 1999.

Les résultats de l'étude sont présentés dans un rapport annuel, ainsi que dans une chronique mensuelle – devenue trimestrielle depuis 2003 – mise en ligne sur le site internet de l'Agence de l'eau Rhin-Meuse.

Depuis le 1er janvier 2001, date à laquelle l'exploitant Lormines a été dégagé des obligations concernant la surveillance des eaux souterraines prescrites par arrêté préfectoral, le BRGM a pris le relais du suivi effectué par l'exploitant, toujours dans le cadre de l'étude de surveillance des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain.

Le réseau de surveillance des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain est en constante évolution depuis sa création, le suivi de certains points ayant pu être abandonné alors que d'autres points ont au contraire été créés. Le réseau de surveillance est décrit dans la suite du texte dans son état au début de l'année 2004 (Figure 8). Il comprend au total 43 points (cf. liste des points en annexe 1, dans le cd-rom joint au rapport), dont :

- 19 servent à surveiller le niveau piézométrique et la qualité de l'eau circulant dans les anciennes mines noyées (« réservoir minier »),
- 18 permettent la surveillance de la nappe des calcaires du Dogger sus-jacente,
- 6 ont pour objet le suivi de la formation ferrifère non exploitée entre les bassins Sud et Centre.

L'Agence de l'eau Rhin-Meuse est propriétaire de 19 piézomètres captant essentiellement la nappe des calcaires du Dogger. Tous les autres ouvrages ayant fait un jour l'objet d'une surveillance appartiennent soit à d'autres propriétaires privés ou publics, soit ont été rétrocédés par l'exploitant minier à des syndicats ou des communes : il s'agit de 10 anciens puits miniers, 5 anciennes galeries minières, 6 forages publics ou privés, 1 piézomètre privé et 2 sources.

2.5.2. Surveillance des réservoirs miniers ennoyés

a) Anciens puits miniers et forages (7 points)

Jusqu'à fin 2000, la réalisation de certaines mesures était imposée à l'ancien exploitant minier, la société LORMINES, par des arrêtés préfectoraux datant de février et juin 1994. Le réseau LORMINES comprenait 6 anciens puits miniers, cédés à des syndicats ou des communes pour l'AEP et le soutien d'étiage des rivières. Depuis la cessation d'activité de Lormines (décembre 2000), le suivi de 5 puits est pris en charge par l'Agence de l'eau et le BRGM :

- le niveau piézométrique des deux réservoirs Sud et Centre est mesuré de façon automatique par deux stations mises en service par l'Agence de l'eau dans les puits d'Auboué I (Sud) et S^{t}-Pierremont II (Centre) depuis le 27 juin 2001.
- la qualité de l'eau est mesurée tous les 3 mois dans les puits du réservoir Centre qui sont pompés régulièrement, pour le soutien d'étiage de l'Othain et du Woigot : Amermont III, Tucquegnieux I, Anderny II.

En 2001, 2 ouvrages supplémentaires ont été intégrés au réseau, de manière à permettre la surveillance des deux sous-réservoirs Burbach et Hayange Sud : le forage Burbach-Route Blanche (appartenant à un syndicat) et le piézomètre Hayange Sud (créé par l'Agence de l'eau).

b) Points de débordement ou de fuite (7 points)

Au total, 7 points de débordement ou de fuite des réservoirs miniers font l'objet d'un suivi du débit et de la qualité de l'eau. En 1998, l'Agence de l'eau Rhin-Meuse a installé 3 stations de mesure en continu du débit, de la conductivité et de la température à l'exutoire du réservoir Sud et aux 2 exutoires principaux du réservoir Centre. Ces stations sont équipées pour la télétransmission des données. Les autres points (sorties de galerie et mesure en rivière) sont suivis à une fréquence mensuelle par mesure manuelle du débit et prélèvements pour analyses chimiques.

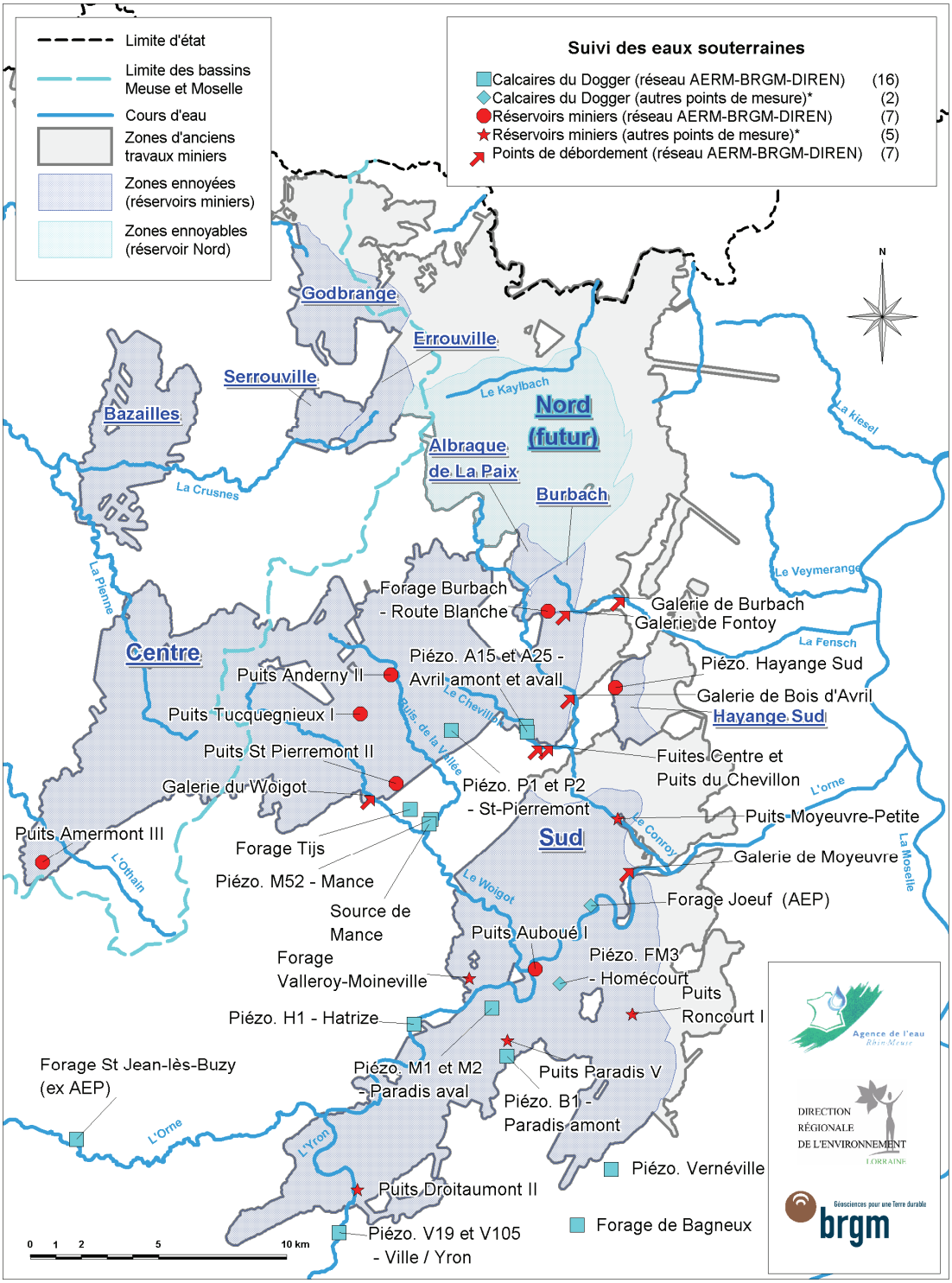


Figure 8 – Le réseau de surveillance des eaux souterraines du bassin ferrifère

c) Autres points de mesure (5 points)

Certains puits miniers sont exploités pour l'alimentation en eau potable (AEP), et à ce titre, la qualité de l'eau brute prélevée est contrôlée par les DDASS de Meurthe-et-Moselle (54) et de Moselle (57). Les mesures recueillies sont saisies et interprétées dans le cadre de la surveillance.

2.5.3. Surveillance des calcaires du Dogger (18 points)

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

Afin de comprendre les mécanismes actuels de circulation et d'échange d'eau entre ces nappes, un réseau de surveillance, propre à la formation aquifère du Dogger, a été mis en place (Figure 8). Au total, en 1998, 12 ouvrages ont fait l'objet d'un suivi, soit du niveau piézométrique, soit de la qualité de l'eau (2 forages exploités, 9 piézomètres et 1 source).

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 :

- 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 (migration possible de l'eau minéralisée du réservoir minier vers les calcaires du Dogger).
- 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.

En 2004, le réseau de surveillance de la nappe des calcaires du Dogger comprenait donc 18 ouvrages, dont 13 piézomètres, 4 forages exploités ou non et 1 source. Deux ouvrages parmi les 18 n'appartiennent pas au réseau AERM-BRGM : les données piézométriques du piézomètre FM3 – Homécourt nous sont aimablement fournies par la société Bail Industries, et les données de qualité du forage Joeuf nous sont communiquées par la DDASS 54.

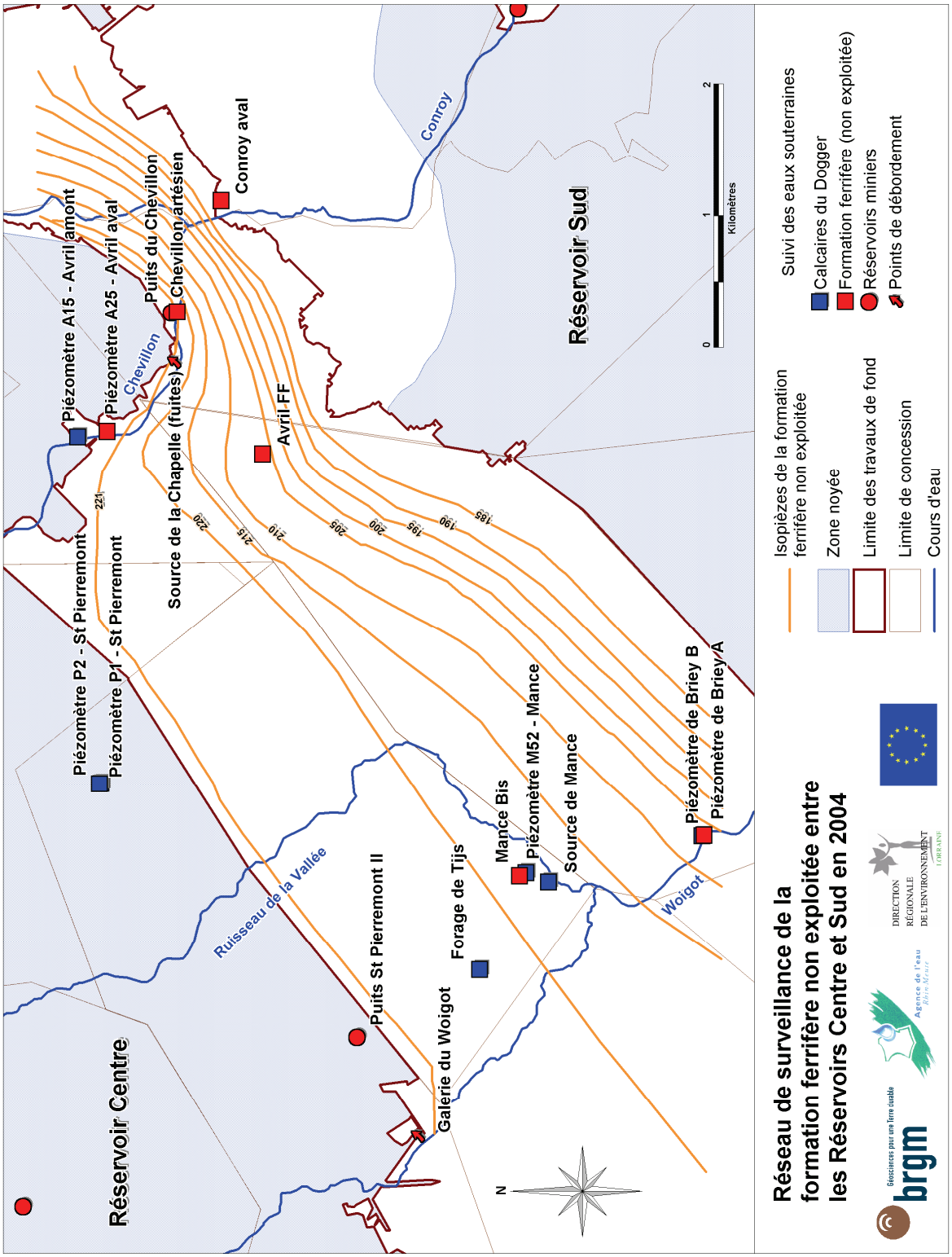


Figure 9 – Le réseau de surveillance de la formation ferrifère non exploitée entre les réservoirs Centre et Sud (6 points) en 2004.

Les mesures de niveau piézométrique sont réalisées à un rythme mensuel dans 15 ouvrages (2 forages exploités ne sont pas mesurés, ainsi que la source de Mance qui fait l'objet d'une mesure de débit).

Le débit, la conductivité et la température de la source de Mance sont mesurés tous les mois.

La qualité de l'eau est suivie en 13 points : 12 ouvrages et la source de Mance. Les échantillonnages sont réalisés tous les 6 mois.

2.5.4. Surveillance de la formation ferrifère non exploitée entre les réservoirs Centre et Sud (6 points)

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 (Figure 9), dans le but de mieux évaluer les circulations d'eaux souterraines entre les deux réservoirs, et donc à terme les ressources disponibles. Les niveaux piézométriques sont mesurés tous les mois (sauf pour le piézomètre Chevillon qui est artésien), et la qualité de l'eau est déterminée tous les 6 mois.

2.5.5. Réorganisation du réseau de surveillance dans le cadre de l'ennoyage programmé du bassin Nord

Une réflexion est menée visant à réduire le nombre de points à suivre dans les bassins Sud et Centre, et à diminuer la fréquence des mesures effectuées, dans le but d'optimiser le suivi du réseau du bassin ferrifère élargi au bassin Nord, dont l'ennoyage devrait débuter à partir du 1er décembre 2005.

Par ailleurs, l'équipement de la nouvelle galerie de débordement du réservoir Sud avec un nouveau système de mesure du débit est envisagé. En effet, l'ancienne galerie de débordement aménagée par l'exploitant minier ne débordant plus depuis août 2002, la station automatique initialement installée par l'Agence de l'eau n'est plus fonctionnelle depuis cette date. Cette situation est liée à l'histoire complexe de l'exutoire du bassin Sud[2].

---

[2] La fin de l'ennoyage du bassin Sud a eu pour conséquence imprévue l'apparition de fuites au-dessous de la côte de la galerie spécialement aménagée pour évacuer les eaux de débordement du réservoir Sud vers la rivière Orne toute proche. La création de cet exutoire naturel parasite a provoqué la montée du niveau piézométrique dans la nappe alluviale constituant le soubassement de la ville de Moyeuvre-Grande, provoquant l'inondation des sous-sols enterrés d'une partie de la ville. La mise en place de puits de pompage à gros débit et de pompes de surface individuelles dans chaque cave inondée n'a pas permis de résoudre le problème de façon satisfaisante et définitive.

Dans le but de mieux comprendre et de quantifier les phénomènes mis en jeu, plusieurs études et investigations sur le terrain ont donc été engagées par l'état dès 1998. Au vu des résultats, l'Etat a décidé

La mise en service de la nouvelle galerie de débordement rend impossible la mesure du débit par le biais de la hauteur d'eau dans le chenal d'évacuation, en raison de l'influence de la rivière Orne, et rend nécessaire l'installation d'un système de mesure directe du débit, plus complexe et plus coûteux.

---

de créer une nouvelle galerie de débordement, dont le seuil est 3,52 m plus bas que le seuil actuel, et qui peut laisser s'écouler un débit de débordement maximal de 10 m^3/s. Ces caractéristiques permettent de maintenir hors d'eau les sous-sols des habitations concernées et ce même dans les plus sévères conditions (crue centennale). Une modélisation hydrogéologique réalisée par le BRGM Lorraine a permis de fournir les éléments chiffrés nécessaires au dimensionnement du nouvel ouvrage. La création de ce nouvel exutoire permet aussi de sécuriser le bassin Sud en parant à l'éventuelle défaillance d'une des galeries de débordement.

Les travaux, achevés au deuxième semestre 2003, ont consisté à excaver, dans la plaine alluviale et entre parois moulées, un chenal de rejet d'une longueur totale de 450 m. La jonction entre ce chenal et les ouvrages d'infrastructure minière ennoyés, eux-mêmes en bonne communication hydraulique avec l'ensemble du réservoir et préalablement confortés et calibrés, est assurée par un tunnel de 140 m de longueur et de 25 m^2 de section. Un système de fermeture automatique du chenal a été mis en service au point de jonction entre la galerie et le chenal, afin d'empêcher les crues de l'Orne de pénétrer dans la mine. La modélisation du BRGM avait permis de quantifier l'impact d'une fermeture temporaire de l'ouvrage de débordement sur le niveau dans le réservoir, et donc sur le niveau dans la nappe alluviale, et avait conclu à un impact acceptable même en crue centennale.

3. Acquisition et traitement des données

3.1. ACQUISITION DES DONNEES

L'ensemble des données acquises, mises en forme et traitées dans le cadre de ce travail, est mis à disposition dans le cd-rom joint à ce rapport, sous la forme d'une base de données au format Access 97 (annexe 2) et d'un fichier au format Excel 97 (annexe 3).

3.1.1. Constitution de la base de données des ouvrages du bassin ferrifère lorrain

a) Description de la base de données

La structure de la base de données du bassin ferrifère est dérivée de celle d'une base développée sous Microsoft ACCESS par l'Agence de l'eau Rhin-Meuse (base de données du réseau de bassin des eaux souterraines), légèrement modifiée et étendue pour les besoins de l'étude. Des formulaires permettent une meilleure visualisation et saisie des données. Ils sont de 4 types :

- Le formulaire « d'ouverture » s'affiche à l'ouverture de la base, il s'agit du menu principal de la base de données, permettant de choisir ce que l'on veut faire : consulter, modifier ou créer la fiche d'un point.
- Le formulaire « Généralités » affiche les informations sur le point d'eau contenues dans la table principale (table Généralités). Il comporte des champs à remplir obligatoirement pour le fonctionnement de toute la base. Il s'agit des champs :
  - « Indice BSS » (clé de la base) et « Désignation » ;
  - « Code Nature » : en fonction du code attribué, le « clic » sur le bouton « Caractéristiques » du formulaire « Généralités » impliquera l'ouverture soit du formulaire « Caractéristiques des forages », soit du formulaire « Caractéristiques des sources ». L'oubli de la saisie du code conduirait à l'affichage d'un message d'erreur : « Nature obligatoire avant saisie des caractéristiques ».

  Une autre particularité de ce formulaire consiste en l'intégration dans le dossier "scans" accompagnant la base Access, d'images de type ".jpg" dont les noms sont formulés ainsi : [Indice National] & "_plan.jpg" et [Indice National] & "_carte.jpg". Cette tâche accomplie, un script Visual Basic permet l'insertion automatique de ces images au niveau des onglets.
- Les formulaires « Caractéristiques des forages » et « Caractéristiques des sources » basés sur les tables secondaires. Pour chaque ouvrage, ces tables regroupent les caractéristiques techniques, géologiques, hydrogéologiques, les

références bibliographiques et éventuellement deux photos en plan rapproché et éloigné (le script Visual Basic impose des noms particuliers pour ces images : [Indice National] & "_detail.jpg" et [Indice National] & "_generale.jpg").

- Le formulaire « Contacts » regroupe les informations pratiques de coordonnées des propriétaires, des exploitants et des contacts figurants dans une table secondaire.

La structure de la base a été étendue afin d'y inclure les informations concernant l'environnement minier de chacun des points tout en conservant les tables d'origine. Pour faire le lien entre la table « Généralités » et la nouvelle table « Concessions minières » (indépendantes l'une de l'autre), une table de transition a été créée. Cette dernière table se nomme « lien Concessions minières-Généralités » et ses champs sont les suivants : « Indice BSS » (cf. table « Généralités »), « Désignation », « Nom de la Concession » (cf. table « concessions minières »).

Une requête intégrant tous les champs des tables « lien Concessions minières-Généralités » et « Concessions minières » a été créé, permettant de réaliser un état imprimable « Etat_Fiche-envt-minier » pour chaque point. Un bouton permettant de le visualiser (l'impression se faisant dans l'état) a été ajouté dans le formulaire « Généralités sur le point d'eau ». Un formulaire « Concessions minières » a été créé afin de pouvoir modifier ou ajouter de nouvelles informations.

b) Recherche et saisie des informations dans la base

Plusieurs sources d'informations ont été consultées : dossiers "papiers" de la Banque du Sous-Sol du BRGM, dossiers communaux du BRGM, dossiers d'abandon des concessions (ARBED et LORMINES) et tous les documents et rapports disponibles se rapportant aux différents ouvrages (projets de réalisations, contrôles…). Cette phase de recherche documentaire a permis d'acquérir une connaissance plus précise des caractéristiques générales des ouvrages (localisation, référence des cartes géologiques et topographiques, coordonnées des propriétaires et exploitants…) ainsi que de leurs caractéristiques techniques (données géologiques et hydrogéologiques, diamètre du tube, profondeur, débit pompé…).

L'identification des caractéristiques minières (concession d'appartenance, couche ferrifère captée, pendage des couches…) de l'ensemble des points du réseau de surveillance qualitative et quantitative du bassin ferrifère lorrain a été effectuée et synthétisée sous la forme de fiches « environnement minier ».

c) Consultation de la base de données

La base de données du bassin ferrifère lorrain est fournie sous la forme d'un fichier Access inclus sur le cd-rom annexé au présent rapport.

La base comporte 70 ouvrages fonctionnels (puits, forages, galeries, sources…) qui atteignent la formation ferrifère ou les formations sus-jacentes. Les autres ouvrages référencés dans la banque du sous-sol ont été comblés pour la plupart après l'arrêt des exploitations et ne sont plus fonctionnels. Les points d'observation sont d'origines

diverses : anciens puits miniers, points de débordement possible des réservoirs ennoyés, ouvrages de surveillance des calcaires du Dogger, forages AEP des communes, des syndicats des eaux ou des sociétés privées, sources captées ou non…

Pour afficher les informations concernant un ouvrage, son indice national doit être saisi (ou choisi dans la liste déroulante associée). En effet, la clé primaire de la base de donnée est l'indice national de chaque ouvrage, ou indice « BSS » (Banque de données du Sous-Sol, gérée par le BRGM). Il s'agit d'un numéro unique attribué à chaque ouvrage, du type "01377X0099" pour l'ouvrage d'Auboué I par exemple.

Les différentes fiches créées de manière dynamique par les formulaires associés peuvent être imprimées.

3.1.2. Acquisition des séries de données chronologiques

Toutes les séries de données chronologiques nécessaires à une modélisation numérique, et disponibles chez les différents producteurs de données, ont été recherchées, saisies et mises en forme dans un fichier au format Excel 97 (annexe 3 dans le cd-rom joint au rapport). Les données suivantes ont été ainsi compilées :

- Pluie et évapotranspiration potentielle, de 1980 à 1999 : Météo-France, et Agence de l'eau Rhin-Meuse pour la station pluviométrique de Tressange ;
- Débits d'exhaure par mine avant l'ennoyage des réservoirs, de 1946 à 1996 : Agence de l'eau Rhin-Meuse ;
- Débits de prélèvement : Agence de l'eau Rhin-Meuse, dans le cadre de la perception des redevances ;
- Débits de débordement des réservoirs noyés, de 1998 à 2003 : Agence de l'eau Rhin-Meuse et BRGM, dans le cadre de l'étude de surveillance des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain ;
- Niveaux piézométriques, de 1994 à 2003 : Agence de l'eau Rhin-Meuse et BRGM, dans le cadre de l'étude de surveillance des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain ;
- Qualité des eaux souterraines, de 1994 à 2003 ; Agence de l'eau Rhin-Meuse et BRGM, dans le cadre de l'étude de surveillance des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain ; DDASS 54 et 57, dans le cadre du contrôle sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine ;
- Qualité des eaux de surface, de 2000 à 2004 : Agence de l'eau Rhin-Meuse.

3.2. TRAITEMENT DES DONNEES

3.2.1. Calcul des débits de fuite des réservoirs Sud et Centre

a) Estimation du débit de fuite du réservoir Sud

Le débit de fuite du réservoir Sud vers l'Orne a été mesuré indirectement par l'Agence de l'eau Rhin-Meuse pendant les étés 1998 et 1999. La mesure a consisté à faire la différence entre le débit de l'Orne à l'amont et à l'aval de la zone de fuites, déduction faite de l'apport du débordement par la galerie de Moyeuvre.

En mettant en relation le débit de fuite calculé et le niveau piézométrique mesuré dans le réservoir Sud (Droitaumont II) à la même date, on peut obtenir un modèle linéaire des fuites du réservoir (Figure 11). L'extrapolation de ce modèle à un débit nul indique que les fuites ont dû commencer à se produire à partir de la cote 169,7 m environ – les fuites ont été signalées pour la première fois autour du 01/08/98, ce qui correspond à la cote 170,5 m NGF dans le réservoir (Baubron, 1998 ; Vaute et Pinault, 1999) –. L'extrapolation du modèle pour des valeurs de niveau supérieures à 172,8 m permet d'estimer le débit de fuite pour toute valeur du niveau piézométrique du réservoir : la courbe présentée sur la Figure 11 montre le résultat de ce calcul. Selon le modèle de fuite proposé, le débit moyen de fuite depuis le débordement est stable parce que le niveau piézométrique du réservoir est peu fluctuant, et est évalué à 0,59 +/- 0,01 m^3/s.

b) Estimation du débit de fuite du réservoir Centre

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

En 2000, une estimation du débit des fuites a été effectuée par un calcul similaire, à partir de mesures complémentaires (Jaugeages et analyses chimiques). Ce calcul (principe exposé sur la Figure 10) peut être réalisé à condition de considérer les hypothèses suivantes :

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

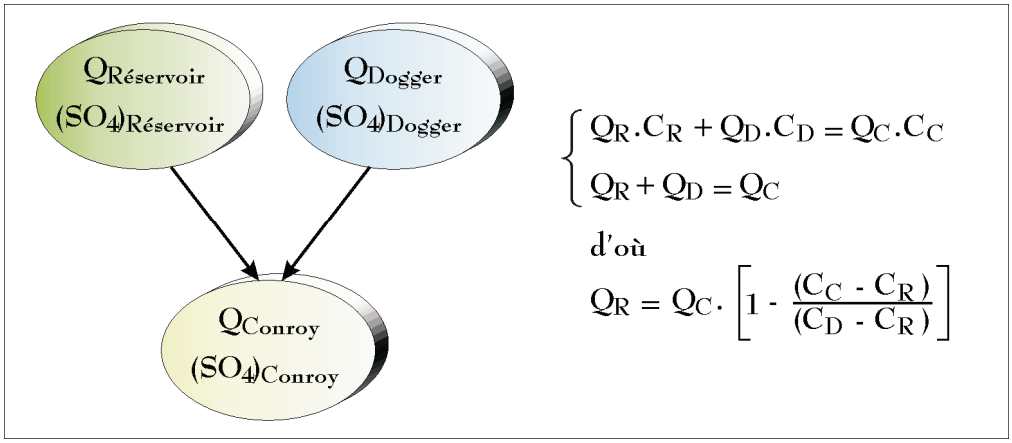


Figure 10 – Principe du calcul du débit de fuite du réservoir Centre (QR) en aval de la confluence Conroy-Chevillon.

Le débit du Conroy est jaugé à un rythme mensuel. La concentration en sulfate du réservoir minier est considérée comme constante et égale à 1302 mg/l (moyenne des concentrations mesurées à Anderny II depuis le 30/03/99). La concentration en sulfate des calcaires est considérée comme constante et égale à 52 mg/l (moyenne des concentrations mesurées à Avril amont depuis le 29/04/99).

En mettant en relation le débit de fuite calculé et le niveau piézométrique mesuré dans le réservoir Centre (Tucquegnieux I) à la même date, on peut obtenir un modèle linéaire des fuites du réservoir (Figure 11). L'extrapolation de ce modèle à un débit nul indique que les fuites ont dû commencer à se produire à partir de la cote 221 m environ, ce qui est cohérent avec les observations effectuées – en effet, l'augmentation de la concentration en sulfate du puits AEP du Pérotin aval (vallée du Conroy), à la suite de l'apparition des fuites diffuses, a été observée entre le 24 et le 29 mars (chronique mensuelle « Bassin Ferrifère : Surveillance Eau » d'Avril 1999), le niveau à Tucquegnieux ayant dépassé la cote 221 m à partir du 1er mars –.

L'extrapolation de ce modèle pour des valeurs de niveau comprises entre 221 m et 222,5 m permet d'estimer le débit de fuite pour toute valeur du niveau piézométrique du réservoir : la courbe présentée sur la Figure 11 montre le résultat de ce calcul. Selon le modèle de fuite proposé, le débit de fuite depuis le débordement varie entre 0 et 0,17 m^3/s, pour un débit moyen évalué à 0,15 m^3/s en 2001 ; 0,12 m^3/s en 2002 et à 0,10 m^3/s en 2003.

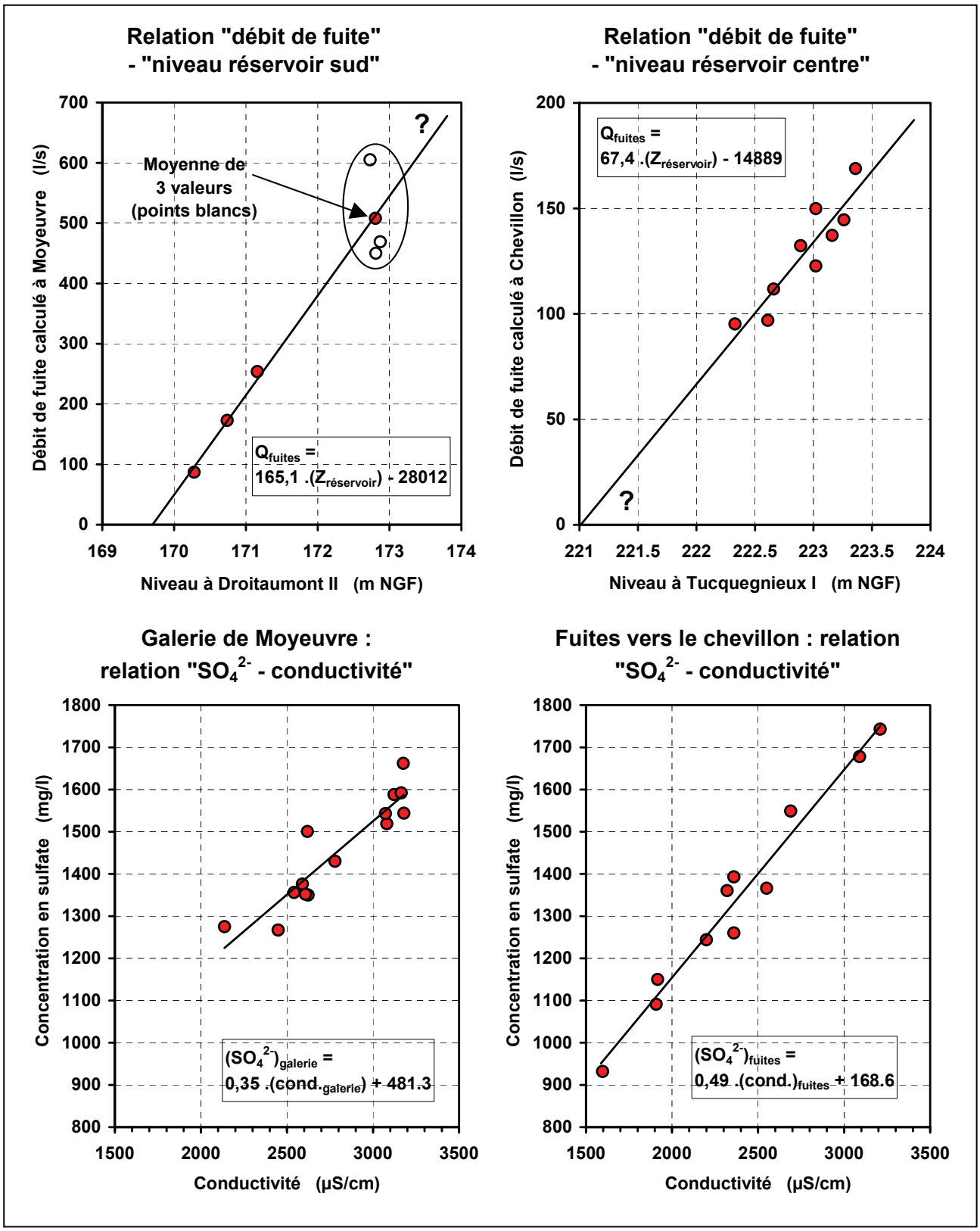


Figure 11 – Relations « débit de fuite – niveau » et « concentration en sulfate – conductivité » pour les réservoirs Sud (Moyeuvre) et Centre (fuites vers le Chevillon).

3.2.2. Calcul de la recharge des réservoirs

Les débits d'exhaure sont disponibles sous la forme de chroniques de volume totaux mensuels d'eau exhaurée par mine, de 1946 à 1996. Seules les données de la période 1980-1996 sont considérées, pour éviter de prendre en compte les tendances à la hausse des débits d'exhaure liées à l'extension des zones exploitées.

L'objectif de cette partie du travail est de définir une méthode permettant de calculer la recharge de chaque mine pendant la période de son exploitation, qui puisse être transposée à la période d'ennoyage.

a) Description de la méthode

L'approche choisie est la modélisation globale « inverse » des séries chronologiques de hauteurs de pluie, d'évapotranspiration potentielle et de débits d'exhaure, par des méthodes dérivées du traitement du signal. Le code de calcul utilisé pour le traitement des séries de données chronologiques, TEMPO, a été développé au BRGM et appliqué dans divers contextes : détermination de la structure et du fonctionnement d'aquifères karstiques (Pinault et al., 2001-b, 2004) ; étude de la dénitrification en milieu de socle (Pinault et al., 2001-a) ; modélisation des niveaux et des débits dans le bassin ferrifère (Vaute et Pinault, 1999, Vaute et al., 2004) ; étude des gaz dans les sols (Pinault et Baubron, 1996, 1997).

En effet, une mine peut être considérée comme un système de transformation d'un signal d'entrée (la pluie) en un signal de sortie (le débit d'exhaure). Pour chacune des mines pour lesquelles on connaît la chronique de débit d'exhaure, on cherche donc à calculer une relation quantitative reliant la pluie mesurée et le débit d'exhaure observé.

Pour ce faire, on souhaite n'introduire aucune hypothèse à propos de la structure interne du réservoir (types d'écoulement, porosité, perméabilité, etc.), d'une part parce qu'on ne dispose pas de ces informations de manière suffisamment détaillée, d'autre part pour éliminer toute sorte d'*a priori*. On n'introduit donc aucun paramètre décrivant une propriété physique du système dans le modèle .

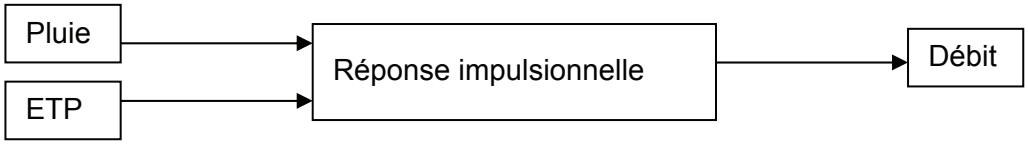
Du point de vue mathématique, l'opération consistant à calculer, pour un système, la relation existant entre un signal d'entrée et un signal de sortie s'appelle une identification de réponse impulsionnelle. Le résultat du calcul est une courbe fonction du temps, appelée réponse impulsionnelle. Cette courbe représente la réponse du système à une impulsion unité du signal d'entrée, lorsque le système est au repos (c'est-à-dire lorsque le signal de sortie n'est plus influencé par les impulsions que le système a reçues auparavant). Une fois que la réponse impulsionnelle a été identifiée, on peut prévoir la réponse du système à n'importe quel signal d'entrée, au moyen d'une autre opération mathématique : la convolution du signal d'entrée par la réponse impulsionnelle. On dispose alors d'un moyen de faire des prévisions.

En réalité, dans le cas de systèmes hydrologiques, la déconvolution ne peut pas être réalisée directement entre la pluie et le débit. En effet, la relation entre ces deux variables n'est pas linéaire : selon la saison, une même hauteur de pluie tombée ne

provoque pas la même augmentation de débit (parce qu'il y a plus d'évapotranspiration en été qu'en hiver). On dit que le système n'est pas linéaire. L'identification d'une réponse impulsionnelle n'étant possible que sur un système linéaire, il faut au préalable déterminer la part de la pluie qui alimente réellement le système : c'est la « pluie efficace » (pluie brute diminuée de la part qui s'évapore ou qui est transpirée par la végétation).

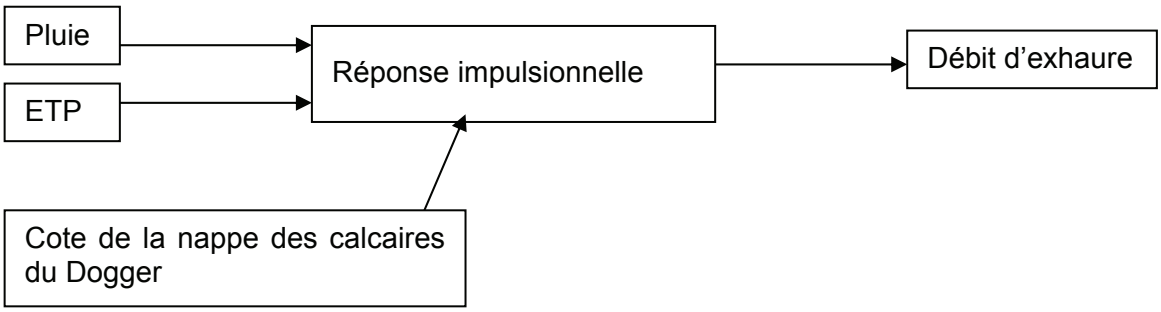
Le calcul intermédiaire de la pluie efficace nécessite alors l'introduction d'une nouvelle variable en entrée du système, permettant de prendre en compte la variation saisonnière du climat. Cette nouvelle variable peut être l'évapotranspiration potentielle (ETP) ou la température (seules les variations relatives nous intéressent). Mais la prise en compte d'un indice des variations climatiques se fait au prix d'une complexification de la procédure d'identification de la réponse, qui doit désormais se faire de manière itérative.

Finalement, les variables d'entrée du système sont la pluie et l'évapotranspiration potentielle. La solution du modèle global inverse (obtenue par itérations) est la réponse impulsionnelle permettant d'ajuster au mieux le débit observé en sortie du système :



b) Prise en compte de l'influence de la nappe des calcaires du Dogger

Le débit d'exhaure de certaines mines n'est correctement expliqué que si l'on ajoute une variable d'entrée supplémentaire, la cote du niveau piézométrique de la nappe des calcaires du Dogger :



Ceci peut s'expliquer par l'existence d'une forte composante latérale descendante, en provenance de la nappe du Dogger non rabattue, qui peut dans certains cas participer à l'alimentation du débit d'exhaure d'une mine. Dans cette configuration, les eaux d'exhaure trouvent leur origine à la fois dans les précipitations qui traversent les couches jusqu'au réservoir minier via les zones foudroyées, mais également dans les eaux de la nappe des calcaires du Dogger depuis les secteurs non influencés par l'exhaure.

c) Présentation des résultats obtenus

Le Tableau 1 présente l'ensemble des résultats d'ajustement des modèles pluie – débit d'exhaure : les entrées (pluie et niveau piézométrique à Vernéville le cas échéant), les sorties (débit d'exhaure), la période sur laquelle ils ont été calés, et deux indicateurs de la qualité de l'ajustement des modèles aux séries observées.

L'ajustement de ces modèles est relativement satisfaisant, surtout si l'on considère que les débits d'exhaures n'existent que sous la forme de moyenne mensuelles, alors que toutes les autres données (pluie, ETP) sont disponibles à un pas de temps journalier ou hebdomadaire (cote à Vernéville).

La Figure 12 et la Figure 13 montrent un exemple de résultats obtenus, pour l'exhaure des mines de Tucquegnieux et de Droitaumont, cette dernière étant probablement influencée par la variation du niveau piézométrique de la nappe du Dogger.

d) Extrapolation des résultats à la période actuelle

Le problème de l'extrapolation à la période d'ennoyage de ces modèles ajustés sur la période d'exhaure pourra être résolu de manière indirecte, grâce aux données disponibles pour le bassin Sud : si l'on peut montrer l'équivalence (aux incertitudes de modélisation près) entre un modèle de débit de débordement du réservoir Sud (théoriquement valable uniquement après l'ennoyage) et un modèle de débit d'exhaure pour le bassin (théoriquement valable uniquement avant l'ennoyage), on pourra admettre que les modèles de débit d'exhaure de mines sont applicables à la période actuelle, et permettent de disposer d'une méthode de calcul de la recharge du réservoir noyé, à partir de la pluie et de l'ETP.

Les résultats d'une étude de modélisation des niveaux et des débits du bassin Sud (Vaute et Pinault., 1999) vont dans ce sens, mais devront être confirmés par une modélisation effectuée avec une plus longue chronique du débit de débordement, lors de la phase de construction du simulateur.

	Débits d'exhaure modélisés	Formules de Pluie	Signal d'entrée Supplémentaire	Période de Calage	Aires d' alimentation (km^2)	Ecart-type (m3/s)	Variance expliquée (%)	Nash (%)
Bassin Nord	Angevillers	0.67 (P-T) + 0.33 (P-V)	–	[19/09/81 - 11/10/94]	27	0.14	85.8	73.4
	Errouville- Serrouville	0.25 (P-B) + 0.15 (P-C) + 0.3 (P-T) + 0.3 (P-V)	Cote Verneville	[09/10/80 - 26/09/86]	15	0.04	83.7	73.2
	Ferdinand	0.49 (P-T) + 0.51 (P-V)	–	[09/10/80 - 26/09/86]	6	0.05	82.4	69.1
	Hettange-Grande	0.67 (P-T) + 0.33 (P-V)	–	[05/11/80 - 31/07/86]	16	0.08	88.9	76.0
	Kraemer	0.67 (P-B) + 0.33 (P-T)	Cote Verneville	[18/02/80 - 01/05/81]	1	0.00	75.5	60.3
	Montrouge	0.79 (P-T) + 0.21 (P-V)	–	[09/09/80 - 21/06/85]	9	0.04	88.7	78.1
	Ottange 1 et 3	0.92 (P-T) + 0.08 (P-V)	–	[11/07/80 - 11/07/84]	8	0.08	81.0	67.1
	Ottange 2	Anti-corrélation avec les Pluies						
	Paix - Bassompierre	0.80 (P-T) + 0.20 (P-V)	–	[09/10/80 - 02/11/95]	33	0.20	88.2	77.9
Bassin Centre	Tucquegnieux	0.52 (P-T) + 0.48 (P-V)	–	[17/09/82 - 18/10/92]	17	0.07	91.3	83.6
	St Pierremont	0.67 (P-T) + 0.33 (P-V)	–	[10/09/81 - 10/09/93]	20	0.10	90.7	82.4
	Anderny	0.80 (P-T) + 0.20 (P-V)	–	[09/10/88 - 29/08/93]	18	0.04	9.01	81.4
	Amermont	0.52 (P-T) + 0.48 (P-V)	–	[18/11/89 - 14/08/93]	38	0.04	83.2	64.9
	Bouligny	Anti-corrélation avec les Pluies						
Bassin Sud	Auboué	0.53 (P-T) + 0.47 (P-V)	Cote Verneville	[27/09/80 - 15/09/92]	71	0.20	88.1	75.3
	Droitaumont	0.67 (P-B) + 0.33 (P-T)	Cote Verneville	[12/05/88 - 14/10/94]	33	0.05	94.1	88.0
	Giraumont	0.48 (P-B) + 0.52 (P-T)	–	[26/08/81 - 21/07/93]	11	0.04	81.5	64.5
	Moyeuvre	0.25 (P-T) + 0.50 (P-V) + 0.25 (P-B)	–	[12/10/80 - 16/12/90]	21	0.11	82.9	70.1
	Roncourt	0.02 (P-B) + 0.16 (P-A) + 0.65 (P-T) + 0.17 (P-V)	–	[12/10/80 - 25/09/89]	38	0.20	90.0	80.0
Godbrange	Brehain	0.28 (P-C) + 0.30 (P-T) + 0.42 (P-V)	Cote Verneville	[02/07/80 - 25/09/89]	4	0.02	83.8	73.1
	Hussigny	0.13 (P-B) + 0.50 (P-C) + 0.37 (P-V)	–	[19/01/80 - 02/06/84]	9	0.07	83.1	68.7

Six stations de pluies ont été utilisées : P-T Pluies à Tressange P-B Pluies à Bouligny P-C Pluies à Conflans
P-V Pluies à Vigneulles P-A Pluies à Amnéville P-M Pluies à Metz

Tableau 1 – Résultats de l'ajustement des modèles pluie-débit d'exhaure.

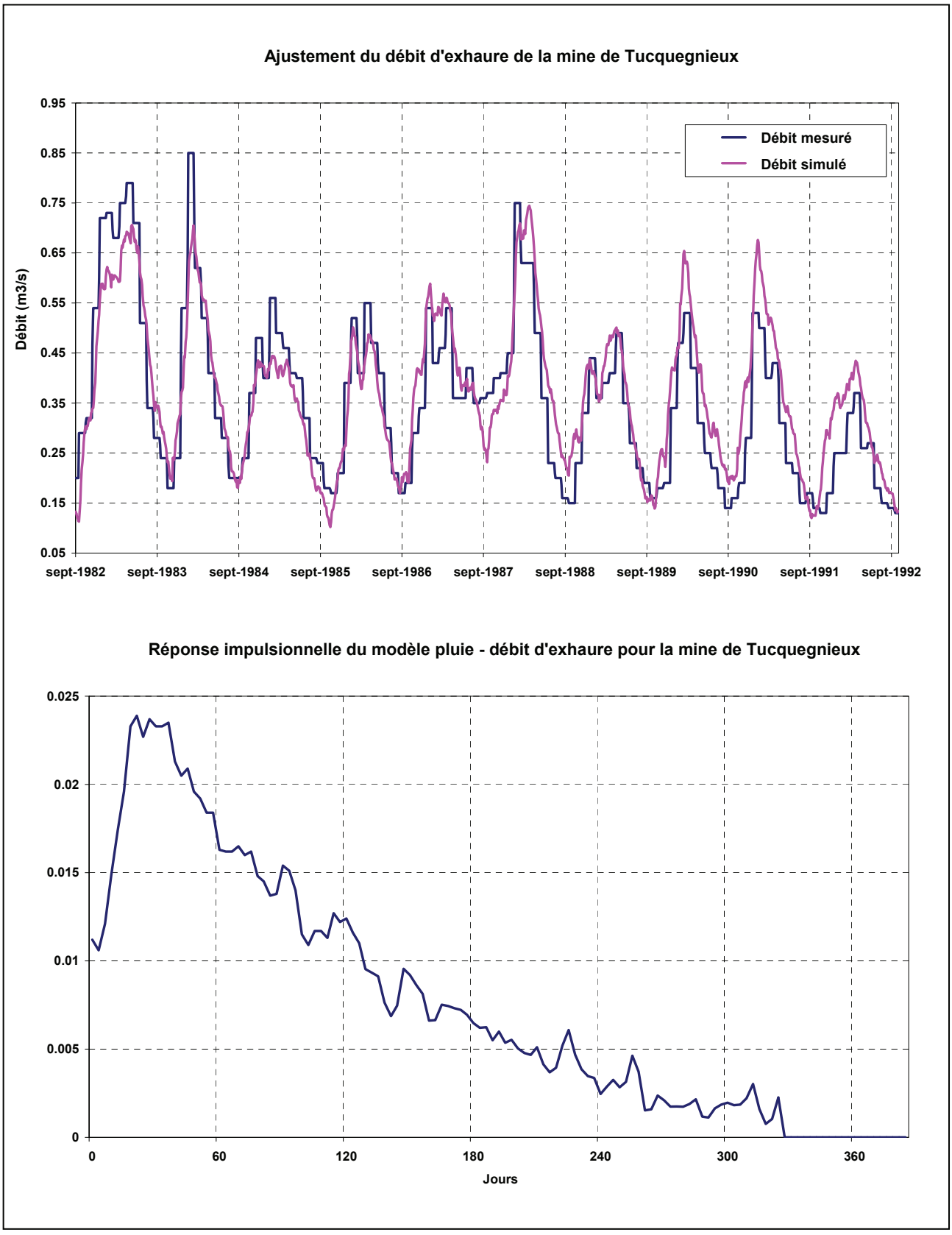


Figure 12 – Résultats du modèle pluie-débit d'exhaure pour la mine de Tucquegnieux.

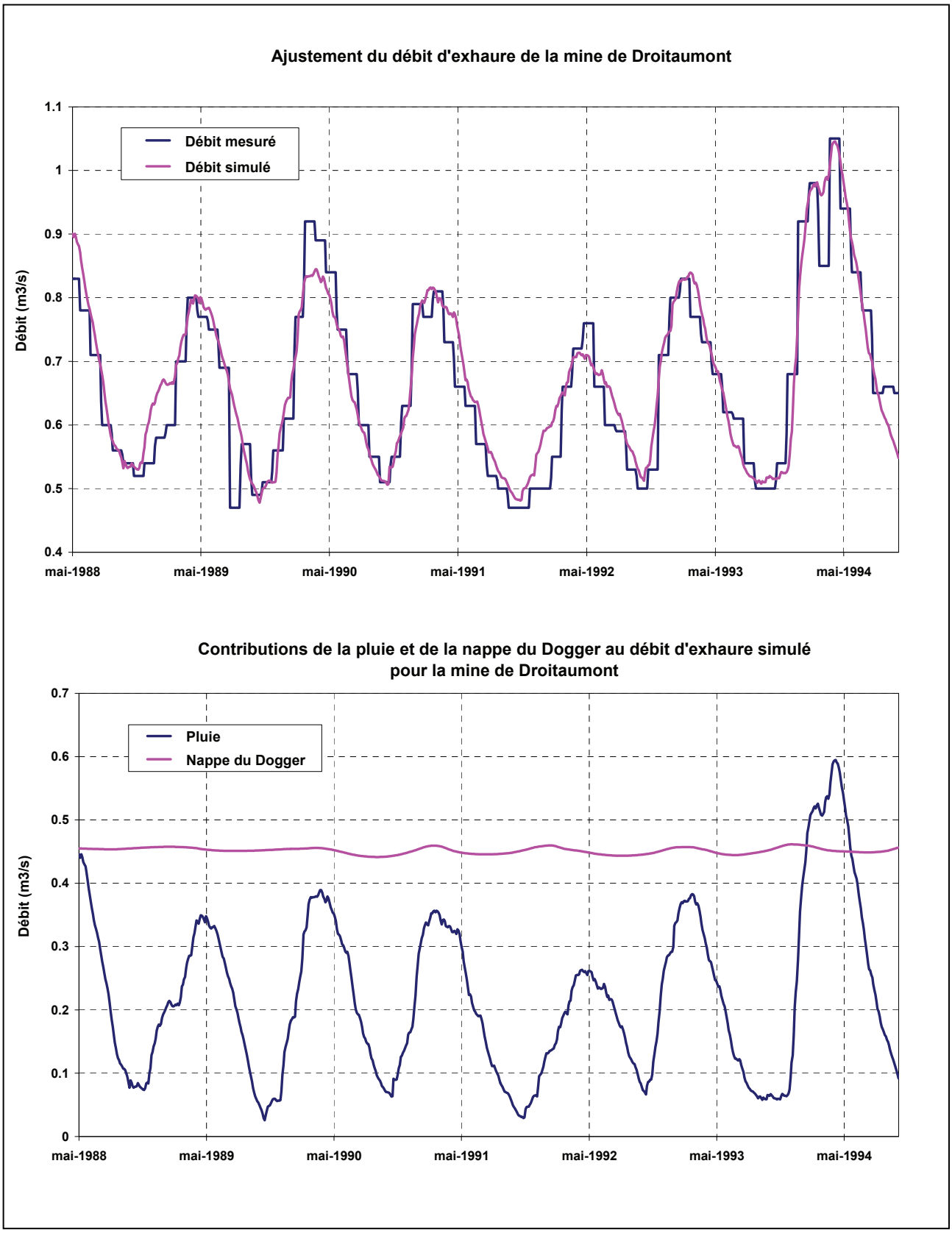


Figure 13 – Résultats du modèle pluie-débit d'exhaure pour la mine de Droitaumont.

3.2.3. Interprétation de diagraphies conductivité-température

a) Le problème de la représentativité des échantillons

L'eau prélevée dans les anciens puits miniers présente souvent des caractéristiques chimiques très différentes selon que, par exemple, le prélèvement est effectué après une longue période de pompage, ou bien au contraire après une longue période sans pompage.

Ce problème de représentativité est général à tous les puits miniers, mais peut être atténué par une procédure d'échantillonnage mieux adaptée : avant l'échantillonnage d'un puits qui n'est pas en service, il faut effectuer un pompage de longue durée – au moins 24 à 48 h – jusqu'à stabilisation des paramètres physico-chimiques, afin de retrouver une eau d'ennoyage aux caractéristiques « habituelles ».

Afin d'améliorer la compréhension des mécanismes mis en jeu, des diagraphies ont été réalisées en avril 2003 dans 6 puits (4 dans le bassin Sud et 2 dans le bassin Centre) et dans 4 piézomètres (2 dans le bassin Sud et 2 dans le bassin Centre). Les profils de conductivité et de température obtenus sont présentés de la Figure 9 à la Figure 23. Dans les puits pompés, la diagraphie a été réalisée au maximum 3 heures après l'arrêt du pompage.

Les objectifs principaux de ces mesures étaient : 1) l'étude de la dynamique des puits, 2) l'étude de la représentativité de l'eau pompée et 3) la mise en évidence des niveaux de circulation au sein des puits et des piézomètres.

b) Diagraphies dans les anciens puits miniers

Une stratification importante : qu'ils soient pompés ou non, les puits présentent des profils de conductivité et de température rectilignes sur lesquels deux paliers plus ou moins marqués sont visibles. Ils individualisent trois masses d'eau superposées (Figure 14 à Figure 19) :

- La masse d'eau supérieure présente généralement une conductivité inférieure ou égale à 1 mS/cm (sauf pour le puits Amermont III où elle est environ égale à 1,19 mS/cm), représentative d'une eau plus « douce ». Dans tous les puits étudiés, il y a donc toujours une arrivée d'eau en provenance de la nappe des calcaires du Dogger. Cependant, il semble probable, notamment à la vue des conductivité de la tranche supérieure dans le puits Droitaumont II (1,046 mS/cm en moyenne sur la colonne d'eau supérieure) et dans le puits Amermont III (1,188 ms/cm en moyenne sur la colonne d'eau supérieure), que la tranche d'eau supérieure soit composée principalement d'eau du Dogger, contaminée toutefois par de l'eau minéralisée en provenance des galeries.
- La masse inférieure présente les conductivités les plus élevées (de 3 à 6,3 mS/cm). Il s'agit d'une eau fortement minéralisée que l'on trouve à des cotes

inférieures à celles des galeries. Cette masse d'eau serait directement issues des galeries minières.

– La masse d'eau intermédiaire présente des conductivités variant de 1 à 3 mS/cm, c'est-à-dire des valeurs comprises entre celles des masses d'eau supérieures et inférieures. On peut penser que cette masse d'eau est issue d'un mélange d'eau douce du Dogger qui pénétrerait le long du puits par des fuites et l'eau minéralisée des galeries.

Le rôle des pompages : la position des pompes dans les puits pompés semble avoir une influence déterminante sur la répartition verticale des différentes masses d'eau :

– Dans le puits Paradis V, la pompe se situe en dessous du niveau des galeries. L'eau pompée présente une conductivité de 2,689 mS/cm, ce qui correspond aux valeurs maximales de conductivité enregistrées dans ce puits. L'eau issue du pompage est, dans ce cas, représentative de l'eau des galeries.

– Dans le puits Droitaumont II, les trois pompes sont situées plus de 100 m au-dessus de la cote de la galerie. La conductivité de l'eau pompée est de 2,204 mS/cm ce qui correspond aux valeurs de la conductivité de la masse d'eau intermédiaire. L'eau de pompage est donc issue d'un mélange d'eau douce du Dogger et d'eau minéralisée des galeries.

– Le puits Anderny II présente la même configuration pompe – galeries que le puits Droitaumont II. Là aussi, l'eau pompée, dont la conductivité est de 2,48 mS/cm, est issue de la masse d'eau intermédiaire.

– Dans le puits Amermont III, la pompe se situe plus de 100 m au dessus de la cote de la galerie. L'eau pompée présente une conductivité de 5,17 mS/cm. Cette valeur de conductivité est comprise entre la conductivité de la masse d'eau supérieure (1,188 mS/cm) et la conductivité de la masse d'eau inférieure (6,23 mS/cm). L'eau pompée semble donc être issue d'un mélange entre ces deux masses d'eau. Cependant, aucune masse d'eau intermédiaire ne se détache sur le profil de conductivité du puits Amermont, ce qui le différencie des profils de conductivité des autres puits qui présente trois masses d'eau superposée. Par ailleurs, la conductivité enregistrée dans le puits Amermont III est supérieure – d'au moins 2 mS/cm – à toutes les conductivités enregistrées dans les autres puits.

Contrairement à toute attente, les profils conductivité – température réalisés dans les deux puits non pompés ont une allure semblable aux profils des puits pompés. Ils comprennent également trois masses d'eau différentes superposées dont une est issue du mélange des deux autres. Or, dans ces puits, il n'y a pas de pompage. On peut alors se demander si cette configuration est liée à un pompage passé, la répartition ancienne des eaux étant stabilisée par un effet de stratification lié à la densité des eaux plus ou moins minéralisées, ou à une stratification naturelle des eaux.

Les mesures réalisées dans le puits Roncourt I par le SIEGVO en juin 2001 permettent de mieux comprendre le comportement d'un puits non exploité en réaction à un

pompage. Lors d'une expérience de pompage par paliers sur 7 jours, une baisse de la concentration en sulfate de 220 mg/l a été observée, et l'épaisseur de la tranche d'eau douce présente dans la partie supérieure du puits (eau du Dogger provenant probablement de fuites du cuvelage) a été diminuée de 10 m (l'eau douce étant remplacée dans la partie inférieure du puits par de l'eau minéralisée provenant du réservoir, par l'intermédiaire de l'ancienne galerie d'exploitation). Ainsi, les différents pompages ont provoqué un déplacement du front de minéralisation avec une remontée du front au dessus des pompes. Ces résultats permettraient de mettre en relation la configuration actuelle des puits de Roncourt et d'Auboué aux pompages passés.

Estimation du débit d'eau douce s'écoulant dans un puits en pompage : pour chacun des puits pompés régulièrement, les diagraphies permettent de connaître les valeurs de conductivité des eaux du Dogger (C_d) et la conductivité des eaux du réservoir (C_r). Par ailleurs, les valeurs de conductivité des eaux pompées (C_p) sont mesurées et les débits des pompes (Q_p) sont connus.

En régime permanent (les pompages ont lieu de manière presque permanente et les diagraphies ont été réalisées après une période de deux mois sans pluie efficace), on sait que le débit du Dogger (Q_d) ajouté au débit de l'eau issu du réservoir (Q_r) est égal au débit pompé (Q_p) :
$Q_d + Q_r = Q_p$

On peut d'autre part écrire l'égalité des « flux de conductivité » :

$Q_dC_d + Q_rC_r = Q_pC_p$

D'où : $Q_d = Q_p.(C_p – C_r)/(C_d – C_r)$

Si de plus on assimile la tranche d'eau supérieure au pôle « eau du Dogger » du mélange pompé, tandis que l'on considère la tranche inférieure comme le pôle « eau du réservoir », on peut calculer pour chaque puits le débit de l'eau issu de la nappe des calcaires du Dogger. Après calcul :

– Pour le puits Paradis V, le débit pompé est de 500 m^3/h, la conductivité des eaux du réservoir est de 2,82 mS/cm en moyenne, la conductivité des eaux du Dogger est de 0,57 mS/cm en moyenne et la conductivité des eaux pompées est de 2,69 mS/cm (le 11/02/2003).

  Le débit du Dogger dans le puits **Paradis V** en pompage serait donc de 28,2 m^3/h, soit **environ 6 % du débit pompé**, soit encore 0,14 m^3/h par tranche de puits de 1 m.

– Pour le puits Droitaumont II, le débit pompé est de 375 m^3/h (3 pompes à 125 m^3/h), la conductivité des eaux du réservoir est de 3,52 mS/cm en moyenne, la conductivité des eaux du Dogger est de 1,05 mS/cm en moyenne et la conductivité des eaux pompées est de 2,20 mS/cm (le 11/04/2002).

Le débit du Dogger dans le puits **Droitaumont II** en pompage serait donc de 199,5 m^3/h soit **environ 53 % du débit pompé**, soit encore 0,93 m^3/h par tranche de puits de 1 m.

– Pour le puits Anderny II, le débit pompé est de 360 m^3/h, la conductivité des eaux du réservoir est de 2,90 mS/cm en moyenne, la conductivité des eaux du Dogger est de 0,84 mS/cm en moyenne et la conductivité des eaux pompée est de 2,48 mS/cm (le 27/03/2003).

  Le débit du Dogger dans le puits **Anderny II** en pompage serait donc de 73 m^3/h, soit **environ 20 % du débit pompé**, soit encore 0,45 m3/h par tranche de puits de 1 m.

– Pour le puits Amermont III, le débit pompé est de 360 m^3/h au maximum (minimum = 200 m^3/h), la conductivité des eaux du réservoir est de 6,23 mS/cm en moyenne, la conductivité des eaux du Dogger est de 1,188 mS/cm en moyenne et la conductivité des eaux pompées est de 5,17 mS/cm (le 27/03/2003).

  Le débit du Dogger dans le puits **Amermont III** en pompage serait donc de 75,7 m^3/h soit **environ 21 % du débit pompé**, soit encore 0,76 m^3/h par tranche de puits de 1 m.

Il semble donc se dégager des calculs (même si on les considère comme très approximatifs) l'idée que dans le but d'obtenir une eau de meilleure qualité, il est pénalisant de maintenir les pompes au-dessous de la cote du débouché des galeries dans un puits, puisque la dilution par les eaux peu minéralisées du Dogger semble nulle dans cette zone.

c) Diagraphies dans les piézomètres

Des diagraphies conductivité-température ont été réalisées dans 4 piézomètres (Figure 20 à Figure 23). Le piézomètre Paradis aval-M1 capte le toit de la formation ferrifère à l'aplomb d'une zone foudroyée dans le réservoir Sud, tandis que le piézomètre Paradis aval-M2 capte la nappe principale du Dogger à l'aplomb de la même zone foudroyée. Les piézomètres S^t-Pierremont-P1 et S^t-Pierremont-P2 sont situés à l'aplomb d'une zone foudroyée du réservoir Centre. Ils captent la nappe principale du Dogger à deux niveaux différents.

Profils de température : les profils de température de ces quatre piézomètres ont une allure semblable dans leur partie supérieure. Dans la partie tubée de ces ouvrages, la température augmente régulièrement depuis la surface de l'eau vers le fond. Cette augmentation régulière dans la partie non circulante du forage (qui peut donc s'équilibrer en température avec la roche environnante) est expliquée par le gradient géothermique (3°C tous les 100 m).

Le profil de température du piézomètre M1 montre une diminution de température à partir de la cote 86,6 m NGF et jusqu'au fond du piézomètre. La nette rupture de pente

de la courbe au niveau du toit de la formation ferrifère correspond à la présence d'un niveau de circulation de l'eau au sommet de la zone dépilée.

Profils de conductivité : le doublet de piézomètre Paradis aval-M1 / Paradis aval-M2 présente des valeurs de conductivité comprises entre 1,45 mS/cm et 1,80 mS/cm. La conductivité enregistrée dans le piézomètre M2 est toujours supérieure à celle du piézomètre M1.

La conductivité plus élevée observée dans le piézomètre M2, dont le niveau piézométrique se trouve pourtant à une cote plus élevée que le piézomètre M1, permets d'émettre l'hypothèse d'une contamination du piézomètre M2 par des infiltrations d'eau minéralisée provenant du réseau hydrographique. Ces profils de conductivité suggèrent l'existence d'une source permanente de sulfate en surface, qui pourrait être constituée par les rejets de nanofiltrats (4g/l de sulfate environ) de l'usine de traitement d'eau du puits Paradis V, dans le ruisseau de Labrevaux, un petit affluent de l'Orne.

Dans le piézomètre M1, on note une légère augmentation de la conductivité à la cote 76,65 m NGF, juste au-dessus du toit de la formation ferrifère, au niveau des marnes micacées. A cet endroit, les marnes sont probablement déstructurées par le foudroyage, comme en atteste le fait que les niveaux mesurés dans les piézomètres M2 et M1 sont très proches de celui du réservoir Sud, alors que les piézomètres aux alentours sont situés à des niveaux supérieurs (1 à plusieurs mètres). Après le foudroyage et avant l'ennoyage, la pyrite contenue dans ce niveau marneux a donc pu être oxydée à l'air humide, formant ainsi un sel sulfaté soluble, le gypse, pouvant être solubilisé lors de l'ennoyage. Au passage des marnes micacées, la minéralisation de l'eau augmenterait donc légèrement, ce qui expliquerait le petit pic de conductivité visible sur le zoom de la Figure 21.

Pour le doublet de piézomètres S^t-Pierremont-P1 / S^t-Pierremont-P2, c'est le piézomètre P2 qui présente les conductivité les plus élevées sur tout son profil (jusqu'à 0,963 mS/cm contre 0,675 mS/cm au maximum pour le piézomètre P1). A nouveau, la conductivité du forage le moins profond (P2) est toujours supérieure à celle du forage le plus profond (P1). Cette situation peut encore s'expliquer par une source de contamination de surface, qui pourrait être constituée par l'infiltration d'eau de soutien d'étiage du ruisseau de la Vallée en amont des piézomètres. Ces eaux sont pompées dans le réservoir Centre, par le puits Anderny II, et la présence de pertes dans le ruisseau étaient bien connues avant l'ennoyage des réservoirs.

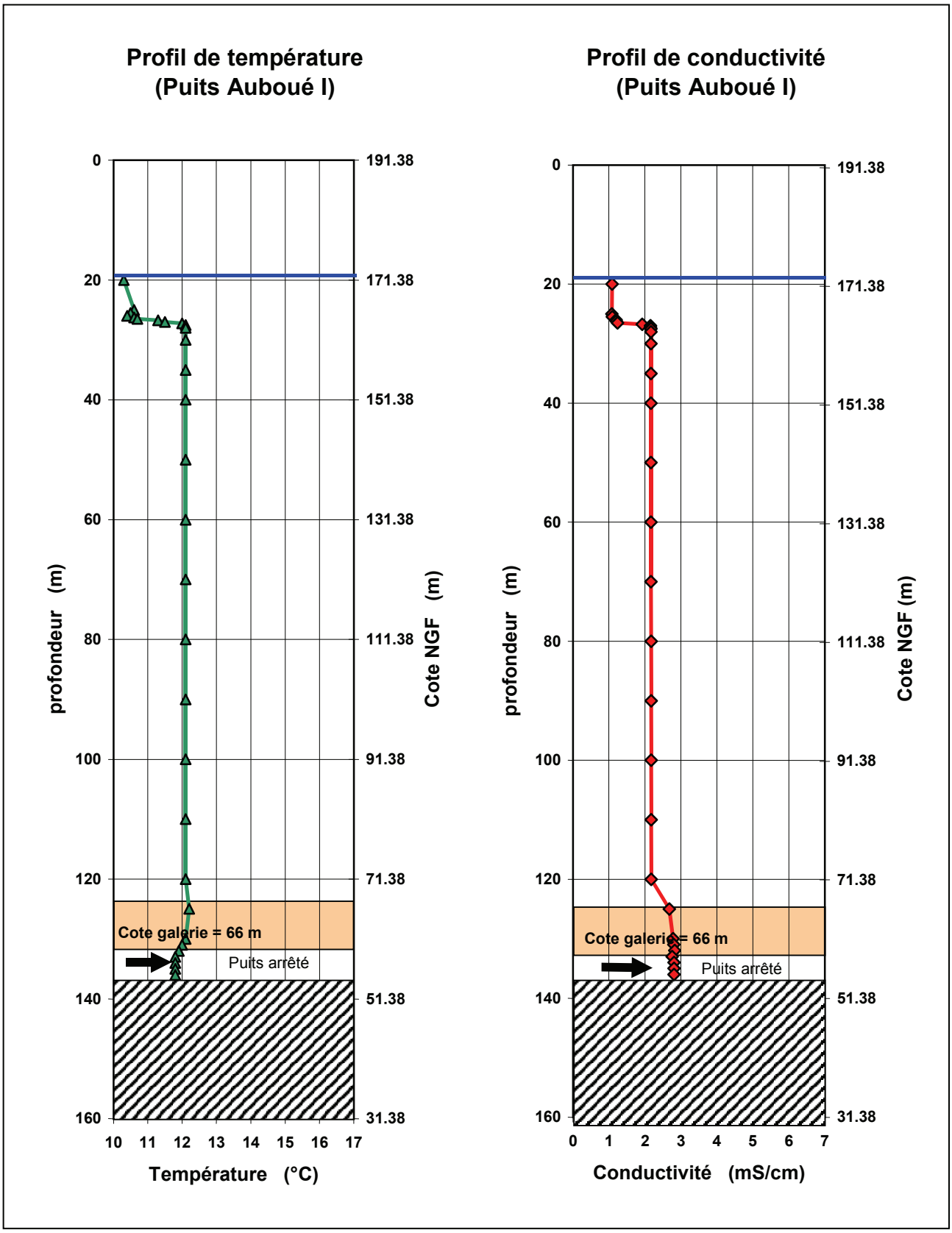


Figure 14 – Diagraphies conductivité-température du puits Auboué I.

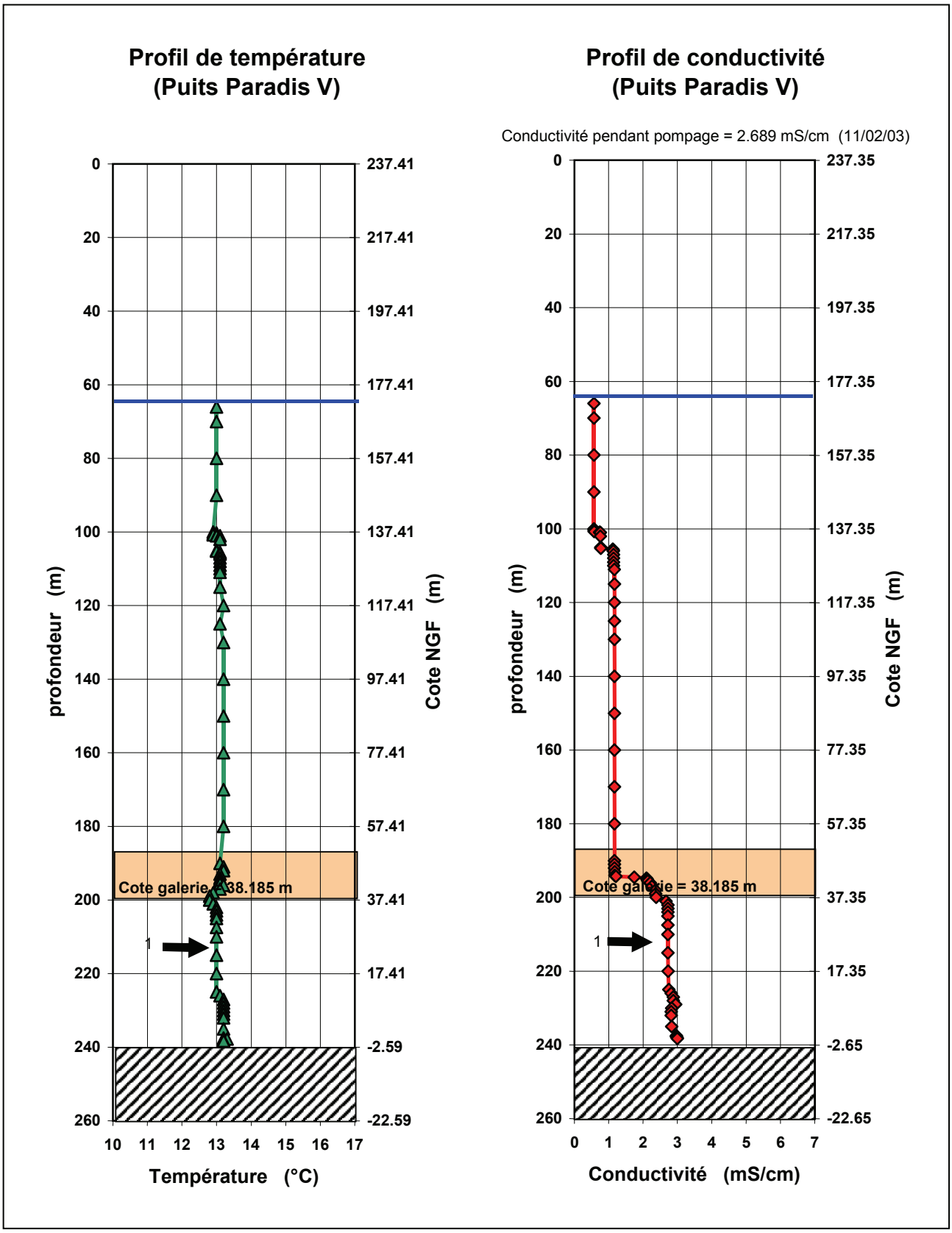


Figure 15 – Diagraphies conductivité-température du puits Paradis V.

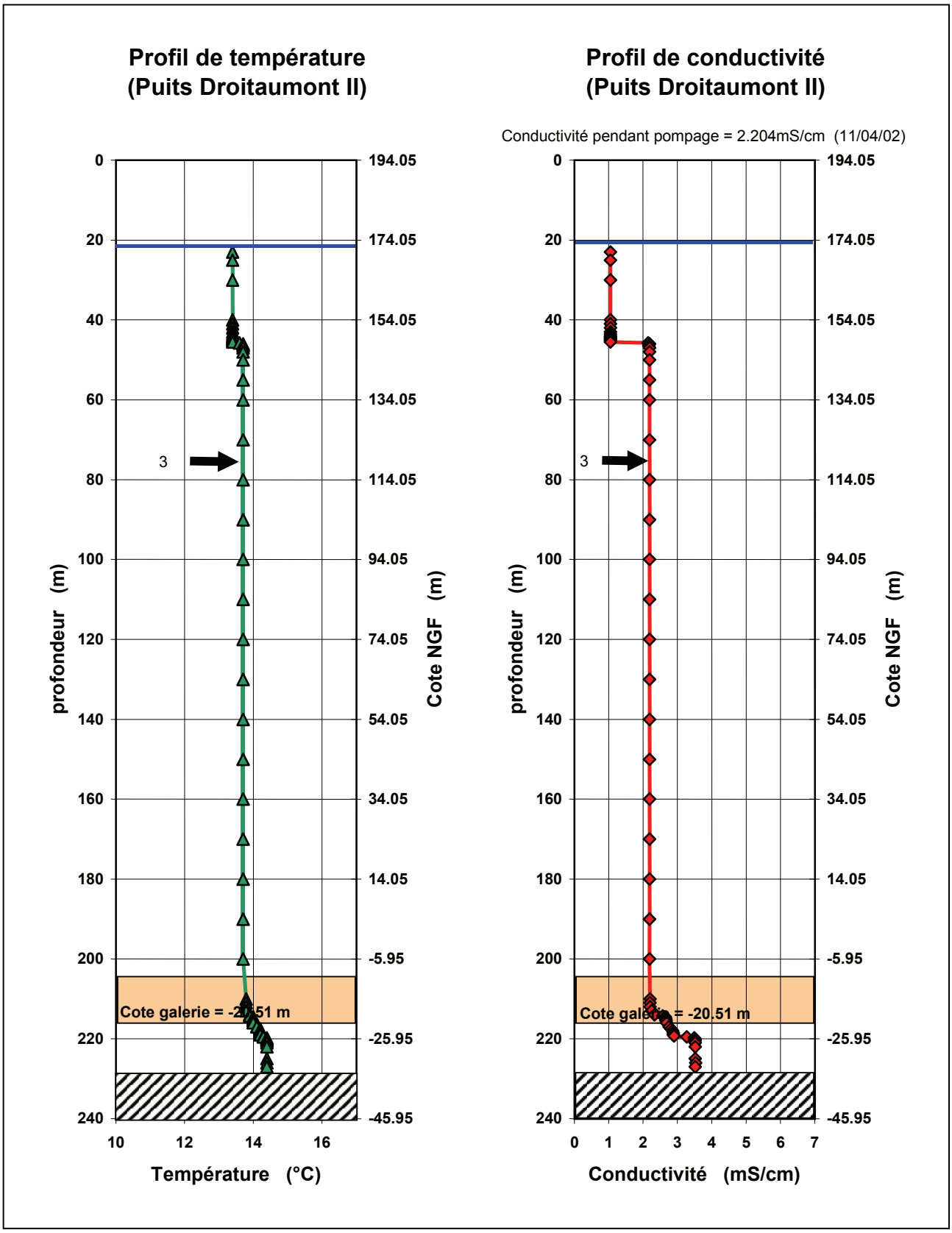


Figure 16 – Diagraphies conductivité-température du puits Droitaumont II..

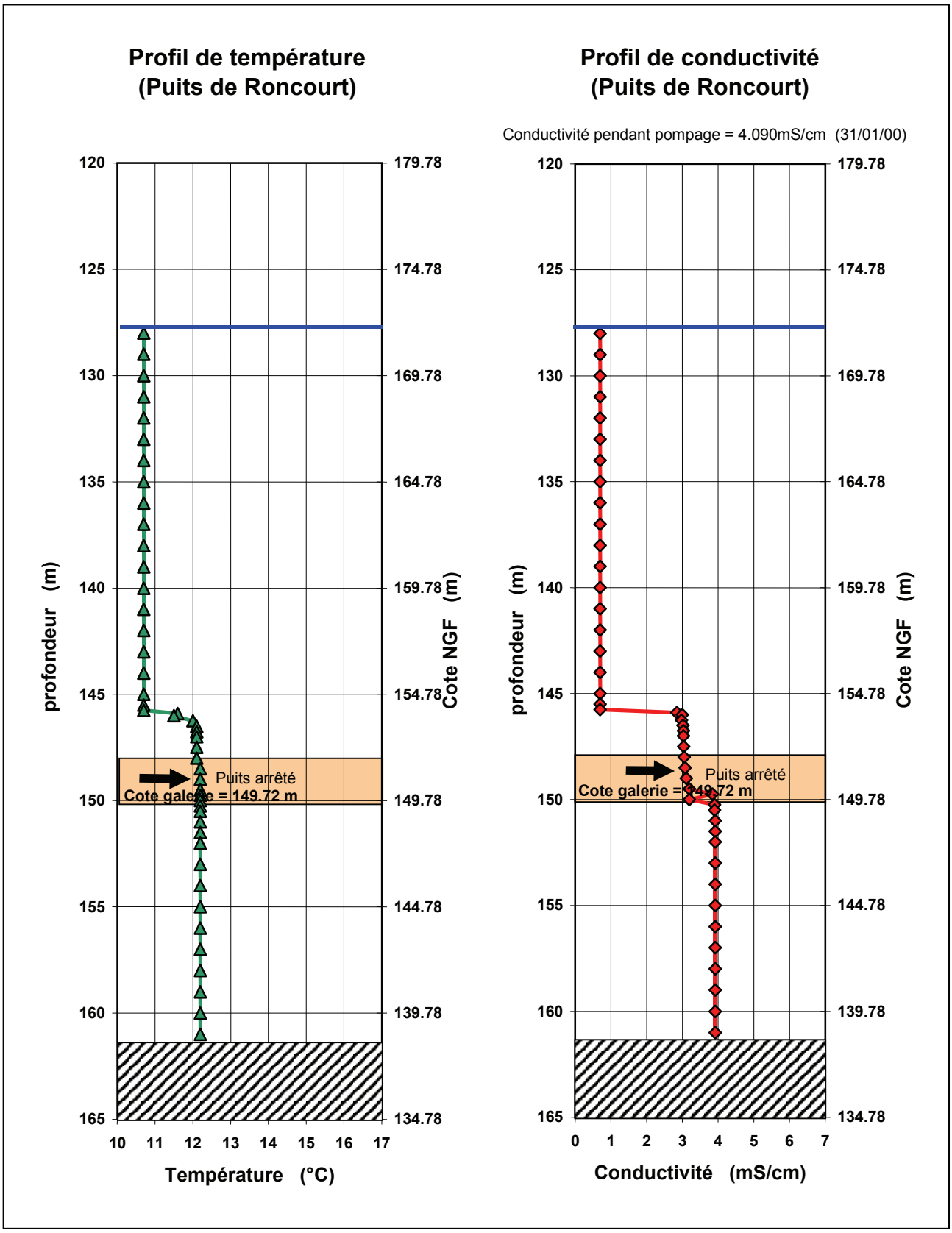


Figure 17 – Diagraphies conductivité-température du puits de Roncourt.

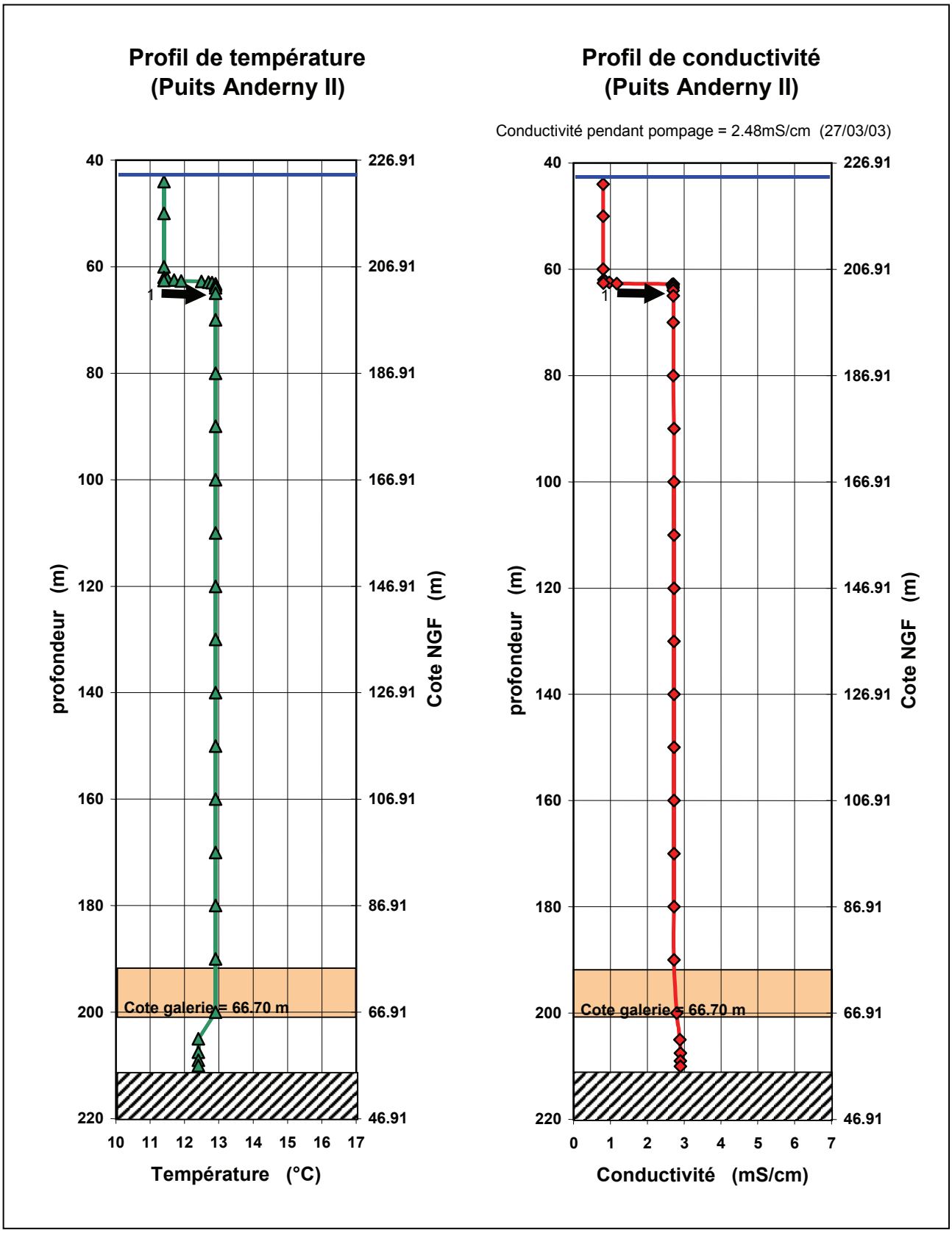


Figure 18 – Diagraphies conductivité-température du puits Anderny II.

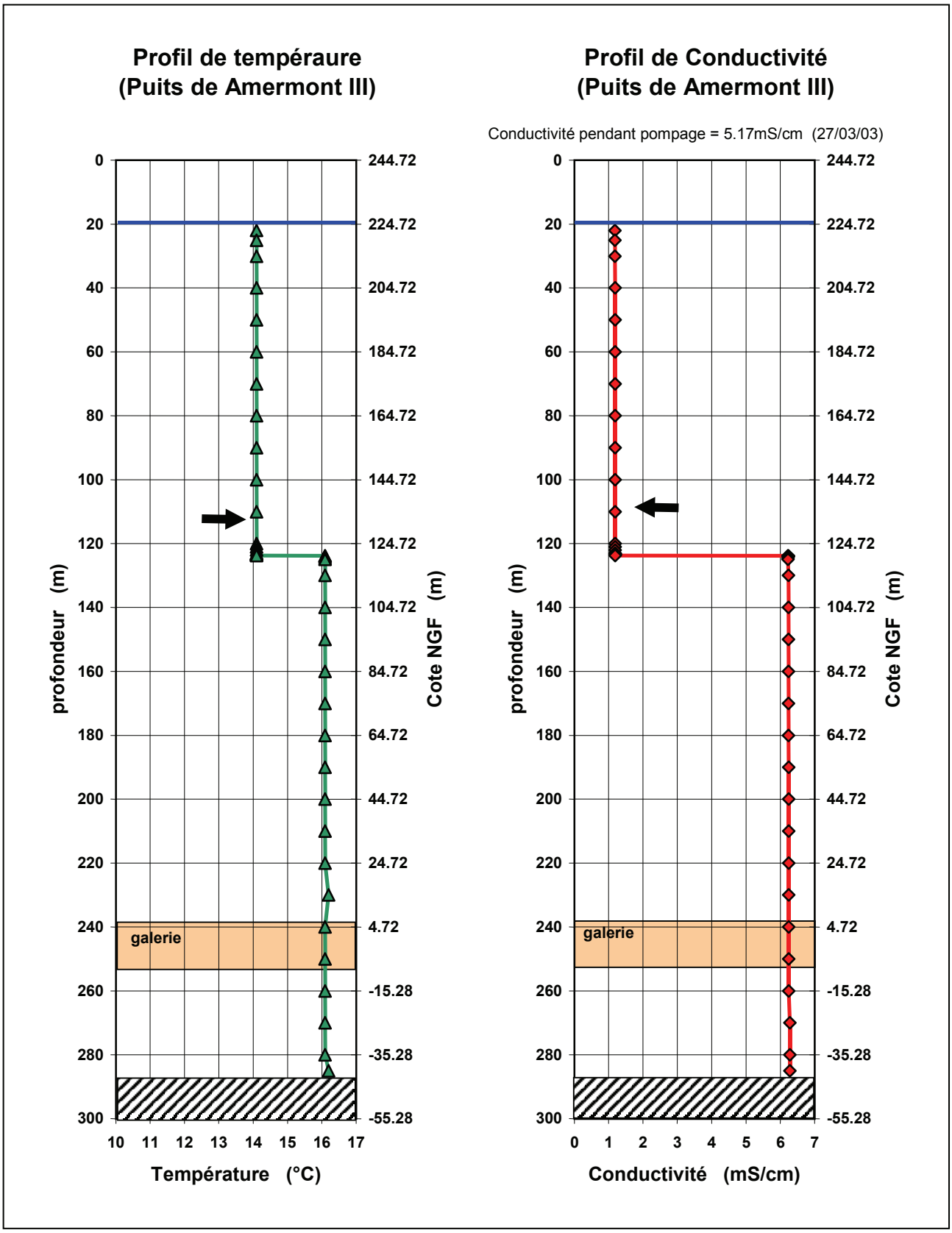


Figure 19 – Diagraphies conductivité-température du puits Amermont III.

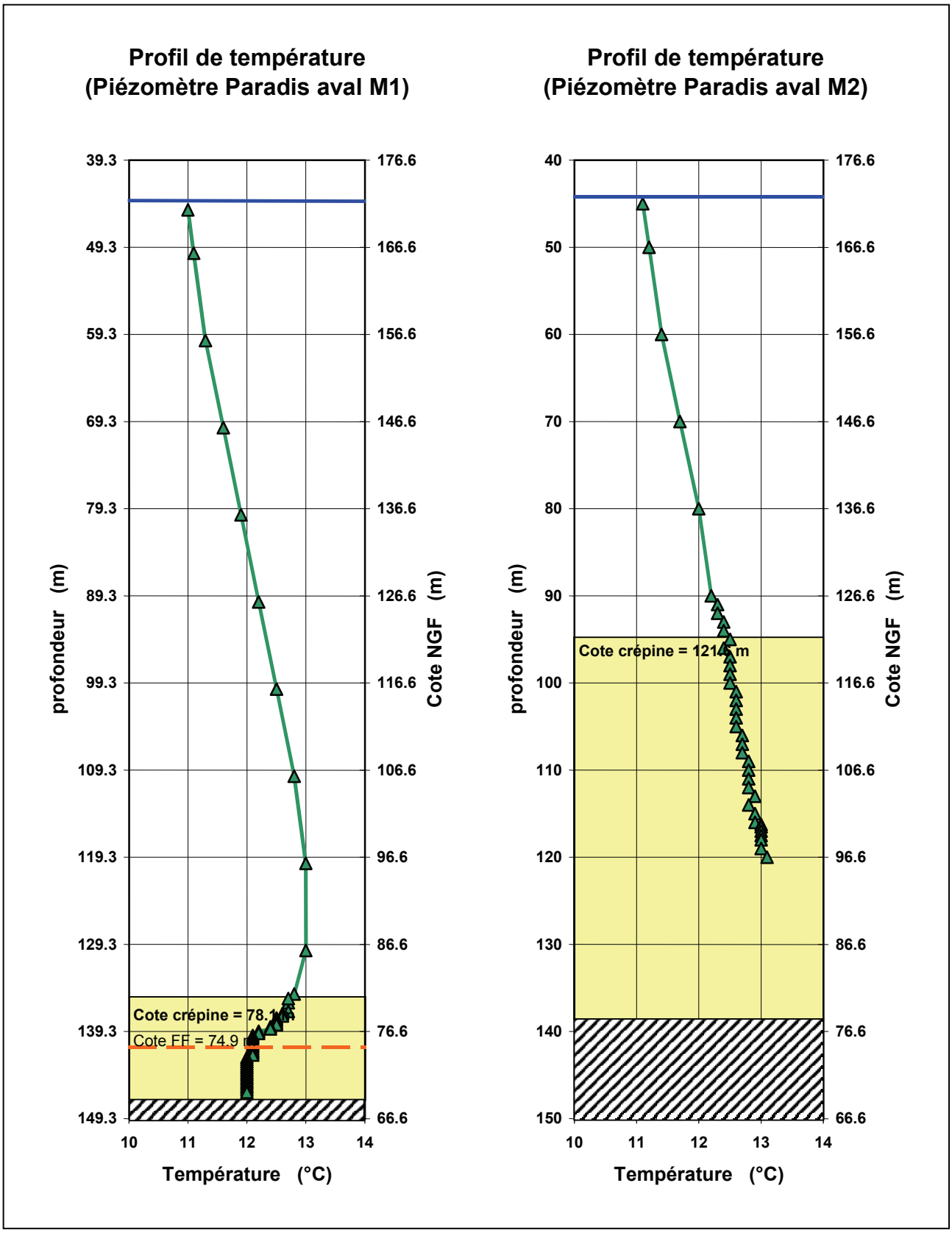


Figure 20 – Diagraphies température du doublet de piézomètres Paradis aval M1et M2.

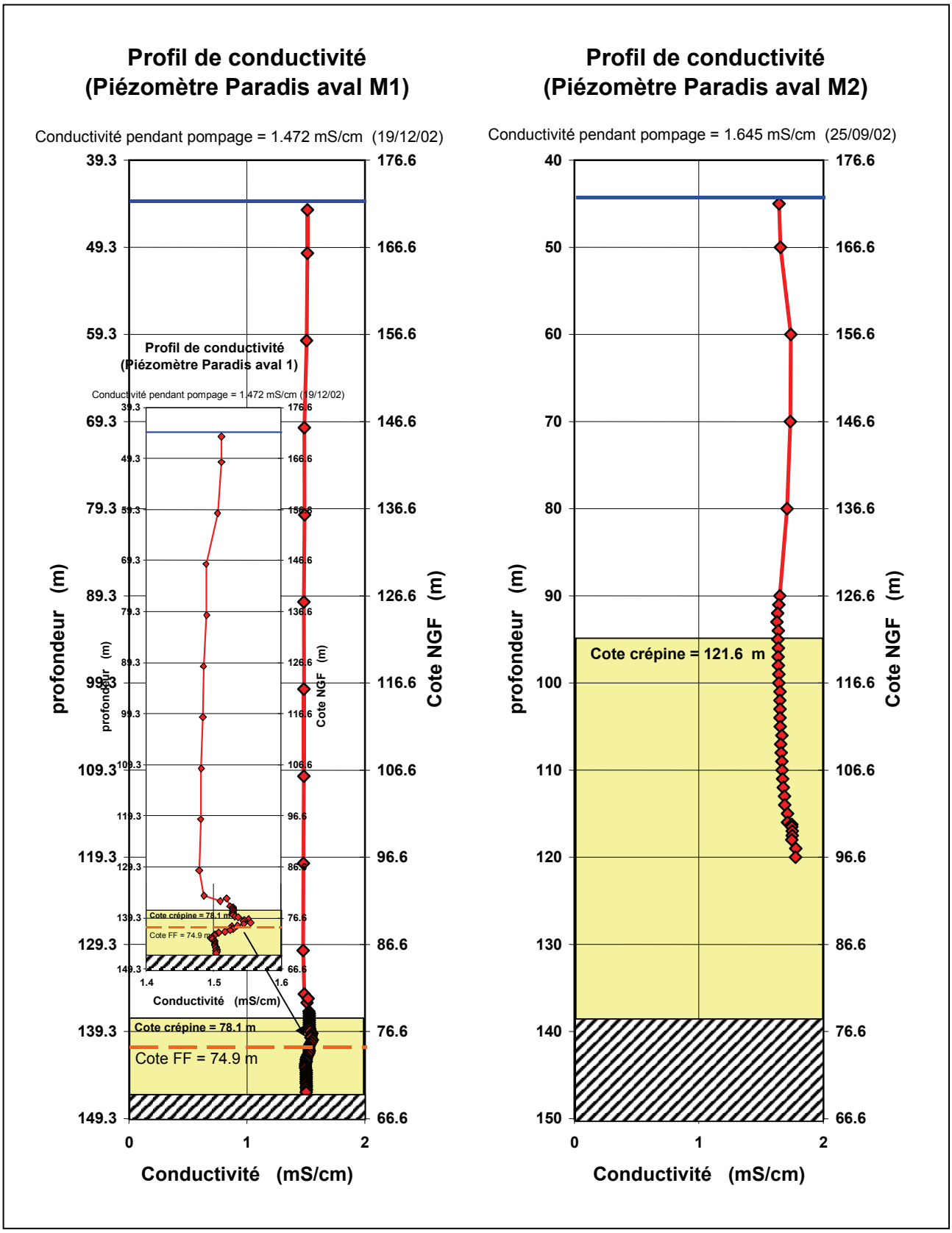


Figure 21 – Diagraphies conductivité du doublet de piézomètres Paradis aval M1 et M2.

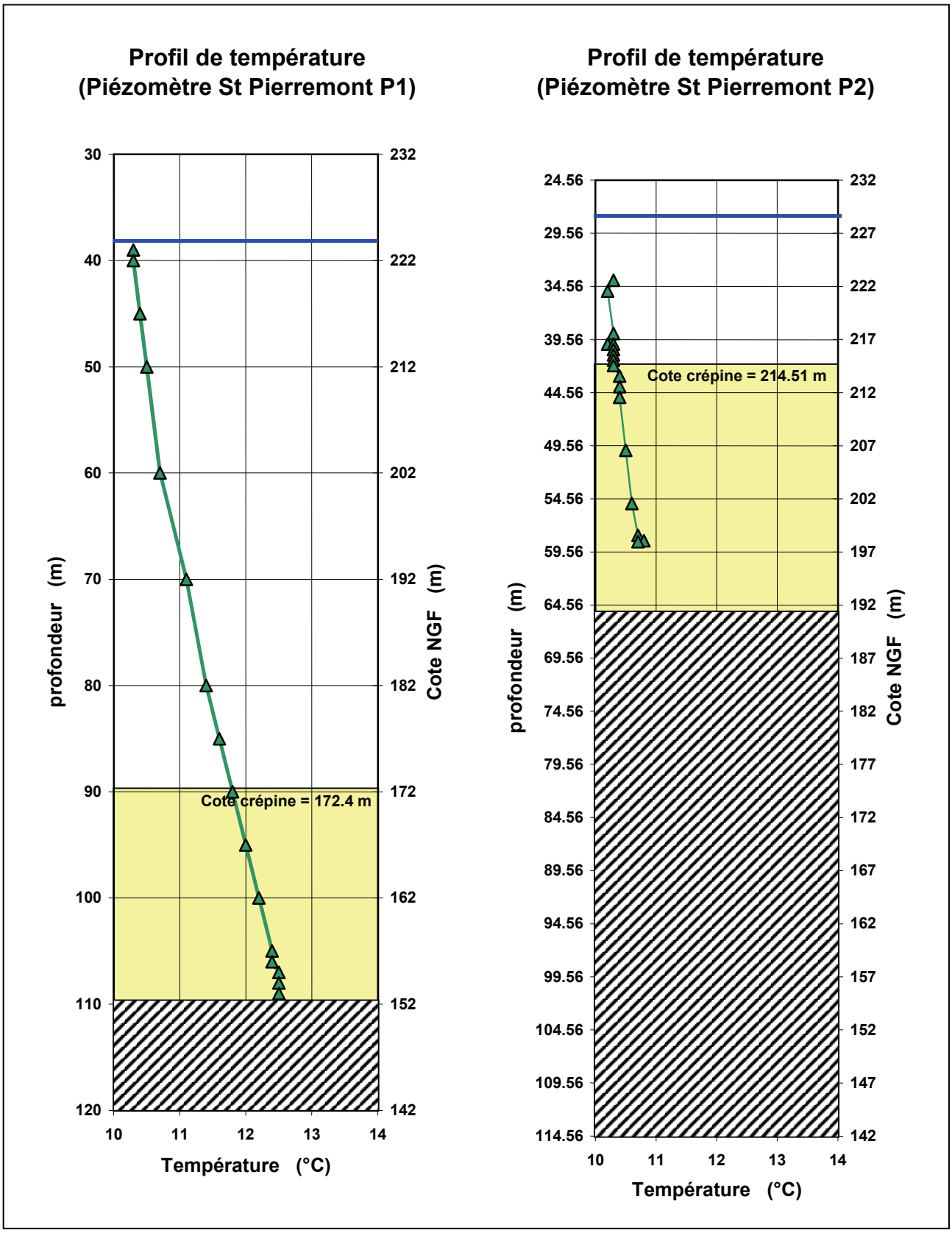


Figure 22 – Diagraphies température du doublet de piézomètres St Pierremont P1 et P2.

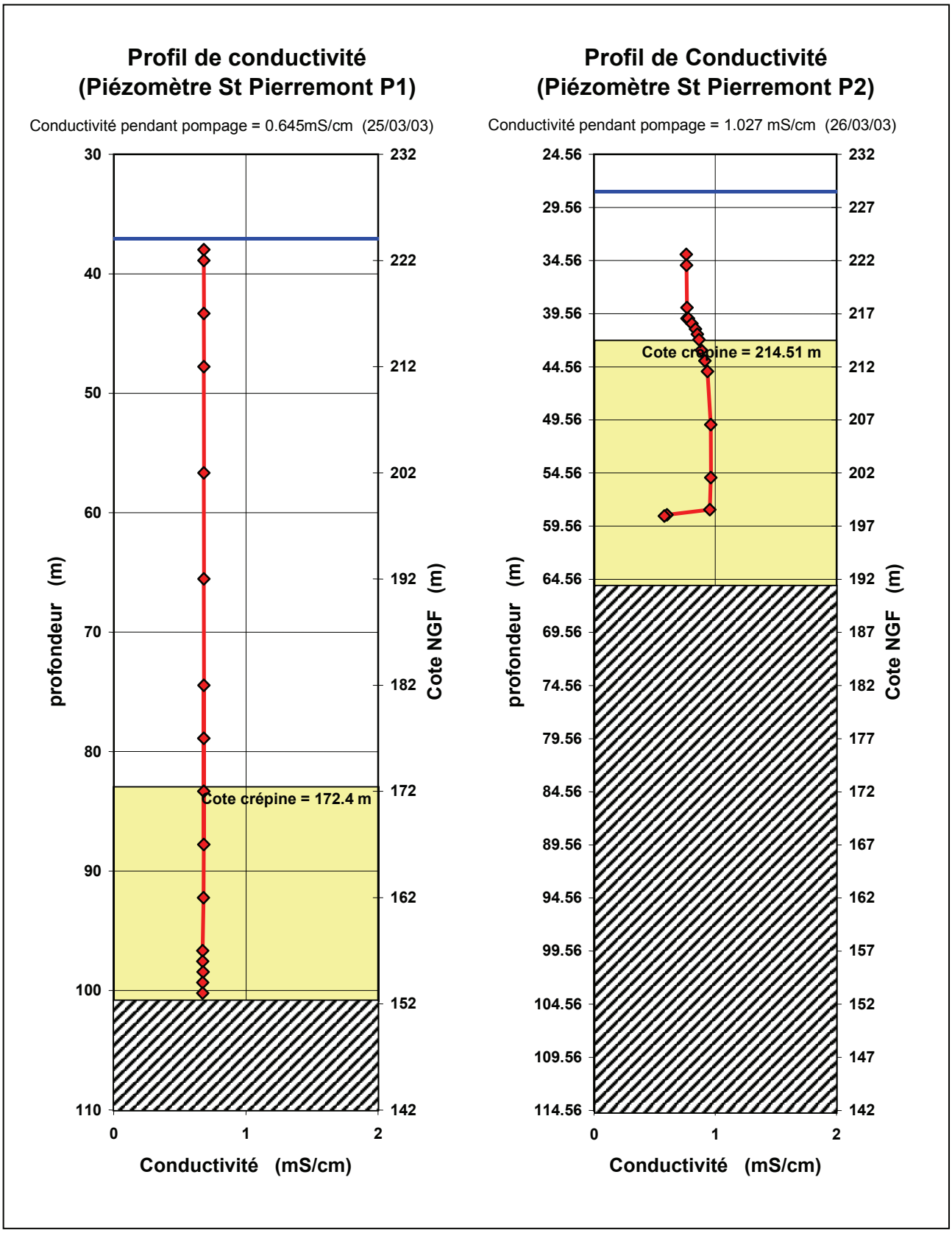


Figure 23 – Diagraphies conductivité du doublet de piézomètres St Pierremont P1 et P2.

3.3. LES PRINCIPALES EVOLUTIONS OBSERVEES

Une présentation détaillée des évolutions constatées dans les deux bassins Sud et Centre est faite dans les rapports annuels de « Surveillance des eaux souterraines du bassin ferrifère lorrain » (Vaute et Frappier., 2004), disponible en téléchargement sur le site internet du BRGM, ainsi que de manière actualisée dans les chroniques trimestrielles « Bassin ferrifère : surveillance Eau » disponibles sur le site internet de l'Agence de l'eau (www.eau-rhin-meuse.fr). On ne retiendra ici que les principales observations servant de support à la compréhension de la structure et du fonctionnement hydrogéologique du bassin ferrifère lorrain.

3.3.1. Les débits de débordement

Au 23 août 2002, un volume d'environ 271 millions de m^3 d'eau s'était écoulé du réservoir Sud, par la galerie de Moyeuvre, depuis le débordement du 28 octobre 1998 (3 ans et 10 mois). Le volume écoulé par les fuites depuis le 1er septembre 1998 étant estimé à environ 78 millions de m^3 (22 % du volume total), c'est un volume total de 349 millions de m^3 qui s'est écoulé du réservoir Sud en 46 mois, soit environ 250 000 m^3/j. Ce volume représente entre 1,5 et 1,7 fois le volume estimé du réservoir Sud (210 à 230 Mm^3).

De janvier 1999, date du premier débordement du réservoir Centre par le puits de Chevillon, à décembre 2003, un volume d'environ 55,2 millions de m^3 d'eau (Mm^3) s'est écoulé du réservoir Centre par les galeries (Woigot = 35,1 Mm^3, soit 63,6 % ; Bois d'Avril : 2,2 Mm^3, soit 4 %) et les fuites (17,9 Mm^3 au moins, soit 32,4 %). Ce volume s'est écoulé du réservoir Centre en presque 60 mois, donc à un débit moyen d'environ 30 000 m^3/j. Si les fuites du réservoir Centre sont toutes connues et correctement estimées, le volume moyen journalier écoulé du réservoir Centre serait ainsi environ 8 fois plus faible que celui du réservoir Sud.

Le volume total écoulé du réservoir Centre représente seulement 25 à 30 % du volume estimé du réservoir (150 à 170 Mm^3), ce qui pourrait expliquer la différence d'évolution des concentrations en sulfate dans les réservoirs Sud et Centre : l'eau du réservoir Centre étant renouvelée beaucoup plus lentement, les concentrations y resteraient élevées plus longtemps.

3.3.2. Les niveaux piézométriques

Depuis 1999, la nappe du Dogger a trouvé un nouvel équilibre hydrodynamique. L'ennoyage des réservoirs a provoqué une forte remontée de la nappe à la périphérie et au centre des bassins (Figure 24 et schémas de la Figure 6 et de la Figure 7). Dans le bassin Sud, les mesures effectuées précisent l'organisation des écoulements dans les calcaires du Dogger et l'ordre de grandeur des différences de niveau piézométrique en certains sites : en bordure immédiate du réservoir Sud, mais à l'écart des travaux miniers, le niveau de la nappe du Dogger peut être supérieur de 10 à 20 mètres au niveau du réservoir minier ; à l'aplomb des zones tracées, le niveau de la nappe du Dogger est supérieur de 1 à 2 m au niveau du réservoir minier ; enfin, à l'aplomb des

zones foudroyées, le niveau de la nappe est supérieur de quelques dizaines de cm seulement au niveau du réservoir minier (Figure 7).

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 probablement un relief « bosselé » : les creux correspondraient aux zones de drainage plus important (zones foudroyées ou fracturées), les bosses seraient liées aux zones de drainage moindre (zones tracées ou de perméabilité verticale plus faible).

Dans le bassin Centre, les zones foudroyées se comportent aussi comme des zones de drainage de l'aquifère des calcaires du Dogger : lorsqu'elles atteignent la nappe principale du Dogger, les eaux de pluie infiltrées dans les calcaires sont drainées vers la zone dépilée sous-jacente et atteignent ensuite le réservoir minier Centre. Néanmoins, les circulations verticales se font beaucoup moins facilement sur le site de S^t-Pierremont (bassin Centre) que sur le site de Paradis (bassin Sud), bien que les deux sites soient tous deux situés à l'aplomb de zones foudroyées. Ainsi, les conditions d'écoulement locales introduisent probablement une grande variabilité des niveaux de la nappe des calcaires du Dogger à l'aplomb des travaux miniers.

Dans chaque réservoir, les niveaux piézométriques mesurés en différents points sont très proches (Figure 7), ce qui démontre l'excellente continuité hydraulique existant en leur sein. Le battement maximal du niveau du réservoir Sud est de près de 1 m, contre presque 7 m pour le réservoir Centre.

L'interprétation des deux premières années de mesures du niveau piézométrique et de la qualité sur les 6 nouveaux piézomètres implantés par l'Agence de l'eau entre les réservoirs Centre et Sud permet de conclure que (Figure 9) :

- les deux réservoirs Centre et Sud sont en relation hydraulique par l'intermédiaire de la nappe de la formation ferrifère, malgré la présence de l'écran (imparfaitement imperméable) formé par la faille d'Avril ;
- les écoulements du réservoir Centre vers le réservoir Sud s'effectuent dans un milieu poreux à un débit suffisamment faible pour que quatre ans après l'ennoyage des réservoirs, aucune trace de contamination de la nappe de la formation ferrifère ne soit visible.

3.3.3. La qualité des eaux souterraines

Dans les réservoirs miniers, les eaux sont fortement minéralisées (Figure 25) : les concentrations en sulfate, sodium et magnésium sont très supérieures aux limites de qualité pour l'alimentation en eau potable. D'autre part, ces eaux sont caractérisées par des concentrations en éléments indésirables parfois plus fortes que les limites de qualité : ceci concerne les éléments fer, manganèse et bore, ainsi que 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.

L'origine possible de l'ensemble de ces composés est variée. Certains composés sont dissous lors de la circulation des eaux souterraines dans les couches de minerai (fer, manganèse, nickel), d'autres pendant la circulation des eaux dans les interbancs marneux (ions majeurs, bore), d'autres enfin sont des contaminants d'origine humaine liés aux anciennes activités en fond de mine ou en surface, ou aux activités actuelles de surface (ammonium, hydrocarbures, phénols).

Le mécanisme de la sulfatation des eaux d'ennoyage est désormais bien connu. En 1980, Hervé a réalisé une étude sur l'évolution de la teneur en sulfate de l'eau dans les deux types de stockage potentiels de l'eau : les galeries creusées dans le minerai (albraques) et les secteurs foudroyés (zone de contact avec les roches de l'intercalaire marneux effondré). Il n'apparaît aucune augmentation significative de la salinité de l'eau stockée dans les albraques, de même que dans l'eau ayant séjourné pendant plusieurs années dans des puits ou des galeries noyées, situées hors des circuits de drainage. Dans ces deux cas, l'eau baigne le minerai.

A l'inverse, l'ennoyage de zones partiellement foudroyées, où les roches des intercalaires marneux sont abondamment représentées, se traduit par l'apparition de plus fortes teneurs en sulfate. L'auteur en conclut que les niveaux marneux sont les principaux responsables de l'évolution chimique de l'eau.

Des études récentes, basée sur l'élaboration d'un modèle chimique cinétique (Collon, 2003 ; Collon et al., 2002-a, 2002-b, 2004) a déterminé l'origine de la sulfatation de l'eau. Suite à l'étude minéralogique d'échantillons de crassin et d'intercalaires marneux, Collon et al. ont observé des cristaux de gypse néoformés sur les surfaces de fracture, pouvant constituer une source de sulfate par dissolution dans l'eau.

Les auteurs ont mis en évidence que le sulfate tire son origine de l'oxydation de la pyrite, cette réaction s'accompagnant de la dissolution de calcaire. Le milieu n'étant pas saturé en eau pendant l'exploitation minière, le sulfate et le calcium produits par les deux réactions précédentes précipitent sous forme de gypse.

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

Une amélioration naturelle de la qualité de l'eau a été constatée après plusieurs renouvellements de la réserve d'eau - soit deux à trois fois le volume global - ce qui peut durer plusieurs années, voire des décennies. Des techniques de surpompage ont déjà été mises en œuvre avec succès afin d'accélérer artificiellement ce renouvellement en augmentant les circulations d'eau souterraine (Saizerais, Serrouville, ...).

La concentration en sulfate des eaux prélevées dans les puits miniers du réservoir Centre est stable depuis quatre ans, même si la concentration mesurée au niveau des fuites vers le Chevillon a baissé notablement pendant les deux premières années

probablement en raison d'une particularité locale. Au contraire, les concentrations dans les puits du réservoir Sud ont baissé sensiblement, de l'ordre de - 44 % pour Roncourt I, - 40 % pour Droitaumont II, - 20 % pour Paradis V, et - 35 % à la galerie de Moyeuvre. On peut penser que cette situation est due au bien meilleur renouvellement du volume d'eau contenu dans le réservoir Sud que de celui contenu dans le réservoir Centre.

Dans l'aquifère des calcaires du Dogger, les teneurs des différents éléments correspondent aux valeurs habituelles de l'eau souterraine emmagasinée dans cette roche ; globalement, la qualité des eaux souterraines y reste stable. Localement, certains forages peuvent être contaminés par un ou plusieurs composés, selon la proximité d'une source de contamination et le contexte hydrogéologique local. On remarquera que 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'étiage ou des rejets de nanofiltrats) est un phénomène assez général, observé autant dans le bassin Sud que dans le bassin Centre. Par contre, aucune observation ne montre de contamination de la nappe du Dogger par remontée d'eau d'ennoyage.

3.3.4. La qualité des eaux de surface

L'évolution spatiale des concentrations en sulfate le long des cours d'eau du bassin ferrière lorrain est présentée sur la Figure 27 pour le bassin de l'Orne, et la Figure 28 pour le bassin de l'Othain.

Les graphiques permettent de visualiser les concentrations moyennes et maximales observées aux différentes stations de mesure de la qualité de l'eau, pour un même bassin versant, et de situer les principaux apports en sulfate, tous liés à des prélèvements d'eau minéralisée effectués dans les réservoirs miniers (soutien d'étiage et rejet de nanofiltrat d'usine de traitement).

3.3.5. Choix d'un traceur des eaux d'ennoyage

Il résulte des considérations précédentes que le sulfate doit être retenu comme traceur des eaux d'ennoyage. Ce choix est dicté par :

- la connaissance des mécanismes de minéralisation des eaux lors de l'ennoyage d'une mine ;
- l'absence d'autres sources importantes de contamination des eaux souterraines ou de surface par ce composé ;
- l'absence de réactions rapides de transformation biologique ou chimique de ce composé dans le milieu naturel.

La conductivité électrique de l'eau pourra aussi être utilisée comme indicateur de la concentration en sulfate, dans la mesure où il existe une corrélation linéaire entre ces deux paramètres chimiques (cf. Figure 11).

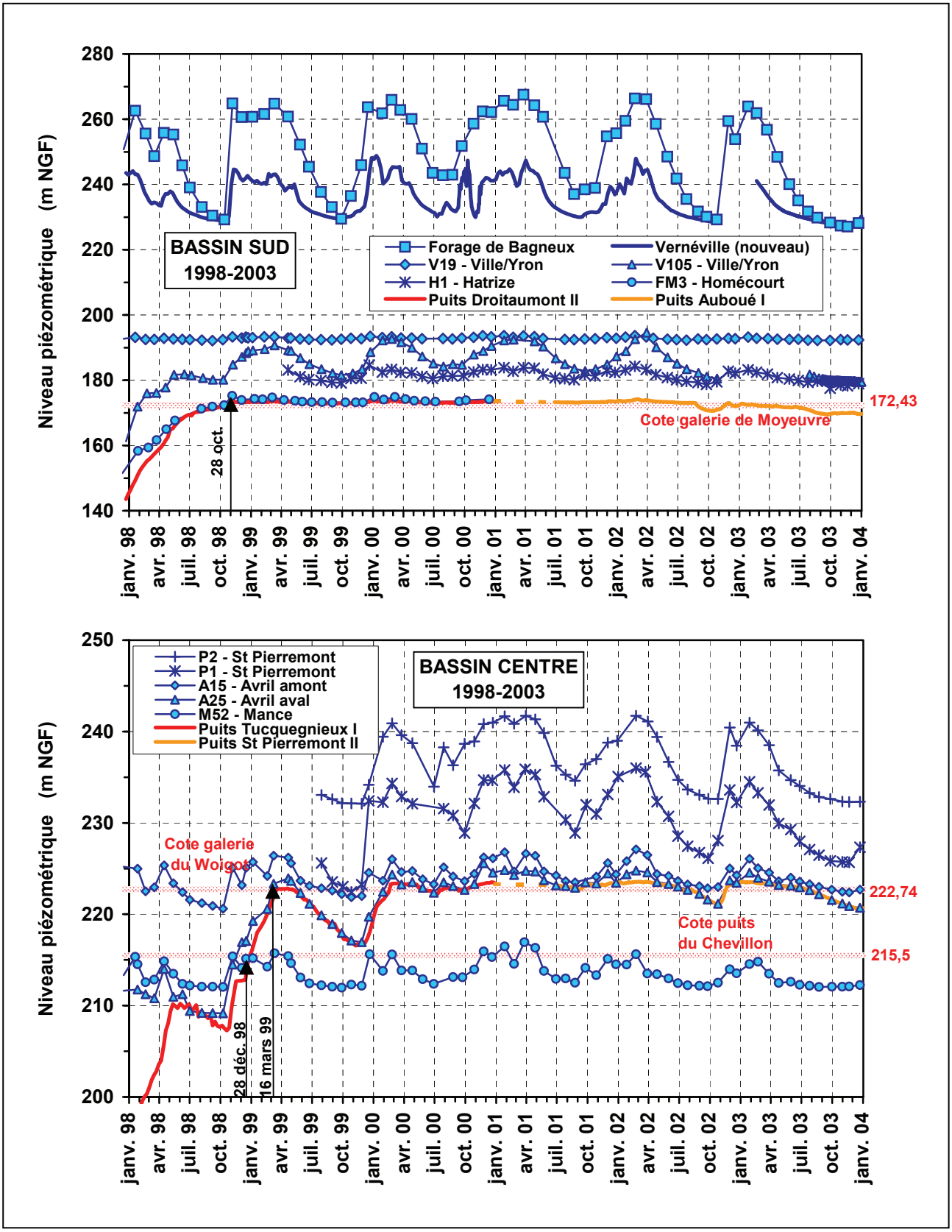


Figure 24 – Evolution des niveaux piézométriques des bassins Sud et Centre.

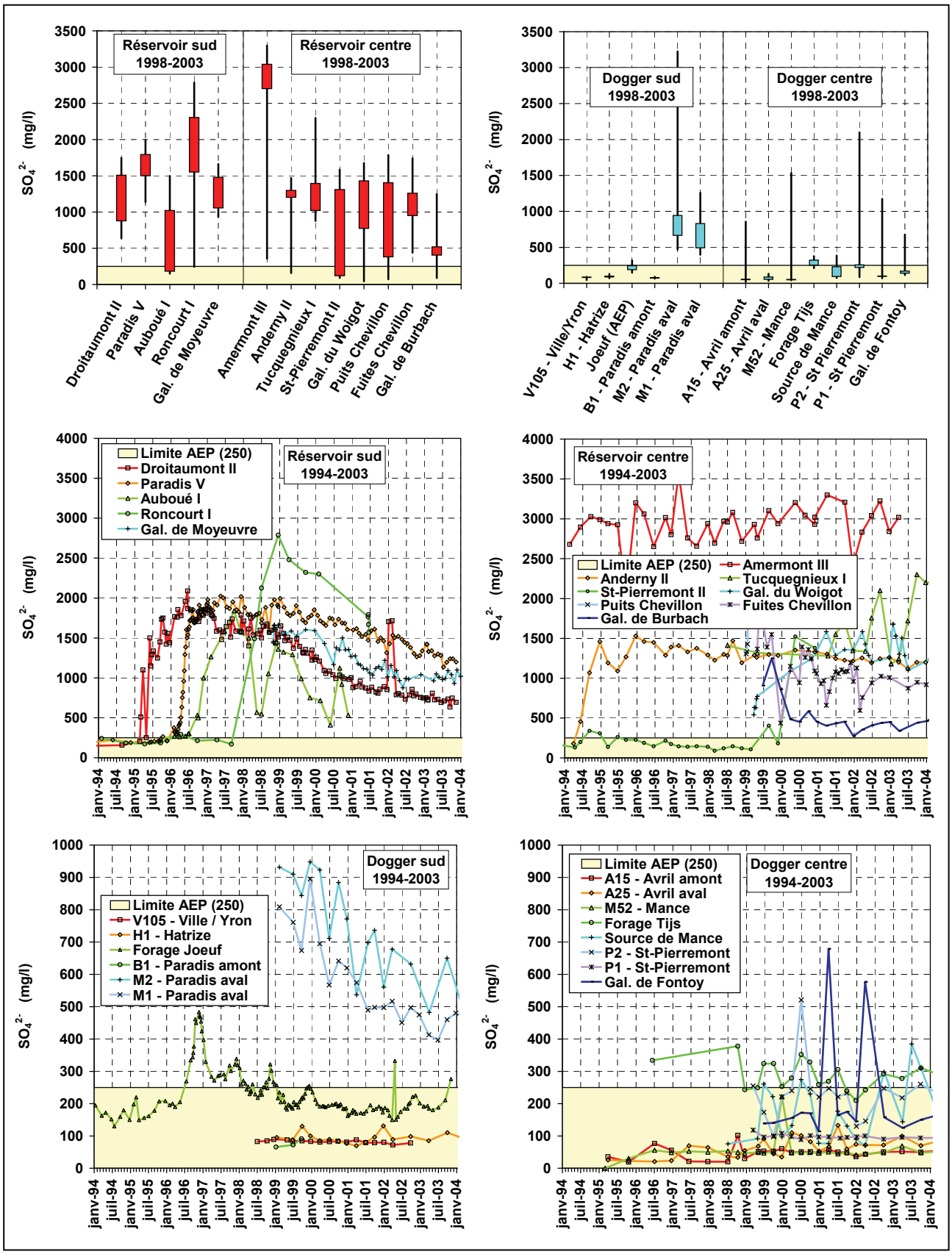


Figure 25 – Evolution de la concentration en sulfate (SO_4^{2-}) dans le bassin ferrifère lorrain.

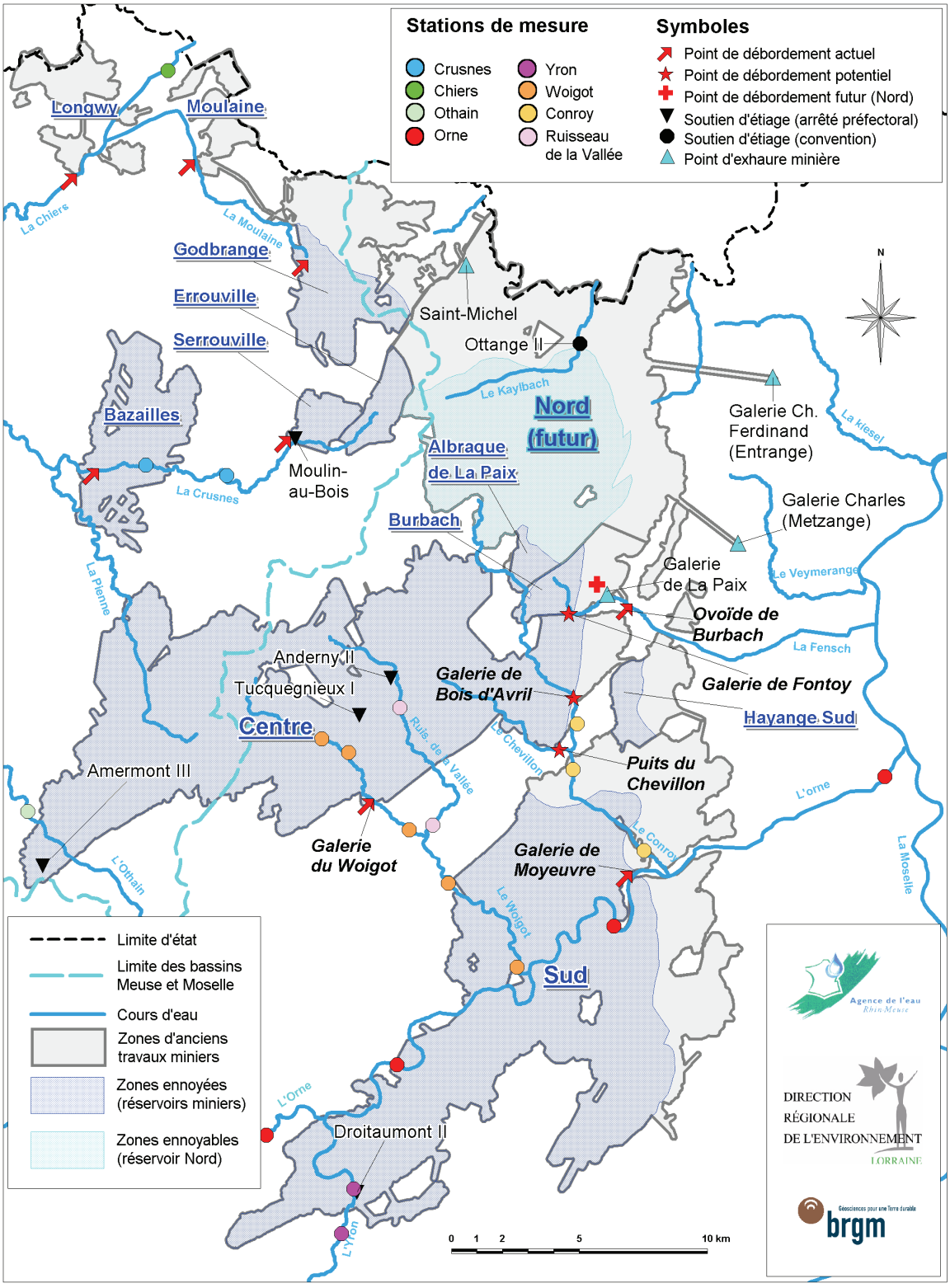


Figure 26 – Carte de localisation des stations de mesure de la qualité de l'eau.

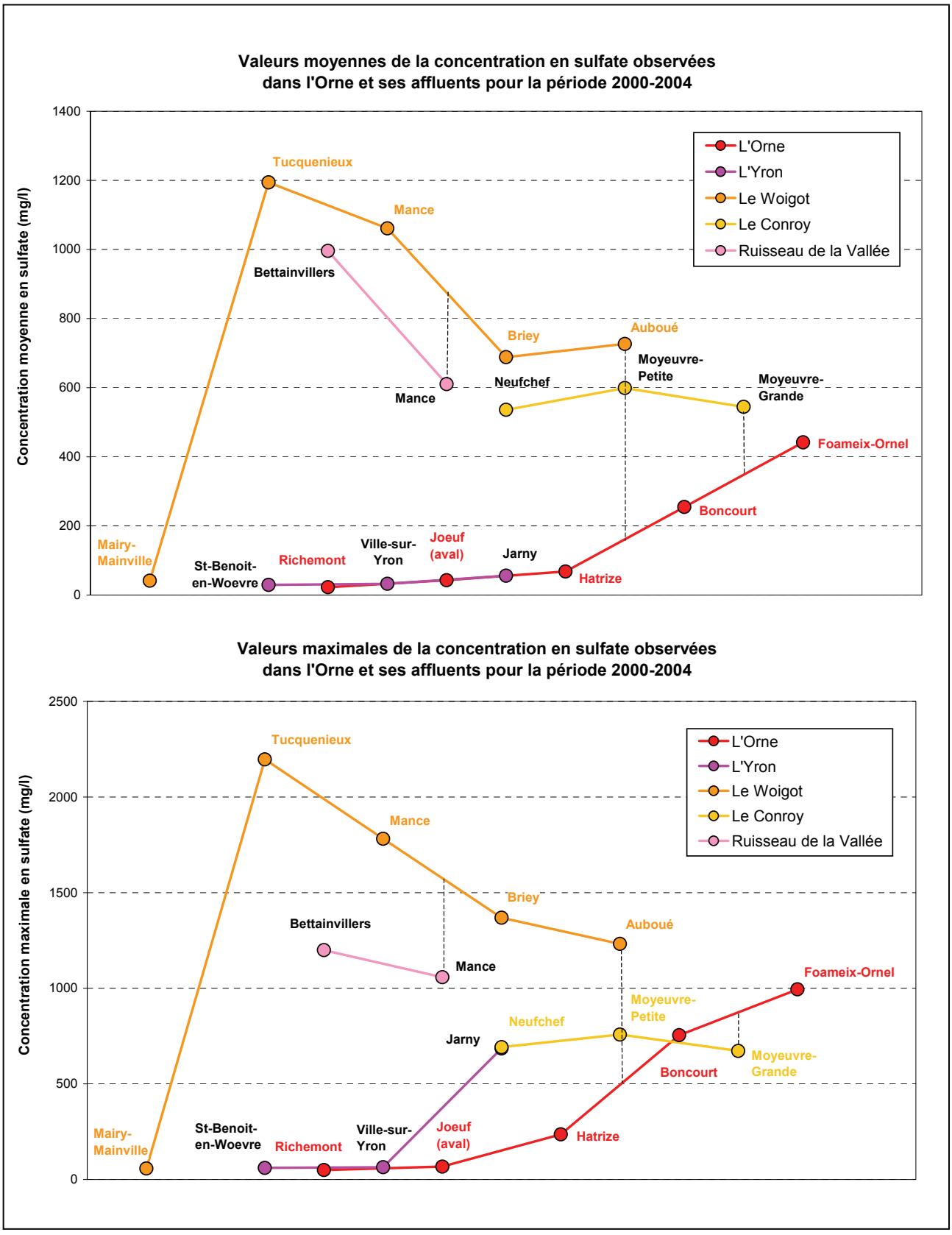


Figure 27 – Concentrations en sulfate dans l'Orne et ses affluents (situation actuelle).

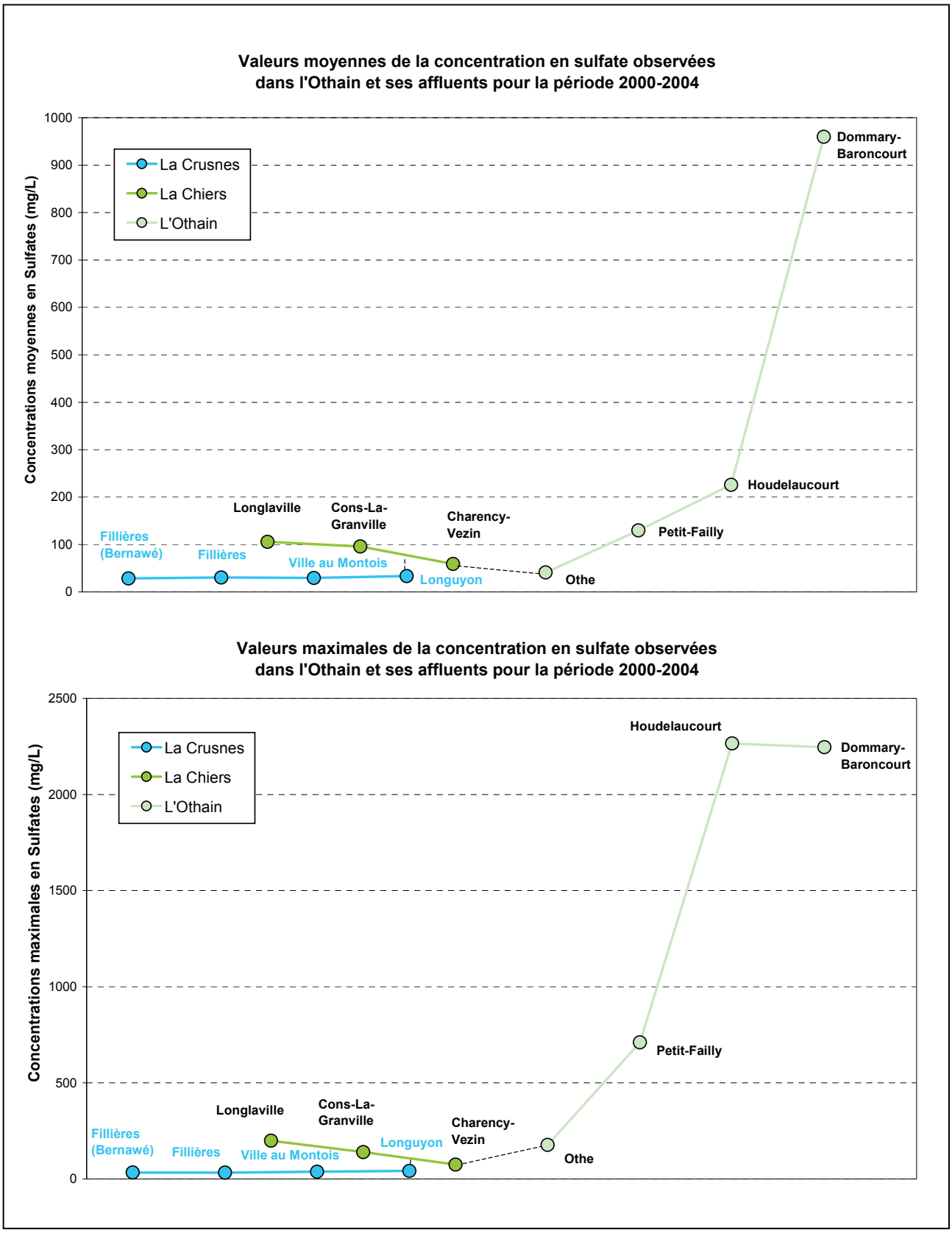


Figure 28 – Concentrations en sulfate dans l'Othain et ses affluents (situation actuelle).

4. Analyse des plans miniers et synthèse cartographique

Tous les documents cartographiques ont été réalisés à l'aide du logiciel MapInfo. Ils permettent de visualiser l'ensemble des informations disponibles et pouvant être cartographiées. Ils constituent une base indispensable à une meilleure compréhension de la structure des bassins, de leur fonctionnement hydrogéologique et des relations existant entre le réservoir minier et la surface du sol.

4.1. METHODE DE DETERMINATION DES SOUS-UNITES HYDROGEOLOGIQUES EN ZONE NOYEE DES RESERVOIRS

4.1.1. Démarche générale

La formation aalénienne, riche en minerai de fer, est constituée d'un empilement de couches exploitables classiquement caractérisées par des noms de couleurs, alternant avec des intercalaires stériles. Toutefois, ces nomenclatures de couches étant différentes d'un bassin à l'autre, le travail de corrélations lithologiques de L. Bubenicek (1961) a été utilisé pour une homogénéisation du travail cartographique (Figure 29) : la nomenclature simplifiée et harmonisée des couches des trois bassins est basée sur celle du bassin de Landres-Ottange, qui possède la lithologie la plus détaillée.

L'analyse des plans miniers et des dossiers d'abandon des concessions minières met en évidence l'existence d'une couche principalement exploitée (couche Grise) qui constitue un niveau repère dans les bassins Centre et Nord, et de deux couches repères (Grise et Noire) dans le bassin Sud. Le travail de synthèse cartographique a donc été organisé comme suit :

- Dans un premier temps, l'analyse des plans d'exploitation des couches repères a permis de délimiter les sous-unités hydrogéologiques en zone noyée des réservoirs, et de dénombrer les galeries de jonction entre ces dernières.
- Dans un deuxième temps, les communications verticales entre couches (par bures[3] et travers-bancs[4]) au sein d'une même sous-unité et entre les sous-unités ont été quantifiées, afin de tenir compte de la configuration multi-couches des exploitations minières.

[3] Conduits verticaux ne débouchant pas au jour, permettant la communication entre couches superposées.

[4] Galeries inclinées permettant la communication entre couches superposées ou le passage d'accidents géologiques (type faille).

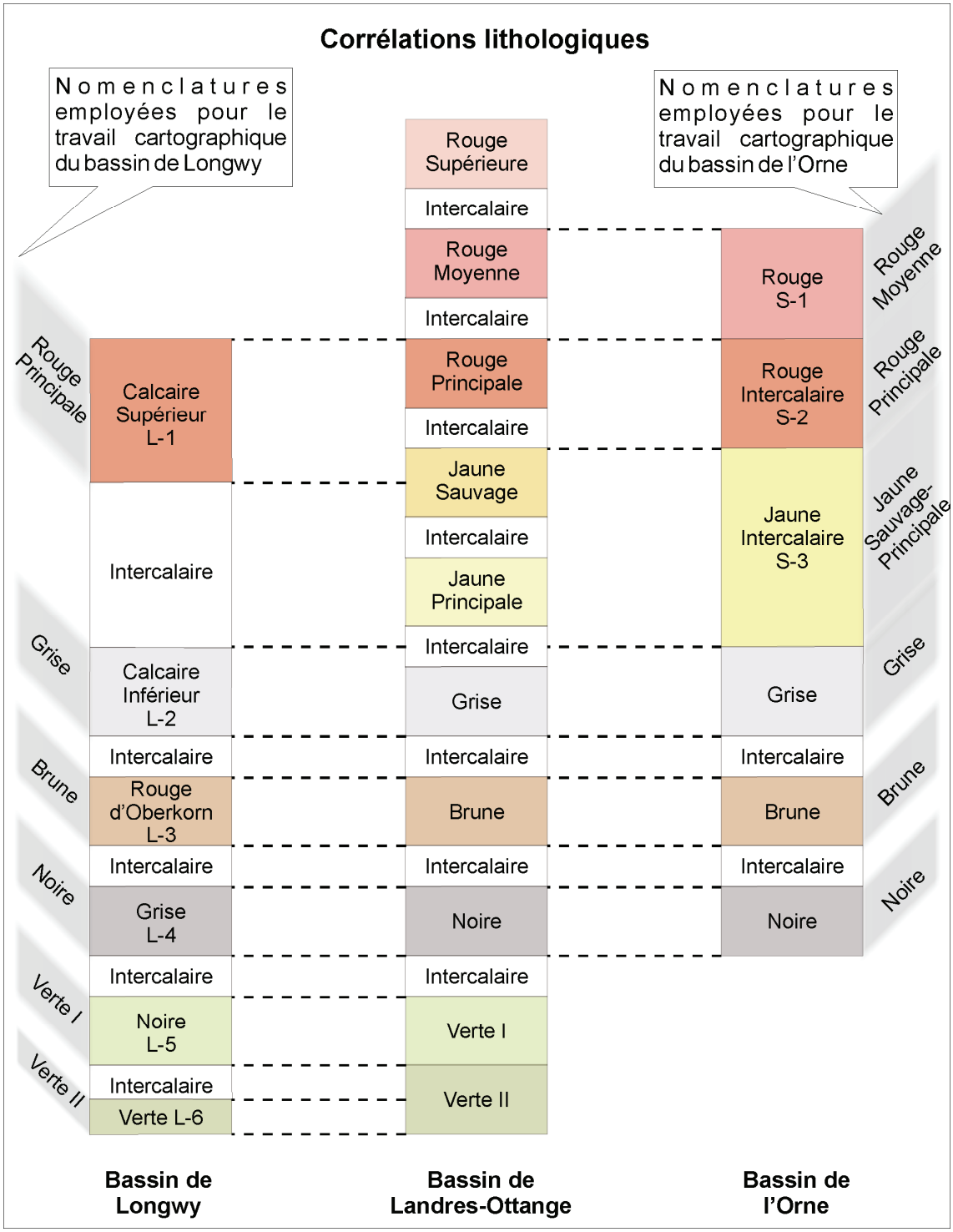


Figure 29 – Corrélations lithologiques entre les bassins de Longwy, Landres-Ottange et l'Orne (d'après L. Bubenicek, 1961) : présentation de la nomenclature homogénéisée pour les trois bassins

4.1.2. Utilisation des limites de concession

Afin de délimiter des sous-unités hydrogéologiques cohérentes au sein d'un même réservoir, les limites de concession ont été utilisées comme maillage. Cette démarche résulte de la logique d'exploitation minière, propre à chaque concession. Toutefois, il a parfois été nécessaire de ne pas respecter les limites de concessions. En effet, l'expansion géographique d'une exploitation minière nécessitait, en général, la réalisation de faisceaux de galeries de reconnaissance à partir d'une mine déjà exploitée dans une concession voisine ; si les traçages mettaient en évidence des teneurs en minerais trop faibles, l'exploitation était alors stoppée et se limitait aux quelques galeries déjà réalisées. Dans ce cas, afin de tenir compte de ces petits travaux miniers sans faire intervenir la superficie totale d'une concession n'ayant été que très partiellement exploitée, le tracé de la sous-unité hydrogéologique a suivi le contour des travaux miniers, plutôt que celui de la limite de concession.

Par exemple, la concession Bellevue (bassin Sud) ne présente que quelques traçages, qui ont été réalisés depuis la concession Auboué-Moineville (Figure 30). Le contour de la sous-unité construite sur la limite de concession Auboué-Moineville englobe donc les travaux réalisés dans la concession Bellevue (Figure 31).

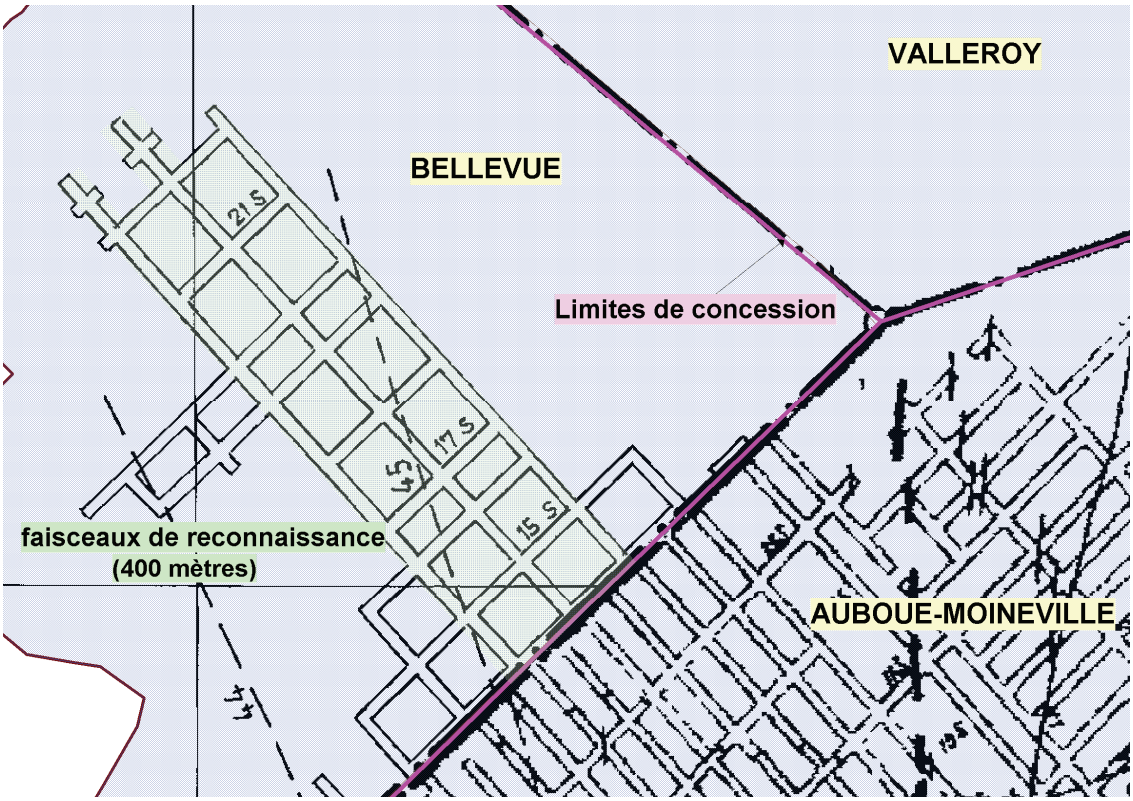


Figure 30 – Plan minier d'une exploitation en couche Grise du bassin Sud : traçage de reconnaissance à Bellevue, à partir de la concession Auboué-Moineville

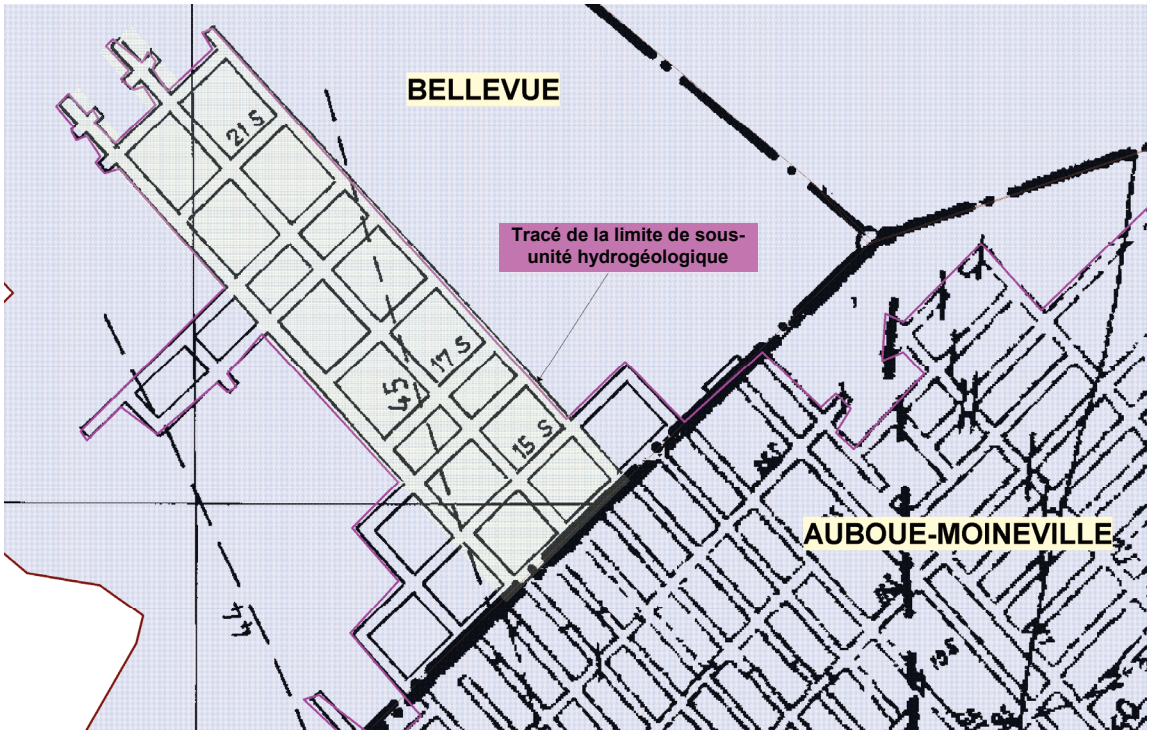


Figure 31 – Tracé de la limite de sous-unité entre Bellevue et Auboué-Moineville

De la même manière, la limite de sous-unité hydrogéologique a systématiquement suivi le contour des travaux miniers lorsque les galeries d'une exploitation faisaient intrusion dans une concession, sans pour autant permettre la communication entre les travaux de deux mines voisines (Figure 32).

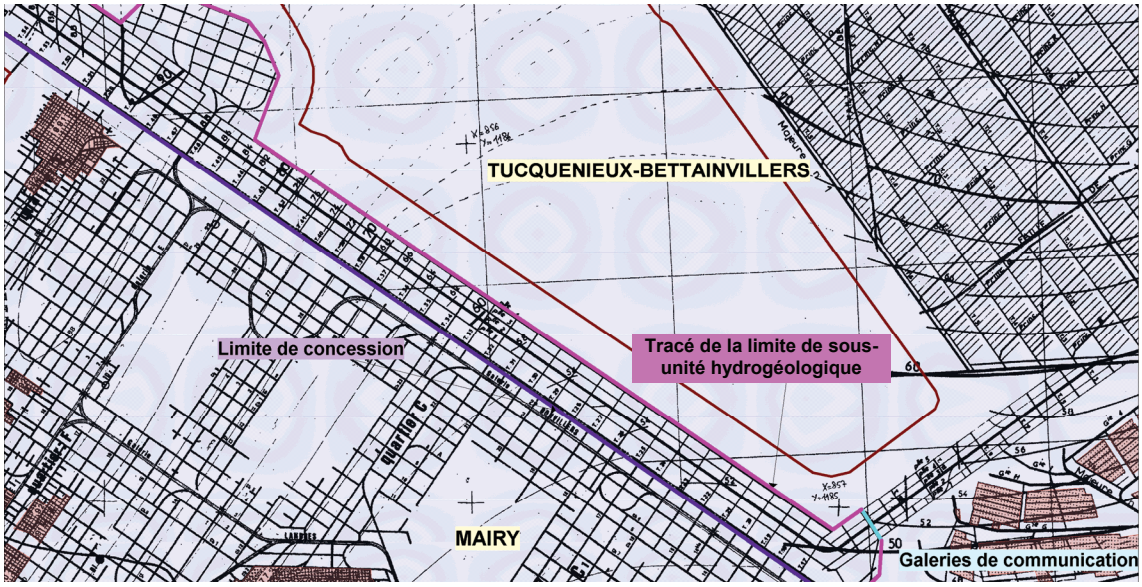


Figure 32 – Tracé de la limite de sous-unité entre Mairy et Tucquenieux-Bettainvillers

4.1.3. Hiérarchisation des écoulements dans un réservoir noyé

a) Galeries et autres communications par pistes souterraines

Ces voies de communication entre sous-unités sont considérées comme des axes de circulations préférentiels. En effet, elles sont équivalentes à des drains souterrains de grande dimension (de section atteignant couramment 25 m^2). Les écoulements y sont très lents et s'y produisent en régime laminaire. Les pertes de charge sont donc négligeables, ce qui induit une mise à l'équilibre immédiate des niveaux piézométriques (c'est le principe des vases communicants). Ce phénomène est illustré par la Figure 33 et la Figure 34, et sa réalité a été démontrée au niveau des bassins Sud et Centre : dans un même bassin, le niveau piézométrique est quasiment identique en tout point du réseau de galeries.

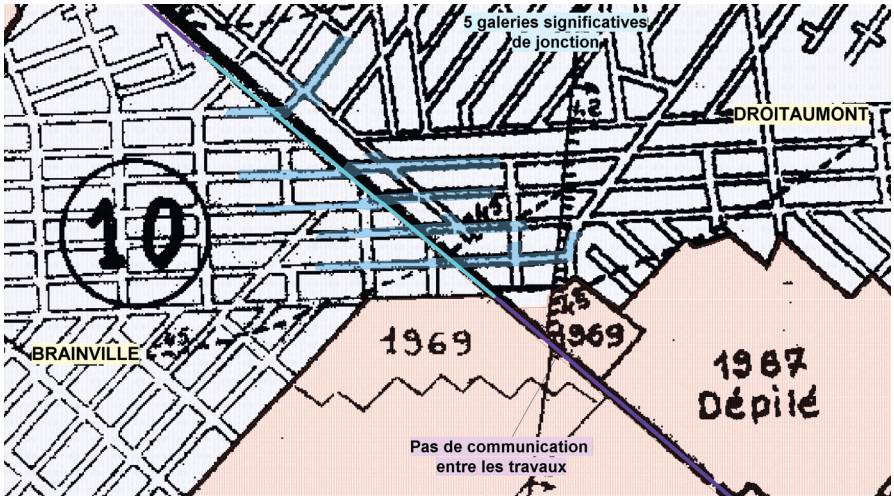


Figure 33 – Visualisation d'un faisceau de galeries de jonction entre Droitaumont et Brainville

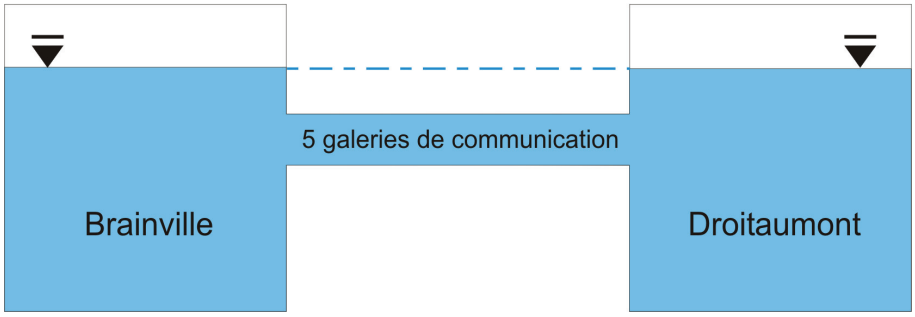


Figure 34 – Schéma conceptuel de l'équilibre des niveaux piézométriques, par le biais de galeries, après l'ennoyage du bassin Sud, entre Droitaumont et Brainville

b) Zones foudroyées

Les mesures de niveaux piézométriques effectuées depuis 1999 au droit des zones foudroyées (piézomètres Paradis M1 et M2, S^t-Pierremont P1 et P2) montrent que :

- dans le plan horizontal, les écoulements dans le Dogger se font de la bordure vers le centre de la zone foudroyée ;
- dans le plan vertical, les écoulements se font du Dogger vers la formation ferrifère dépilée sous-jacente.

Ainsi, les zones foudroyées sont interprétées systématiquement comme des zones de drainance verticale descendante (cf. schéma de la Figure 7) : elles correspondent d'une part à des limites imperméables empêchant toute circulation latérale entre sous-unités voisines, et ce sont d'autre part des voies préférentielles de recharge des réservoirs noyés, via l'aquifère du Dogger.

c) Formation ferrifère non exploitée

Ces zones sont considérées comme imperméables et constituent donc des limites étanches (pour le travail de délimitation cartographique des sous-unités), bien que le milieu soit poreux et/ou fracturé et susceptible de permettre des écoulements : relativement aux écoulements en galerie et à la drainance descendante dans les zones foudroyées, les écoulements au sein de la formation ferrifère non exploitée ne sont pas considérés comme significatifs.

4.1.4. Dénombrement des galeries de jonction entre sous-unités

Les sous-unités identifiées communiquent par des galeries de jonction, dont le nombre a été déterminé, ainsi que la longueur. Lors de l'analyse des plans miniers, seules les galeries de jonction significatives doivent être comptabilisées. En effet, dans de nombreux cas de figure, bien que le nombre de galeries de jonction effectives soit important, seules quelques unes permettent réellement la connexion des travaux. C'est pourquoi, seul le « goulet d'étranglement » de galeries de liaison doit être pris en compte.

Par exemple, au Nord de la concession Droitaumont (bassin Sud), les travaux en couche Grise font intrusion dans la concession Labry (Figure 35). Afin de ne tenir compte que des galeries de jonction significatives, l'analyse des plans a été effectuée à une échelle plus large : les dix galeries de communication ont été identifiées comme un prolongement des travaux de Droitaumont, ne débouchant principalement que dans les dépilages de 1982, et le « goulet d'étranglement » de galeries de liaison entre les travaux des deux sous-unités n'est en réalité constitué que de deux galeries de jonctions, localisées plus à l'Est.

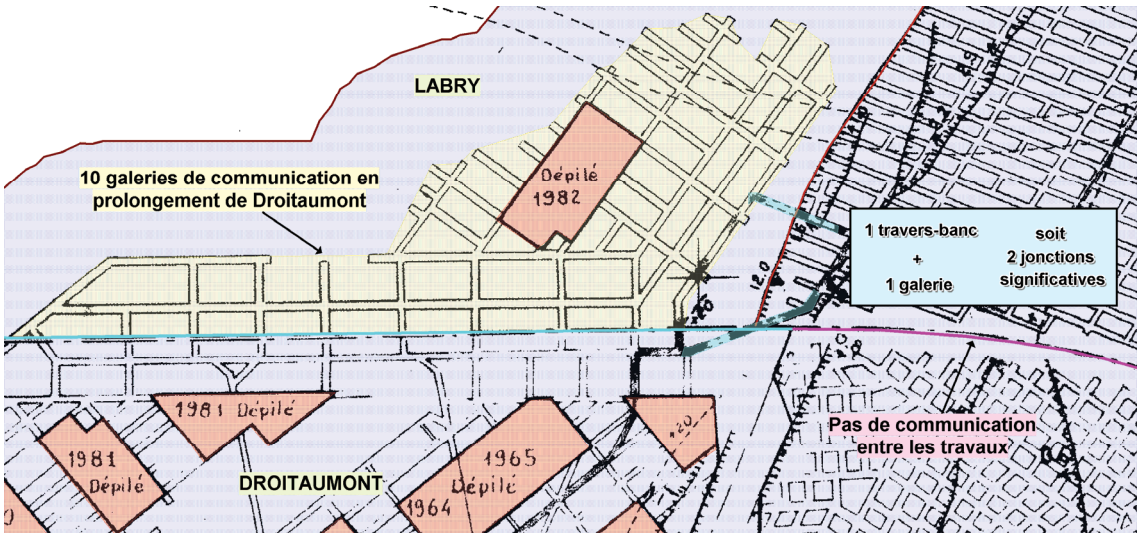


Figure 35 – Plans miniers de l'exploitation en couche Grise des concessions Droitaumont et Labry : identification du goulet d'étranglement de galeries de jonction significatives

4.2. CREATION D'UNE BASE DE DONNEES CARTOGRAPHIQUE

De nombreuses informations ont été collectées et regroupées sous forme de tables sous MapInfo 7.5, dans le but de créer les cartes de synthèses des différents bassins. L'ensemble des plans numérisés des travaux miniers du bassin de Briey, mis à notre disposition par Géodéris, ont servi de base de travail pour créer une grande partie des couches d'informations présentées dans la suite du texte. La base de données cartographique comprend les tables suivantes :

- **Le contour des zones foudroyées :**

  Pour chaque couche exploitée par bassin, une table a été créée, contenant les contours des zones foudroyées. Outre les contours, digitalisés dans le cadre de ce travail, ces tables contiennent également une base de données associée concernant le type d'exploitation lorsque celui-ci est ponctuellement en complexe[5].

  Les 25 tables de contour des zones foudroyées sont listées dans le Tableau 2.

[5] Exploitation simultanée de deux couches superposées (type d'exploitation minière dépendant de particularités géologiques locales).

Bassin	Nord et Godbrange	Centre	Sud
Couches exploitées	Rouge Supérieure Rouge Moyenne Rouge Principale Jaune Sauvage Jaune Principale Grise Noire Brune Verte	Rouge Moyenne Rouge Principale Grise Noire	Rouge Moyenne Rouge Principale Jaune Grise Noire Brune Verte
Couches exploitées en complexe (à grande échelle)	Jaune Principale-Grise Jaune Principale-Jaune Sauvage-Rouge Noire-Verte	Jaune Principale-Grise Brune-Noire	
Nombre de tables	**Douze**	**Six**	**Sept**

Tableau 2 – Tableau récapitulatif des différentes couches foudroyées par bassin et des différentes tables Mapinfo résultant du travail de digitalisation (valeur maximale en vert et minimale en bleu)

- **La limite des travaux de fond par bassin (hors travaux à ciel ouvert) :**

  Cette table résulte d'un travail de digitalisation des travaux de fond (donc hors travaux à ciel ouvert) de chaque plan minier numérisé : pour chaque couche exploitée par bassin, une table a été créée, contenant les contours des travaux. Le Tableau 2, présentant les types de couches foudroyées par bassin, récapitule également les différentes couches exploitées : on comptabilise un total de 25 tables contenant la totalité des contours des travaux de fond par couche du bassin ferrifère lorrain.

- **Les communications inter-couches :**

  A partir de l'analyse détaillée des dossiers d'abandon et des plans miniers, une table a été créée pour chaque bassin, contenant la localisation précise des communications entre couches exploitées. Ces tables contiennent également une base de données associées précisant le type de communication et la nature des couches communicantes.

  Ce travail est aussi synthétisé sous forme d'un tableau récapitulatif par bassin (cf. le fichier Excel 97 en annexe 4, dans le cd-rom joint à ce rapport).

- **La limite des travaux de fond actuellement ennoyés**
- **La limite des travaux de fond ennoyables pour le bassin Nord**
- **Les limites de concessions**
- **Le réseau hydrographique**
- **Le réseau de surveillance des eaux souterraines**

- **Les limites des affleurements géologiques :**

  Ces tables résultent de la vectorisation des contours des affleurements sur les cartes géologiques d'Audun-le-Roman, Briey, Chambley-Bussières, Longuyon. Ce travail a permis d'établir une zonation du bassin de Briey en quatre secteurs, en fonction du nombre d'écrans imperméables présents à l'aplomb de la formation ferrifère. Ainsi, sont cartographiées les zones marquées par la présence :

  – de 3 écrans marneux : Marnes à Rhynchonelles, Marnes de Gravelotte et Marnes Micacées ;

  – de 2 écrans marneux : Marnes de Gravelotte et Marnes Micacées ;

  – d'1 écran marneux : Marnes Micacées ;

  – sans écran, c'est-à-dire les secteurs d'affleurement de la formation aalénienne.

- **Les sous-unités hydrogéologiques en zone noyée des réservoirs :**

  Comme indiqué plus haut, les sous-unités en zone noyée des réservoirs ont été identifiées grâce à une analyse détaillée des plans miniers et des dossiers d'abandon. Ces tables (une par bassin) contiennent les limites des sous-unités, le nombre de galeries de jonctions significatives entre sous-unités, ainsi que leurs longueurs.

  Ce travail a été synthétisé sous forme de fiches contenant, pour chaque concession, un résumé du dossier d'abandon et l'interprétation hydrogéologique détaillée à l'origine de la délimitation des sous-unités (cf. le document pdf en annexe 5, sur le cd-rom joint au présent rapport).

- **Les aires d'alimentation en zone dénoyée :**

  Pour chaque bassin, une table a été créée contenant, pour chaque sous-unité, une aire d'alimentation en zone dénoyée. Ces aires ont été délimitées en tenant compte des plans miniers de toutes les couches exploitées en zones dénoyées, et de la topographie locale des couches, conditionnant les écoulements souterrains.

4.3. ANALYSE CARTOGRAPHIQUE DE LA (DES) COUCHE(S) REPERE(S) : CARTES DE SYNTHESE

Une partie des informations contenues dans la base de données cartographique MapInfo est difficilement représentable sous forme de cartes en deux dimensions, et sera présentée dans le paragraphe suivant.

Toutes les autres informations recueillies et analysées dans le cadre de ce travail, et en particulier celles se rapportant à la(les) couche(s) repère(s), font l'objet des cartes de synthèse présentées ci-dessous.

Toutes les cartes présentent systématiquement les contours des travaux de fond, les limites de concessions (sauf pour les cartes de synthèse géologique), le réseau hydrographique et le réseau de surveillance des eaux souterraines.

De plus, compte tenu de l'isolement du bassin Nord et du bassin de Godbrange, et pour une meilleure lisibilité des cartes, ces deux bassins seront présentés séparément, ce qui fait un total de quatre bassins, soit seize cartes de synthèse.

Toutes les cartes sont présentées sous forme de planches au format A3 rassemblées dans un volume joint au présent rapport.

4.3.1. Cartes de synthèse géologique simplifiées

Les cartes de synthèse géologique simplifiées (Planches 1 à 4) présentent, outre les informations précédemment citées, les failles affectant chaque bassin et les contours des affleurements géologiques regroupés afin de mettre en évidence le nombre d'écrans imperméables présents entre la surface du sol et la formation aalénienne.

4.3.2. Cartes de localisation des zones foudroyées dans les différentes couches exploitées

Ces cartes (Planches 5 à 8) présentent pour chaque bassin, les contours des zones foudroyées, par type de couches exploitées.

On a vu que les zones foudroyées constituent des zones de communication privilégiées entre la nappe des calcaires du Dogger et la nappe d'un réservoir minier ennoyé, ce dernier jouant un rôle de drainage de la nappe du Dogger.

Connaître avec précision les contours des zones foudroyées permet donc d'une part d'approcher qualitativement la piézométrie de la nappe des calcaires du Dogger, et d'autre part de connaître l'aire d'alimentation de chaque sous-unité.

4.3.3. Cartes de synthèse des sous-unités hydrogéologiques en zone noyée

Ce troisième type de carte (Planches 9 à 12) présente d'une part l'ensemble des zones foudroyées toutes couches confondues, et d'autre part les sous-unités hydrogéologiques identifiées en zone noyée suite à l'analyse conjointe des bases de données papiers (cartes et dossiers d'abandons) et numériques (plans miniers numérisés).

Les sous-unités identifiées constitueront l'ossature du futur simulateur de fonctionnement hydrologique et chimique.

4.3.4. Cartes des sous-unités hydrogéologiques en zone noyée et de leurs aires d'alimentation en zone dénoyée

Ces dernières cartes (Planches 13 à 16) présentent les sous-unités hydrogéologiques identifiées en zone noyée, ainsi que leurs aires d'alimentation en zones dénoyées.

Elles permettent de quantifier, pour chaque sous-unité en zone noyée, l'importance des apports en eau souterraine en provenance des zones dénoyées, ces apports ayant un impact important sur le taux de renouvellement de la partie noyée des sous-unités.

4.3.5. Comparaison des principales caractéristiques des sous-unités et des réservoirs

Les informations cartographiques concernant les sous-unités hydrogéologiques des 4 bassins étudiés sont détaillées sur le tableau de la planche 17, et récapitulées dans le Tableau 3 ci-dessous :

- **Le réservoir de Godbrange** se présente comme le plus petit réservoir, mais il possède un pourcentage d'aire d'alimentation en zone dénoyée important. Compte tenu de sa taille, il est relativement bien compartimenté.
- **Le réservoir Nord** est le plus petit des trois grands réservoirs du bassin ferrifère lorrain. Il présente un très fort pourcentage de zones foudroyées, et son aire d'alimentation en zone dénoyée est la plus étendue (1,5 fois celle du réservoir Sud).
- **Le réservoir Centre**, bien qu'ayant la plus grande superficie, possède la plus petite aire d'alimentation en zone dénoyée. Son pourcentage de zones foudroyées est très proche de celui du réservoir Sud. Notons également que ce réservoir est le plus compartimenté des 4 réservoirs.
- **Le réservoir Sud** présente une grande superficie (2 fois celle du réservoir Nord), et son pourcentage d'aire d'alimentation en zone dénoyée est près de 10 fois supérieur à celui du réservoir Centre.

Si l'on ne tient pas compte du réservoir de Godbrange, qui possède un très grand écart de superficie avec les autres réservoirs, il apparaît que c'est le réservoir Nord qui présente à la fois la plus petite superficie et la plus grande aire d'alimentation en zone dénoyée ; au contraire, le réservoir Centre possède la plus grande superficie, il est le plus compartimenté et le moins bien alimenté par les zones dénoyées (près de 10 fois moins que le réservoir Sud et 30 fois moins que le réservoir Nord).

Bassin	Godbrange	Nord	Centre	Sud
Nombre de sous-unités	7	16	19	17
Surface totale des sous-unités hydrogéologiques	10.37 km²	53.76 km²	121.83 km²	105.61 km²
Surface totale des aires d'alimentation en zone dénoyée	8.05 km²	45.97 km²	3.86 km²	31.76 km²
Pourcentage total des aires d'alimentation par rapport à la surface totale des sous-unités	77.64 %	85.52 %	3.17 %	30.08 %
Pourcentage total des zones foudroyées par rapport à la surface totale des sous-unités	26.74 %	48.98 %	42.44 %	38.84 %

Tableau 3 – Tableau récapitulatif de la synthèse cartographique du bassin ferrifère lorrain (valeurs maximales en vert et minimales en bleu)

4.4. ANALYSE CARTOGRAPHIQUE MULTICOUCHE : SCHEMAS DE COMMUNICATION 3D ENTRE SOUS-UNITES EN ZONE NOYEE

4.4.1. Principe d'analyse des communications inter-couches

Une fois effectué le premier travail de délimitation des sous-unités et d'inventaire des galeries de communication pour la(les) couche(s) repère(s), l'analyse cartographique a été poursuivie sur toutes les autres couches exploitées, avec la même démarche. Concernant ces autres couches exploitées, il est important de noter que :

- dans certaines zones, les couches de la formation aalénienne présentent une répartition lenticulaire. Ainsi, au sein d'une même sous-unité, l'exploitation d'une couche peut être constituée d'un ensemble de petits travaux isolés les uns des autres. Comme tous les autres contours de travaux miniers, ces petites exploitations isolées ont été digitalisées et analysées avec le détail de leurs différentes communications. L'ensemble des informations les concernant se présente sous la forme d'un tableau de synthèse par bassin (fichier Excel 97 en annexe 4, dans le cd-rom joint à ce rapport). Toutefois, bien que répertoriées, lorsque ces petites exploitations isolées ne permettent pas de communication entre sous-unités, elles ont été écartées du travail de synthèse hydrogéologique.
- Les différentes couches exploitées sont superposées (Figure 29) et communiquent principalement entre elles par le biais de bures et de travers-bancs.

Une cartographie minutieuse de tous ces drains verticaux a donc été nécessaire, afin de détailler les communications entre couches.

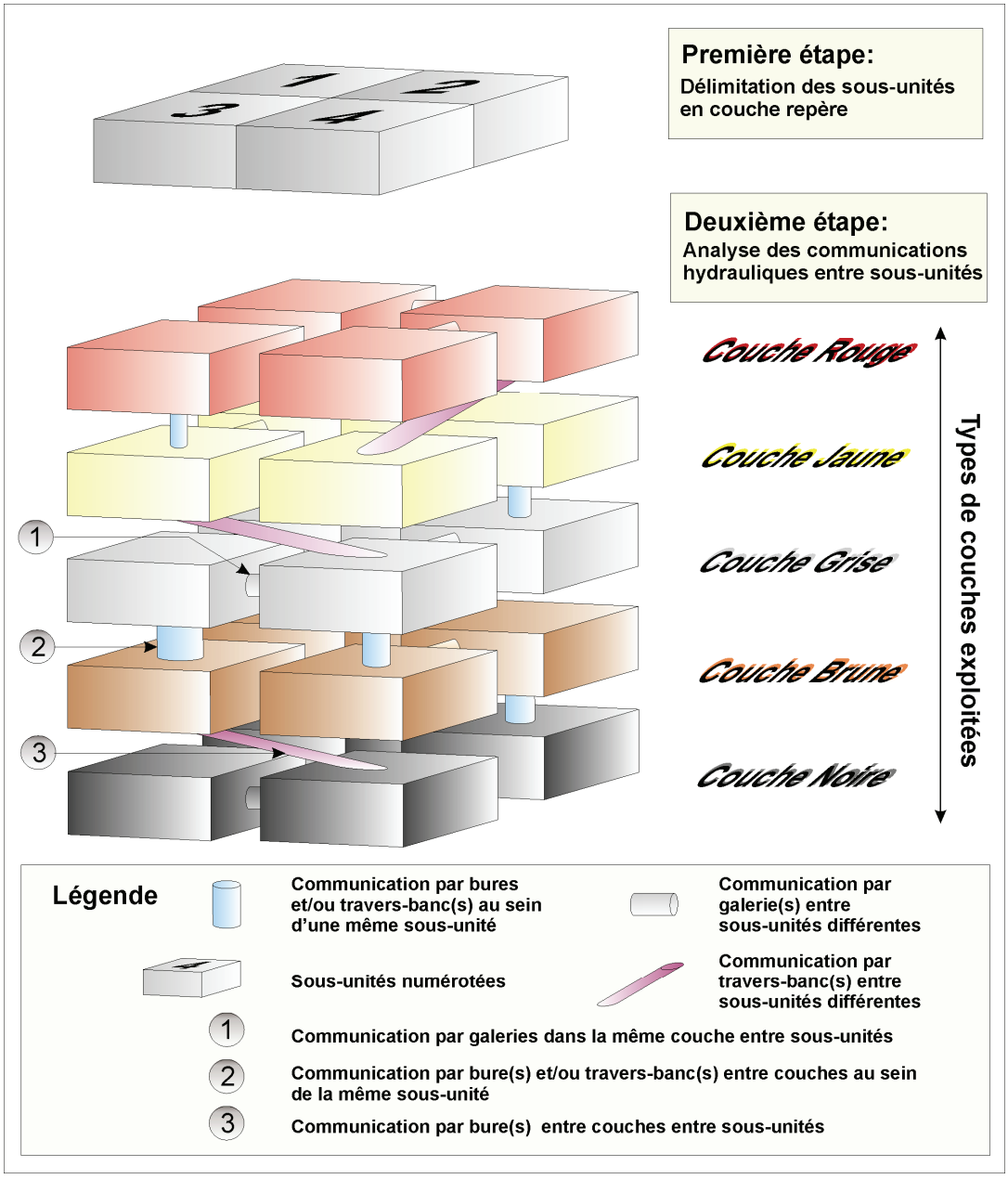


Figure 36 – Schéma conceptuel de la démarche d'analyse cartographique multicouche et de la représentation des communications hydrauliques entre couches et entre sous-unités

La Figure 36 schématise la démarche d'analyse cartographique multicouche adoptée, et montre les différents types de communications pris en compte au sein d'une même sous-unité, ainsi qu'entre les sous-unités.

4.4.2. Schémas des communications hydrauliques multicouche en zone noyée

Au terme de ce travail d'analyse des plans miniers, on dispose d'informations cartographiques pour tous les travaux miniers, quelle que soit leur taille, pour chaque réservoir, chaque couche exploitée, chaque sous-unités, ainsi que le détail de leurs communications dans les trois dimensions de la formation aalénienne. De cette synthèse détaillée n'ont finalement été retenus que les ensembles de travaux permettant, directement ou indirectement, une communication entre sous-unités différentes.

Afin de représenter graphiquement, en trois dimensions, le fonctionnement hydrogéologique de chaque réservoir, une schématisation des communications hydrauliques en zone noyée entre sous-unités différentes a été réalisée (Planches 18 à 21) :

- 4 plans superposés sont visibles sur chaque schéma, représentant les couches principales permettant les communications entre sous-unités d'un même bassin.
- Les sous-unités ont été individualisées sous forme de jetons : une sous-unité est constituée d'autant de jetons qu'elle possède d'exploitations en couches différentes (à condition que ces exploitations lui permettent de communiquer avec les autres sous-unités).
- Les communications sont représentées par des figurés dont l'épaisseur est proportionnelle au nombre de galeries ou de bures concernés.
- Le détail des concessions constituant les différentes sous-unités hydrogéologiques est rappelé en légende.

La construction de ces schémas de synthèse, permettant la visualisation directe des communications hydrauliques en trois dimensions, sera un outil précieux dans la compréhension du fonctionnement hydrogéologique de chaque réservoir, ainsi que dans l'analyse comparée de leurs fonctionnements.

4.5. PREMIERE APPLICATION PRATIQUE : INTERPRETATION DE LA VARIABILITE DES CONCENTRATIONS EN SULFATE DANS LES RESERVOIRS MINIERS

Les mesures de concentration en sulfate effectuées dans les réservoirs ennoyés Centre et Sud montrent l'existence d'une variabilité entre réservoirs, mais aussi au sein d'un même réservoir. Selon le modèle conceptuel de structure et de fonctionnement qui se dégage au terme de ce travail, il est possible d'interpréter cette variabilité en considérant que le stock de sulfate initial d'une sous-unité est corrélé au pourcentage de zones foudroyées, puisque ce sont ces dernières qui sont majoritairement à l'origine de la néoformation de gypse (Collon et al, 2004). Toutes les informations nécessaires sont désormais disponibles pour tenter une telle interprétation (Tableau 4).

4.5.1. Le cas du réservoir Centre

L'évolution de la qualité de l'eau en sulfates du bassin Centre n'a pas été significative depuis l'ennoyage, c'est pourquoi le Tableau 4 présente uniquement les valeurs autour desquelles les concentrations sont stabilisées. A la lecture de ce tableau, on observe que :

- le puits **Amermont III** présente à la fois le plus fort pourcentage en zones foudroyées, les eaux d'exhaure les plus concentrées en sulfate avant l'ennoyage, ainsi que les concentrations en sulfate les plus élevées depuis l'ennoyage ;
- le puits **Anderny II** présente le plus faible pourcentage en zones foudroyées, les eaux d'exhaure les moins concentrées en sulfate avant ennoyage, ainsi que les concentrations en sulfate les moins élevées depuis l'ennoyage : les caractéristiques du puits Anderny II sont donc diamétralement opposées à celles du puits Amermont III ;

Il est à noter que le puits **Tucquegnieux I** a la particularité d'appartenir à une sous-unité qui est fortement connectée, via 13 galeries, à une sous-unité voisine : ces galeries étant localisées à proximité du puits, les caractéristiques des deux sous-unités ont été cumulées.

Ces observations semblent donc confirmer la cohérence attendue entre les caractéristiques des principaux ouvrages de surveillance du réservoir Centre, et les caractéristiques des sous-unités dans lesquelles ils sont situés.

4.5.2. Le cas du réservoir Sud

Contrairement à ce qui est observé dans le réservoir Centre, les teneurs en sulfate du réservoir Sud ont notablement diminué depuis l'ennoyage du réservoir. Le Tableau 4 présente donc cette diminution en pourcentage de la valeur maximale moyenne atteinte en début d'ennoyage.

- Le **puits Roncourt I** possède à la fois les eaux d'exhaures les plus concentrées en sulfate avant ennoyage, la plus forte concentration en sulfate suite à l'ennoyage du bassin Sud et le plus grand pourcentage de diminution de la concentration, soit (- 44%). Cependant, contrairement à ce que l'on observe pour les puits du réservoir Centre, le pourcentage de zones foudroyées en zone noyée ne semble pas cohérent avec cette forte teneur en sulfates.
- Le **puits Droitaumont II** appartient à la mine qui présente les eaux d'exhaure les moins concentrées en sulfate avant l'ennoyage ; après l'ennoyage les concentrations en sulfate restent relativement faibles. Toutefois, bien que la surface des zones foudroyées soit relativement faible, cet ouvrage montre une très forte diminution des teneurs en sulfate. Là encore, il ne semble pas exister de corrélation simple entre la concentration maximale en sulfate et le pourcentage de zone foudroyée.

Ouvrages captants le réservoir minier	Sous-unités	Avant ennoyage	Après ennoyage	Réservoir noyé				Travaux en zone dénoyée			
		C_{SO4} mesurées durant l'exploitation minière	Evolution de la qualité de l'eau en sulfates depuis l'ennoyage	Surface des sous-unités	Surface des zones foudroyées en zone noyée			Surface des aires d'alimentation en zone dénoyée		Surface des zones foudroyées en zone dénoyée	
		mg/L	% (max en mg/L)	km²	km²	%		km²		km²	%
BASSIN CENTRE											
Amermont III	1. Amermont-Dommary	540	stable autour de 2926 mg/L	10.44	6.68	64.00		0		0	0
Tucquenieux I	12. Mairy 14. Tucquegnieux-Bettainvillers	158.5	stable autour de 1499 mg/L	27.85	13.01	46.71		0		0	0
Anderny II	15. Anderny-Chevillon Anderny-C. 1, 2 et 3 Unverzagt	151.5	stable autour de 1298 mg/L	16.09	5.23	32.50		0		0	0
St Pierremont Galerie du Woigot	13. St Pierremont	189.52	stable autour de 1402 mg/L	11.86	4.50	38.00		0		0	0
BASSIN SUD											
Roncourt I	17. Roncourt	231.94	-44% (2788)	2.76	0.93	33.62		6.39		4.14	64.79
Droitaumont II	2. Conflans Droitaumont	176.86	-40% (1813)	10.05	2.84	28.20		0		0	0
Paradis V	6. Auboué-Moineville Ste Marie *"Ouest"* Batilly-Jouaville *"Ouest"*	229.14	-20% (1908.8)	17.50	4.66	26.60		0		0	0
Galerie de Moyeuvre	8. Joeuf	209.875	-35% (1604.6)	7.08	3.53	49.80		3.22		1.031	32.02

Tableau 4 – Caractéristiques des principaux ouvrages de surveillance des réservoirs Centre et Sud et des sous-unités dans lesquelles ils sont situés.

– La **galerie de débordement de Moyeuvre** est un contre-exemple : elle draine les eaux d'une sous-unité ayant le plus fort pourcentage de zones foudroyées, et pourtant, parmi les 4 ouvrages étudiés, c'est elle qui possède la plus faible concentration maximales en sulfate depuis l'ennoyage du réservoir.

Ainsi, l'évolution des concentrations en sulfate en différents points de surveillance du réservoir Sud ne confirment pas la relation quantitative pressentie entre le pourcentage de zones foudroyées et le stock de sulfate initial, dont une mesure indirecte serait la concentration maximale atteinte après l'ennoyage.

On peut penser que cette relation, semble-t-il vérifiée dans le cas du réservoir Centre, est mise en défaut pour le réservoir Sud en raison des caractéristiques hydrogéologiques des sous-unités dans lesquelles sont situés les ouvrages étudiés :

– **pour Roncourt I et Moyeuvre** : drainage de larges surfaces de zones dénoyées, qui induit un apport important d'eau peu sulfatée dans la sous-unité ;

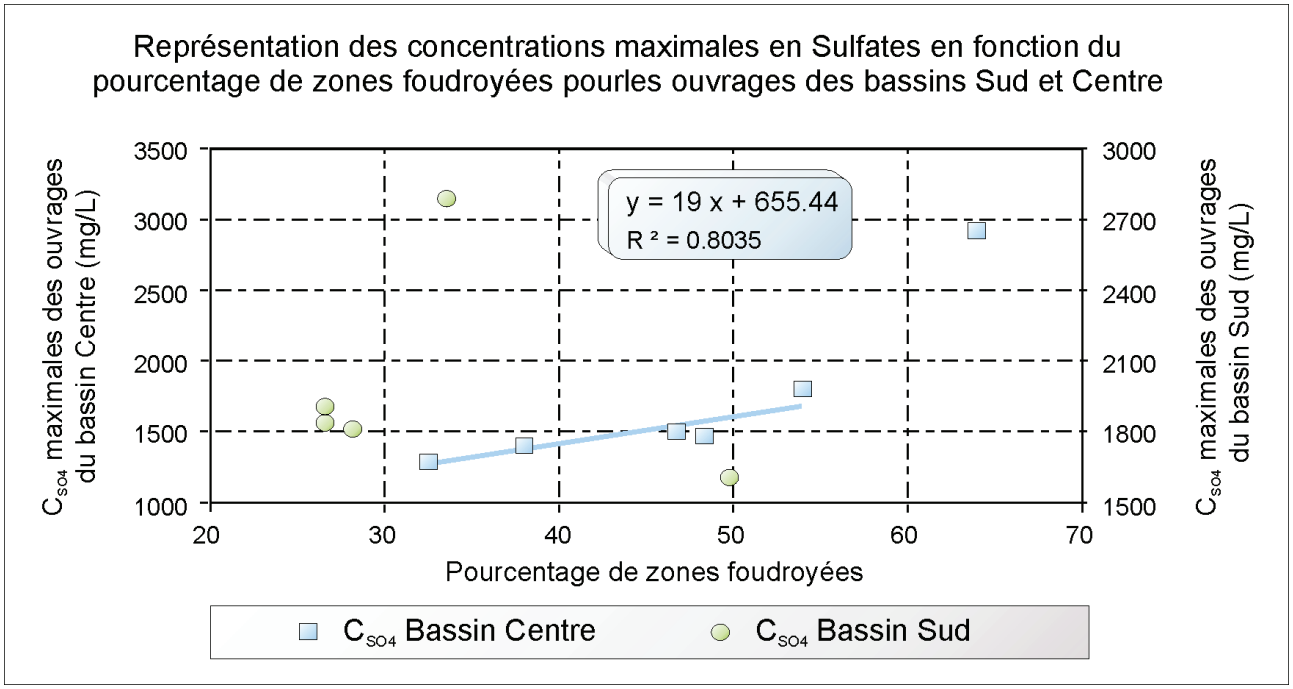
– **pour Droitaumont II** : importante contribution de la nappe du Dogger au débit d'alimentation de la sous-unité, démontrée par l'ajustement d'un modèle de débit d'exhaure.

La relation serait dans ce cas vérifiée dans le réservoir Centre pour les raisons contraires : aucune des sous-unités dans lesquelles sont situés les ouvrages étudiés n'est alimentée sur sa bordure par une zone de travaux dénoyée, et tous les modèles de débit d'exhaure peuvent être correctement ajustés sans contribution de la nappe des calcaires du Dogger au débit d'alimentation.

4.5.3. Ajustement d'un modèle linéaire

Une simple lecture du Tableau 4 permet de montrer l'existence d'une relation quantitative entre le pourcentage de zones foudroyées et la concentration maximale en sulfates de l'eau d'ennoyage. Afin de confirmer l'existence d'une telle relation, des ouvrages supplémentaires ont été étudiés. La Figure 37 comporte, outre les ouvrages détaillés dans le Tableau 4, le puits du Chevillon et le forage Burbach-Route Blanche pour le réservoir Centre, ainsi que les puits Valleroy et Auboué pour le réservoir Sud.

Il apparaît que la corrélation pressentie est démontrée en ce qui concerne le réservoir Centre : le modèle linéaire proposé présente un coefficient de corrélation significatif de 0,8. Il est à noter que le modèle ne prend pas en compte le puits Amermont III, qui présente des valeurs de concentration en sulfate très fortes. Pour le réservoir Sud, une simple loi de proportionnalité ne permet pas d'expliquer la variabilité observée au sein du bassin.



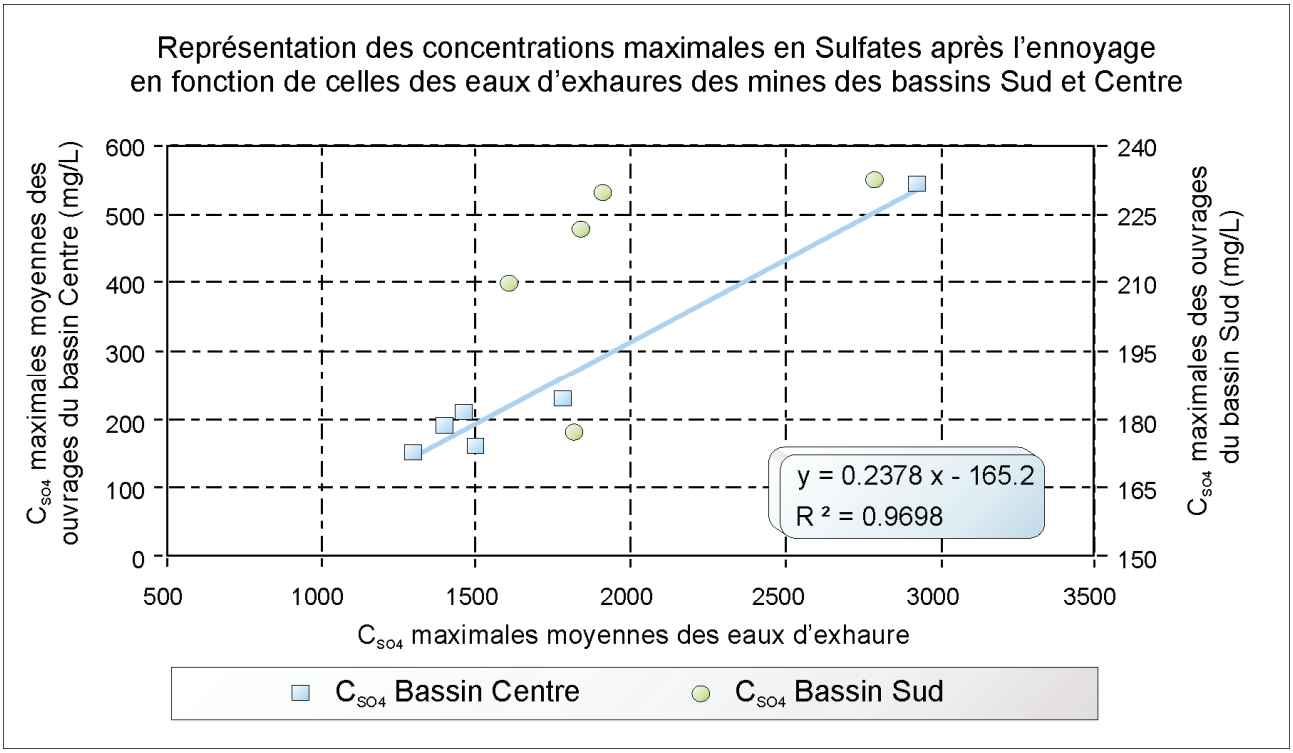


Figure 37 – Tentative d'établissement de relations quantitatives destinées à vérifier la validité du modèle conceptuel de structure et de fonctionnement du bassin ferrifère lorrain.

On peut aussi vérifier si les concentrations en sulfates avant et après ennoyage sont bien corrélées (Figure 37). En effet, si la quantité de gypse néoformé lors de la mise en exploitation de la mine est proportionnelle à la surface des zones foudroyées, l'eau d'exhaure, ayant nécessairement ruisselé dans les zones foudroyées, doit aussi être concentrée en sulfate proportionnellement à la surface des zones foudroyées. La encore, on constate que la corrélation attendue est vérifiée pour le réservoir Centre, mais pas pour le réservoir Sud, en raison des conditions complexes d'alimentation des sous-unités concernées.

5. Conclusion

Au cours de ce travail, une grande partie des données nécessaires à une modélisation numérique, et disponibles chez les différents producteurs de données, ont été recherchées, saisies et mises en forme. Le traitement de ces données a donné lieu en particulier au calcul de la recharge de chaque mine pendant la période d'exploitation, grâce à l'ajustement de modèles pluie – débit d'exhaure. La transposition de ces modèles à la période d'ennoyage devrait permettre de fournir une méthode de spatialisation de la recharge des réservoirs ennoyés.

L'analyse cartographique s'est déroulée en deux temps : dans un premier temps, l'analyse des plans d'exploitation des couches repères a permis de délimiter les sous-unités hydrogéologiques en zone noyée des réservoirs, et de dénombrer les galeries de jonction entre ces dernières ; dans un deuxième temps, les communications verticales entre couches au sein d'une même sous-unité et entre les sous-unités ont été quantifiées, afin de tenir compte de la configuration multi-couches des exploitations minières.

Les documents cartographiques produits permettent de visualiser l'ensemble des informations recueillies et analysées sous forme de cartes de synthèse. La construction de schémas de synthèse permettant la visualisation directe des communications hydrauliques en trois dimensions sera un outil précieux dans la compréhension du fonctionnement hydrogéologique de chaque réservoir, ainsi que dans l'analyse comparée de leurs fonctionnements.

A titre d'application pratique du travail de synthèse cartographique, on a montré l'existence, pour quelques sous-unités du réservoir Centre, d'une relation linéaire entre le pourcentage de zones foudroyées et la concentration maximale en sulfates de l'eau d'ennoyage, conformément au modèle conceptuel du bassin ferrifère retenu. Cette relation simple ne se vérifie pas pour le réservoir Sud, en raison de l'existence de perturbations liées aux configurations hydrogéologiques des sous-unités concernées.

Seule la construction d'un simulateur hydrologique et chimique du bassin ferrifère lorrain, prenant en compte toute la complexité de la structure multicouche des réservoirs (cf. coupe Sud-Nord du bassin ferrifère sur la planche 22), permettra, pour chaque sous-unité, la réalisation de bilans de masse et de bilans hydrologiques corrects.

6. Bibliographie

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

Baubron J-C. (1998) – Avis sur les infiltrations d'eau observées dans la partie basse de la ville de Moyeuvre-Grande (Moselle). Rapport BRGM R 40271, 27 p., 12 fig., 1 tabl., 3 ann.

Bubenicek L. (1961) – Recherche sur la constitution et la répartition des minerais de fer dans l'aalénien de Lorraine. Thèse ingénieur-docteur, Nancy, Sciences de la Terre, T. VIII (1961), n° 1-2, 204 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, INPL / ENSG-LAEGO, 246 pages.

Collon P., Fabriol R., Buès M. (2002-a) – Chemical changes in groundwater due to iron mine flooding in a non-acidic-producing environment. Proceedings SWEMP 2002, ed. R. Ciccu, Digita univ. Calgary, pp. 917-924.

Collon P., Fabriol R., Buès M. (2004) – Ennoyage des mines de fer lorraines : impact sur la qualité de l'eau. C. R. Géosciences, Vol 336, pp 889-899.

Collon P., Fabriol R., Vaute L., Pinault J.L., Buès M. (2002-b) – Modelling changes in sulphate concentration in discharge water from the abandoned iron mine of Saizerais. Proceedings SWEMP 2002, ed. R. Ciccu, Digita univ. Calgary, pp. 761-768.

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.

Kimmel M. (2000) – Contribution à l'étude des circulations hydrauliques dans le bassin ferrifère lorrain. Rapport INERIS-DRS-00-25302/R1, 73 p., 35 fig., 5 ann.

Montagne A., Tincelin E., Astier J., Varoquaux J.L. (1992) – Les mines de fer de Lorraine. Chambre syndicale des mines de fer de France, Paris, p. 17; 43; 71-77; 243.

Pinault J-L., Baubron J-C. (1996) – Signal processing of soil gas radon, atmospheric pressure, moisture, and soil temperature data : a new approach for radon concentration modeling. Journal of geophysical research, vol. 101, n° B2, p. 3157-3171.

Pinault J-L., Baubron J-C. (1997) – Signal processing of diurnal and semidiurnal variations in radon and atmospheric pressure: a new tool for accurate in situ

measurement of soil gas velocity, pressure gradient, and tortuosity. Journal of Geophysical Research, Vol. 102, n° B8, p. 101-120.

Pinault J-L., Doerfliger N., Ladouche B., Bakalowicz M. (2004) – Characterizing a coastal karst aquifer using an inverse modeling approach : The saline springs of Thau, southern France. Water Resources Research, Vol 40.

Pinault J-L., Pauwels H., Cann C. (2001-a) – Inverse modeling of the hydrological and the hydrochemical behavior of hydrosystems - Application to nitrate transport and denitrification. Water Resources Research, Vol. 37, n° 8, pp. 2179-2190.

Pinault J-L., Plagnes V., Aquilina L., Bakalowicz M. (2001-b) – Inverse modeling of the hydrological and the hydrochemical behavior of hydrosystems - Characterization of karst system functioning. Water Resources Research, Vol. 37, n° 8, p. 2191-2204.

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., Nguyen-The D., Fabriol R., Pinault J-L., Baubron J-C. (2004) – Une méthode de modélisation hydrogéologique inverse appliquée à un problème d'ingénierie : l'abaissement d'un réservoir minier ennoyé dans le bassin ferrifère lorrain., Revue Française de Géotechnique, N° 106-107, pp. 85-94.

Vaute L., Pinault J-L. (1999) – Modélisation inverse du système hydrologique « réservoir minier – nappe alluviale – Orne » à Moyeuvre-Grande. Rapport BRGM R40860, 23 p., 7 ann.

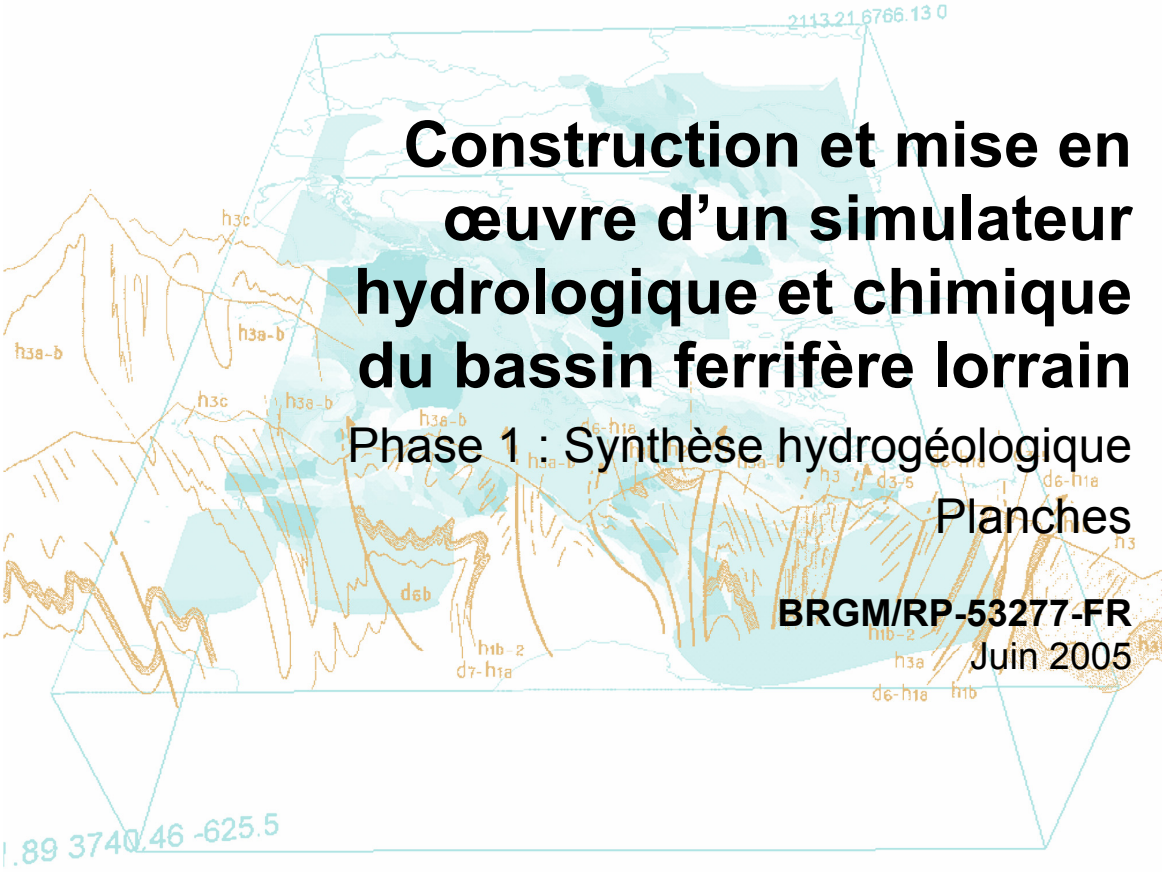


Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin – BP 6009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

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



Document public



Construction et mise en œuvre d'un simulateur hydrologique et chimique du bassin ferrifère lorrain

Phase 1 : Synthèse hydrogéologique

Planches

BRGM/RP-53277-FR
Juin 2005

DIRECTION RÉGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT LORRAINE

Agence de l'eau Rhin-Meuse

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Document public

Construction et mise en œuvre d'un simulateur hydrologique et chimique du bassin ferrifère lorrain

Phase 1 : Synthèse hydrogéologique

Planches

BRGM/RP-53277-FR
Juin 2005

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 03-EAU-D47

L. Vaute, M-O Khiat
Avec la collaboration de
A. Douche, G. Fourniguet, G. Frappier, M-J. Goubot, M. Josefiak

Vérificateur :	**Approbateur :**
Nom : R. Fabriol	Nom : M. Aguillaume
Date : 20/10/2005	Date : 20/10/2005
Original signé par R. Fabriol	Original signé par M. Aguillaume

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

DIRECTION
RÉGIONALE
DE L'ENVIRONNEMENT
LORRAINE

Agence de l'eau
Rhin Meuse

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Mots clés : bassin ferrifère lorrain, surveillance, eaux souterraines, ennoyage, débordement, réseau, niveau piézométrique, débit, qualité, analyses chimiques, simulateur, hydrologique, chimique, modèle.

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

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

© BRGM, 2005, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Liste des planches

Planche 1 – Réservoir Sud : carte de synthèse géologique simplifiée.

Planche 2 – Réservoir Centre : carte de synthèse géologique simplifiée.

Planche 3 – Réservoir Nord : carte de synthèse géologique simplifiée.

Planche 4 – Réservoir Godbrange : carte de synthèse géologique simplifiée.

Planche 5 – Réservoir Sud : carte de localisation des zones foudroyées dans les différentes couches exploitées.

Planche 6 – Réservoir Centre : carte de localisation des zones foudroyées dans les différentes couches exploitées.

Planche 7 – Réservoir Nord : carte de localisation des zones foudroyées dans les différentes couches exploitées.

Planche 8 – Réservoir Godbrange : carte de localisation des zones foudroyées dans les différentes couches exploitées.

Planche 9 – Réservoir Sud : carte de synthèse des sous-unités hydrogéologiques.

Planche 10 – Réservoir Centre : carte de synthèse des sous-unités hydrogéologiques.

Planche 11 – Réservoir Nord : carte de synthèse des sous-unités hydrogéologiques.

Planche 12 – Réservoir Godbrange : carte de synthèse des sous-unités hydrogéologiques.

Planche 13 – Réservoir Sud : carte des sous-unités hydrogéologiques et de leurs aires d'alimentation en zone dénoyée.

Planche 14 – Réservoir Centre : carte des sous-unités hydrogéologiques et de leurs aires d'alimentation en zone dénoyée.

Planche 15 – Réservoir Nord : carte des sous-unités hydrogéologiques et de leurs aires d'alimentation en zone dénoyée

Planche 16 – Réservoir Godbrange : carte des sous-unités hydrogéologiques et de leurs aires d'alimentation en zone dénoyée.

Planche 17 – Principales caractéristiques des sous-unités identifiées par l'analyse des plans miniers.

Planche 18 – Réservoir Sud : schéma des communications hydrauliques en zone noyée entre sous-unités différentes.

Planche 19 – Réservoir Centre : schéma des communications hydrauliques en zone noyée entre sous-unités différentes.

Planche 20 – Réservoir Nord : schéma des communications hydrauliques en zone noyée entre sous-unités différentes.

Planche 21 – Réservoir Godbrange : schéma des communications hydrauliques en zone noyée entre sous-unités différentes.

Planche 22 – Carte de localisation de la coupe sud-nord du bassin ferrifère lorrain.

Planche 23 – Coupe sud-nord du bassin ferrifère lorrain passant par les points de débordement permanents des réservoirs miniers ennoyés.

Bassin ferrifère lorrain - Réservoir Sud : Carte de synthèse géologique simplifiée

PLANCHE 1

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Agence de l'eau Rhin-Meuse

DIRECTION RÉGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT LORRAINE

Formation aalénienne affleurante
Pas d'écran marneux

Un écran marneux
(Marnes micacées)

Deux écrans marneux
(Marnes micacées et marnes de Gravelotte)

Trois écrans marneux
(Marnes micacées, marnes de Gravelotte et marnes à rhynchonelles)

Failles

Limite des travaux de fond des bassins *

Limite de concession

Cours d'éau

Ouvrages captant le réservoir :

- Forage ou piézomètre
- Galerie de débordement ou fuite
- Ancien puits minier

** Données issues du traitement des plans miniers numérisés, fournis par GEODERIS*

Puits Anderny II
Réservoir Centre
Piézomètre Hayange Sud
Galerie de Bois d'Avril
Conroy
Réservoir d'Hayange Sud
Puits Tucquegnieux I
Piézomètre A15 - Avril amont
Piézomètre A25 - Avril-aval
Puits du Chevillon
Source de la Chapelle au Bois (fuites)
Puits St Pierremont II
Galerie du Woigot
Forage Tijs
Puits Moyeuvre-Petite
Woigot
Orne
Galerie de Moyeuvre
Puits Auboué I
Forage de Valleroy-Moineville
Puits Róncourt I
Puits Paradis V
Orne
Forage de St Jean-lès-Buzy (ex AEP)
Puits Droitaumont II
Forage de Bagneux

N

Juin 2005

0 2,5 5
Kilomètres

Bassin ferrifère lorrain - Réservoir Centre : Carte de synthèse géologique simplifiée

PLANCHE 2

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Agence de l'eau Rhin-Meuse

DIRECTION RÉGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT LORRAINE

- Formation aalénienne affleurante (Pas d'écran marneux)
- Un écran marneux (Marnes micacées)
- Deux écrans marneux (Marnes micacées et marnes Gravelottes)
- Trois écrans marneux (Marnes micacées, marnes Gravelottes et marnes à rhynchonelles)
- Failles
- Limite des travaux de fond des bassins *
- Limite de concession
- Cours d'eau

Ouvrages captant le réservoir :

- Forage ou piézomètre
- Galerie de débordement ou fuite
- Ancien puits minier

* *Données issues du traitement des plans miniers numérisés, fournis par GEODERIS*

Puits Errouville III
Forage Serrouville
Réservoir Nord
Réservoir de Burbach
Puits exhaure d'Havange
Galerie de Burbach
Galerie exhaure de La Paix
Galerie de Fontoy
Forage Burbach - Route Blanche
Piennes
Conroy
Fensch
Puits Anderny II
Piézomètre Hayange Sud
Galerie de Bois d'Avril
Réservoir d'Hayange Sud
Puits Tucquegnieux I
Piézomètre A15 - Avril amont
Piézomètre A25 - Avril aval
Chevillon
Puits du Chevillon
Source de la Chapelle au Bois (fuites)
Puits St Pierremont II
Galerie du Woigot
Forage Tijs
Woigot
Rau de la Vallée
Conroy
Puits Moyeuvre-Petite
Puits Amermont III
Othain
Réservoir Sud
Galerie de Moyeuvre
Wroigt
Orne

N

0 2,5 5
Kilomètres

Juin 2005

PLANCHE 3

Bassin ferrifère lorrain - Réservoir Nord : Carte de de synthèse géologique simplifiée

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Agence de l'eau Rhin-Meuse

DIRECTION RÉGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT LORRAINE

Formation aalénienne affleurante
Pas d'écran marneux

Un écran marneux
(Marnes micacées)

Deux écrans marneux
(Marnes micacées et marnes de Gravelotte)

Trois écrans marneux
(Marnes micacées, marnes de Gravelotte et marnes à rhynchonelles)

Failles

Limite des travaux de fond des bassins *

Limite de concession

Cours d'eau

Ouvrages captant le réservoir :

- Forage ou piézomètre
- Galerie d'exhaure ou de débordement
- Ancien puits minier

* *Données issues du traitement des plans miniers numérisés, fournis par GEODERIS*

N

Alzette

Réservoir de Godbrange

Réservoir d'Errouville

Réservoir de Serrouville

Réservoir Centre

Réservoir de Burbach

Puits exhaure Saint-Michel

Puits exhaure François

Puits exhaure Ottange II

Puits exhaure de Bure

Puits Errouville III

Forage Serrouville

Crusnes

Conroy

Puits exhaure d'Havange

Galerie exhaure Charles Ferdinand

Galerie exhaure Angevillers

Galerie exhaure de La Paix

Galerie de Burbach

Galerie de Fontoy

Forage Burbach - Route Blanche

Fensch

0 2,5 5
Kilomètres

Mars 2005

PLANCHE 4

Bassin ferrifère lorrain - Réservoir de Godbrange : Carte de synthèse géologique simplifiée

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Agence de l'eau Rhin-Meuse

DIRECTION RÉGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT LORRAINE

N

- Formation aalénienne affleurante Pas d'écran marneux
- Une écran marneux (Marnes micacées)
- Deux écrans marneux (Marnes micacées et marnes de Gravelotte)
- Trois écrans marneux (Marnes micacées, marnes de Gravelottes et marnes à rhynchonelles)
- Failles
- Limite des travaux de fond des bassins *
- Limite de concession
- Cours d'eau

Ouvrages captant le réservoir :

- Forage ou piézomètre
- Galerie d'exhaure ou de débordement
- Ancien puits minier

* *Données issues du traitement des plans miniers numérisés, fournis par GEODERIS*

Moulaine

Galerie exhaure La Moulaine

Moulaine

Galerie débordement Godbrange

Puits Godbrange

Alzette

Puits exhaure Saint-Michel

Réservoir Nord

Puits exhaure François

Bazailles

0 2,5 5

Kilomètres

Juin 2005

Bassin ferrifère lorrain - Réservoir Sud : Carte de localisation des zones foudroyées dans les différentes couches exploitées

PLANCHE 5

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Agence de l'eau Rhin-Meuse

DIRECTION RÉGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT LORRAINE

Zones foudroyées * :

- Couche Rouge Moyenne
- Couche Rouge Principale
- Couche Jaune
- Couche Jaune
- Complexe de Couches Calcaires
- Couche Brune
- Couche Noire
- Couche Verte

- Zone noyée
- Limite des travaux de fond du bassin
- Limite de concession
- Cours d'eau

Ouvrages captant le réservoir :

- ● Forage ou piézomètre
- ▼ Galerie de débordement ou fuite
- ■ Ancien puits minier

** Données issues du traitement des plans miniers numérisés, fournis par GEODERIS*

N

Réservoir Centre
Réservoir d'Hayange Sud
Réservoir Sud

■Puits Anderny II
■Puits Tucquegnieux I
■Puits St Pierremont II
▼Galerie du Woigot
●Forage Tijs
●Piézomètre Hayange Sud
▼Galerie de Bois d'Avril
●Piézomètre A15 - Avril amont
●Piézomètre A25 - Avril aval
▼■Puits du Chevillon
Source de la Chapelle au Bois (fuites)
■Puits Moyeuvre-Petite
▼Galerie de Moyeuvre
■Puits Auboué I
●Forage de Valleroy-Moineville
■Puits Roncourt I
■Puits Paradis V
●Forage de St Jean-lès-Buzy (ex-AEP)
■Puits Droitaumont II
●Forage de Bagneux

Conroy
Woigot
Orne
Orne

Juin 2005

0 2,5 5
Kilomètres

Bassin ferrifère lorrain - Réservoir Centre : Carte de localisation des zones foudroyées dans les différentes couches exploitées

PLANCHE 6

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Agence de l'eau Rhin-Meuse

DIRECTION RÉGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT LORRAINE

Zones foudroyées * :

- Couche Rouge Principale
- Complexe [Jaune Principale - Grise
- Couche Grise
- Complexe [Brune - Noire]
- Couche Noire
- Zone noyée
- Limite des travaux de fond du bassin
- Limite de concession
- Cours d'eau

Ouvrages captant le réservoir :

- Forage ou piézomètre
- Galerie de débordement ou fuite
- Ancien puits minier

** Données issues du traitement des plans miniers numérisés, fournis par GEODERIS*

Puits Errouville III
Forage Serrouville
Réservoir Nord
Réservoir de Burbach
Puits exhaure d'Havange
Galerie de Burbach
Galerie exhaure de La Paix
Galerie de Fontoy
Forage Burbach - Route Blanche
Piennes
Conroy
Fensch
Puits Anderny II
Piézomètre Hayange Sud
Galerie de Bois d'Avril
Réservoir d'Hayange Sud
Puits Tucquegnieux I
Piézomètre A15 - Avril amont
Piézomètre A25 - Avril aval
Chevillon
Puits du Chevillon
Source de la Chapelle au Bois (fuites)
Puits St Pierremont II
Galerie du Woigot
Forage Trijs
Woigot
Rau de la Vallée
Conroy
Puits Moyeuvre-Petite
Réservoir Sud
Galerie de Moyeuvre
Puits Amermont III
Othain
Woigot
Orne

N

0 2,5 5
Kilomètres

Juin 2005

PLANCHE 7

Bassin ferrifère lorrain - Réservoir Nord : Carte de localisation des zones foudroyées dans les différentes couches exploitées

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Agence de l'eau Rhin-Meuse

DIRECTION RÉGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT LORRAINE

Zones foudroyées * :

- Couche Rouge Supérieure
- Couche Rouge Moyenne
- Couche Rouge Principale
- Couche Jaune Sauvage
- Couche Jaune Principale
- Complexe de Couches Calcaires
- Couche Grise
- Couche Brune
- Couche Noire
- Couche Verte

- Zone noyée future
- Zone noyée
- Limite des travaux de fond du bassin *
- Limite de concession
- Cours d'eau

Ouvrages captant le réservoir :

- ● Forage ou piézomètre
- ▼ Galerie d'exhaure ou de débordement
- ■ Ancien puits minier

** Données issues du traitement des plans miniers numérisés, fournis par GEODERIS*

0 2,5 5
Kilomètres

N

Réservoir de Godbrange

Réservoir d'Errouville

Réservoir de Serrouville

Réservoir Centre

Réservoir de Burbach

Alzette

Crusnes

Conroy

Fensch

■Puits exhaure Saint-Michel

■Puits exhaure François

■Puits exhaure Ottange II

Puits exhaure de Bure ■

■Puits Errouville III

●Forage Serrouville

Galerie exhaure Charles Ferdinand

■Puits exhaure d'Havange

Galerie exhaure Angevillers

▼Galerie exhaure de La Paix

▼Galerie de Burbach

▼Galerie de Fontoy

●Forage Burbach - Route Blanche

Juin 2005

PLANCHE 8

Bassin ferrifère lorrain - Réservoir de Godbrange : Carte de localisation des zones foudroyées dans les différentes couches exploitées

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Agence de l'eau Rhin-Meuse

DIRECTION RÉGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT LORRAINE

Zones foudroyées * :

- Couche Grise
- Couche Brune
- Couche Noire
- Couche Verte
- Complexe [Noire - Verte]

- Zone noyée
- Limite des travaux de fond du bassin *
- Limite de concession
- Cours d'eau

Ouvrages captant le réservoir :

- ● Forage ou piézomètre
- ▼ Galerie d'exhaure ou de débordement
- ■ Ancien puits minier

** Données issues du traitement des plans miniers numérisés, fournis par GEODERIS*

Moulaine

▼Galerie exhaure La Moulaine

Moulaine

▼Galerie débordement Godbrange

■Puits Godbrange

Alzette

■Puits exhaure Saint-Michel

Réservoir Nord

■Puits exhaure François

Bazailles

N

0 2,5 5

Kilomètres

Juin 2005

Bassin ferrifère lorrain - Réservoir Sud :
Carte de synthèse des sous-unités hydrogéologiques

PLANCHE 9

brgm — Géosciences pour une Terre durable

Agence de l'eau Rhin-Meuse

DIRECTION RÉGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT LORRAINE

Sous-unités hydrogéologiques

X Numéros des sous-unités hydrogéologiques

Zones foudroyées *
(toutes couches exploitées confondues)

Zone noyée

Limite des travaux de fond du bassin

Limite de concession

Cours d'eau

Ouvrages captant le réservoir :

- Forage ou piézomètre
- Galerie de débordement ou fuite
- Ancien puits minier

* *Données issues du traitement des plans miniers numérisés, fournis par GEODERIS*

N

Puits Anderny II

Réservoir Centre

Puits Tucquegnieux I

Piézomètre Hayange Sud

Galerie de Bois d'Avril

Conroy

Réservoir d'Hayange Sud

Piézomètre A15 - Avril amont

Piézomètre A25 - Avril aval

Puits du Chevillon

Source de la Chapelle au Bois (fuites)

Réservoir Sud

Puits St Pierremont II

Galerie du Woigot

Forage Tijs

Puits Moyeuvre-Petite

Woigot

Orne

9

8

Galerie de Moyeuvre

11

10

7

Puits Auboué I

Forage de Valleroy-Moineville

6

Puits Paradis V

Puits Roncourt I

16

17

5

15

12

14

13

Orne

Forage de St Jean-lès-Buzy (ex AEP)

4

2

Puits Droitaumont II

3

1

Forage de Bagneux

Juin 2005

0 2,5 5

Kilomètres

Bassin ferrifère lorrain - Réservoir Centre :
Carte de synthèse des sous-unités hydrogéologiques

PLANCHE 10

brgm — Géosciences pour une Terre durable

Agence de l'eau Rhin-Meuse

DIRECTION RÉGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT LORRAINE

Sous-unités hydrogéologiques

X Numéros des sous-unités

Zones foudroyées * (toutes couches exploitées confondues)

Zone noyée

Limite des travaux de fond du bassin *

Limite de concession

Cours d'eau

Ouvrages captant le réservoir :

- ● Forage ou piézomètre
- ▼ Galerie de débordement ou fuite
- ■ Ancien puits minier

** Données issues du traitement des plans miniers numérisés, fournis par GEODERIS*

Réservoir Nord

Réservoir de Burbach

Réservoir d'Hayange Sud

Réservoir Sud

■Puits Errouville III

●Forage Serrouville

■Puits exhaure d'Havange

Galerie de Burbach

Galerie exhaure de La Paix

▼Galerie de-Fontoy

Forage Burbach - Route Blanche

●Piézomètre Hayange Sud

▼Galerie de Bois d'Avril

●Piézomètre A15 - Avril amont

●Piézomètre A25 - Avril aval

▼■Puits du Chevillon

Source de-la Chapelle au Bois (fuites)

■Puits Anderny II

■Puits Tucquegnieux I

■Puits St Pierremont II

▼Galerie du Woigot

●Forage Tijs

■Puits Moyeuvre-Petite

Galerie de Moyeuvre

■Puits Amermont III

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19

Piennes · Conroy · Fensch · Chevillon · Woigot · Rau de la Vallée · Conroy · Woigot · Orne · Othain

N

0 2,5 5

Kilomètres

Juin 2005

PLANCHE 11

Bassin ferrifère lorrain - Réservoir Nord : Carte de synthèse des sous-unités hydrogéologiques

brgm — Géosciences pour une Terre durable

Agence de l'eau Rhin-Meuse

DIRECTION RÉGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT LORRAINE

Sous-unités hydrogéologiques homogènes

X Numéros des sous-unités

Zones foudroyées * (toutes couches exploitées confondues)

Zone noyée future

Zone noyée

Limite des travaux de fond du bassin

Limite de concession

Cours d'eau

Ouvrages captant le réservoir :

● Forage ou piézomètre

▼ Galerie d'exhaure ou de débordement

■ Ancien puits minier

** Données issues du traitement des plans miniers numérisés, fournis par GEODERIS*

Alzette

Réservoir de Godbrange

■Puits exhaure Saint-Michel

■Puits exhaure Ottange II

■Puits exhaure François

Réservoir d'Errouville

Réservoir de Serrouville

■Puits Errouville III

●Forage Serrouville

Crusnes

■Puits exhaure de Bure

Galerie exhaure Charles Ferdinand

1 2 3 4 5 6 6' 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16

Conroy

Galerie exhaure Angevillers

■Puits exhaure d'Havange

Réservoir de Burbach

▼Galerie exhaure de La Paix

▼Galerie de Burbach

▼Galerie de Fontoy

●Forage Burbach - Route Blanche

Fensch

Réservoir Centre

N

0 2,5 5

Kilomètres

Juin 2005

PLANCHE 12

bassin ferrifère lorrain - Réservoir de Godbrange : Carte de synthèse des sous-unités hydrogéologiques

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Agence de l'eau Rhin-Meuse

DIRECTION RÉGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT LORRAINE

Sous-unités hydrogéologiques homogènes

X Numéros des sous-unités

Zones foudroyées *
(toutes couches exploitées confondues)

Zone noyée

Limite des travaux de fond du bassin

Limite de concession

Cours d'eau

Ouvrages captant le réservoir :

- Forage ou piézomètre
- ▼ Galerie d'exhaure ou de débordement
- ■ Ancien puits minier

** Données issues du traitement des plans miniers numérisés, fournis par GEODERIS*

Moulaine

▼Galerie exhaure La Moulaine

Moulaine

▼Galerie débordement Godbrange

Alzette

1

■Puits Godbrange

2

3

4

5

6

7

■Puits exhaure Saint-Michel

Réservoir Nord

■Puits exhaure François

Bazailles

N

0 2,5 5

Kilomètres

Juin 2005

Bassin ferrifère lorrain - Réservoir Sud : Carte des sous-unités hydrogéologiques et de leurs aires d'alimentation en zone dénoyée

PLANCHE 13

brgm — Géosciences pour une Terre durable

Agence de l'eau Rhin-Meuse

DIRECTION RÉGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT LORRAINE

Sous-unités hydrogéologiques

X Numéros des sous-unités hydrogéologiques

Aires d'alimentation par sous-unité

Zone noyée

Limite des travaux de fond du bassin

Limite de concession

Cours d'eau

Ouvrages captant le réservoir :

● Forage ou piézomètre

▼ Galerie de débordement ou fuite

■ Ancien puits minier

** Données issues du traitement des plans miniers numérisés, fournis par GEODERIS*

N

Puits Anderny II

Réservoir Centre

Puits Tucquegnieux I

Piézomètre Hayange Sud

Galerie de Bois d'Avril

Conroy

Réservoir d'Hayange Sud

Piézomètre A15 - Avril amont

Piézomètre A25 - Avril aval

Puits du Chevillon

Source de la Chapelle au Bois (fuites)

Réservoir Sud

Puits St Pierremont II

Galerie du Woigot

Forage Tijs

Puits Moyeuvre-Petite

Woigot

Orne

Galerie de Moyeuvre

9

8

11

10

7

Puits Auboué I

Forage de Valleroy-Moineville

6

Puits Paradis V

Puits Roncourt I

16

17

15

12

14

5

13

Orne

Forage de St Jean-lès-Buzy (ex-AEP)

4

2

Puits Droitaumont II

3

1

Forage de Bagneux

Juin 2005

0 2,5 5

Kilomètres

Bassin ferrifère lorrain - Réservoir Centre : Carte des sous-unités hydrogéologiques et de leurs aires d'alimentation en zone dénoyée

PLANCHE 14

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Agence de l'eau Rhin-Meuse

DIRECTION RÉGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT LORRAINE

Sous-unités hydrogéologiques

X Numéros des sous-unités

Aire d'alimentation par sous-unité

Zone noyée

Limite des travaux de fond du bassin

Limite de concession

Cours d'eau

Ouvrages captant le réservoir :

- Forage ou piézomètre
- Galerie de débordement ou fuite
- Ancien puits minier

* Données issues du traitement des plans miniers numérisés, fournis par GEODERIS

Puits Errouville III
Forage Serrouville
Réservoir Nord
Réservoir de Burbach
Puits exhaure d'Havange
Galerie de Burbach
Galerie exhaure de La Paix
Galerie de Fontoy
Forage Burbach - Route Blanche
Piennes
Conroy
Fensch
Puits Anderny II
Piézomètre Hayange Sud
Galerie de Bois d'Avril
Réservoir d'Hayange Sud
Puits Tucquegnieux I
Piézomètre A15 - Avril amont
Piézomètre A25 - Avril aval
Chevillon
Puits du Chevillon
Source de la Chapelle au Bois (fuites)
Puits St Pierremont II
Galerie du Woigot
Forage Tijs
Woigot
Rau de la Vallée
Conroy
Puits Moyeuvre-Petite
Réservoir Sud
Galerie de Moyeuvre
Puits Amermont III
Othain
Woigot
Orne

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19

N

0 2,5 5
Kilomètres

Juin 2005

PLANCHE 15

Bassin ferrifère lorrain - Réservoir Nord : Carte des sous-unités hydrogéologiques et de leurs aires d'alimentation en zone dénoyée

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Agence de l'eau Rhin-Meuse

DIRECTION RÉGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT LORRAINE

Sous-unités hydrogéologiques homogènes

X Numéros des sous-unités

Aire d'alimentation par sous-unité

Zone noyée future

Zone noyée

Limite des travaux de fond du bassin

Limite de concession

Cours d'eau

Ouvrages captant le réservoir :

- Forage ou piézomètre
- Galerie d'exhaure ou de débordement
- Ancien puits minier

** Données issues du traitement des plans miniers numérisés, fournis par GEODERIS*

Alzette

Réservoir de Godbrange

Puits exhaure Saint-Michel

Puits exhaure François

Puits exhaure Ottange II

Réservoir d'Errouville

Réservoir de Serrouville

Puits Errouville III

Forage Serrouville

Crusnes

Puits exhaure de Bure

Galerie exhaure Charles Ferdinand

1 2 3 4 5 6 6' 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16

Conroy

Puits exhaure d'Havange

Galerie exhaure Angevillers

Réservoir de Burbach

Galerie exhaure de La Paix

Galerie de Burbach

Galerie de Fontoy

Forage Burbach - Route Blanche

Fensch

Réservoir Centre

N

0 2,5 5

Kilomètres

Juin 2005

Bassin ferrifère lorrain - Réservoir de Godbrange : Carte des sous-unités hydrogéologiques et de leurs aires d'alimentation en zone dénoyée

PLANCHE 16

brgm — Géosciences pour une Terre durable

Agence de l'eau Rhin-Meuse

DIRECTION RÉGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT LORRAINE

Sous-unités hydrogéologiques homogènes

X Numéros des sous-unités

Aire d'alimentation par sous-unité

Zone noyée

Limite des travaux de fond du bassin

Limite de concession

Cours d'eau

Ouvrages captant le réservoir :

- ● Forage ou piézomètre
- ▼ Galerie d'exhaure ou de débordement
- ■ Ancien puits minier

** Données issues du traitement des plans miniers numérisés, fournis par GEODERIS*

Moulaine

▼Galerie exhaure La Moulaine

Moulaine

▼Galerie débordement Godbrange

Alzette

1

■Puits Godbrange

2

3

4

5

6

7

■Puits exhaure Saint-Michel

Réservoir Nord

■Puits exhaure François

Bazailles

N

0 2,5 5

Kilomètres

Mars 2005

PLANCHE 17

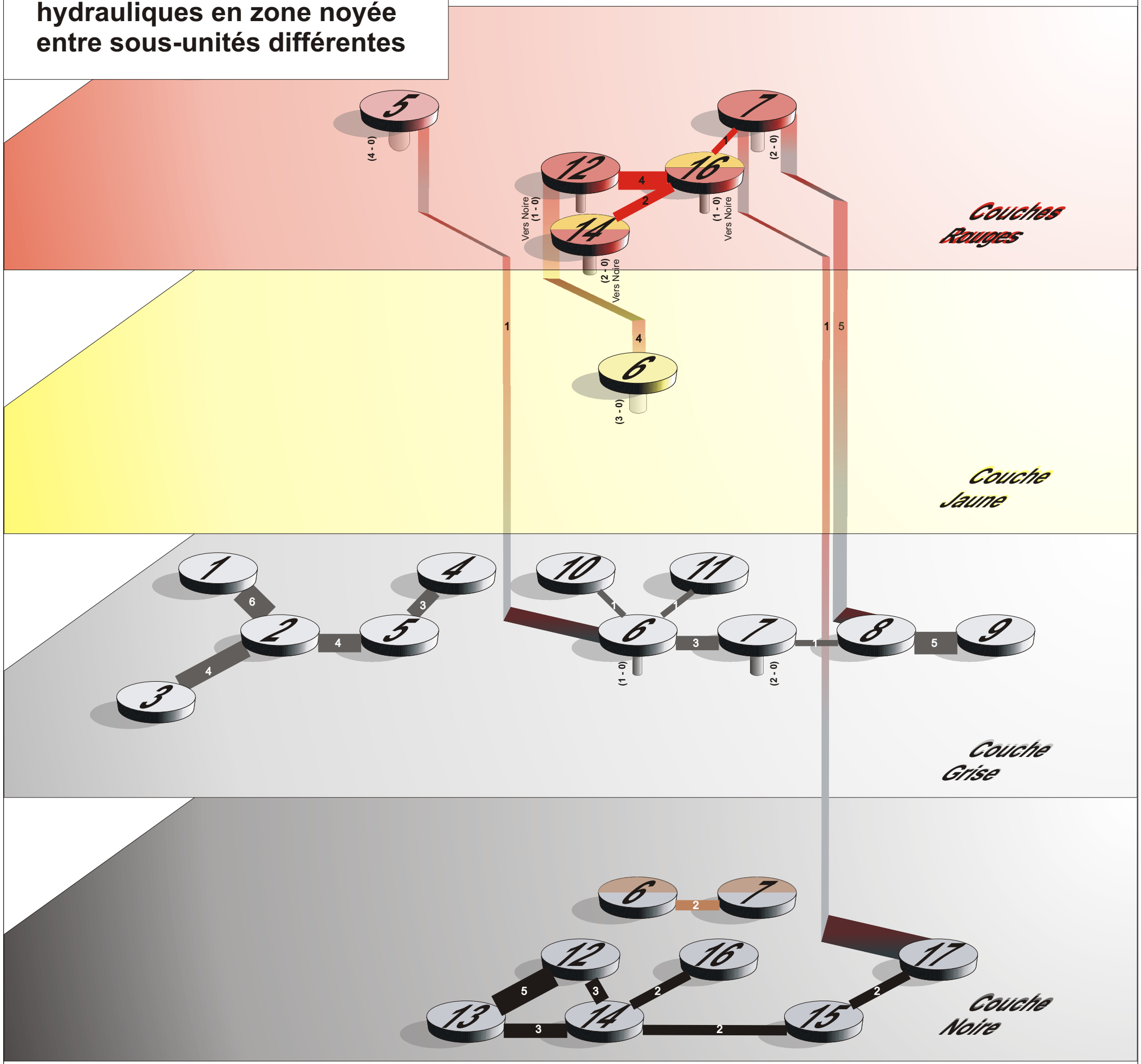
Principales caractéristiques des sous-unités identifiées par l'analyse des plans miniers

Sous-unités	Concessions	Surface de la sous-unité (km²)	Surface de l'aire d'alimentation gravitaire (km²)	Pourcentage de zones foudroyées (%)
Bassin Sud				
1	Brainville	1.82		66.9
2	Conflans Droitaumont	10.05		28.2
3	Bruville	0.99		0.0
4	Jarny	5.11		60.5
5	Labry Giraumont Fleury	11.03		32.7
6	Auboué-Moineville Ste Marie *"Ouest"* Batilly-Jouaville *"Ouest"*	17.50		26.6
7	Homecourt Rombas	17.96	6.24	44.1
8	Joeuf	7.08	3.02	49.8
9	Moyeuvre-Grande De Wendel	3.93	14.38	59.3
10	Valleroy	5.61		31.6
11	Moutier	6.78		50.0
12	Ste Marie *"Est"*	2.67		42.4
13	Batilly-Jouaville *"Est"* Verneville Garde-Schutze	6.29		41.9
14	Ste Monique	1.11	0.20	53.3
15	Ste Sabine	1.60	0.80	58.8
16	St Privas	3.32		13.3
17	Roncourt	2.75	6.39	33.7
Bassin Centre				
1	Amermont- Dommary	10.44		64.0
2	Joudreville	3.95		80.6
3	Bouligny	2.53		28.0
4	La Mourière	4.75		42.9
5	Domprix	4.10		44.2
6	Preutin-Higny Xivry-Circourt	1.83		23.5
7	Landres	4.79		58.1
8	Bertameix	2.68		35.2
9	Murville	4.03		26.6
10	Malavillers	2.55		8.9
11	Piennes	8.66		62.3
12	Mairy	10.93		22.3
13	St Pierremont	11.86		38.0
14	Tucquenieux-Bettainvillers	12.61		27.5
15	Anderny-Chevillon Anderny-Chevillon 1, 2 et 3 Unverzagt	16.09		32.5
16	Sancy Sancy 1 et 2	7.01		78.0
17	Bazonville	2.76		4.8
18	Joeuf Bois d'Avil Conroy Vereinigung	6.00	0.11	48.3
19	De Wendel	4.27	3.75	53.9
Bassin Nord				
1	François Thomas Byrne I	2.35	14.59	65.0
2	Thomas Byrne II	1.28		61.6
3	Gustave Wiesner Gustave Wiesner extension	2.51	4.35	48.8
4	Nondkeil	0.83		53.0
5	Nondkeil I	0.38		0.0
6	Hettange Grande	4.87	10.31	67.3
6'	Rochonville	0.48	2.01	
7	Tressange	4.38		44.0
8	Aumetz	0.67	2.85	45.6
9	Ida-Amélie	2.33		42.4
10	Bassompierre *"Nord"*	4.38		52.0
11	Ferdinand	8.06		47.1
12	Ste Barbe Ferdinand Sud	6.68	1.37	47.1
13	Bassompierre *"Sud"* Elisabeth	4.85		43.2
14	Bassompierre I Hermann Boulange I	2.32		19.6
15	Angevillers	4.23	6.97	70.3
16	Errouville	3.15	3.52	34.8

RECAPITULATIF			
Bassins	**Centre**	**Sud**	**Nord**
Surfaces Totales des sous-unités	121.825 km²	105.613 km²	53.757 km²
Surfaces Totales des aires d'alimentation	3.862 km²	31.76 km²	45.974 km²
Pourcentage Total d'aire d'alimentation par rapport à la surface totale des sous-unités	3.17%	30.08%	85.52%
Pourcentage Total de zone foudroyées par rapport à la surface totale des sous-unités	42.44%	38.84%	48.98%

Bassin Sud :
Schéma des communications hydrauliques en zone noyée entre sous-unités différentes

PLANCHE 18



Légende

Sous-unité hydrogéologique

Exploitation concomitante ou en complexe des couches

Communication par travers-banc(s) au sein de la même sous-unité

Communication par travers-banc(s) entre sous-unités différentes

(X - Y)

X : Communication par travers-banc(s) vers la couche Grise

Y : Communication par bure(s) vers la couche Grise

Communication à travers les zones dépilées

7 — Communication par galerie(s) et nombre de galeries associé

Exploitation de la couche Rouge Moyenne-Principale

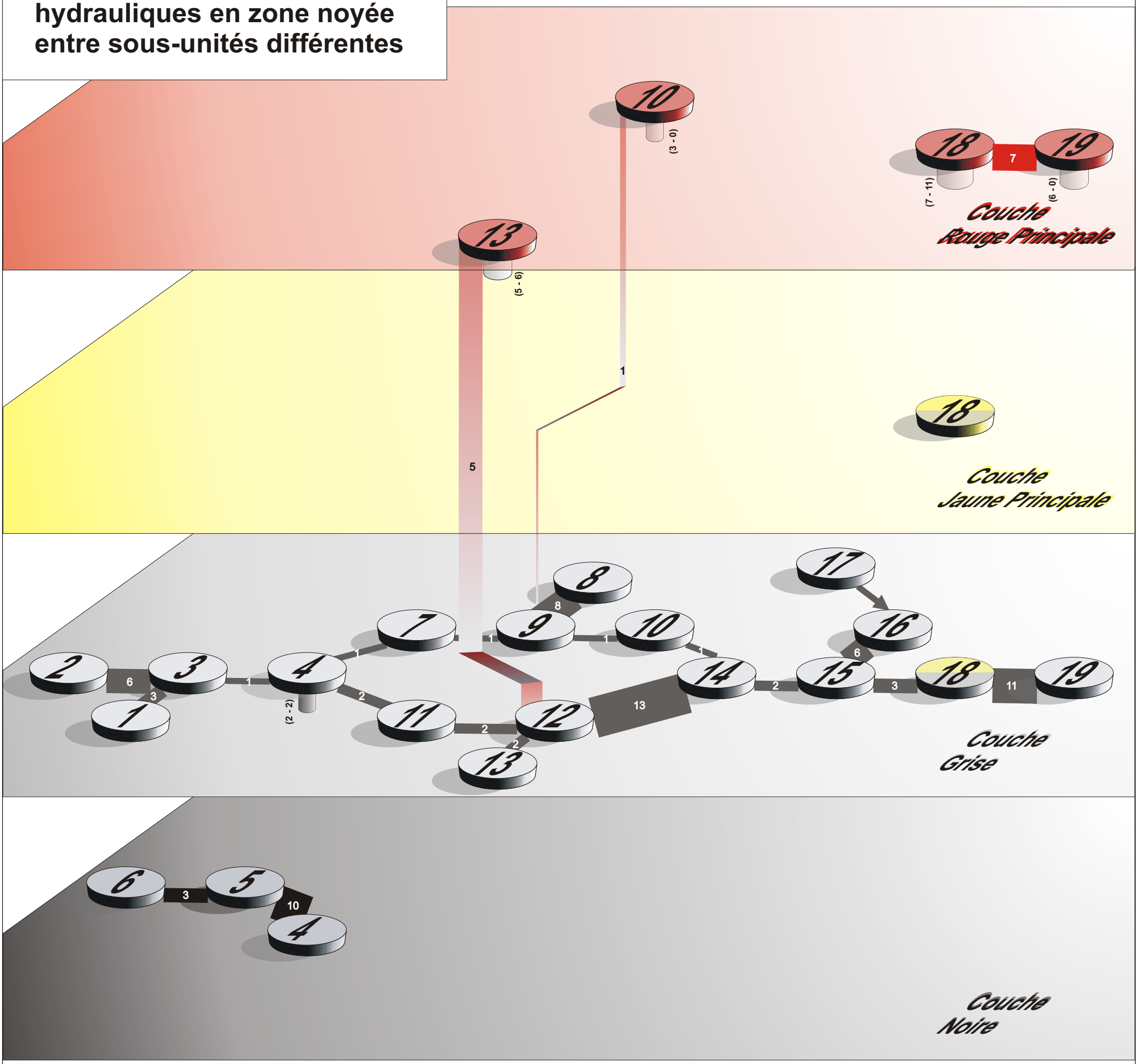
Exploitation de la couche Rouge Principale

Concessions

1. Brainville
2. Conflans
   Droitaumont
3. Bruville
4. Jarny
5. Labry
   Giraumont
   Fleury
6. Auboué-Moineville
   Ste Marie *“Ouest”*
   Batilly-Jouaville *“Ouest”*
7. Homecourt
   Rombas
8. Joeuf
9. Moyeuvre-Grande
   De Wendel
10. Valleroy
11. Moutier
12. Ste Marie *“Est”*
13. Batilly-Jouaville *“Est”*
    Verneville
    Garde Schutze
14. Ste Monique
15. Ste Sabine
16. St Privas
17. Roncourt

Bassin Centre :
Schéma des communications hydrauliques en zone noyée entre sous-unités différentes

PLANCHE 19



Légende

Sous-unité hydrogéologique

Exploitation des couches en complexe (simultanée)

Communication par travers-banc(s) au sein de la même sous-unité

Communication par travers-banc(s) entre sous-unités différentes

(X - Y)
X : Communication par travers-banc(s) vers la couche Grise
Y : Communication par bure(s) vers la couche Grise

7 — Communication par galerie(s) et nombre de galeries associé

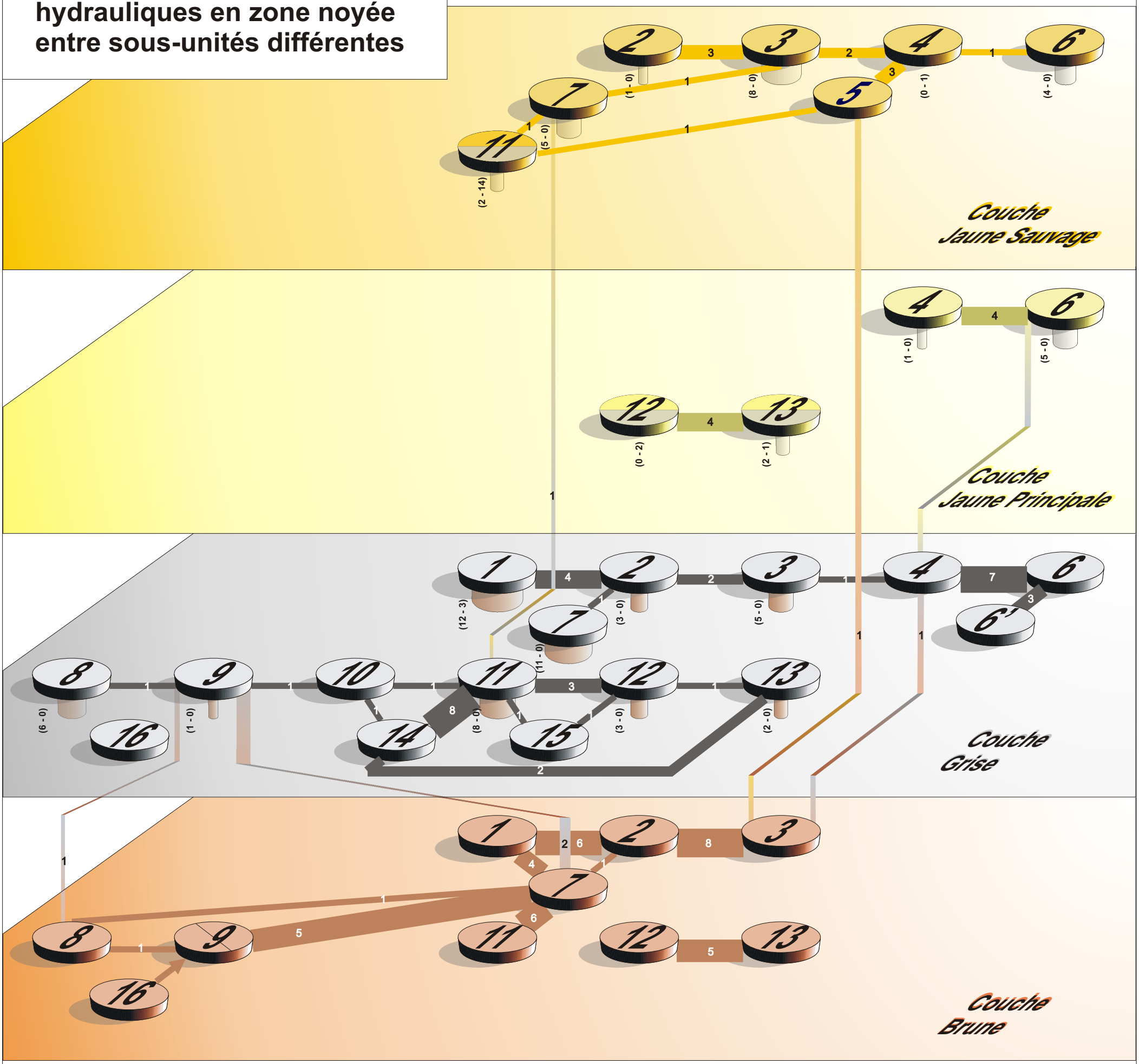
Communication à travers les zones dépilées

Concessions

1. Amermont-Dommary
2. Joudreville
3. Bouligny
4. La Mourière
5. Domprix
6. Preutin-Higny
   Xivry-Circourt
7. Landres
8. Bertameix
9. Murville
10. Malavillers
11. Piennes
12. Mairy
13. St Pierremont
14. Tucquenieux-Bettainvillers
15. Anderny-Chevillon
    Anderny-Chevillon 1, 2, 3
    Unverzagt
16. Sancy, Sancy 1 et 2
17. Bazonville
18. Joeuf
    Bois d'Avril
    Conroy
    Vereinigung
19. De Wendel

Bassin Nord :
Schéma des communications hydrauliques en zone noyée entre sous-unités différentes

PLANCHE 20



Légende

Sous-unité hydrogéologique

Exploitation des couches en complexe (simultanée)

Communication par travers-banc(s) au sein de la même sous-unité

Communication par travers-banc(s) entre sous-unités différentes

(X - Y) X : Communication par travers-banc(s) vers la couche Grise

Y : Communication par bure(s) vers la couche Grise

Communication à travers les zones dépilées

8 Communication par galerie(s) et nombre de galeries associé

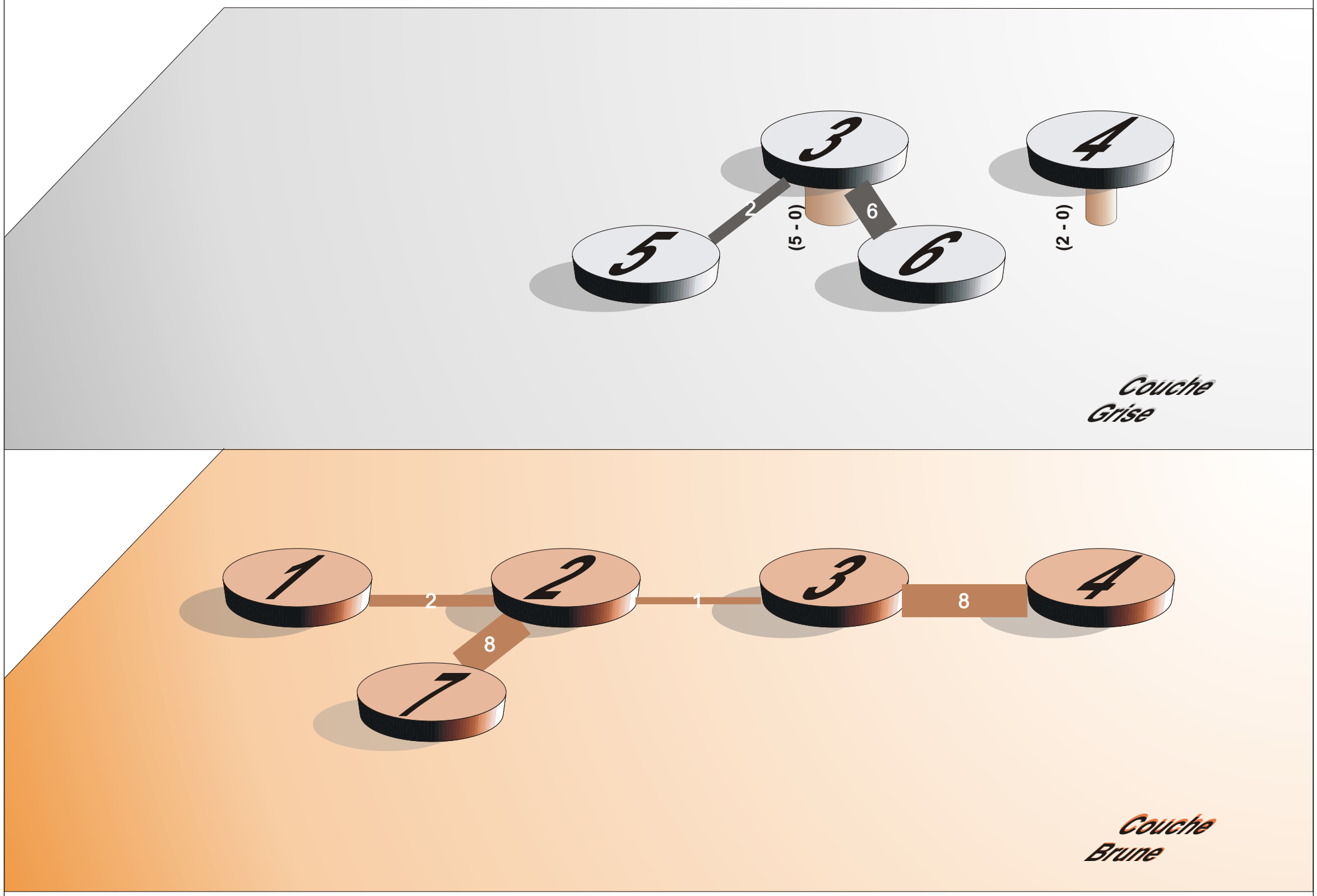
Les communications proviennent de deux exploitations en couche brune au sein de la même sous-unité

Concessions

1. François
   Thomas Byrne I
2. Thomas Byrne II
3. Gustave Wiesner
   Gustave Wiesner extension
4. Nondkeil
5. Nondkeil I
6. Hettange Grande
7. Tressange
8. Aumetz
9. Ida-Amélie
10. Bassompierre *“Nord”*
11. Ferdinand
12. Ste Barbe
    Ferdinand Sud
13. Bassompierre *“Sud”*
    Elisabeth
14. Bassompierre I
    Hermann
    Boulange I
15. Angevillers
16. Errouville

Bassin de Godbrange :
Schéma des communications hydrauliques en zone noyée entre sous-unités différentes

PLANCHE 21



Légende

Sous-unité hydrogéologique

Communication par travers-banc(s) au sein de la même sous-unité

(X - Y)

X : Communication par travers-banc(s) vers la couche Grise

Y : Communication par bure(s) vers la couche Grise

8 Communication par galerie(s) et nombre de galeries associé

Concessions

1. Godbrange
2. Tiercelet
3. Brehain
4. Crusne *“Nord”*
5. Crusne *“Sud”*
6. Fillières *“Est”*
7. Fillières *“Ouest”*

PLANCHE 22

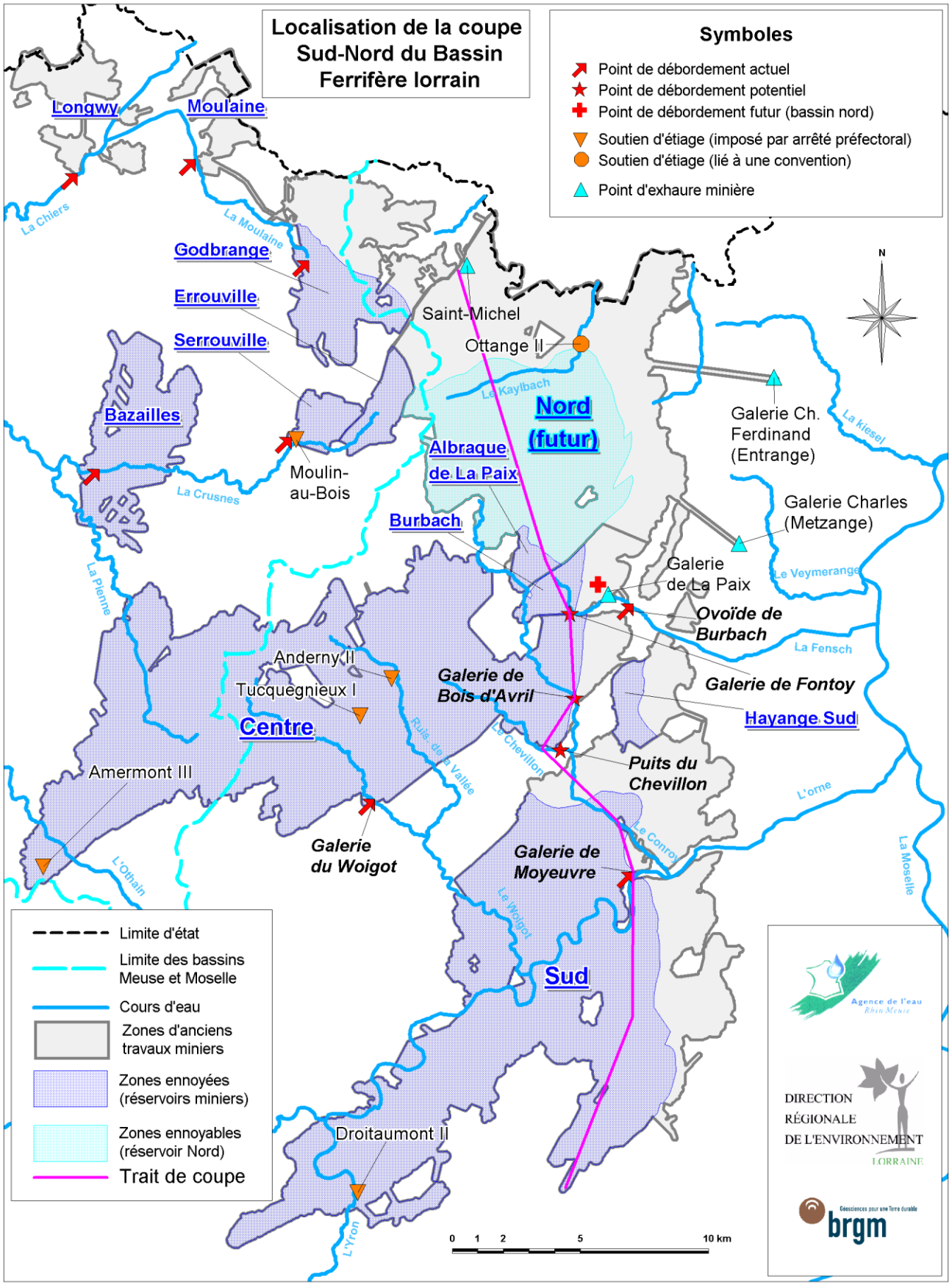
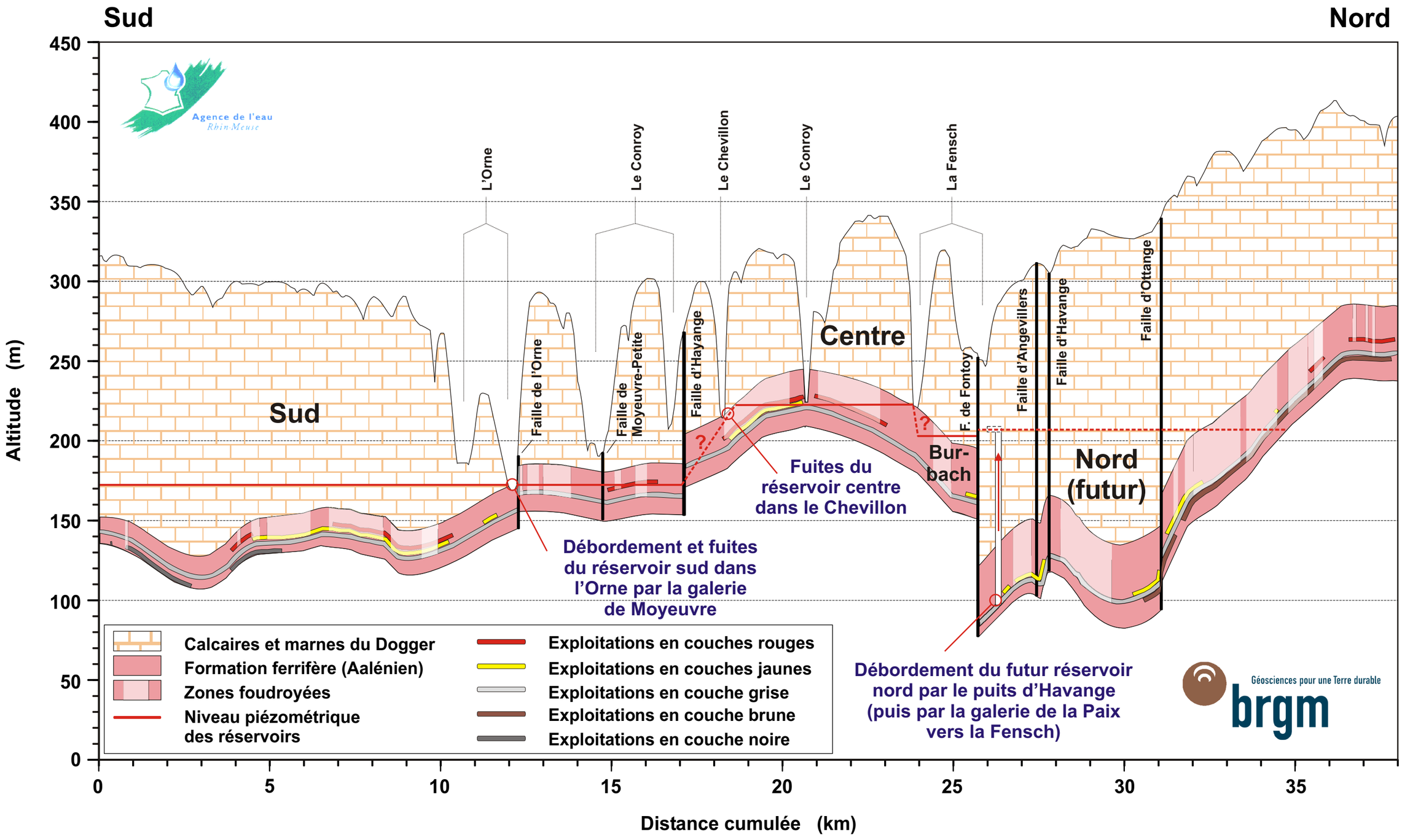

Localisation de la coupe Sud-Nord du Bassin Ferrifère lorrain
Symboles
Point de débordement actuel
Point de débordement potentiel
Point de débordement futur (bassin nord)
Soutien d'étiage (imposé par arrêté préfectoral)
Soutien d'étiage (lié à une convention)
Point d'exhaure minière
N
Longwy
Moulaine
La Chiers
La Moulaine
Godbrange
Errouville
Serrouville
Bazailles
Moulin-au-Bois
La Crusnes
La Pienne
Saint-Michel
Ottange II
La Kaylbach
Nord (futur)
Albraque
de La Paix
Burbach
Galerie Ch. Ferdinand (Entrange)
La Kiesel
Galerie Charles (Metzange)
Le Veymerange
Galerie de La Paix
Ovoïde de Burbach
La Fensch
Galerie de Fontoy
Hayange Sud
Anderny II
Tucquegnieux I
Centre
Galerie de Bois d'Avril
Ruis. de la Vallée
Le Chevillon
Puits du Chevillon
Amermont III
L'Othain
Galerie du Woigot
Le Conroi
Galerie de Moyeuvre
L'orne
La Moselle
Le Woigot
Sud
Droitaumont II
L'Yron
0 1 2 5 10 km
Limite d'état
Limite des bassins Meuse et Moselle
Cours d'eau
Zones d'anciens travaux miniers
Zones ennoyées (réservoirs miniers)
Zones ennoyables (réservoir Nord)
Trait de coupe
Agence de l'eau Rhin-Meuse
DIRECTION RÉGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT LORRAINE
brgm

PLANCHE 23

Coupe Sud-Nord du bassin ferrifère lorrain passant par les points de débordement permanents des réservoirs miniers ennoyés



Géosciences pour une Terre durable
brgm

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

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