

---

# **Modélisation hydrodynamique de l'ancienne mine de fer de Saizerais (Bassin de Nancy)**

## **Faisabilité d'une approche spatialisée**

**Y. Lucas (LAEGO - ENSMN)  
L. Vaute (BRGM)**

**Septembre 2001**

**GISOS**

Ecole des Mines  
Parc Saurupt 54042 Nancy Cedex  
tél : 03 83 58 42 81 / fax : 03 83 57 97 94  
email : [gisos@mines.u-nancy.fr](mailto:gisos@mines.u-nancy.fr)  
<http://www.mines.u-nancy.fr/gisos>

Rapport BRGM/RP-51132-FR

*Modélisation hydrodynamique de l'ancienne  
mine de fer de Saizerais*

*Faisabilité d'une approche spatialisée*

Y.Lucas et L. Vaute

Etude réalisée dans le cadre du projet de recherche du BRGM 01-RIS-R07

Septembre 2001  
BRGM/RP-51132-FR



Mots clés : Mines de fer, Hydrogéologie, Modélisation, Galeries, Modèle spatialisé

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

Y. Lucas, L.Vaute (2001) – Modélisation hydrodynamique de l'ancienne mine de fer de Saizerais. Faisabilité d'une approche spatialisée. Rapport BRGM/RP-51132-FR, 69 pages, 36 figures, 5 tableaux, 11 annexes.

© BRGM, 2001. Ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

## Synthèse

L'arrêt des pompages d'exhaure, consécutifs à l'abandon des mines du bassin ferrifère lorrain depuis une dizaine d'années, a provoqué l'envoyage d'une grande partie du réseau de galeries minières, amenant une modification du régime hydrologique et une détérioration de la qualité de l'eau souterraine, essentiellement en raison de l'augmentation de la minéralisation (sulfate, sodium, magnésium, strontium, fer, manganèse, bore et nickel).

Afin de mieux comprendre et de pouvoir prévoir l'évolution de ces phénomènes, différentes méthodes de modélisation ont été développées. Etant donné la complexité de la structure du système hydrogéologique à modéliser, les modélisations ont été dans un premier temps nécessairement globales, basées sur l'analyse des séries de données disponibles. Cependant, de telles modélisations ne peuvent avoir de valeur prédictive qu'en quelques points.

C'est pourquoi, au cours d'un stage de troisième année de l'Ecole des Mines de Nancy réalisé dans le cadre des travaux de recherche et développement du GISOS (Groupement d'Intérêt Scientifique sur l'impact et la Sécurité des Ouvrages Souterrains, structure regroupant des équipes de recherche du BRGM, de l'INERIS et de l'INPL), un essai de modélisation hydrodynamique spatialisée de l'ancienne mine de fer de Saizerais (bassin de Nancy) a été tenté. La mine de Saizerais a été choisie car elle présente l'avantage d'être de taille modeste, son réseau de galeries est de forme simple, et son bassin d'alimentation paraissait plus facile à définir, en raison d'un nombre de données plus important qu'ailleurs semblait-il.

Les résultats de cette modélisation sont satisfaisants sur les points suivants :

- Le calage reproduit bien l'évolution des deux critères de calage utilisés, à savoir la charge en un point du réseau de galeries et les volumes débordés à l'exutoire du réseau.
- Les valeurs des paramètres hydrodynamiques issues du calage respectent des ordres de grandeur couramment admis, excepté en ce qui concerne la perméabilité et le coefficient d'emmagasinement libre du Dogger. Ceci est dû à la nature karstique de cet aquifère, qu'il est très délicat de vouloir modéliser en utilisant une approche de type milieu poreux continu.
- L'utilisation de la fonctionnalité drain-conduit lors de la mise en œuvre du modèle sous MARTHE semble avoir été fructueuse : cette fonctionnalité permet un certain respect de la géométrie du réseau de galeries et de leur « état » (connexion avec l'aquifère environnant), et permet de calculer le débit et la charge dans chaque tronçon du réseau.
- Enfin, l'analyse de sensibilité prouve une relative robustesse du modèle après la phase de remplissage.

Cependant, si une certaine cohérence du modèle a été vérifiée sur l'étendue de la zone d'étude, le manque d'informations, et notamment de relevés piézométriques réguliers en divers points de la zone d'étude, fait que le modèle n'est pas validé ailleurs qu'au niveau du puits d'alimentation de Pont-à-Mousson et de la sortie de l'ancienne galerie d'exhaure : sa capacité de prédiction en est donc très fortement affectée.

Dans de telles circonstances, les apports de la modélisation spatialisée restent donc limités à l'analyse et à validation du modèle conceptuel du système modélisé, en permettant néanmoins une meilleure compréhension de la structure et du fonctionnement des aquifères.

Cette limite du modèle est d'abord le fait du manque de données, et non pas de l'outil numérique employé. L'étude a toutefois permis de mettre en lumière certaines limitations du code MARTHE pour l'objectif visé : par exemple, il n'a pas été prévu de possibilité de débordement pour les drains-conduits ; et une géométrie de réseau non hiérarchisée (réticulée par exemple) ne peut pas être modélisée.

Compte tenu des difficultés rencontrées au cours de cette étude, liées surtout au manque de données, et tout en continuant parallèlement le test de méthodes de modélisation totalement spatialisées, il est justifié de poursuivre le développement de méthodes de modélisation globales. L'un des axes de recherche du GISOS est ainsi d'introduire dans les simulateurs de réservoirs miniers développés dans les précédentes études un niveau de spatialisation cohérent avec la quantité et la qualité des données disponibles.

# Sommaire

<b>Synthèse</b> .....	<b>3</b>
<b>Sommaire</b> .....	<b>5</b>
<b>Liste des figures</b> .....	<b>7</b>
<b>Liste des tableaux</b> .....	<b>8</b>
<b>Liste des annexes</b> .....	<b>9</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>11</b>
<b>1. Présentation de la zone d'étude</b> .....	<b>13</b>
1.1 Localisation géographique .....	13
1.2 Lithostratigraphie .....	15
1.2.1 Le Jurassique inférieur : Lias .....	15
1.2.2 Le Jurassique moyen : Dogger.....	15
1.2.3 Le Jurassique supérieur : Malm .....	16
1.2.4 Formations superficielles .....	16
1.3 Géologie structurale .....	19
1.4 Hydrographie.....	19
1.4.1 La Moselle .....	19
1.4.2 Le Terrouin et l'Esche .....	19
1.5 Hydrogéologie.....	21
1.5.1 La nappe du Dogger.....	21
1.5.2 La nappe de l'Aalénien.....	21
1.5.3 Les circulations souterraines.....	21
1.5.4 Alimentation de la mine par des conduits karstiques.....	23
1.5.5 Les prélèvements AEP .....	24
1.6 Influence de la mine sur l'hydrologie du secteur .....	24
1.6.1 Avant et pendant l'ennoyage .....	24
1.6.2 Après l'ennoyage .....	24
<b>2. Construction du modèle</b> .....	<b>27</b>
2.1 Données géologiques et hydrogéologiques .....	27
2.1.1 Numérisation des couches géologiques .....	27
2.1.2 Numérisation des esquisses piézométriques .....	28
2.2 Conditions aux limites.....	29
2.2.1 La faille de Domèvre-en-Haye.....	29
2.2.2 L'Esche.....	31
2.2.3 Le Terrouin .....	33
2.2.4 Les affleurements.....	33

2.2.5	La Moselle .....	33
2.3	Conditions de recharge .....	36
2.3.1	Données météorologiques .....	36
2.3.2	Zones de réserves utiles .....	37
2.4	Paramètres hydrodynamiques .....	39
2.4.1	Perméabilités .....	39
2.4.2	Coefficients d'emmagasinement .....	40
2.5	Construction du modèle sous MARTHE .....	42
2.5.1	Limites du modèle .....	42
2.5.2	Nombre de couches .....	42
2.5.3	Galeries de la mine .....	42
2.5.4	Recharge .....	45
2.5.5	Prélèvements AEP .....	45
2.5.6	Paramètres hydrodynamiques .....	46
2.5.7	Pas de temps du régime transitoire .....	46
<b>3.</b>	<b>Présentation des résultats .....</b>	<b>47</b>
3.1	Calage en régime permanent initial .....	47
3.1.1	Résultat du calage en régime permanent .....	47
3.1.2	Paramètres utilisés pour le calage .....	47
3.2	Calage en régime transitoire de 1981 à 1987 .....	48
3.2.1	Charge dans le puits de la mine .....	49
3.2.2	Volumes débordés cumulés .....	49
3.2.3	Valeurs des paramètres hydrodynamiques calés .....	49
3.3	Cohérence du modèle .....	51
3.3.1	Vérification des limites à charge imposée .....	51
3.3.2	Comparaison à l'esquisse piézométrique de 1984 .....	53
3.4	Simulation en régime transitoire de 1987 à 1994 .....	53
3.5	Analyse de sensibilité aux paramètres .....	55
3.5.1	Perméabilité du Dogger (Figure 31) .....	55
3.5.2	Perméabilité de la formation ferrifère au niveau des galeries (Figure 32) .....	56
3.5.3	Perméabilité des Marnes micacées au droit des galeries (Figure 33) .....	56
3.5.4	Coefficient d'échange nappe-conduit (Figure 34) .....	56
3.5.5	Coefficient d'emmagasinement libre du Dogger (Figure 35) .....	56
3.5.6	Coefficient d'emmagasinement captif (Figure 36) .....	56
	<b>Conclusion .....</b>	<b>65</b>
	<b>Bibliographie .....</b>	<b>67</b>

## Liste des figures

Figure 1 – Localisation du bassin ferrifère lorrain .....	13
Figure 2 – Localisation des concessions minières dans la région de Saizerais .....	14
Figure 3 – Coupe lithostratigraphique dans la région de Dieulouard (Petit, 1995) .....	17
Figure 4 – Carte géologique (feuilles n°193, 194, 229, 230 du BRGM).....	18
Figure 5 – Réseau hydrographique et bassins versants au niveau de la mine de Saizerais .....	20
Figure 6 – Essais de traçage (modifié à partir de Le Roux et Salado, 1980).....	22
Figure 7 – Les venues d'eau dans la mine (Petit, 1995).....	23
Figure 8 – Les différents captages de la zone d'étude.....	25
Figure 9 – Coupe altimétrique de la mine (Collon et al., 2000, modifié d'après Petit, 1995) .....	26
Figure 10 – Rôle hydrologique de la faille de Domèvre-en-Haye.....	30
Figure 11 – Rôle hydrologique de l'Esche .....	32
Figure 12 – Rôle hydrologique du Terrouin .....	34
Figure 13 – Sources du Bajocien moyen et inférieur au niveau de la Moselle.....	35
Figure 14 – Coupe schématique de la Moselle .....	35
Figure 15 – Corrélation entre la pluie mensuelle aux stations de Rosières-en-Haye et Tomblaine de juillet 1981 à décembre 1988.....	36
Figure 16 – Occupation du sol autour de la mine de Saizerais (modifié à partir de Tessier, 2000).....	37
Figure 17 – Classes de réserves utiles maximales en mm (modifié à partir de Tessier, 2000).....	38
Figure 18 – Limite à charge imposée : Moselle et Terrouin.....	43
Figure 19 – Limite à charge imposée : Esche .....	43
Figure 20 – Une coupe dans le modèle où apparaissent les quatre couches.....	44
Figure 21 – Les galeries modélisées .....	44
Figure 22 – Les différentes zones de recharge liées aux différentes classes de réserve utile maximale .....	45
Figure 23 – Les différents points de prélèvement du secteur .....	46
Figure 24 – Différence entre la piézométrie calculée et l'esquisse piézométrique de 1977 pour le régime permanent initial.....	48
Figure 25 – Charge dans le puits de la mine et volumes débordés par la mine de juillet 1981 à août 1987.....	50
Figure 26 – Débits de débordement de juillet 1981 à août 1987 .....	51

Figure 27 – Comportement des limites à charge imposée dans le modèle : Terrouin et Moselle .....	52
Figure 28 – Comportement des limites à charge imposée dans le modèle : Esche .	52
Figure 29 – Comparaison à l'esquisse piézométrique de 1984.....	53
Figure 30 – Simulation de la période de surpompage.....	54
Figure 31 – Charge et volumes débordés de juillet 1981 à août 1987 pour différentes valeurs de la perméabilité du Dogger.....	59
Figure 32 – Charge et volumes débordés de juillet 1981 à août 1987 pour différentes valeurs de la perméabilité de la formation ferrifère au niveau des galeries .....	60
Figure 33 – Charge et volumes débordés de juillet 1981 à août 1987 pour différentes valeurs de la perméabilité des Marnes micacées au droit des galeries .....	61
Figure 34 – Charge et volumes débordés de juillet 1981 à août 1987 pour différentes valeurs du coefficient d'échange nappe-conduit.....	62
Figure 35 – Charge et volumes débordés par la mine de juillet 1981 à août 1987 pour différentes valeurs du coefficient d'emménagement libre du Dogger.....	63
Figure 36 – Charge et volumes débordés par la mine de juillet 1981 à août 1987 pour différentes valeurs du coefficient d'emménagement captif .....	64

## Liste des tableaux

Tableau 1 – Perméabilités issues des essais de pompage.....	39
Tableau 2 – Perméabilités issues du calage en régime permanent.....	47
Tableau 3 – Valeurs des paramètres issues du calage de juillet 1981 à août 1987 ..	49
Tableau 4 – Analyse de sensibilité sur la charge dans le puits de la mine.....	57
Tableau 5 – Analyse de sensibilité sur les volumes débordés cumulés .....	58

## **Liste des annexes**

- Annexe 1 : Bref historique de l'exploitation de la mine de Saizerais
- Annexe 2 : Méthode d'interpolation sous Surfer
- Annexe 3 : Sondages miniers
- Annexe 4 : Coupes et vérifications des interpolations
- Annexe 5 : Esquisses piézométriques utilisées
- Annexe 6 : Condition de recharge
- Annexe 7 : Fonctionnement des drains-conduits sous MARTHE
- Annexe 8 : Fichiers MARTHE relatives à la construction du modèle
- Annexe 9 : Prélèvements AEP du secteur
- Annexe 10 : Vérification de la convergence du modèle
- Annexe 11 : Documentation sur MARTHE

## **Introduction**

L'arrêt des pompages d'exhaure, consécutifs à l'abandon des mines du bassin ferrifère lorrain depuis une dizaine d'années, a provoqué l'ennoyage d'une grande partie du réseau de galeries minières, amenant une modification du régime hydrologique et une détérioration de la qualité de l'eau souterraine, essentiellement en raison de l'augmentation de la minéralisation (sulfate, sodium, magnésium, strontium, fer, manganèse, bore et nickel).

Afin de mieux comprendre et de pouvoir prévoir l'évolution de ces phénomènes, différentes méthodes de modélisation ont été développées. Etant donné la complexité de la structure du système hydrogéologique à modéliser, les modélisations ont été dans un premier temps nécessairement globales, basées sur l'analyse des séries de données disponibles. Cependant, de telles modélisations ne peuvent avoir de valeur prédictive qu'en quelques points.

C'est pourquoi, au cours d'un stage de troisième année de l'Ecole des Mines de Nancy réalisé dans le cadre des travaux de recherche et développement du GISOS (Groupement d'Intérêt Scientifique sur l'impact et la Sécurité des Ouvrages Souterrains, structure regroupant des équipes de recherche du BRGM, de l'INERIS et de l'INPL), un essai de modélisation hydrodynamique spatialisée de l'ancienne mine de fer de Saizerais (bassin de Nancy) a été tenté. La mine de Saizerais a été choisie car elle présente l'avantage d'être de taille modeste, son réseau de galeries est de forme simple, et son bassin d'alimentation paraissait plus facile à identifier, en raison d'un nombre de données plus important qu'ailleurs semblait-il. Ce rapport présente en détail la démarche retenue et les résultats obtenus.

# 1. Présentation de la zone d'étude

## 1.1 LOCALISATION GEOGRAPHIQUE

La mine de Saizerais appartient à la partie Sud du bassin ferrifère lorrain, le bassin de Nancy, la partie Nord constituant le bassin de Briey (Figure 1). La mine de Saizerais est localisée au niveau du plateau de Rosières-en-Haye (Figure 2), délimité au Sud par la vallée de la Moselle, à l'Ouest par la faille de Domèvre-en-Haye, au Nord par la vallée de l'Esche et à l'est par la faille de Dieulouard (Figure 4). Cette zone s'inscrit dans la bordure orientale du Bassin Parisien qui présente un enfoncement constant vers le centre du bassin avec un pendage d'environ  $3^\circ$ , et où la succession des couches calcaires et marneuses est attaquée de façon différentielle par l'érosion, les calcaires se terminant en falaise vers l'Est.

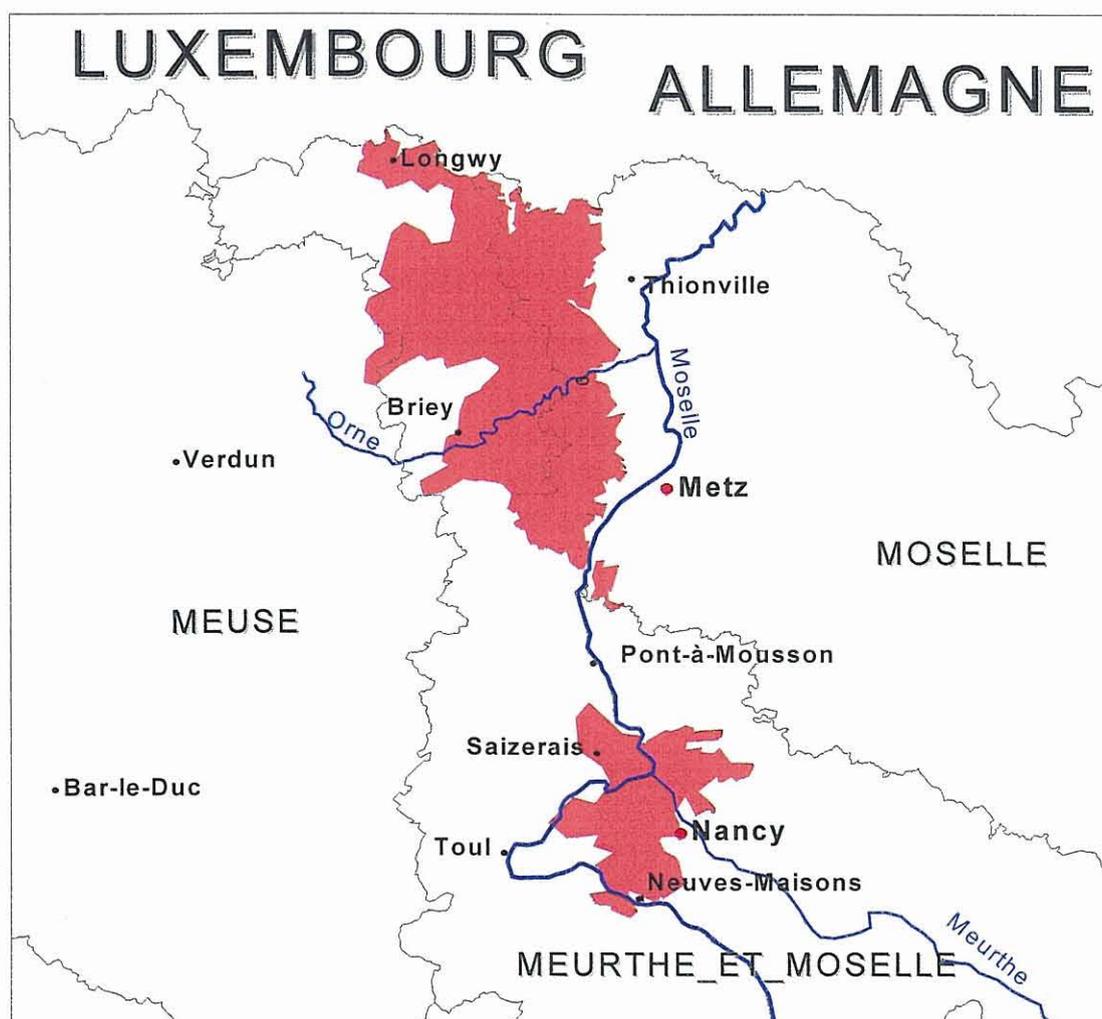


Figure 1 – Localisation du bassin ferrifère lorrain

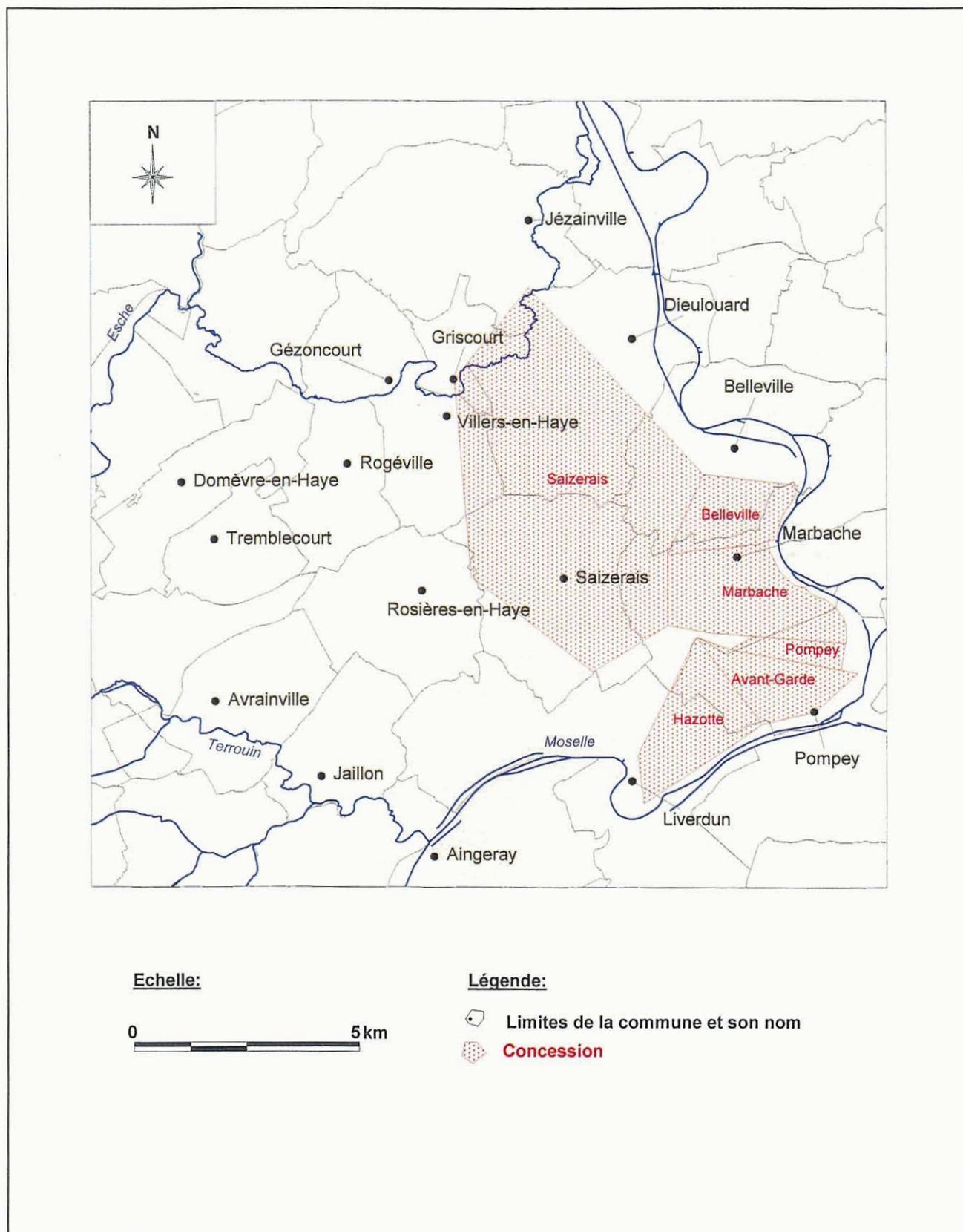


Figure 2 – Localisation des concessions minières dans la région de Saizerais

## 1.2 LITHOSTRATIGRAPHIE

Lors du creusement de la descenderie du personnel dans la mine de Saizerais, la coupe géologique des terrains a été relevée (Figure 3). Les terrains affleurant dans la zone étudiée sont représentés sur la carte géologique (Figure 4).

### 1.2.1 Le Jurassique inférieur : Lias

#### a) Le Toarcien

A la base se trouvent les "schistes cartons", puis vient une puissante série de marnes et argiles micacées, et une dizaine de mètres de grès argileux micacés termine cet étage puissant au total de 90 à 100 m.

#### b) L'Aalénien

Cet étage est constitué par une alternance de minerai de fer oolithique et de bancs de marnes calcareo-gréseuses. C'est lui qui constitue la formation ferrifère, bien que tout l'étage ne soit pas exploitable. Sa puissance est comprise entre 0 et 9 m sur notre zone d'étude (6 m environ à Saizerais), s'amenuisant vers le Nord et l'Ouest, augmentant vers le Sud. Vers le Nord, la combinaison d'un phénomène d'appauvrissement de la minéralisation et d'érosion aurait amené les couches minéralisées à prendre une forme lenticulaire et aurait provoqué l'apparition d'un conglomérat terminal de 0 à 50 cm d'épaisseur (Torcy, archives BRGM).

### 1.2.2 Le Jurassique moyen : Dogger

La série du Dogger qui surmonte la formation ferrifère est une alternance de marnes et de calcaires allant du Bajocien jusqu'au Bathonien.

#### a) Le Bajocien

##### Bajocien inférieur

On rencontre successivement de bas en haut :

- les Marnes micacées, ensemble de marnes et argiles micacées, de calcaires et de traînées conglomératiques, de quelques mètres de puissance ;
- les Calcaires sableux de Haye avec des niveaux marneux et quelques niveaux conglomératiques, de 20 m de puissance ;
- la Roche rouge, calcaire à entroques ferrugineuses, de 10 m de puissance ;
- une étroite bande de calcaire finement oolithique l'Oolithe blanche, sur 1 à 2 m.

##### Bajocien moyen

Il est représenté par une formation de Calcaires à Polypiers (25 à 30 m), plus ou moins oolithiques et de faciès variables. La masse de ces calcaires est séparée par le niveau de l'Oolithe Cannabine.

### Bajocien supérieur

Il est représenté par la série suivante :

- les Marnes de Longwy, marnes et calcaires fossilifères, puissantes de quelques mètres ;
- l'Oolithe Miliaire Inférieure ou Bâlin, niveau de calcaire oolithique blanc puissant d'une vingtaine de mètres ;
- l'Oolithe Terreuse à Clypeus ploti, alternance fossilifère de calcaires oolithiques terreux et de niveaux argileux, puissante de 25 m ;
- l'Oolithe Miliaire Supérieure ou de Royaumeix, calcaire oolithique compact blanc puissant d'une quinzaine de mètres.

### **b) Le Bathonien**

#### Bathonien inférieur

Il comprend les Caillasses à Anabacia, horizon de calcaire grossier de 6 m de puissance.

#### Bathonien moyen et supérieur

Il s'agit d'une série marneuse (marnes à Rhynchonelles) de 40 m d'épaisseur.

### **1.2.3 Le Jurassique supérieur : Malm**

Il n'est présent sur la zone d'étude que par la base des Argiles de la Woëvre, ensemble d'argiles et de marnes argileuses.

### **1.2.4 Formations superficielles**

#### **a) Les limons des plateaux**

Ce sont des produits de décalcification rougeâtres, à grains de fer, ou des alluvions anciennes formées de quartz, rencontrés de façon sporadique sur le plateau Bajocien principalement.

#### **b) Les alluvions récentes et anciennes**

Tout le long de son cours, la Moselle a déposé des éléments cristallophylliens venus des Vosges, sous forme de sable et de cailloutis principalement. Les alluvions anciennes sont formées par des traînées de galets avec un peu de sable ; les affluents de la Moselle déposent des cailloutis calcaires venus des plateaux, mêlés à des argiles.

#### **c) Les éboulis de pente**

Issus du plateau Bajocien, ils couvrent par endroit une grande partie de la pente argileuse du Toarcien : ils abaissent le griffon réel de nombreux exutoires de la base du Bajocien.

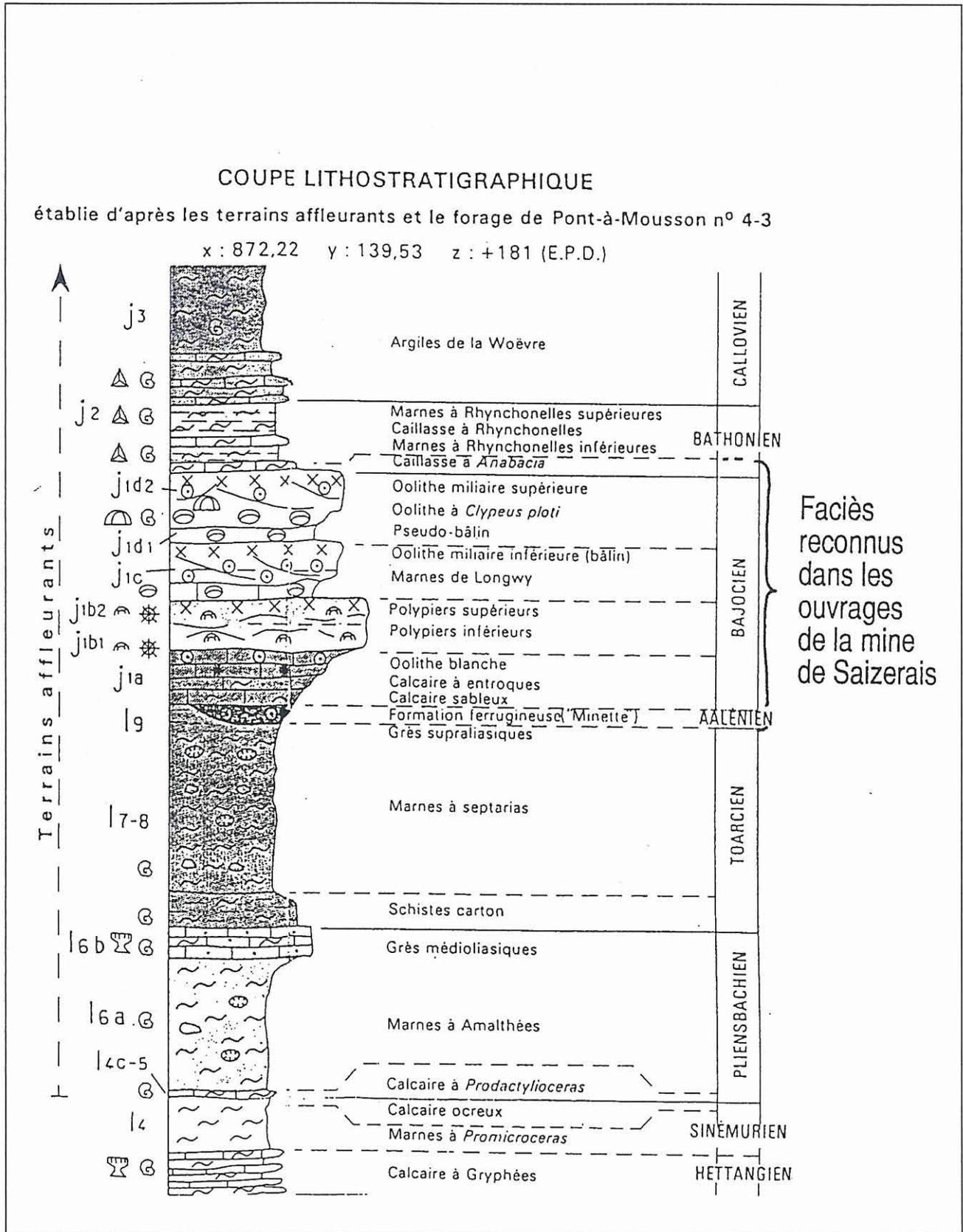


Figure 3 – Coupe lithostratigraphique dans la région de Dieulouard (Petit, 1995)

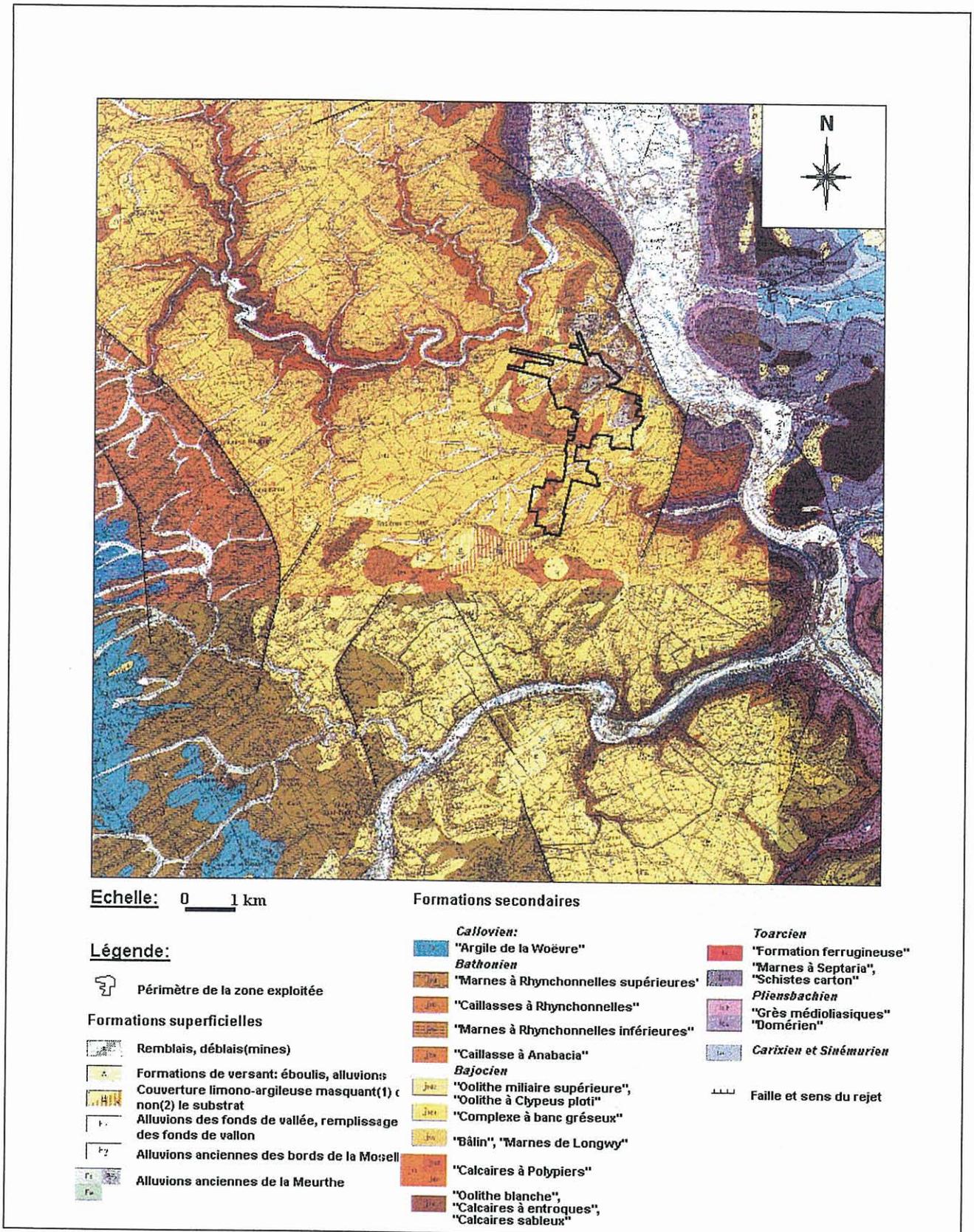


Figure 4 – Carte géologique (feuilles n°193, 194, 229, 230 du BRGM)

### 1.3 GEOLOGIE STRUCTURALE

En Lorraine, la direction NE-SW du plissement Hercynien a présidé à la distribution de la minéralisation au cours de l'Aalénien (Bichelonne et Angot, 1939). L'anticlinal de Pont-à-Mousson sépare le gisement en deux bassins, celui de Briey et celui de Nancy. La formation ferrifère au niveau de ce dernier bassin constitue à l'Ouest de Nancy un synclinal évasé dit synclinal de Haye (Bubenicek, 1961)

Les failles apparaissent au Tertiaire en contrecoup lointain de l'orogénèse alpine. Elles se répartissent en deux systèmes de cassures d'égale importance (Maubeuge, archives BRGM) : les failles directionnelles selon la direction hercynienne, et les failles de tassement plus ou moins orthogonales (Figure 4). La région de Saizerais constitue un compartiment effondré de 120 m environ par rapport à la région de Marbache-Belleville d'une part et à celle de Jézainville d'autre part. Les failles qui limitent le compartiment à l'Est et au Nord sont repérées sur la carte géologique. Au Sud et à l'Ouest, la faille de Domèvre-en-Haye limite le plateau de Haye : la plaine de la Woëvre est ainsi effondrée de 90 m (Maubeuge, archives BRGM). Les pendages ont été localement affectés par cette tectonique : ils sont de 15 à 30° vers l'Ouest au rocher de Dieulouard et de près de 40° vers l'Est à Jézainville.

Le plissement Hercynien et le jeu de ces failles ont donné au niveau de Dieulouard un relief en "cuvette".

### 1.4 HYDROGRAPHIE

#### 1.4.1 La Moselle

La Moselle s'écoule en fermant le plateau de Rosières-en-Haye au Sud, l'entaillant en une profonde vallée, qui s'élargit en direction du Nord à partir de Frouard (Figure 5).

#### 1.4.2 Le Terrouin et l'Esche

Sur le plateau calcaire de Rosières-en-Haye, il n'existe pas d'écoulements superficiels pérennes en dehors du Terrouin et de l'Esche, la nature karstique des terrains affleurants entraînant l'infiltration rapide des eaux de ruissellement. Ces deux affluents rive gauche de la Moselle, alimentés par le réseau hydrographique assez dense de la plaine de la Woëvre, entaillent le plateau calcaire en des vallées parfois très encaissées (Figure 5).

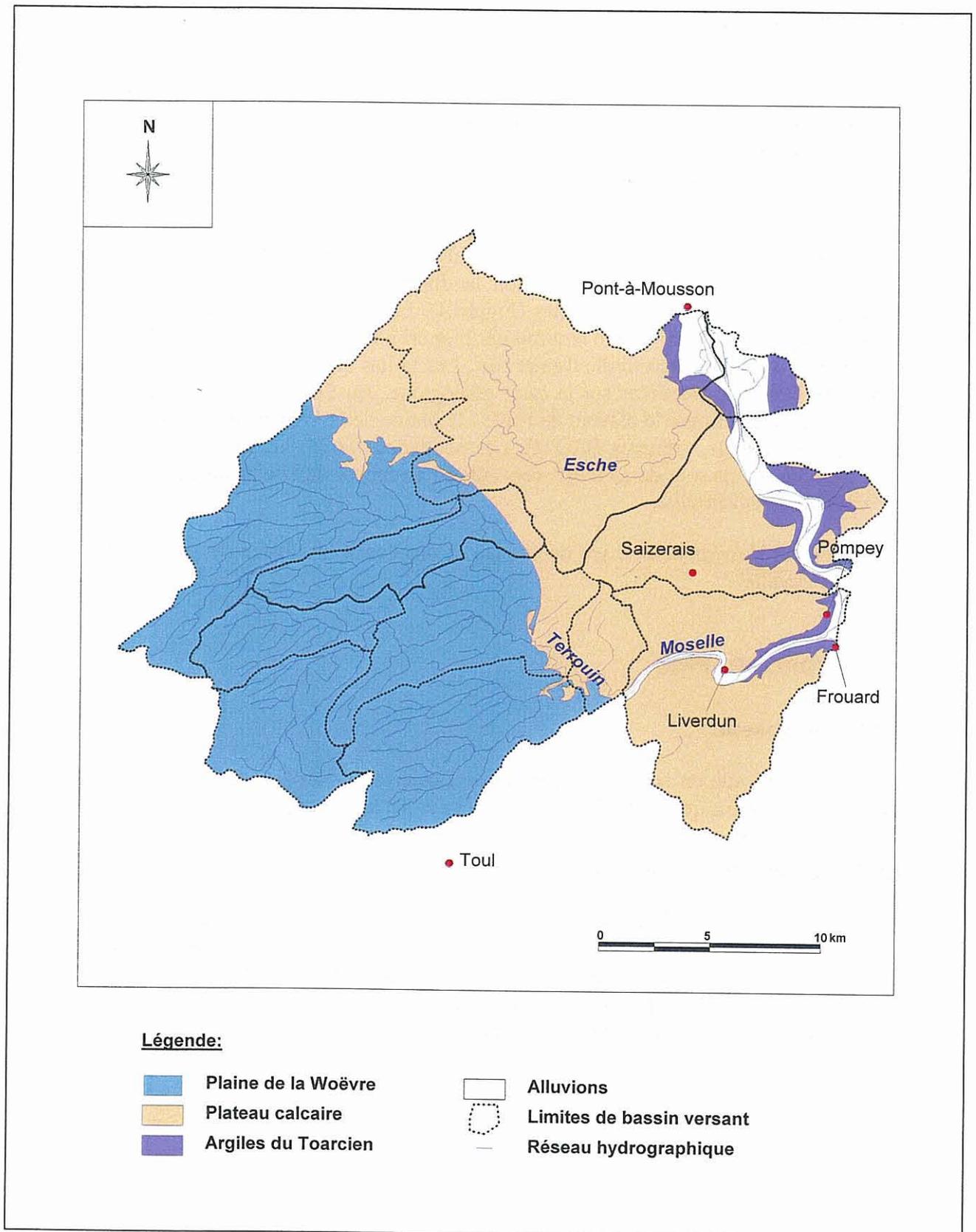


Figure 5 – Réseau hydrographique et bassins versants au niveau de la mine de Saizerais

## 1.5 HYDROGEOLOGIE

Deux nappes principales peuvent être distinguées dans la zone d'étude.

### 1.5.1 La nappe du Dogger

Elle est en fait composée de plusieurs nappes, du haut vers le bas :

- la nappe de Caillasses à Anabacias du Bathonien inférieur forme une nappe suspendue, dont les eaux, en raison des variations latérale de faciès, percolent dans le sens du drainage et vont alimenter les nappes des formations inférieures ;
- les nappes du Bajocien supérieur, qui sont connectées aux aquifères sous-jacents en raison de la karstification ou de la fracturation artificielle formée lors de l'exploitation minière (annexe 1) ;
- la nappe du Bajocien moyen et inférieur, située principalement dans les Calcaires à Polypiers, qui est donc alimentée en grande partie par les nappes sus-jacentes.

Les passées marneuses qui séparent ces différentes nappes ne sont pas toujours présentes ni entièrement imperméables (Agence de Bassin Rhin-Meuse, 1981). Toutefois, le niveau marneux des Marnes de Longwy semble jouer un rôle en délimitant l'aquifère principal à hauteur du toit des Calcaires à Polypiers (Demassieux, 1977 (a)). Une mise en charge de la nappe des Calcaires à Polypiers dans le bassin de Briey a même été constatée en certains endroits (Le Nir, 1973). C'est pourquoi on peut considérer que l'aquifère du Dogger est a priori subdivisé en deux sous-aquifères.

### 1.5.2 La nappe de l'Aalénien

Cette formation, nettement moins marneuse que dans le bassin de Briey, contient une nappe non négligable au sein des calcaires et des couches gréseuses. L'Aalénien affleure peu sur la zone étudiée, mais il est probablement alimenté par la nappe sus-jacente du Dogger, au niveau des zones d'exploitation du minerai, le toit de la formation ferrifère et les Marnes micacées qui font habituellement office de couche imperméable ayant été fragilisés.

### 1.5.3 Les circulations souterraines

L'aquifère du Dogger est un aquifère fissuré, et/ou karstifié, pour lequel les cartes piézométriques ont un caractère largement approché. Durant les années 1970, avant l'ennoyage de la mine, des expériences de traçage colorimétriques à base de fluorescéine ont été menées (Figure 6). Leurs résultats ont permis d'établir l'existence de communication hydrauliques entre (Le Roux et Salado, 1980) :

- les pertes des égouts de la base aérienne de Rosières-en-Haye et la source de Marbache, la source de Villey-St-Etienne et la Mine de Saizerais quartier B, avec des vitesses de transit respectives de 20-25 m/h, 15-25 m/h, 10-20 m/h ;
- les pertes du ruisseau de Rosières au lieu dit "Vau de Cochatte" et tous les quartiers de la mine ;

- les pertes du Bois Brûlé, les pertes du Bois de l'Epine et le lavoir du Château (circulations karstiques).

Par contre, dans les conditions du test réalisé, les auteurs n'ont pas observé de communication entre le dépôt d'ordures situé au bord de la départementale 106 à environ 1 km de la commune de Griscourt, et la source de Dieulouard, ni le forage de Griscourt, ni la Mine de Saizerais.

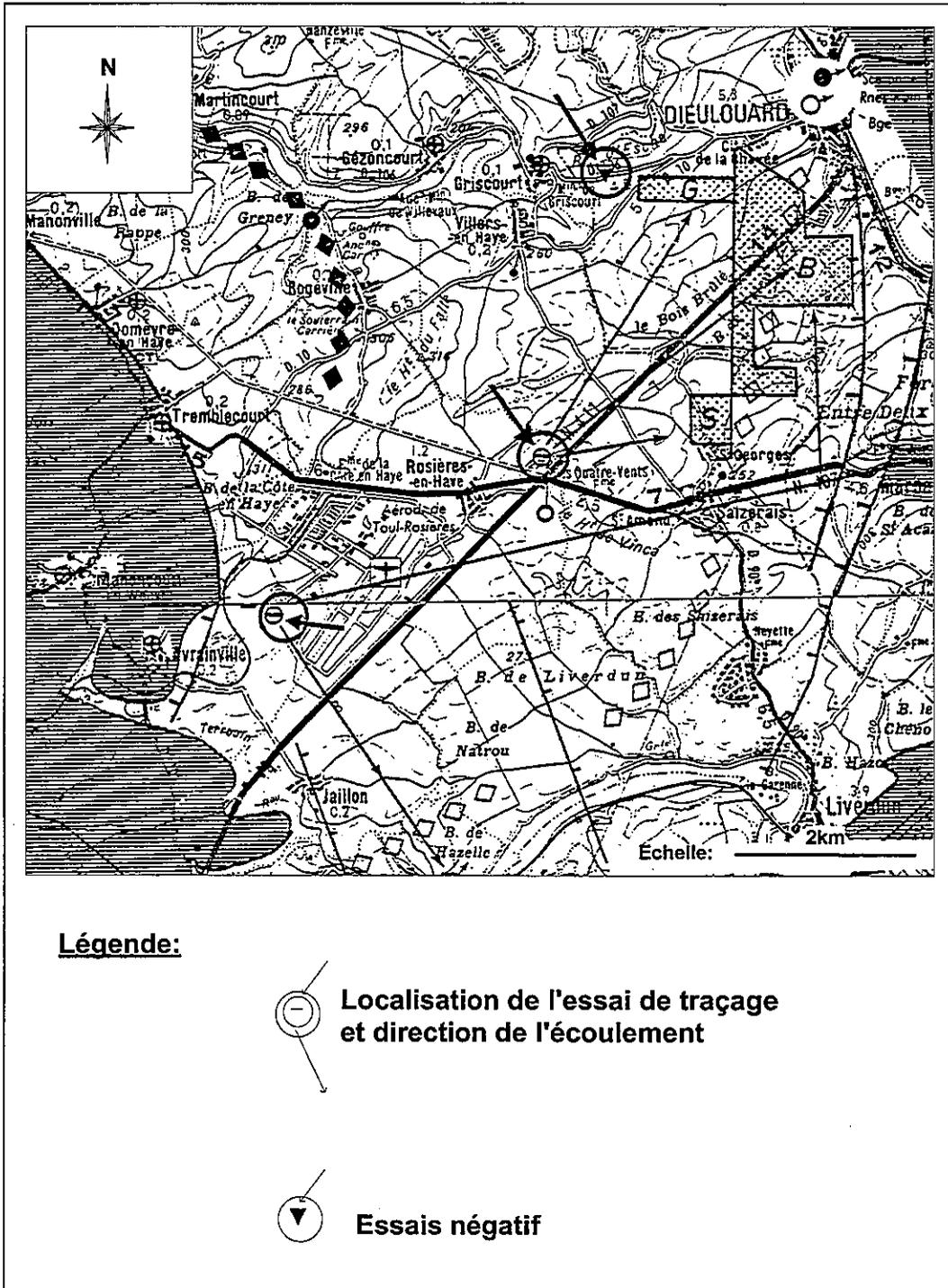


Figure 6 – Essais de traçage (modifié à partir de Le Roux et Salado, 1980)

### 1.5.4 Alimentation de la mine par des conduits karstiques

Les venues d'eau dans la mine sont localisées en quelques points, illustrant en cela la nature karstique du Dogger au niveau de la concession et le fait, important pour la suite de l'étude, que les galeries de la mine semblent être alimentées principalement par des écoulements de type karstique.

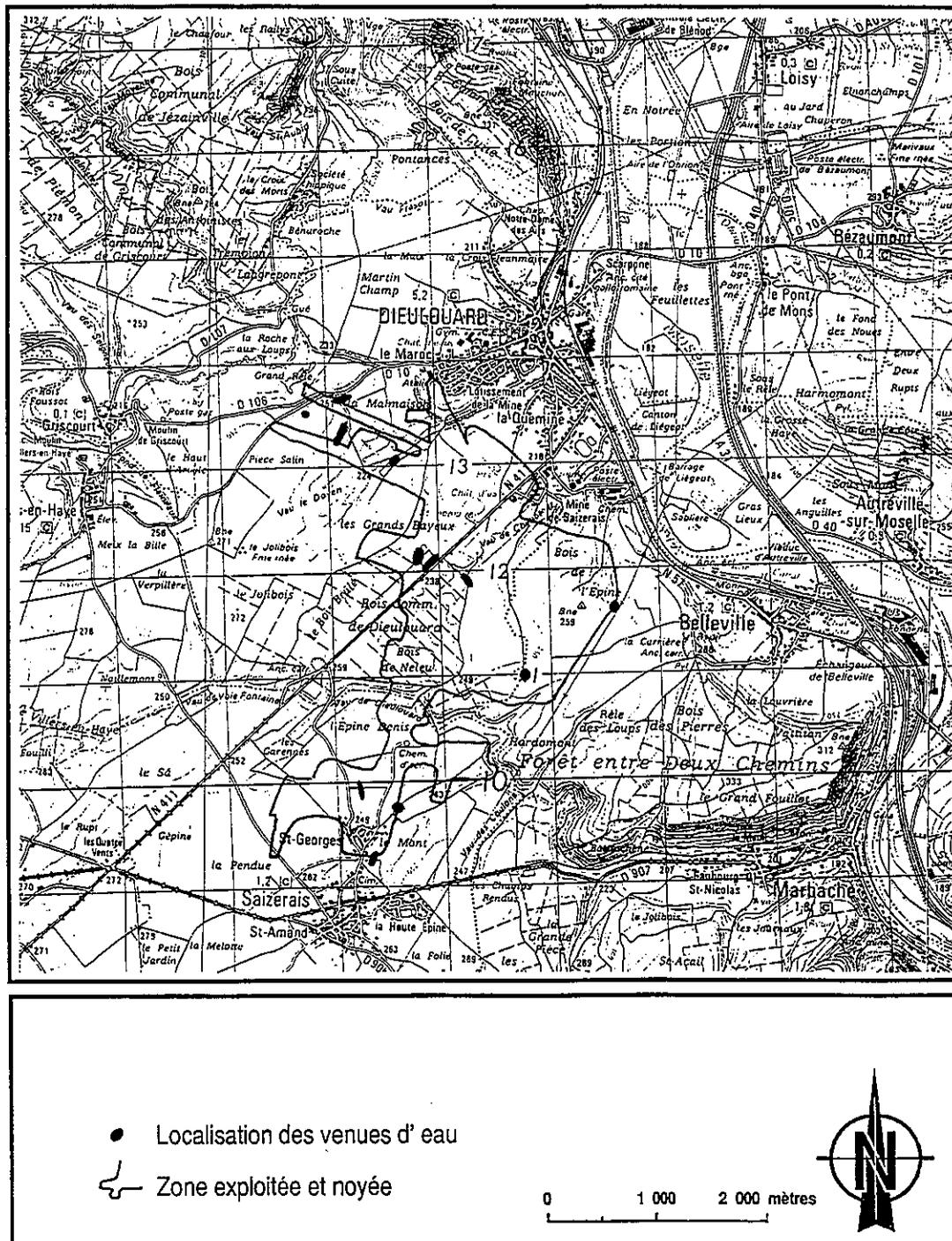


Figure 7 – Les venues d'eau dans la mine (Petit, 1995)

### 1.5.5 Les prélèvements AEP

L'alimentation en eau de la ville de Pont-à-Mousson est assurée en partie par des prélèvements effectués dans l'ancienne mine de Saizerais, grâce à une pompe mise en place dans un ancien puits d'aéragage (01938X0115). En plus de cet ouvrage il existe plusieurs forages AEP captant la nappe du Dogger (Figure 8) : Griscourt (01937X0042), Rosières-en-Haye (01937X0004), Villers-en-Haye (01937X0054), Domèvre-en-Haye (01936X0007), Dieulouard (01938X0055) et Marbache (01938X0050 et 01938X0061). On trouvera en annexe les débits moyens extraits par ces forages (Annexe 9).

## 1.6 INFLUENCE DE LA MINE SUR L'HYDROLOGIE DU SECTEUR

### 1.6.1 Avant et pendant l'ennoyage

L'assèchement nécessaire des galeries de la mine pendant la durée de l'exploitation de la mine s'est fait grâce à des pompes qui expulsaient l'eau par la descenderie n°2 (Figure 9). L'aquifère du Dogger n'a pas été asséché par le pompage d'exhaure, contrairement à ce qui se passe souvent dans les mines du Bassin de Briey, ceci nous étant démontré par les observations suivantes :

- la source la « Bouillante » (01938X0055) de Dieulouard, en périphérie du secteur minier, est captée durant l'exploitation minière comme elle l'était auparavant ;
- l'ennoyage de la mine ne semble pas avoir perturbé la piézométrie de la nappe en dehors du secteur minier. Ainsi, à Villers-en-Haye (01937X0054), la surveillance piézométrique du forage AEP montre que les niveaux d'étiage n'ont pas été influencés (Bouly et Demassieux, 1984). Une remontée du niveau de la nappe d'une centaine de mètres dans la cuvette de Dieulouard aurait nécessairement perturbé l'hydrogéologie bien au-delà du secteur minier.

### 1.6.2 Après l'ennoyage

#### a) Captage AEP

Un puits de pompage de 160 m de profondeur (01938X0115) a été mis en activité en 1982 pour alimenter la ville de Pont-à-Mousson en eau potable. La coupe altimétrique (Figure 9) représente ce puits qui débouche sur une galerie de la mine. Un relevé piézométrique a été fait assez régulièrement au niveau de ce puits : un objectif de notre modélisation est de reproduire les variations piézométriques au niveau de ce puits.

#### b) Débordements de la mine

En périodes de hautes eaux, la mine de Saizerais peut déborder par l'ancienne galerie d'exhaure, la descenderie n°2, l'eau passant par les deux anciennes canalisations d'exhaure restées en place et ouvertes au niveau de la salle des pompes. Ces deux canalisations superposées de diamètre 600 mm fonctionnent en débordement, puis en siphon, d'après l'Agence Financière de Bassin Rhin-Meuse, lorsque le niveau d'eau dans la mine dépasse la cote 200 m NGF. L'eau aboutit ensuite dans l'ancien collecteur

d'exhaure, un aqueduc enterré de diamètre 1100 mm. Dans un regard de cet aqueduc a été placé un enregistreur de niveau fonctionnant depuis décembre 1982.

### c) Dispositif de surpompage

L'ennoyage de la mine a entraîné une minéralisation croissante de l'eau destinée à la ville de Pont-à-Mousson. En septembre 1987 il est décidé de pomper l'eau du réservoir minier afin d'en accélérer le renouvellement et de diminuer ainsi la minéralisation. A cet effet, une pompe a été glissée dans un des tuyaux de la descenderie n°2, l'autre tuyau continuant à servir de sortie pour les éventuels débordements. De 1988 à 1994 la mine a débordé au moins une fois par an, entraînant une mise à l'arrêt de la pompe pendant des périodes assez variables.

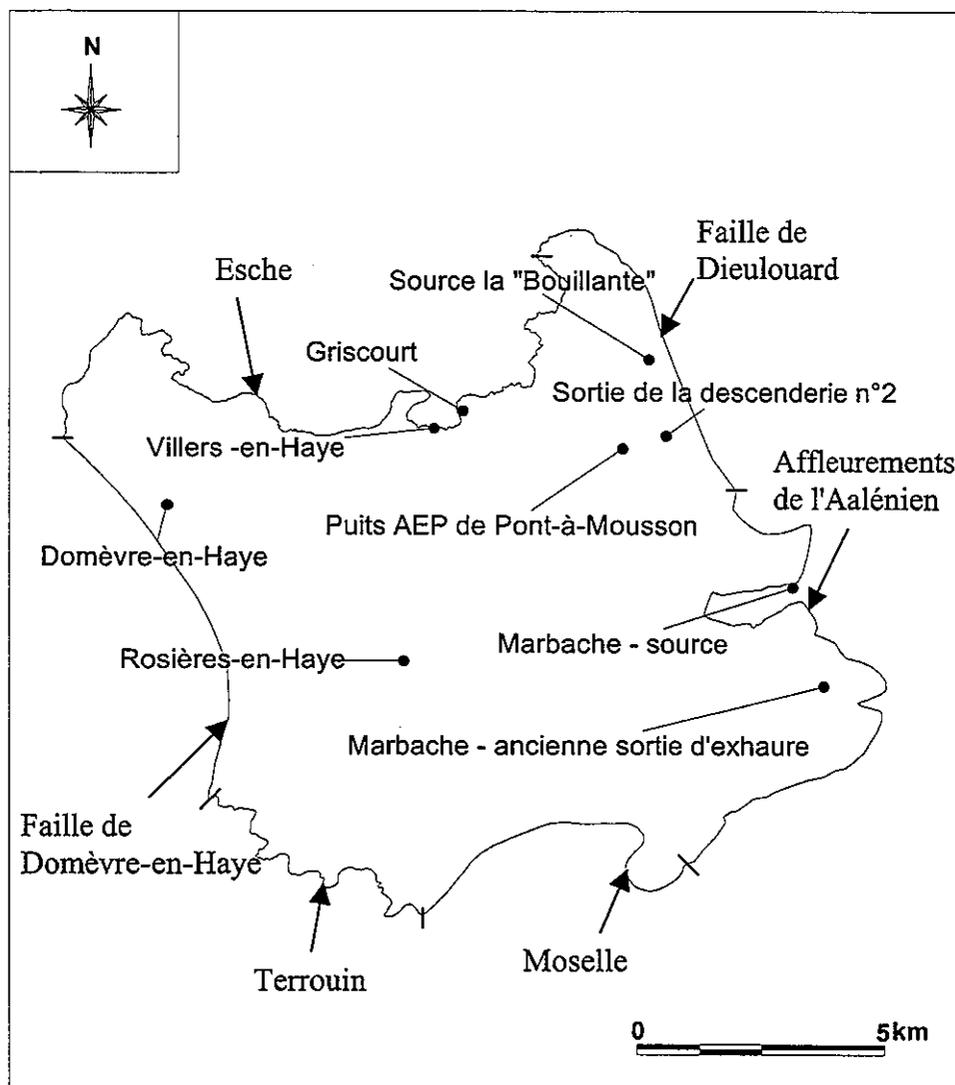


Figure 8 – Les différents captages de la zone d'étude

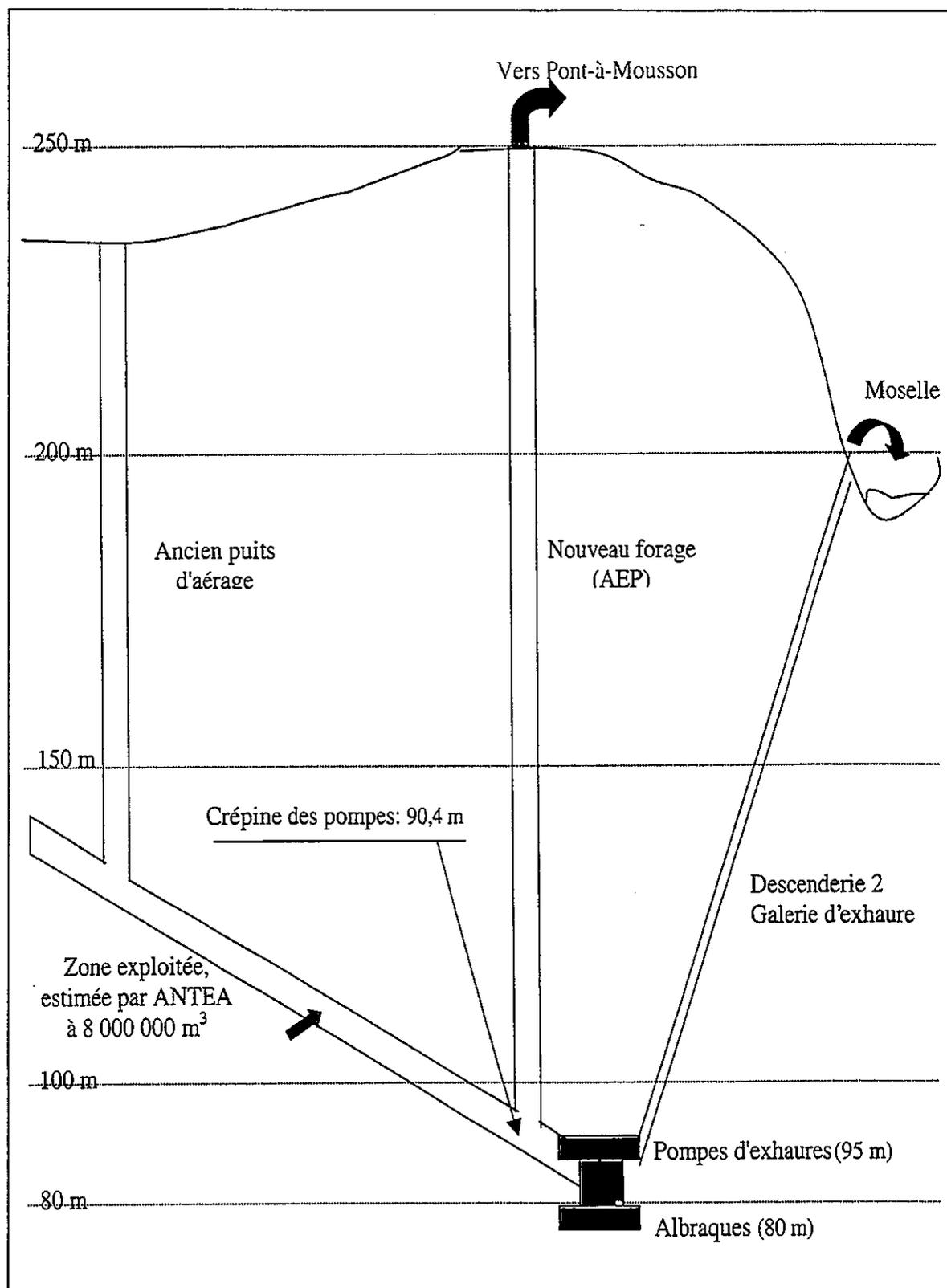


Figure 9 – Coupe altimétrique de la mine (Collon et al., 2000, modifié d'après Petit, 1995)

## 2. Construction du modèle

La mise en œuvre de la modélisation à l'aide du code nécessite tout d'abord la construction du modèle conceptuel relatif au système aquifère, composé de la couche aquifère de la formation ferrifère, de la couche imperméable des Marnes micacées, et des deux couches aquifères du Dogger.

### 2.1 DONNEES GEOLOGIQUES ET HYDROGEOLOGIQUES

#### 2.1.1 Numérisation des couches géologiques

##### a) *Toit des Calcaires à Polypiers*

Les cartes géologiques de Pont-à-Mousson, Toul, Nomeny et Nancy fournissent les isohypses des toits des Calcaires à Polypiers et de l'Oolithe miliaire supérieure. Les deux types d'isohypse ne couvrent pas toute la zone d'étude, mais les deux cotes peuvent se déduire l'une de l'autre par une simple soustraction, en faisant, comme les auteurs des cartes, l'hypothèse d'une épaisseur constante de 60 m entre les deux toits.

Les isohypses ont été directement digitalisées sous Mapinfo à partir de la carte géologique numérisée, puis interpolées sous Surfer 7 (voir la méthode d'interpolation sous Surfer 7 en annexe 2).

##### b) *Toit de l'Aalénien*

Plusieurs cartes fournissent des renseignements relatifs à la cote du toit de l'Aalénien sur la zone d'étude :

- le plan des travaux miniers établi par la Société des Mines de Saizerais (archives BRGM) en décembre 1979 : les isohypses dont la cote varie tous les deux mètres sont repérés sur un domaine circonscrivant les galeries ;
- la carte structurale de l'Agence Financière de Bassin Rhin-Meuse, établie par P.Steiner et J. Le Roux en 1977 (qui sont d'ailleurs parmi les auteurs des cartes géologiques de notre zone d'étude), qui donne les isohypses de cotes variant tous les dix mètres sur un domaine beaucoup plus étendu ;
- une carte du Bureau de Recherches Géologiques et Minières de Fer de l'Est (archives BRGM) ;
- la carte géologique de Pont-à-Mousson et de Toul.

Le plan des travaux minier peut être considéré comme le document le plus précis. Malheureusement il ne couvre qu'un faible domaine. Les isohypses de la carte structurale de l'Agence Financière de Bassin Rhin-Meuse, au niveau de la concession de Saizerais, correspondent assez bien à ceux des travaux miniers. Ainsi, légèrement corrigée au niveau de la concession par les renseignements du plan des travaux miniers, la carte structurale a été prise comme référence pour la cote du toit de l'Aalénien. Là où

elle ne donne pas de renseignements, au niveau des concessions de Hazotte, Avant-Garde et Pompey, la carte du Bureau de Recherches Géologiques et Minières de Fer de l'Est, par ailleurs moins précise, a servi à la compléter.

Les isohypses ont été directement digitalisées sous Mapinfo à partir de la carte structurale numérisée, puis interpolées sous Surfer 7. Le résultat de la première interpolation avait fourni une grille présentant de brutales variations de cote, sans rapport avec la réalité au niveau de certaines failles. Aussi, nous avons corrigé à la main cette grille, puis nous avons utilisé la méthode de lissage "Matrix smoothing", avec une matrice 3x3, méthode "Average", le poids du centre de la matrice étant de 10 (Annexe 2), pour supprimer les autres variations brutales un peu partout sur le domaine, sans affecter les fortes variations causées par la présence de failles.

### **c) Epaisseur de l'aquifère de l'Aalénien**

Les sondages, notamment miniers (Annexe 3), relevés en BSS fournissent des coupes géologiques à partir desquelles il est possible d'estimer une épaisseur de la couche aquifère.

Les sondages ont été géoréférencés sous Mapinfo, puis interpolés sous Surfer 7. L'interpolation à certains endroits donnait des épaisseurs négatives : nous avons sur la grille corrigé ces valeurs en les ramenant à zéro. On a ensuite utilisé la même méthode de lissage que dans le cas du toit de l'Aalénien.

### **d) Coupes et vérifications des interpolations**

Des coupes ont été tracées à travers les grilles ainsi calculées, et le résultat de l'interpolation a été vérifié par comparaison à la carte géologique (annexe 4).

## **2.1.2 Numérisation des esquisses piézométriques**

Les différentes esquisses sont présentées en annexe 5.

### **a) Esquisse de 1977**

L'esquisse piézométrique de l'Agence Financière de Bassin Rhin-Meuse (Demassieux, 1977, (a)) fournit des isopièzes à partir d'un nombre conséquent de points de mesure, 37 sources et forages, pour une surface d'environ 525 km<sup>2</sup>. Nous avons également pris en compte des sources du Bajocien moyen et inférieur.

Les isopièzes ont été digitalisées et géoréférencées sous Mapinfo, ainsi que les sources. Ayant de plus considéré que le Nord de la faille de Dieulouard constituait une limite à flux nul, nous avons arbitrairement digitalisé des isopièzes venant buter à la perpendiculaire sur la faille pour que l'interpolation sous Surfer rende cette condition.

On peut noter que, comme il n'y a aucune donnée de piézométrie dans la région de Belleville-Marbache, la piézométrie interpolée dans cette région n'a aucune valeur.

### **b) Esquisse de 1979**

L'esquisse piézométrique de l'AFBRM et de l'ENSG de 1979 (Bouly, 1979) fournit un certain nombre d'isopièzes sur la base de 27 sources et forages pour une surface d'environ 600 km<sup>2</sup>, donc une base nettement moins précise que précédemment. Cette esquisse a été uniquement digitalisée sous Mapinfo.

### **c) Esquisse de 1984**

L'esquisse de 1984 (Petit, 1995), de même que l'esquisse de 1977, a été digitalisée sous Mapinfo et interpolée sous Surfer. Le nombre de points de mesure est de 16 pour une surface d'environ 270 km<sup>2</sup>, légèrement moins bon que pour l'esquisse de 1977.

### **d) Esquisse de 1999**

L'esquisse piézométrique de Geosum de 1999 fournit un certain nombre d'isopièzes sur un nombre inconnu de points de mesure, mais probablement très faible (étant donné l'aspect sommaire du tracé). Cette esquisse a été uniquement digitalisée sous Mapinfo.

## **2.2 CONDITIONS AUX LIMITES**

Les conditions explicitées ci-dessous s'appliquent aux couches affleurant au niveau des limites en question. Pour les couches inférieures, les conditions aux limites sont toutes des limites à flux nul, appliquées au droit des limites concernant les couches affleurantes.

### **2.2.1 La faille de Domèvre-en-Haye**

#### **a) Observations**

La faille de Domèvre-en-Haye, à regard Sud-Ouest, rejette le compartiment Est d'une hauteur pouvant atteindre localement 50 m. Cette faille met en contact la base de l'aquifère du Bajocien inférieur et moyen du compartiment Ouest avec les terrains imperméables du Toarcien à l'Est (coupe Est-Ouest de l'annexe 4), empêchant ainsi sur une certaine hauteur un passage latéral de la nappe du compartiment Ouest vers l'Est. De plus, la mise en contact par la faille de terrains différents, donc probablement aux perméabilités différentes, est susceptible de rendre plus difficile le passage d'un terrain à l'autre par la nappe (Anderson et Woessner, 1992).

*Remarque* : il existe des sources au niveau de la faille, mais il s'agit d'eaux de drainage des nappes supérieures vers le réseau hydrographique situé à l'Ouest de la faille.

L'allure des courbes piézométriques au niveau de la faille est susceptible d'apporter des renseignements quant au rôle hydrologique joué par cette dernière (Figure 10). Sur l'esquisse de 1977, l'intersection entre la base de la faille et l'isopièze 210 m est quasiment perpendiculaire, de même que sur l'esquisse de 1979 entre la partie Nord de la faille et l'isopièze 240 m, et que sur l'esquisse de 1984 et de 1999 avec l'isopièze 220 m et la partie Sud de la faille.

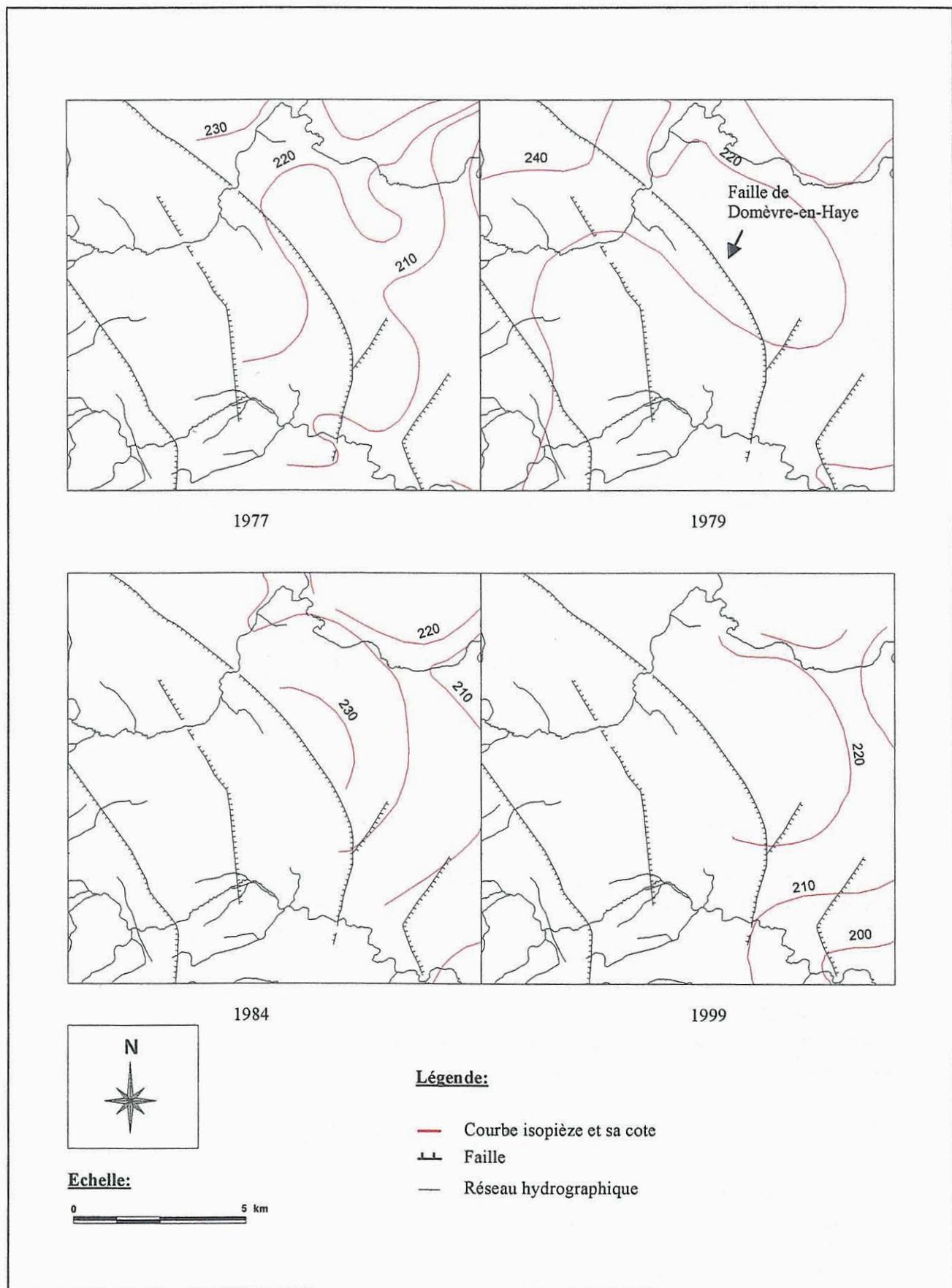


Figure 10 – Rôle hydrologique de la faille de Domèvre-en-Haye

## **b) Hypothèse et condition aux limites**

Compte tenu de la structure géologique des terrains et de la piézométrie observée ou interprétée par différents auteurs, on considérera dans notre modèle que la faille de Domèvre-en-Haye détermine une limite à flux nul.

### **2.2.2 L'Esche**

L'Esche est sur notre secteur une zone à charge (presque) constante. Une zone à charge constante peut drainer ou alimenter la nappe avec laquelle elle est en connexion hydraulique. La difficulté de la mise en place d'une limite alimentant la nappe, qui serait soit une limite de type Neumann (flux constant que l'on pourrait difficilement évaluer), soit une limite de type Cauchy (le code n'en permet pas l'utilisation), requiert que l'on sache où l'Esche est drainant et où il ne l'est pas. Cette remarque s'applique également au Terrouin et à la Moselle.

#### **a) Observations**

L'Aalénien affleure sur certaines parties du ruisseau situées dans les communes de Martincourt et Gézoncourt (voir carte géologique), ce qui indique qu'à ces endroits l'Esche draine l'aquifère du Dogger (et probablement de la formation ferrifère). Mais en aval de Griscourt, des pertes du ruisseau sont observées (Maubeuge, 1956) : une note relative au forage communal de Griscourt (01937X0042) (Maiaux, 1987) indique que le niveau de la nappe du Dogger est inférieur de plusieurs mètres à celui du ruisseau.

Les informations tirées de chaque esquisse sont similaires (Figure 11) :

- l'Esche est drainant de la faille de Domèvre-en-Haye jusqu'au pied du coude vers le Nord au niveau de Gézoncourt ;
- le ruisseau est non drainant par la suite jusqu'aux affleurements du Toarcien.

En 1977 l'E.N.S.G a mené un essai de traçage, en vue de préciser l'influence éventuelle sur l'eau de la nappe du Bajocien d'une décharge contrôlée située à environ 1 km de la commune de Griscourt (au bord de la départementale 106). Dans les conditions de réalisation du test, les auteurs n'ont pas observé de communication entre le dépôt d'ordures d'une part, et la source de Dieulouard, le forage de Griscourt, et deux points dans la mine de Saizerais d'autre part (Figure 6).

#### **b) Hypothèses et conditions aux limites**

L'essai de traçage semble indiquer que les pertes de l'Esche (Maubeuge, 1956) ne se retrouvent pas dans la mine, malgré un gradient hydraulique dirigé vers le Sud-Est le long de l'Esche. Par ailleurs il existe dans cette zone des réseaux hydrographiques souterrains à caractère karstique. Comme il semble légitime de supposer que les pertes du ruisseau ne remontent pas la nappe, on peut supposer que les pertes suivent en souterrain le tracé du ruisseau en surface, d'autant plus que ceux-ci ont tendance à se développer en fond de vallée, notamment sous les cours d'eau.

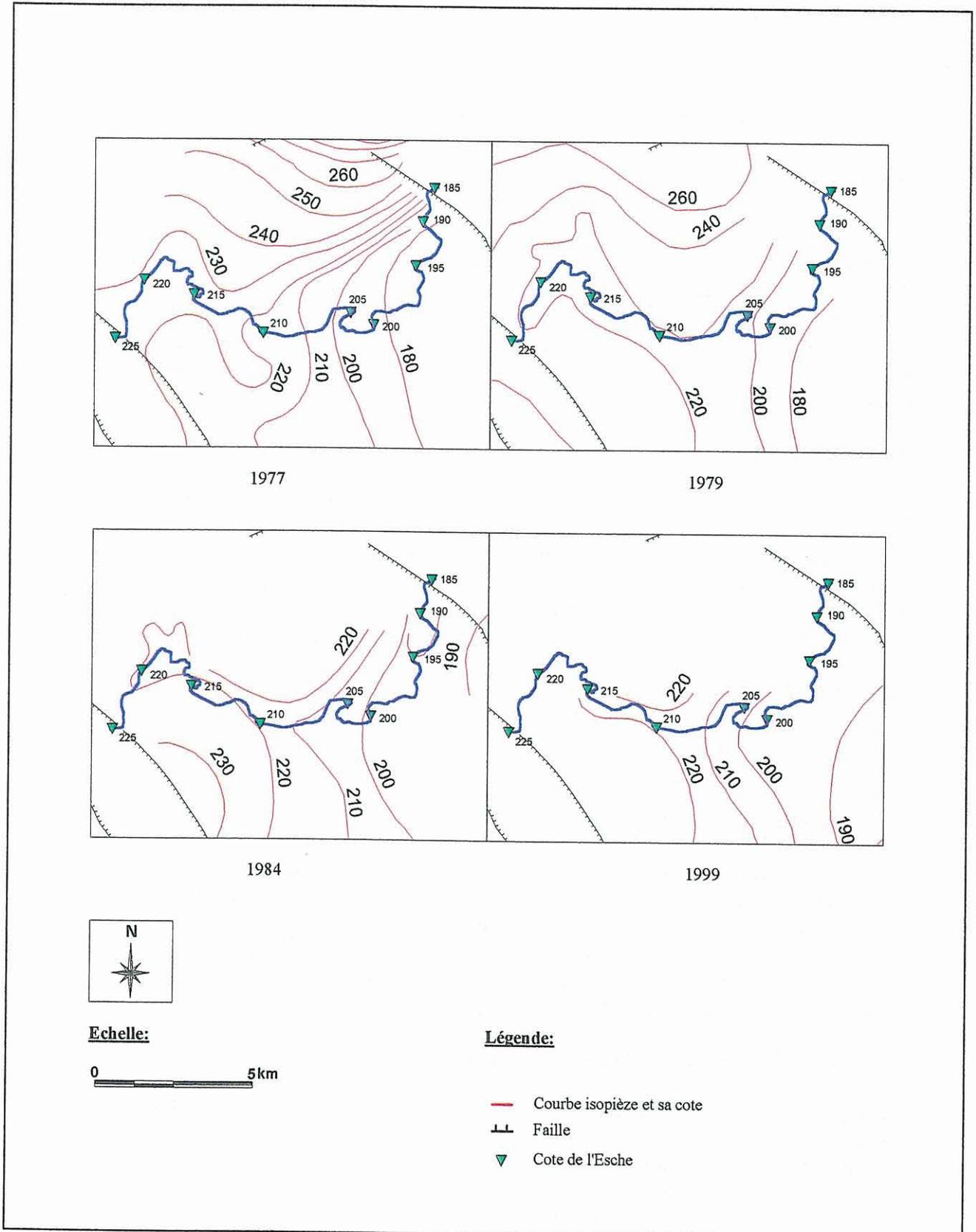


Figure 11 – Rôle hydrologique de l'Esche

Finalement, et compte tenu de la piézométrie observée ou interprétée par différents auteurs, les conditions aux limites seront ainsi fixées au niveau du ruisseau de l'Esche :

- le ruisseau étant considéré comme drainant de la faille de Domèvre-en-Haye jusqu'au pied du coude vers le Nord au niveau de Gézoncourt, cette partie du ruisseau sera une limite à charge imposée ;
- le reste étant considéré comme non drainant, et les pertes étant supposées suivre en souterrain le tracé du ruisseau, cette partie sera une limite à flux nul.

### 2.2.3 Le Terrouin

#### a) Observations

Une note relative au piézomètre d'indice 02293X0060 (dossier de la Banque de Données du Sous-Sol, note de la station de jaugeage sur le Terrouin) indique que le ruisseau s'est asséché certaines années, c'est-à-dire qu'il y a des pertes ; d'autres auteurs considèrent qu'à certains endroits le Terrouin draine la nappe du Dogger (Bouly, 1987).

L'analyse des esquisses piézométriques apporte des éléments supplémentaires (Figure 12). L'allure générale des isopièzes à proximité du ruisseau du Terrouin est celle d'un rabattement de nappe : même si à certains endroits le ruisseau ne draine pas la nappe, le comportement général du ruisseau semble cependant être celui d'un drain.

#### b) Hypothèse et condition aux limites

Compte tenu de la piézométrie observée ou interprétée par différents auteurs, on fera l'hypothèse que le Terrouin est une limite à charge imposée.

### 2.2.4 Les affleurements

Les affleurements de la base des formations aquifères, Aalénien ou Bajocien, en contact avec les formations imperméables du Toarcien, sont des zones où l'eau éventuellement présente peut rester bloquée par les formations imperméables formant un barrage latéral à l'écoulement, ou bien déborder en dehors du système aquifère quand sa charge dépasse la cote du sol. Ce sont donc des limites à flux nul avec possibilité de débordement (c'est-à-dire sans mise en charge de nappe dans le modèle, option de calcul permise par le code MARTHE).

### 2.2.5 La Moselle

La portion de la Moselle qui sert à la définition de la zone d'étude se situe entre Liverdun et l'embouchure du Terrouin.

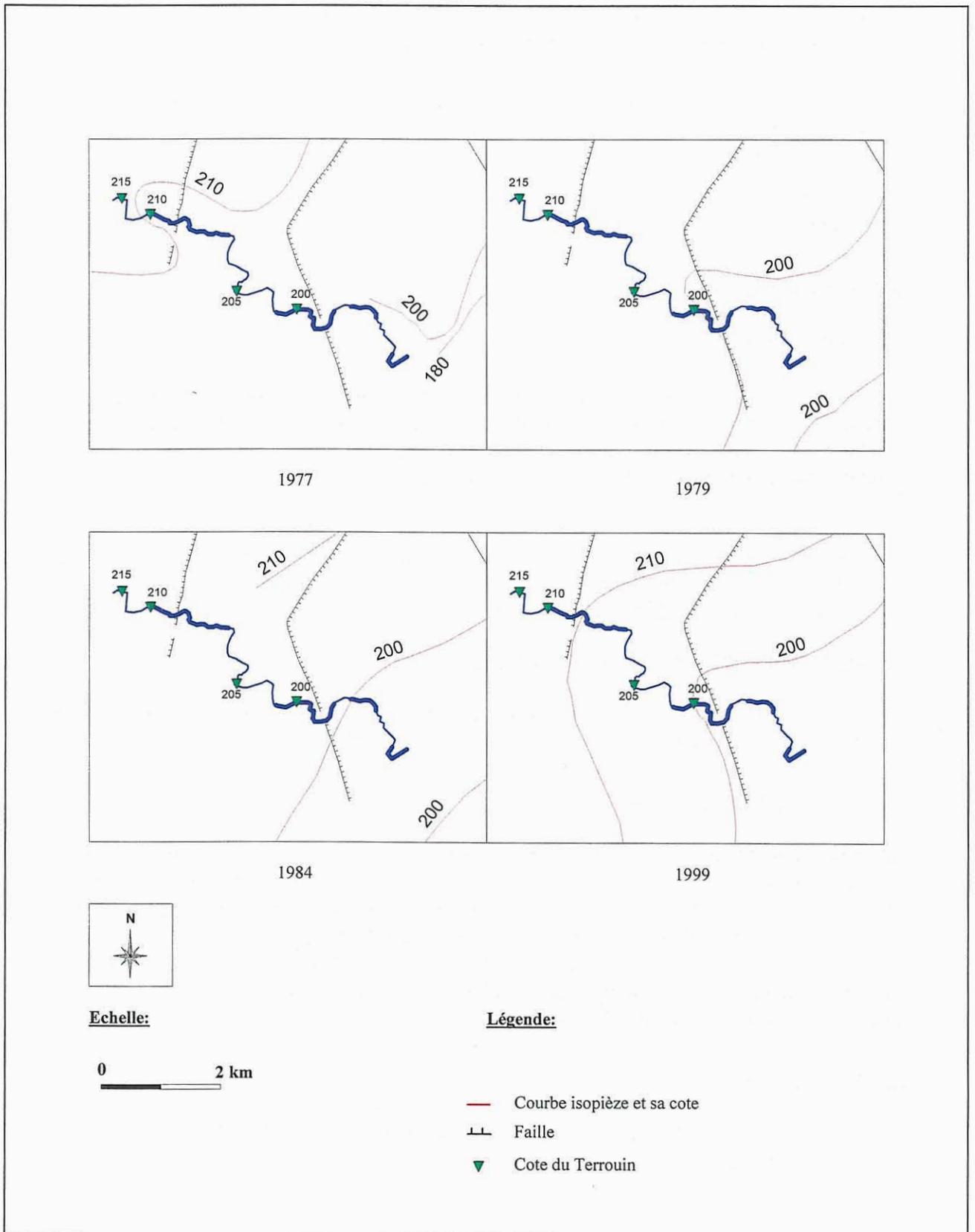
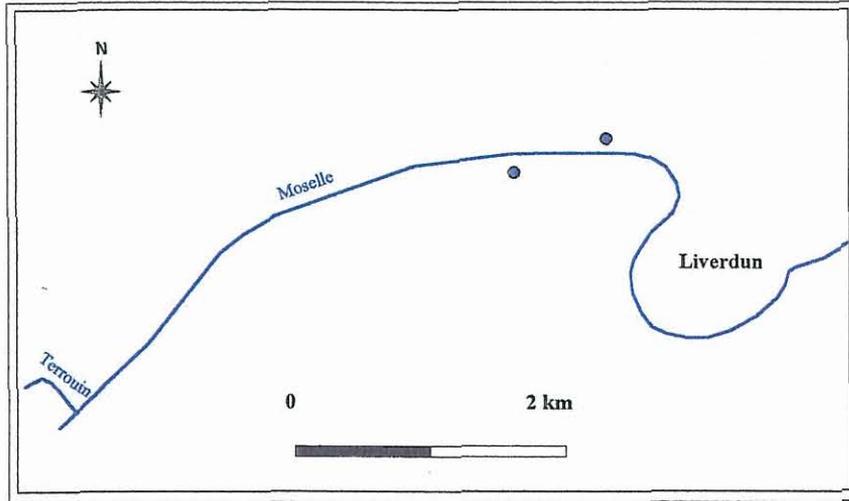


Figure 12 – Rôle hydrologique du Terrouin

**a) Observations**

Présence de sources

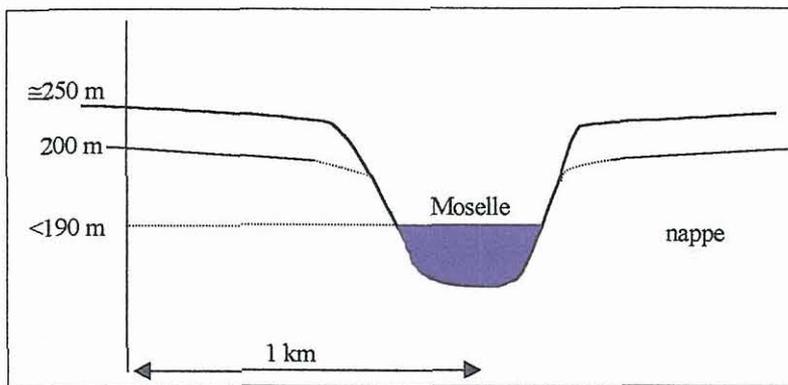
A proximité de cette portion de la Moselle, deux sources provenant de l'aquifère du Dogger ont été relevées (Figure 13).



**Figure 13 – Sources du Bajocien moyen et inférieur au niveau de la Moselle**

Allure de la nappe du Dogger à proximité de la Moselle

Cette portion de vallée de la Moselle est très encaissée. L'esquisse piézométrique de 1979 a permis de réaliser le schéma ci-dessous, qui représente une coupe de la vallée de la Moselle à environ 2 km au Nord-Est de l'embouchure du Terrouin. Aucune isopièze de cote inférieure à 200 m n'ayant été relevée, il semble donc que la vallée entaille et draine la nappe du Dogger.



**Figure 14 – Coupe schématique de la Moselle**

**b) Hypothèse et condition aux limites**

Compte tenu de la piézométrie observée ou interprétée par différents auteurs, on considérera que la Moselle constitue une limite à charge constante imposée par, de valeur approximative le niveau de la Moselle.

## 2.3 CONDITIONS DE RECHARGE

### 2.3.1 Données météorologiques

Les données sont fournies par la station de Nancy-Tomblaine, située à une dizaine de kilomètres de notre secteur. La station la plus proche de notre secteur d'étude est celle de Rosières-en-Haye dont les données sont malheureusement incomplètes. La station de Tomblaine fournit la pluie journalière et l'évapotranspiration journalière calculée à partir de la formule de Penman. Toutefois, nous disposons de la pluie tombée mensuellement à la station de Rosières-en-Haye sur une période de temps incluse dans la période simulée : il nous a semblé utile de juger la corrélation entre les pluies mensuelles aux deux stations, et de mettre en évidence les éventuels points singuliers (Figure 15).

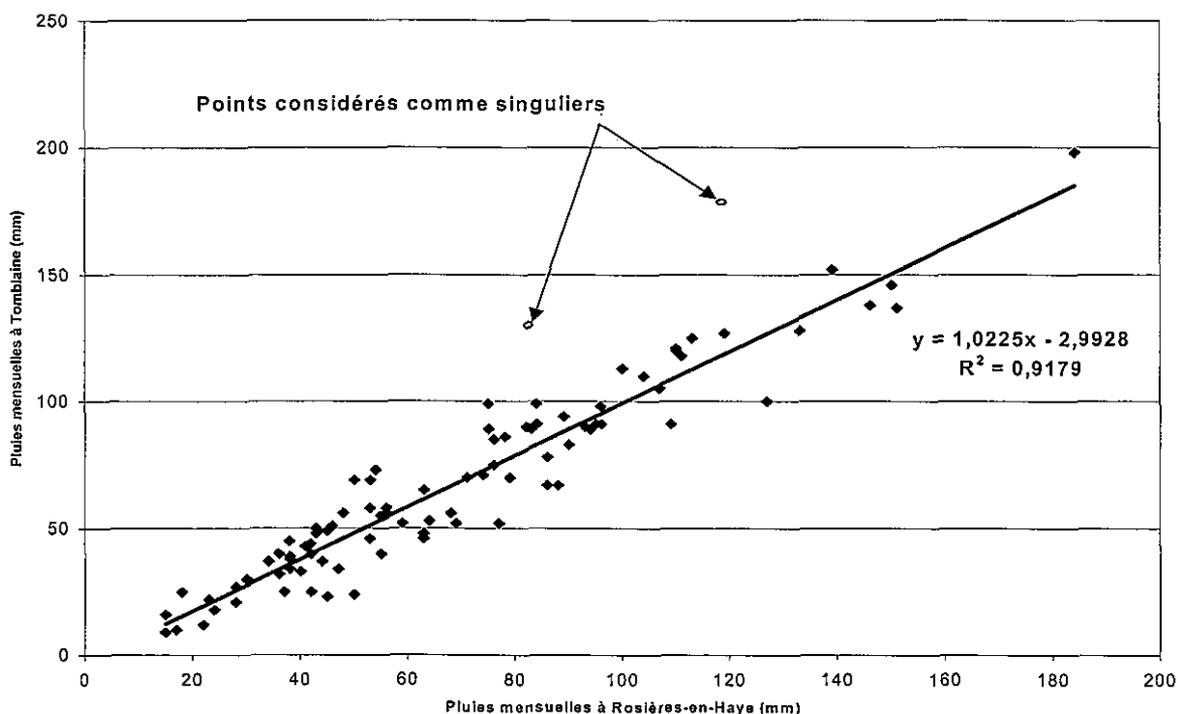


Figure 15 – Corrélation entre la pluie mensuelle aux stations de Rosières-en-Haye et Tomblaine de juillet 1981 à décembre 1988

On constate que prendre la pluie tombée à Tomblaine n'engendrera pas en général d'erreur significative, excepté en quelques points singuliers : pour ces points-là, lors de la simulation, la valeur prise n'est pas celle donnée par la station de Tomblaine mais par celle de Rosières-en-Haye.

### 2.3.2 Zones de réserves utiles

Nous avons calculé la recharge par la méthode du bilan hydrique mensuel (Annexe 6). Cette méthode tient compte de la pluie tombée, de l'évapotranspiration, mais également d'une réserve utile maximale, dont la valeur dépend du type de sol et de la nature de son occupation (Figure 16). Grâce à une étude de l'INRA, il a été possible de distinguer cinq secteurs de réserves utiles (Tessier, 2000) dans la zone modélisée (Figure 17). Le ruissellement n'a pas été pris en compte, car nous n'avions aucune donnée pour l'évaluer.

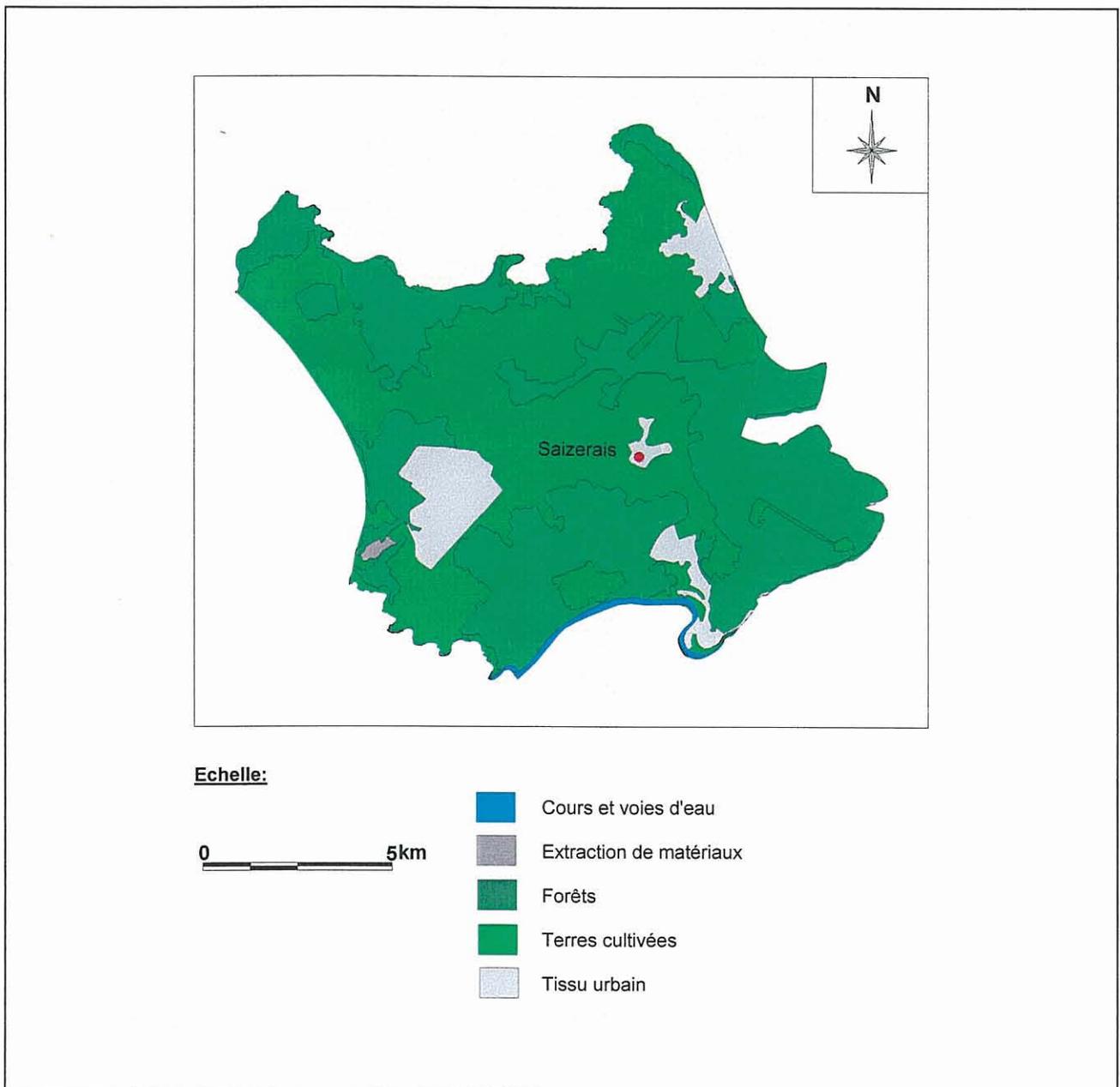


Figure 16 – Occupation du sol autour de la mine de Saizerais (modifié à partir de Tessier, 2000)

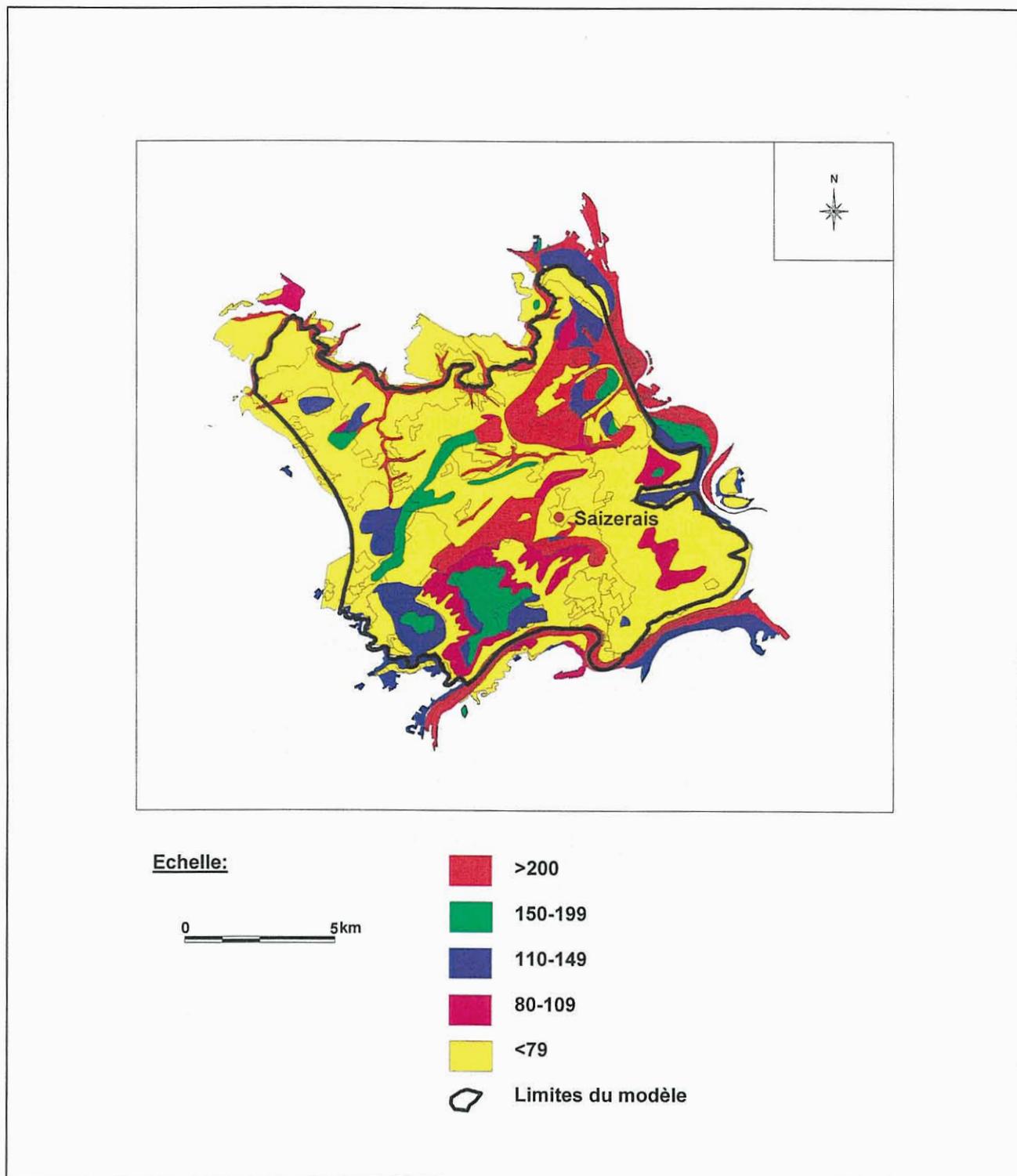


Figure 17 – Classes de réserves utiles maximales en mm (modifié à partir de Tessier, 2000)

Dans un souci de simplification, les classes de réserves supérieures à 200 mm et comprises entre 150 et 199 mm ont été regroupées dans le modèle. Après calcul, les infiltrations trouvées pour ces deux zones étaient proches.

## 2.4 PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES

On dispose en général de peu d'informations sur ces paramètres, mais il est important d'en préciser les ordres de grandeur afin de ne pas utiliser de valeur injustifiée.

### 2.4.1 Perméabilités

#### a) Dogger

On dispose de quelques essais de pompage sur la zone d'étude (Demassieux, 1977 (a)) : il s'agit de pompages ou d'injections à débit constant de durée suffisamment longue pour qu'un état d'équilibre pseudo-permanent soit atteint. Ces essais permettent une évaluation de la conductivité hydraulique par la méthode Lefranc, grâce à la formule :

$$K = \frac{\alpha * Q}{D * \Delta h}$$

où K est la perméabilité (m/s), Q le débit, D le diamètre du forage,  $\Delta h$  le rabattement et  $\alpha$  un coefficient qui pour un forage de longueur L telle que  $L/D > 4$  (ce qui est le cas ici) vaut :

$$\alpha = \frac{\ln\left(\frac{2L}{D}\right)}{\frac{2\pi L}{D}}$$

Le tableau ci-dessous donne l'estimation de la perméabilité pour quelques forages de notre secteur ou proche de celui-ci. Il faut noter que l'équilibre pseudo-permanent n'est pas atteint pour les forages de Villers-en-Haye

Nom	Q(m3/s)	h(m)	D(mm)	L(m)	$\alpha$	K(m/s)
Jézainville	0,00833	3,22	600	20	0,0201	$8,65 \cdot 10^{-5}$
Villers-en-Haye	0,00361	3,016	130	32	0,004	$3,69 \cdot 10^{-5}$
Villers-en-Haye AEP	0,0025	6,5	800	35,3	0,0162	$7,77 \cdot 10^{-6}$
Jaillon	0,00993	4,17	180	75	0,0026	$3,4 \cdot 10^{-5}$

Tableau 1 – Perméabilités issues des essais de pompage

Les informations ci-dessus fournissent essentiellement des ordres de grandeurs. La zone étudiée est le siège de circulations karstiques : la perméabilité globale doit donc être augmentée afin d'essayer de rendre compte - en partie - de ce fonctionnement hydrogéologique très particulier. D'autre part, le manque de données spatialisées n'autorise pas à créer des zones de perméabilité au sein de chaque couche. La seule exception à cette règle concerne la vallée de l'Esche, à laquelle une perméabilité forte ( $10^{-3}$  m/s) a été affectée, car on peut penser que l'existence de pertes indique le développement d'un réseau karstique le long de ce cours d'eau.

### **b) Marnes micacées**

Aucune mesure de la perméabilité des Marnes micacées n'a été réalisée à notre connaissance. L'ordre de grandeur choisi a été de  $10^{-9}$  m/s (Spitz et Moreno, 1996). Bien qu'aucun dépilage n'ait eu lieu dans les galeries, nous avons considéré que l'extraction du minerai par la méthode des piliers perdus avait tout de même fragilisé la formation ferrifère autour des galeries et que les Marnes micacées avaient été affectées par les travaux miniers au droit des galeries, et donc que leur perméabilité en avait été augmentée, néanmoins sans changer d'ordre de grandeur.

### **c) Formation ferrifère**

Aucune mesure non plus n'a été relevée. La formation étant composée de calcaire plus ou moins marneux, l'ordre de grandeur choisi a été de  $10^{-8}$  m/s (Spitz et Moreno, 1996). La perméabilité a été augmentée au niveau des galeries, d'au moins un ordre de grandeur.

## **2.4.2 Coefficients d'emménagement**

Deux types de coefficients sont à distinguer selon qu'il s'agit d'une nappe captive ou d'une nappe libre, car les deux cas sont rencontrés dans le modèle.

### **a) Coefficient d'emménagement libre**

Il est défini comme le volume d'eau qu'un aquifère libre peut libérer par unité de surface et par unité de variation de niveau de la surface libre. Il peut être assimilé à une porosité efficace.

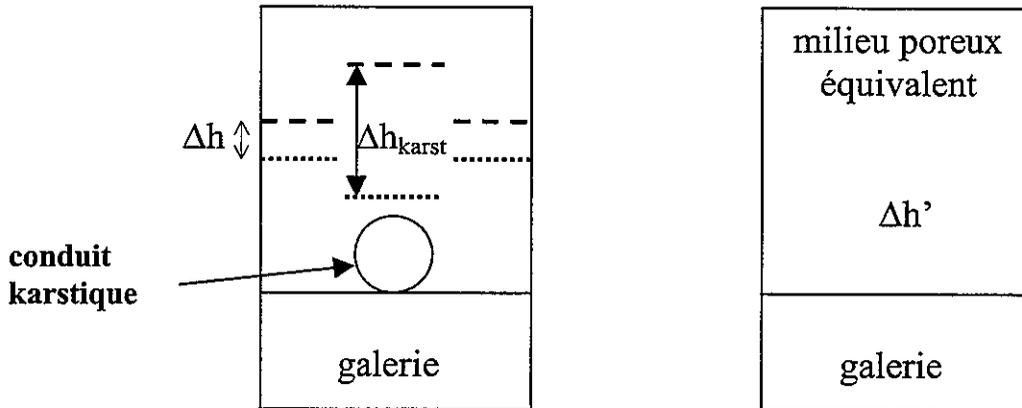
La valeur de ce coefficient est habituellement comprise entre 0,01 et 0,30 (Freeze et Cherry, 1979). Pour le calcaire, sa valeur varie entre 0,00 et 0,36 (Spitz et Moreno, 1996). Le Dogger est un bon aquifère, donc a priori son coefficient d'emménagement libre n'est pas trop faible, mais il est karstifié, ce qui pose problème quant à l'utilisation de paramètres censés s'appliquer à des écoulements en milieu poreux.

L'équation en milieu poreux régissant l'évolution de la charge dans l'espace et le temps pour une nappe libre est :

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left( h \frac{\partial h}{\partial x_i} \right) = \frac{n_d}{K} \frac{\partial h}{\partial t} - q$$

où  $h$  est la charge,  $K$  la conductivité hydraulique (m/s),  $n_d$  le coefficient d'emménagement libre et  $q$  le terme source ( $q > 0$ ) provenant de la recharge.

C'est cette équation qu'utilise le logiciel MARTHE. Mais dans notre cas, nous savons que les galeries de mine, dont nous cherchons à modéliser l'évolution de la charge, sont probablement alimentées par de l'eau provenant de conduits karstiques.



pour un intervalle de temps  $\Delta t$

On sait que  $\Delta h_{\text{galerie}} \approx \Delta h_{\text{karst}}$  sur un intervalle de temps  $\Delta t$  ; il faut donc que notre modèle reproduise cette variation de charge dans le karst, c'est-à-dire  $\Delta h' = \Delta h_{\text{karst}}$  :

$$\frac{\Delta}{\Delta x_i} \left( h' \frac{\Delta h'}{\Delta x_i} \right) = \frac{n_d'}{K'} \frac{\Delta h'}{\Delta t} - \Delta q'$$

$$\text{et } \frac{\Delta h_{\text{karst}}}{\Delta t} = \frac{\Delta h'}{\Delta t} = \left( \frac{\Delta}{\Delta x_i} \left( h' \frac{\Delta h'}{\Delta x_i} \right) + \Delta q' \right) \times \frac{K'}{n_d'}$$

Si  $K' = K$ ,  $n_d' = n_d$  et  $\Delta q' = \Delta q$ , alors nécessairement  $\Delta h' = \Delta h$  sur l'intervalle  $\Delta t$ . On ne peut donc jouer que sur ces trois paramètres pour rendre compte de la présence de karsts :

- perméabilité  $K'$  : on peut augmenter la perméabilité par rapport à  $K$ . Rappelons que relativement à un autre aspect des milieux karstiques qui est la vitesse de transmission plus forte, on a déjà pris  $K' > K$ .
- la recharge  $\Delta q'$  : jouer sur la recharge est complexe et sans justification particulière.
- le coefficient d'emmagasinement libre : il peut être abaissé. C'est l'option que nous avons retenue, en prenant  $n_d' < n_d$ . On peut justifier cela en considérant que même si la présence de conduits karstiques augmente la porosité du milieu, cette capacité d'emmagasinement est beaucoup moins utilisée, puisque les conduits constituent des chemins préférentiels pour l'eau.

### b) Coefficient d'emmagasinement captif

Il est défini comme le volume d'eau qu'un aquifère captif (ex : aquifère de la formation ferrifère dans notre modèle) peut relâcher ou stocker par unité de volume et par unité de variation de la charge hydraulique. L'ordre de grandeur choisi a été de  $10^{-6} \text{ m}^{-1}$ , comme valeur limite pour une roche fissurée (Spitz et Moreno, 1996).

## 2.5 CONSTRUCTION DU MODELE SOUS MARTHE

MARTHE est un logiciel développé par le BRGM depuis une quinzaine d'années (annexe 11). Il est basé sur la méthode des différences finies (mailles rectangulaires) pour résoudre l'écoulement et le transport en milieu poreux. Il possède entre autre les fonctionnalités suivantes : simulation de l'écoulement 3D en nappe libre, captive, possibilité de définir des zones de débordement... Une nouvelle fonctionnalité, le drain-conduit, a été utilisée pour simuler l'écoulement en galerie. Le maillage du modèle est irrégulier, plus fin au niveaux des travaux miniers et des quelques points de mesure dont nous disposons : les dimensions des mailles sont de 200 m, 300 m, 400 m ou 600 m.

### 2.5.1 Limites du modèle

Les limites du modèle sont les limites pour lesquelles nous avons défini des conditions : faille de Domèvre-en-Haye, Esche, Terrouin, affleurements de l'Aalénien ou du Dogger. Les limites à charges imposées sont illustrées par les figures 18 et 19 (mailles en orange). Les autres limites sont des limites à flux nul. Un index de débordement a été affecté aux couches affleurantes pour leur permettre de déborder, simulant ainsi la présence de sources.

### 2.5.2 Nombre de couches

Il est de quatre : une pour la formation ferrifère, une pour les Marnes micacées, une pour les Calcaires à Polypiers, une autre pour le Bajocien moyen et supérieur (compris entre le sol et le toit des Calcaires à Polypiers). Nous avons donc distingué deux couches aquifères dans l'aquifère du Dogger (ces couches sont séparées dans la réalité par les Marnes de Longwy), essentiellement pour permettre à la nappe des Calcaires à Polypiers de se mettre en charge comme cela arrive dans la réalité, mais en conservant des valeurs identiques de paramètres hydrodynamiques pour ces deux couches : en effet Marthe considère que la nappe est captive quand sa charge atteint la cote du toit de la couche aquifère, et utilise alors l'équation de charge en nappe captive. Chaque couche possède un toit et un substratum, importés dans MARTHE à partir des fichiers Surfer. La figure 20 ci-dessous montre une coupe du modèle visualisée sous WINMARTHE (correspondant au trait de coupe dessiné sur la figure 19). La première couche compte 1422 mailles, la deuxième 1618, la troisième et la quatrième 1626 chacune.

### 2.5.3 Galeries de la mine

Les galeries sont modélisées à l'aide de drains-conduits, dont le fonctionnement est expliqué en annexe 7. La répartition des drains-conduits (Figure 21) dans la couche de la formation ferrifère est présentée ci-dessous. La galerie de débordement est également représentée par un drain-conduit : on en trouvera le schéma en annexe 7. Il y a au total 42 mailles affectées par la fonctionnalité drain-conduit.

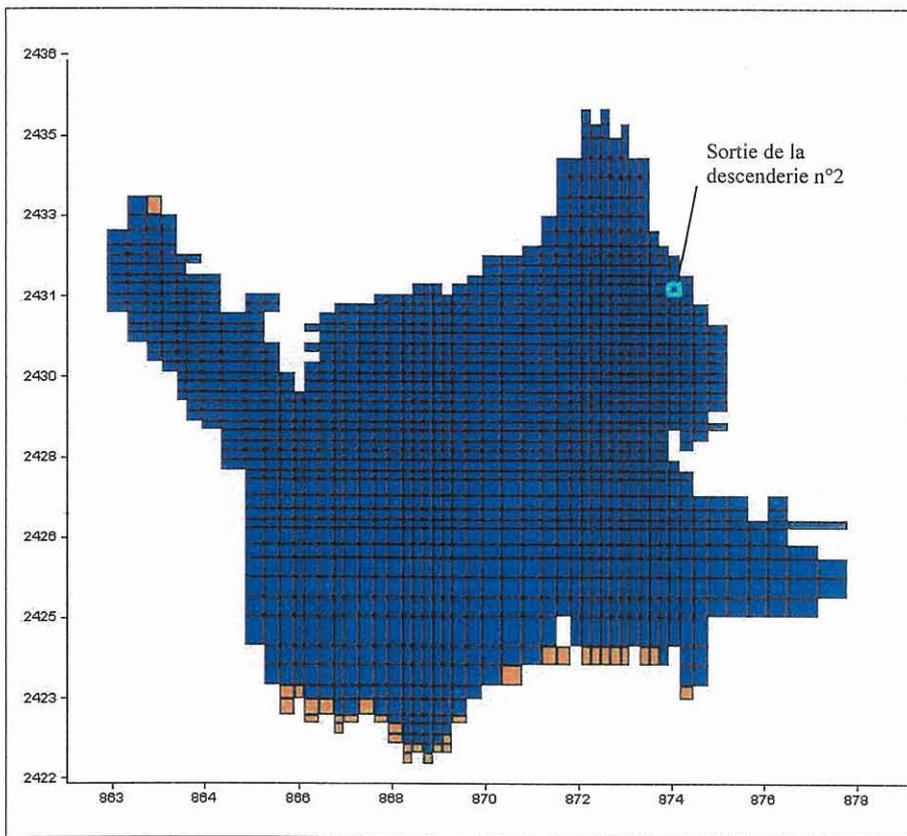


Figure 18 – Limite à charge imposée : Moselle et Terrouin

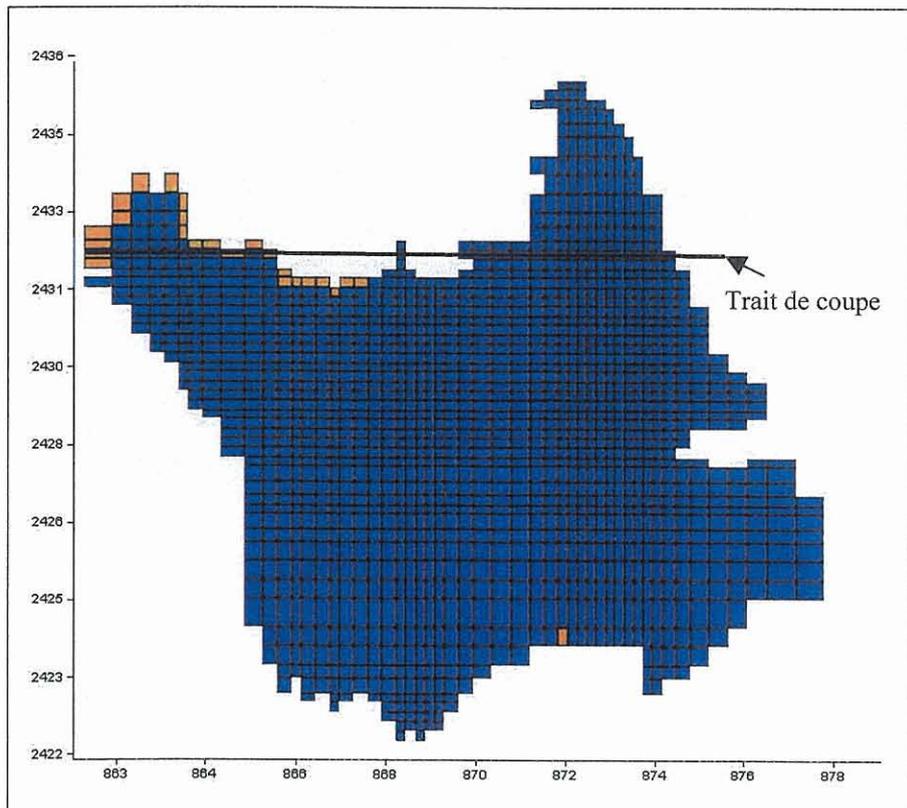


Figure 19 – Limite à charge imposée : Esche

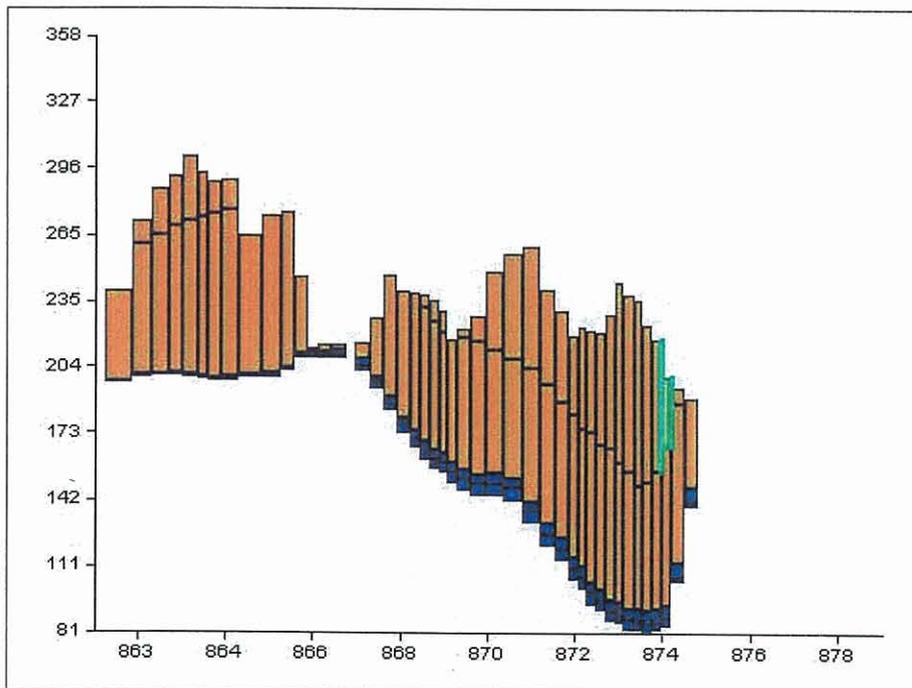


Figure 20 – Une coupe dans le modèle où apparaissent les quatre couches

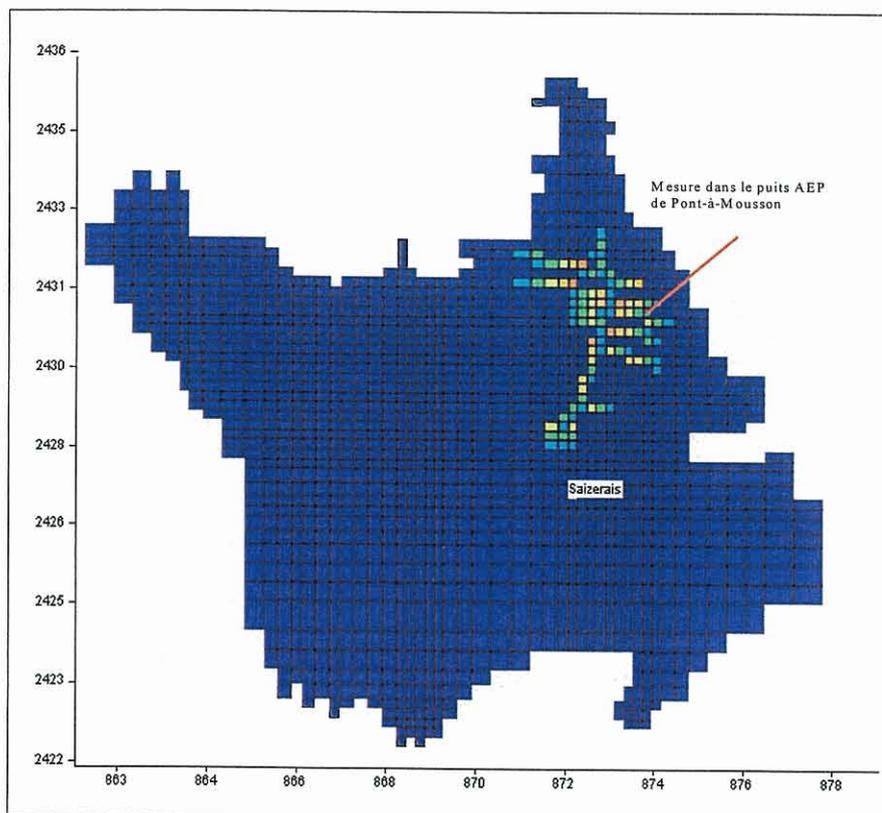


Figure 21 – Les galeries modélisées

## 2.5.4 Recharge

Le logiciel MARTHE permet la création de zones d'infiltration : nous faisons correspondre des zones d'infiltration aux zones de réserves utiles définies précédemment. La figure 21 ci-dessous présente les quatre zones d'infiltration prises en compte dans le modèle.

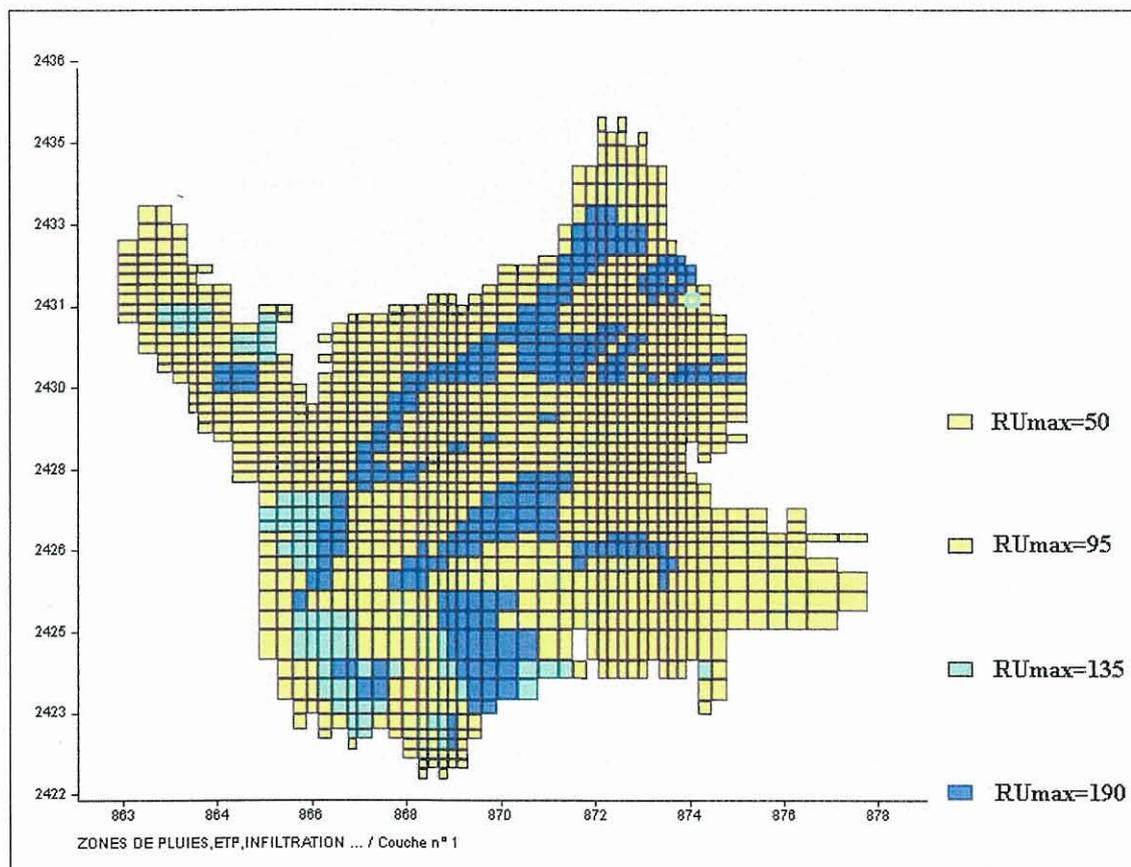


Figure 22 – Les différentes zones de recharge liées aux différentes classes de réserve utile maximale

## 2.5.5 Prélèvements AEP

Excepté le puits d'alimentation de Pont-à-Mousson débouchant sur la mine, un débit constant a été prélevé au niveau des forages AEP du secteur : ce débit correspond à une moyenne sur environ vingt ans des débits pompés (annexe 9). Cette approximation est licite parce que ces débits ne sont pas très élevés et/ou car les points de prélèvement sont assez éloignés du secteur minier. La localisation des différents points de prélèvement dans le modèle est présentée sur la figure 23.

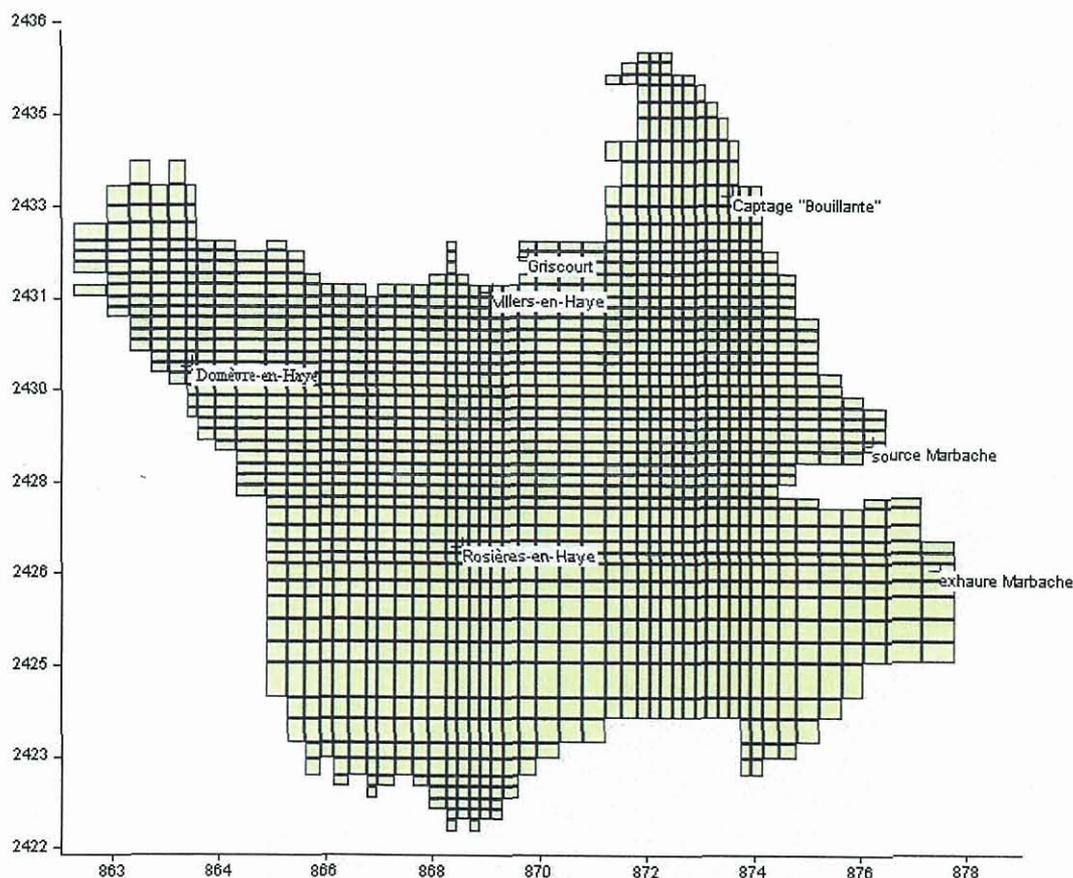


Figure 23 – Les différents points de prélèvement du secteur

## 2.5.6 Paramètres hydrodynamiques

Pour chaque simulation, les valeurs des paramètres hydrodynamiques définis précédemment sont saisies dans un fichier .mdi (annexe 8). Les valeurs utilisées dans les simulations seront détaillées dans le chapitre suivant.

## 2.5.7 Pas de temps du régime transitoire

Le pas de temps utilisé est le pas mensuel : en effet, la plupart des données sont fournies avec un pas de temps supérieur au pas journalier, et certaines, comme le débit pompé au puits de Pont-à-Mousson, sont même données au pas mensuel. Les paramètres susceptibles de varier chaque mois sont : l'infiltration, le débit de pompage AEP de la mine, et le débit de surpompage.

### 3. Présentation des résultats

#### 3.1 CALAGE EN REGIME PERMANENT INITIAL

Un premier calage a été fait sur la piézométrie dans l'aquifère du Dogger. La piézométrie de référence a été tirée de l'esquisse de 1977. La date de réalisation des mesures n'étant pas précisée, la recharge a été calculée à partir d'une pluie mensuelle moyenne sur 10 ans. Etant donné la précision très relative d'une esquisse piézométrique dans un calcaire karstifié, et puisque par manque d'information il n'était pas souhaitable de créer des zones de perméabilité, le calage a eu pour seul but de reproduire grossièrement l'allure de la nappe.

##### 3.1.1 Résultat du calage en régime permanent

La différence entre la charge calculée et celle provenant de l'esquisse de 1977 varie entre 11 m et -7 m. La zone rouge représente une zone pour laquelle il n'y avait aucune donnée ou bien pour laquelle le Dogger est asséché.

##### 3.1.2 Paramètres utilisés pour le calage

On trouvera dans le tableau 2 la valeur des paramètres hydrodynamiques utilisés. Le calage s'est fait essentiellement en faisant varier la perméabilité du Dogger. Les valeurs utilisées respectent les ordres de grandeur courants.

Perméabilité du Dogger	$1,5 \cdot 10^{-4}$ m/s
Perméabilité générale des Marnes micacées	$10^{-8}$ m/s
Perméabilité des Marnes micacées au droit des galeries	$10^{-9}$ m/s
Perméabilité générale de la formation ferrifère	$10^{-8}$ m/s
Perméabilité de la formation ferrifère au niveau des galeries	$10^{-6}$ m/s

*Tableau 2 – Perméabilités issues du calage en régime permanent*

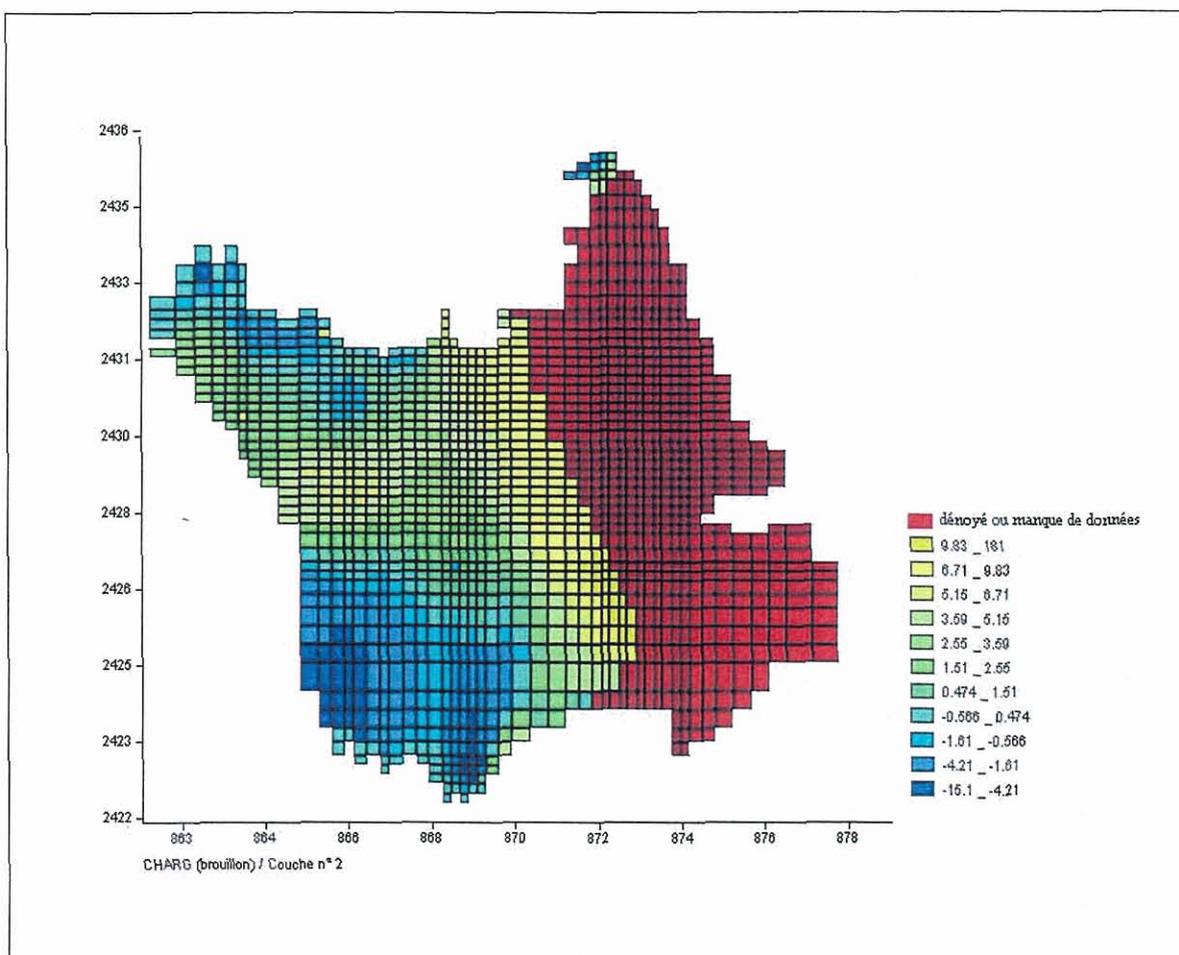


Figure 24 – Différence entre la piézométrie calculée et l'esquisse piézométrique de 1977 pour le régime permanent initial

### 3.2 CALAGE EN REGIME TRANSITOIRE DE 1981 A 1987

Le calage sur cette période s'est fait en deux étapes : par rapport au temps de calcul que nécessite la simulation, il était plus pratique de réaliser un premier calage sur une période plus courte, par exemple de juillet 1981 à décembre 1984. Puis une simulation a été faite sur la période allant de juillet 1981 à août 1987, à la suite de laquelle le calage a été affiné. On présente dans la suite du texte ces derniers résultats.

Pour juger de l'ajustement du modèle aux mesures, on a tout d'abord comparé le niveau piézométrique mesuré dans le puits de la mine à celui calculé par le modèle. Puisque le modèle suit un pas de temps mensuel, on ne peut comparer les valeurs calculées à chaque pas de temps qu'avec des mesures de niveau réalisées en fin de mois. Quand cette donnée était disponible, elle a été utilisée, sinon, on a pris en compte des valeurs de niveau interpolées (Collon et al., 2000), à condition que la mesure la plus proche ne soit pas éloignée de plus de deux jours.

Nous avons aussi comparé le volume débordé cumulé issu des mesures à la sortie de la descenderie n°2 et ce même volume calculé par le modèle. En effet, en raison de l'inadéquation entre le pas de temps de calcul (1 mois) et la durée des débordements (parfois moins d'1 mois), il est préférable de caler le modèle par rapport aux volumes débordés cumulés plutôt que par rapport aux débits de débordement. D'après l'Agence Financière de Bassin Rhin-Meuse, la confiance à accorder aux mesures de débits de débordement est de 15 %.

### 3.2.1 Charge dans le puits de la mine

L'évolution du niveau piézométrique calculé dans le puits de la mine (Figure 25) suit toujours assez bien les mesures sauf vers décembre 1986 et janvier 1987. La mine commence à déborder en mars 1982, ce qui est assez conforme à la réalité. Dans certaines périodes de décrues, les mesures sont assez mal reproduites, notamment de mai à juillet 1982.

### 3.2.2 Volumes débordés cumulés

Les débordements (Figure 25) se font aux bons moments, excepté vers février 1986, et en général aux bons volumes.

### 3.2.3 Valeurs des paramètres hydrodynamiques calés

Perméabilité du Dogger	$1,5 \cdot 10^{-4}$ m/s
Perméabilité générale des Marnes micacées	$10^{-9}$ m/s
Perméabilité des Marnes micacées au droit des galeries	$3 \cdot 10^{-9}$ m/s
Perméabilité générale de la formation ferrifère	$5 \cdot 10^{-8}$ m/s
Perméabilité de la formation ferrifère au droit des galeries	$9,5 \cdot 10^{-7}$ m/s
Coefficient d'échange nappe-conduit	2
Coefficient d'emménagement libre du Dogger	0,0025
Coefficient d'emménagement libre des Marnes micacées et de la formation ferrifère	0,01
Coefficient d'emménagement captif	$10^{-5} \text{ m}^{-1}$

Tableau 3 – Valeurs des paramètres issues du calage de juillet 1981 à août 1987

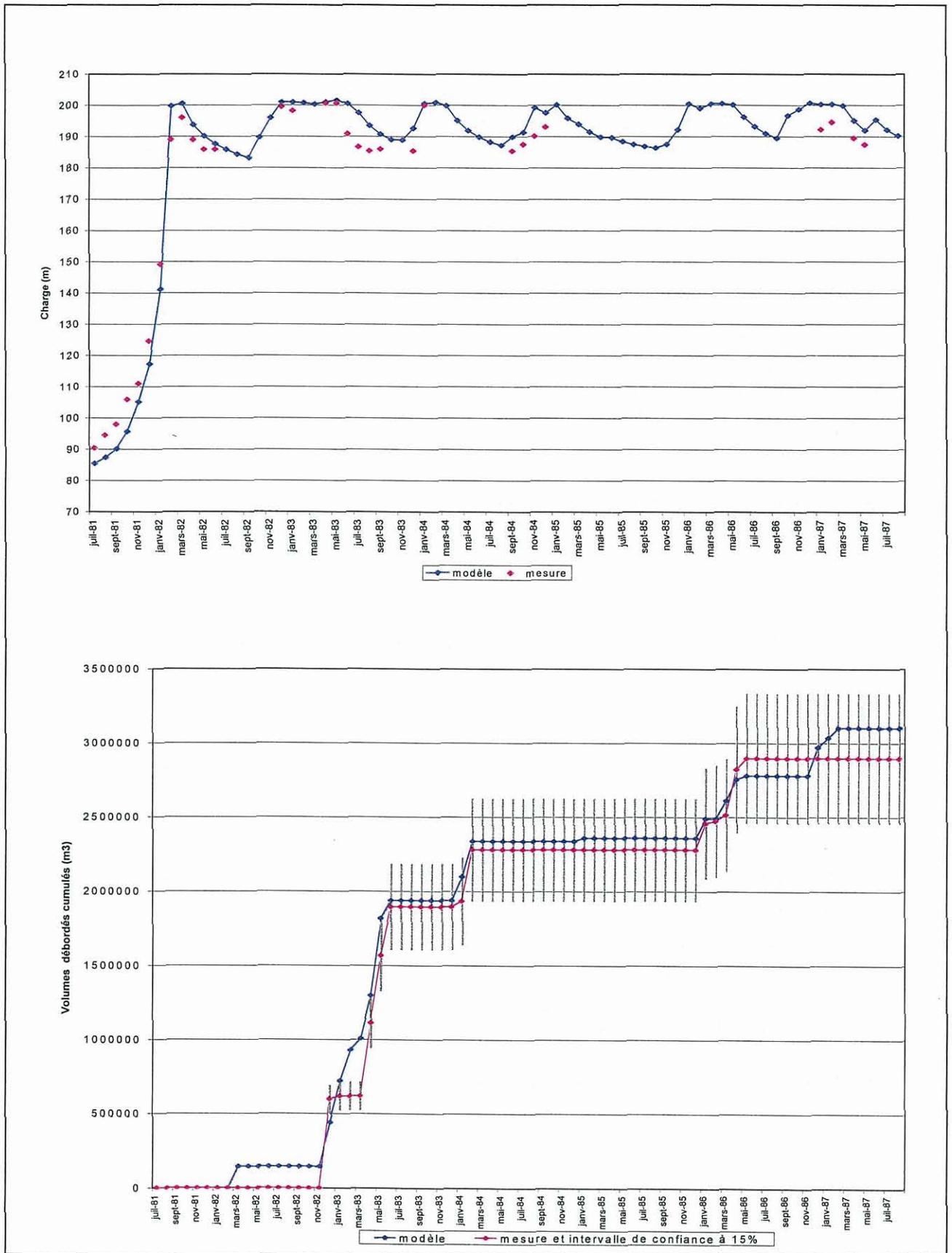


Figure 25 – Charge dans le puits de la mine et volumes débordés par la mine de juillet 1981 à août 1987

La Figure 26 permet la comparaison entre les débits de débordements observés et calculés. On remarque que l'allure générale est bien reproduite, avec cependant des écarts pouvant atteindre 100%.

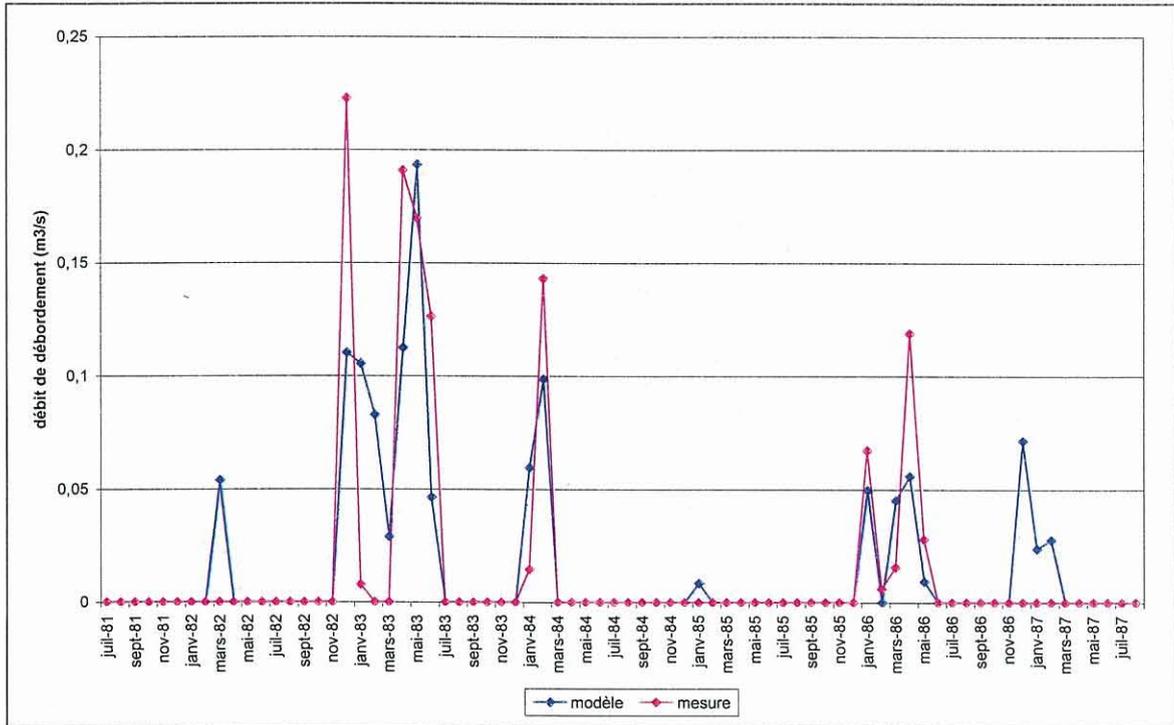


Figure 26 – Débits de débordement de juillet 1981 à août 1987

### 3.3 COHERENCE DU MODELE

#### 3.3.1 Vérification des limites à charge imposée

D'après les Figure 27 et Figure 28, nous constatons que les limites à charge imposée sont globalement validées par le modèle, c'est-à-dire qu'elles drainent généralement la nappe du Dogger comme nous l'avions supposé, même si en certains endroits ces limites alimentent les mailles de l'aquifère du Dogger : ce n'est pas très gênant dans notre cas, car comme il a été dit dans le paragraphe sur les conditions aux limites, il existe des pertes, situées en partie là où l'on constate des débits positifs sous MARTHE.

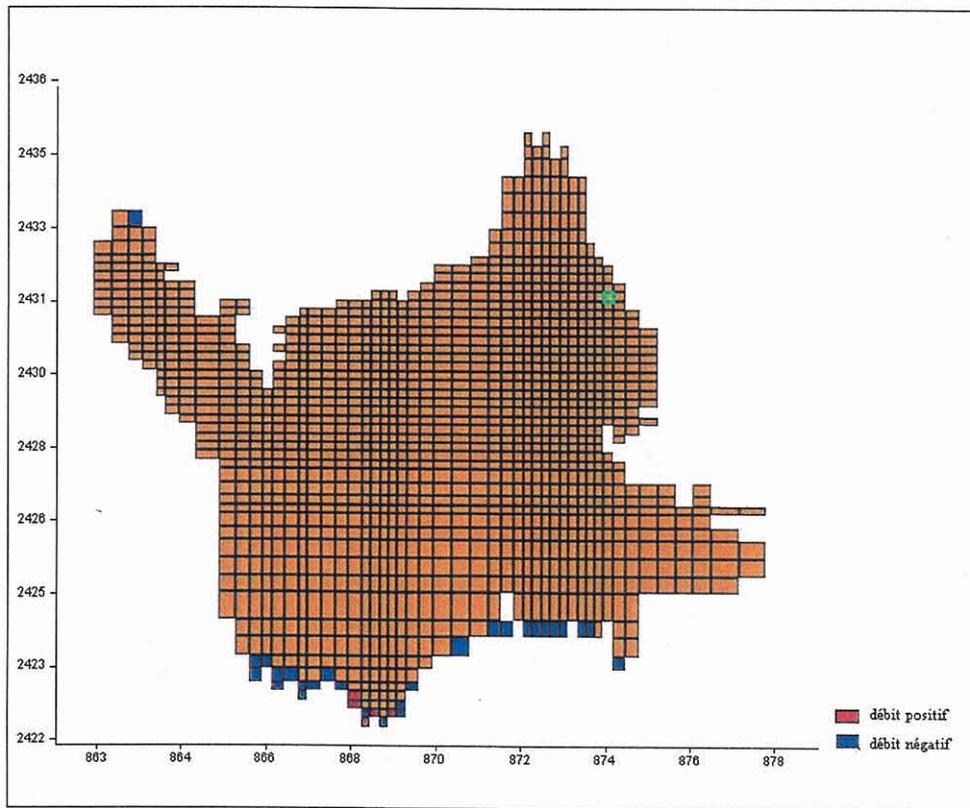


Figure 27 – Comportement des limites à charge imposée dans le modèle : Terrouin et Moselle

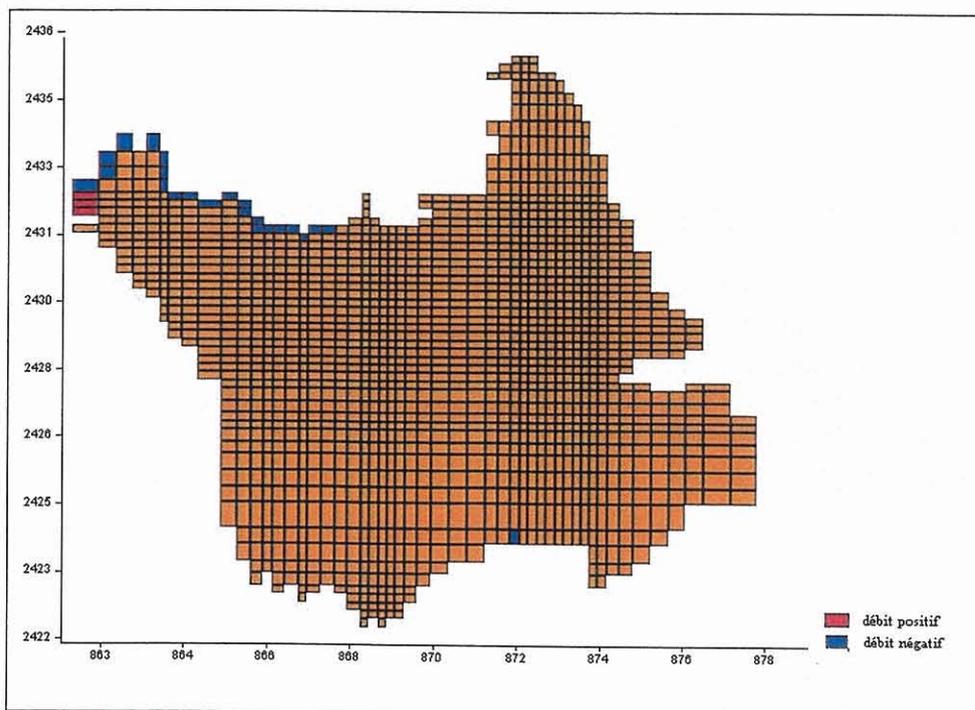


Figure 28 – Comportement des limites à charge imposée dans le modèle : Esche

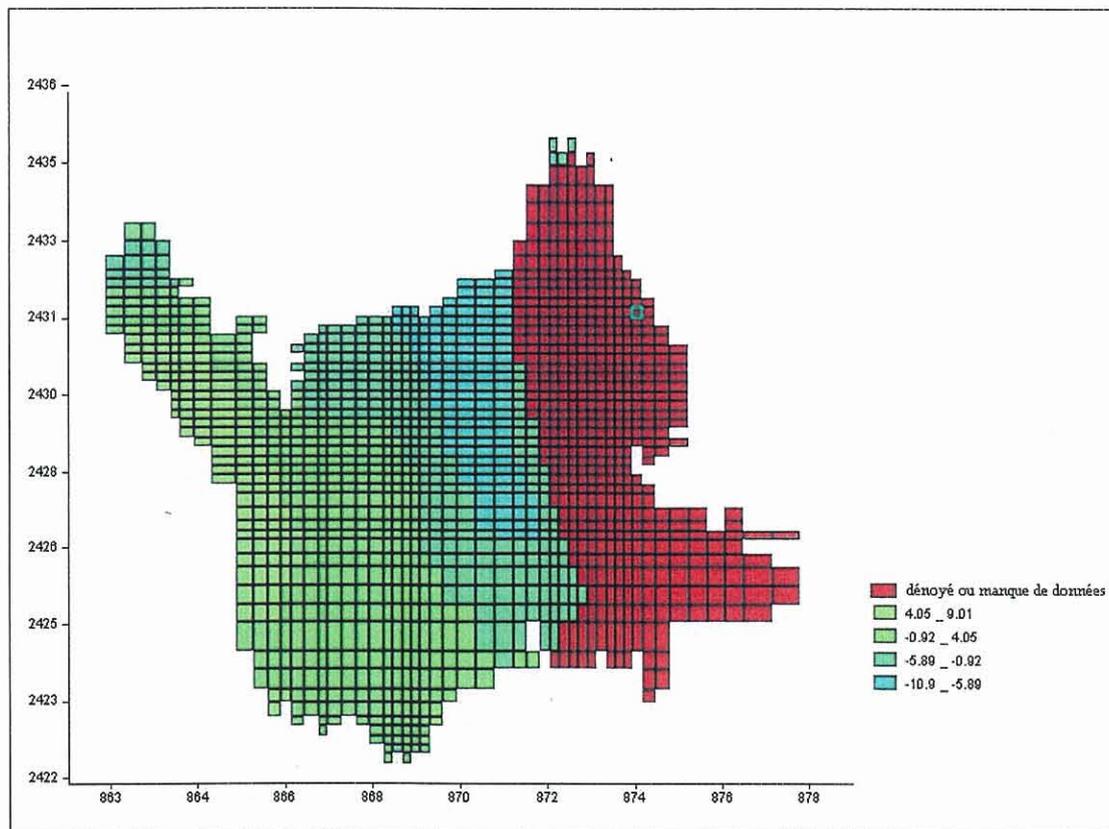


Figure 29 – Comparaison à l'esquisse piézométrique de 1984

### 3.3.2 Comparaison à l'esquisse piézométrique de 1984

La différence entre la carte de charges calculées en décembre 1984 et l'esquisse piézométrique de 1984 varie entre 6 m et -10 m. Etant donné les incertitudes sur l'esquisse piézométrique de 1984, et le fait que l'on ne sait pas à quel moment de l'année elle a été faite, cette différence globale est satisfaisante, de même que l'état pseudo-permanent initial était satisfaisant par rapport à l'esquisse piézométrique de 1977.

### 3.4 SIMULATION EN REGIME TRANSITOIRE DE 1987 A 1994

N'ayant aucune donnée fiable relative aux débordements pendant la période de surpompage qui débute en septembre 1987, la comparaison calculé / mesuré ne pourra porter que sur la charge dans le puit AEP de la mine (Figure 30). La simulation de la variation de la charge dans la mine reproduit bien la variation réelle : l'écart maximal est de 6,71 m et l'écart minimal de 0,22 m.

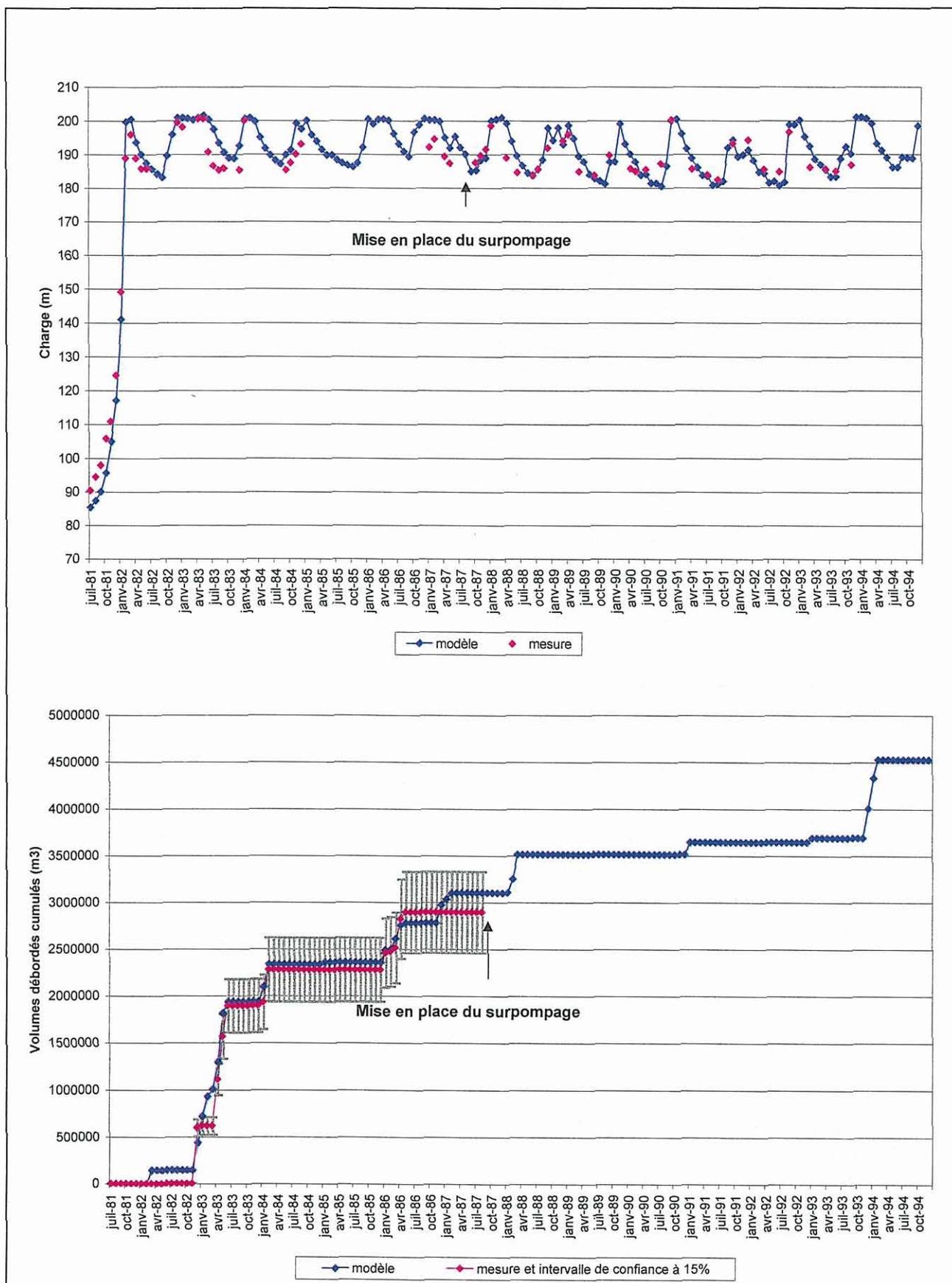


Figure 30 – Simulation de la période de surpompage

### 3.5 ANALYSE DE SENSIBILITE AUX PARAMETRES

Lorsque l'ajustement des résultats du modèle aux valeurs observées est jugé satisfaisant, l'analyse de sensibilité permet de quantifier l'effet de la variation d'un ou de plusieurs paramètres sur les résultats. Pour chaque paramètre important, des simulations ont ainsi été lancées, en faisant varier la valeur de ce paramètre par rapport à la valeur calée.

Pour juger de l'effet de la variation d'un paramètre sur les simulations, nous avons utilisés divers critères, qui valent, pour la simulation calée :

- écart-type après remplissage = 5,76 m ;
- écart de charge, minimal : 0,29 m ; maximal : 10,89 m ;
- corrélation des courbes de volumes débordés = 0,9982 (dans un graphique avec pour axes les valeurs calculées et mesurées, ce coefficient est égal à  $(\text{var2}-\text{var1})/(\text{var2}+\text{var1})$ , où var1 est la variance par rapport à la première bissectrice et var2 la variance par rapport à la deuxième bissectrice) ;
- écart final du volume total débordé au volume total débordé mesuré = 205 384 m<sup>3</sup> ;

Les deux tableaux 4 et 5 ci-après donnent la valeur des critères pour chaque simulation., et les figures qui suivent (de la Figure 31 à la Figure 36) présentent, pour chaque paramètre, les courbes de charge et de volumes débordés mesurées, calées et simulées.

*Remarque* : il est à noter que pendant la phase de remplissage, nous n'avons pas quantifié la différence entre une simulation et le modèle calé car les courbes ont des tangentes à forte pente et deux courbes peuvent être proches alors que pour le même pas de temps la différence de charge est importante.

Au vu des deux tableaux et des figures, il apparaît que :

- la phase de remplissage est très sensible à toute variation de paramètre ;
- la phase qui suit est assez robuste en ce qui concerne la charge dans le puits de la mine ;
- la forme de la courbe des volumes cumulés débordés reste assez semblable, ce que traduit la faible variation du coefficient de corrélation : même s'ils ont des valeurs très différentes, les débordements continuent à se faire aux mêmes moments.

Examinons l'influence de chaque paramètre :

#### 3.5.1 Perméabilité du Dogger (Figure 31)

La charge dans les galeries est fortement déterminée par la perméabilité du Dogger, de même pour les débordements. L'augmentation de la perméabilité du Dogger rend la simulation sur la charge meilleure, mais beaucoup moins bonne en ce qui concerne les volumes débordés cumulés.

### **3.5.2 Perméabilité de la formation ferrifère au niveau des galeries (Figure 32)**

La différence avec le modèle calé apparaît surtout durant le remplissage, pendant lequel la perméabilité de la formation ferrifère joue un rôle important pour sa capacité à amener l'eau et donc à faire varier la charge.

### **3.5.3 Perméabilité des Marnes micacées au droit des galeries (Figure 33)**

Le phénomène est similaire à celui observé dans le cas précédent. Remarquons toutefois ici que pour une variation plus forte de la perméabilité la différence au niveau de la charge durant le remplissage est moins forte, ce qui est assez logique étant donné la moindre proximité des Marnes micacées avec les galeries.

### **3.5.4 Coefficient d'échange nappe-conduit (Figure 34)**

Le modèle n'est pas très sensible à ce paramètre, contrairement à ce que nous pensions au départ. Il s'établit peut-être une compensation : si la paroi de la galerie laisse passer moins d'eau, la charge augmente et tend à faire augmenter le débit d'échange nappe-galerie (et inversement).

### **3.5.5 Coefficient d'emménagement libre du Dogger (Figure 35)**

Une variation de + 300 % du coefficient d'emménagement libre le fait passer de 0,0025 (valeur issue du calage) à 0,01. Cette dernière valeur est déjà une valeur limite pour un calcaire, et a été choisie pour illustrer la nécessité de prendre un coefficient d'emménagement libre très faible. Autour de la valeur initiale 0,0025 (+/- 20 %), le modèle est relativement robuste.

### **3.5.6 Coefficient d'emménagement captif (Figure 36)**

Une variation de + 400 % fait passer le coefficient d'emménagement captif de  $10^{-5} \text{ m}^{-1}$  à  $5.10^{-5} \text{ m}^{-1}$ , qui est une valeur plus normale (d'après la littérature) : il faut donc là aussi prendre une valeur assez faible du coefficient d'emménagement captif. Autour de cette valeur calée le modèle est assez robuste.

	Ecart-type après remplissage (m)	Variation écart-type / écart-type calé	Ecart minimal (m)	Ecart maximal (m)
Valeurs pour le modèle calé	5,76	-	0,29	10,89
Paramètre et ses variations				
Perméabilité du Dogger				
+33 %	4,62	-20 %	-0,007	10,4
-33 %	7,49	+30 %	0,56	13,55
Perméabilité de la f.f* au niveau des galeries				
+20 %	5,92	+2,78 %	0,36	11,08
-20 %	7,49	+30 %	0,15	10,62
Perméabilité des m.m* au droit des galeries				
+33 %	5,92	+2,78 %	0,35	11,06
-33 %	5,48	-4,86 %	0,18	10,66
Coefficient d'échange nappe-conduit				
+20%	5,85	+1,56 %	0,35	11
+10 %	6,10	+5,90 %	0,25	10,9
-10%	5,65	-1,91 %	0,25	10,9
-20 %	5,46	-5,21 %	0,18	10,74
Coefficient d'emmagasinement libre du Dogger				
+300%	7,99	+38,72 %	-0,01	14,7
+20%	6,04	+4,86 %	0,27	0,30
-20%	5,45	-5,38 %	0,30	9,58
Coefficient d'emmagasinement captif				
+400%	6,89	+19,62%	0,13	13,52
-50%	5,60	-2,78 %	0,29	10,07
-90%	5,48	-4,86 %	0,35	9,45

Tableau 4 – Analyse de sensibilité sur la charge dans le puits de la mine

	Coefficient de corrélation	Variation du coefficient de corrélation	Ecart du volume total débordé au volume total débordé calé (m <sup>3</sup> )	Rapport de cet écart au volume total débordé calé
Valeurs pour le modèle calé	0,9982			
Paramètre et ses variations				
Perméabilité du Dogger				
+33 %	0,9152	-8,31 %	1 833 369	59,1 %
-33 %	0,9045	-9,39 %	-1 442 397	-39,9 %
Perméabilité de la f.f* au niveau des galeries				
+20 %	0,9891	-0,91 %	357 000	+12,5 %
-20 %	0,9702	-2,81%	-760 561	-24,5%
Perméabilité des m.m* au droit des galeries				
+33 %	0,9878	-1,04 %	378 927	+12,2 %
-33 %	0,9862	-1,20 %	-510 248	-16,4 %
Coefficient d'échange nappe-conduit				
+20%	0,9942	-0,4 %	206 990	+6,7 %
+10 %	0,9909	-0,73 %	367 051	+11,8 %
-10%	0,9967	-0,15 %	-244 627	-7,9 %
-20 %	0,9843	-1,39 %	-535 233	-17,21 %
Coefficient d'emménagement libre du Dogger				
+300%	0,8867	-11,17 %	-1 507 882	-48,6 %
+20%	0,9981	-0,01 %	9 652	+0,7 %
-20%	0,9975	-0,07 %	112 609	+3,7 %
Coefficient d'emménagement captif				
+400%	0,9752	-2,3 %	-813 163	-26,2 %
-50%	0,9981	-0,01 %	54 277	+1,8 %
-90%	0,9936	-0,46 %	258 687	+8,41%

Tableau 5 – Analyse de sensibilité sur les volumes débordés cumulés

\*f.f = formation ferrifère ; m.m = Marnes micacées

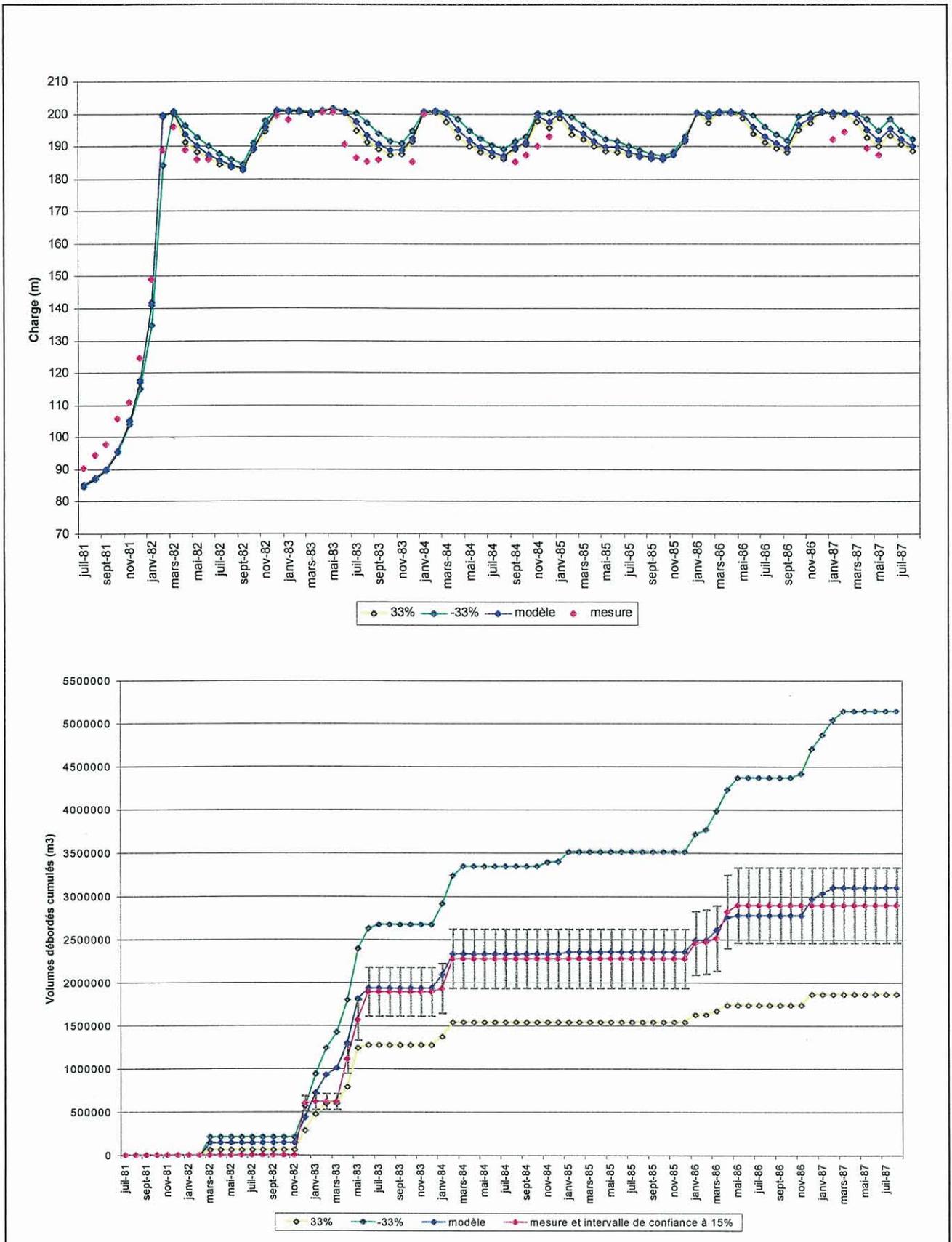


Figure 31 – Charge et volumes déborderés de juillet 1981 à août 1987 pour différentes valeurs de la perméabilité du Dogger

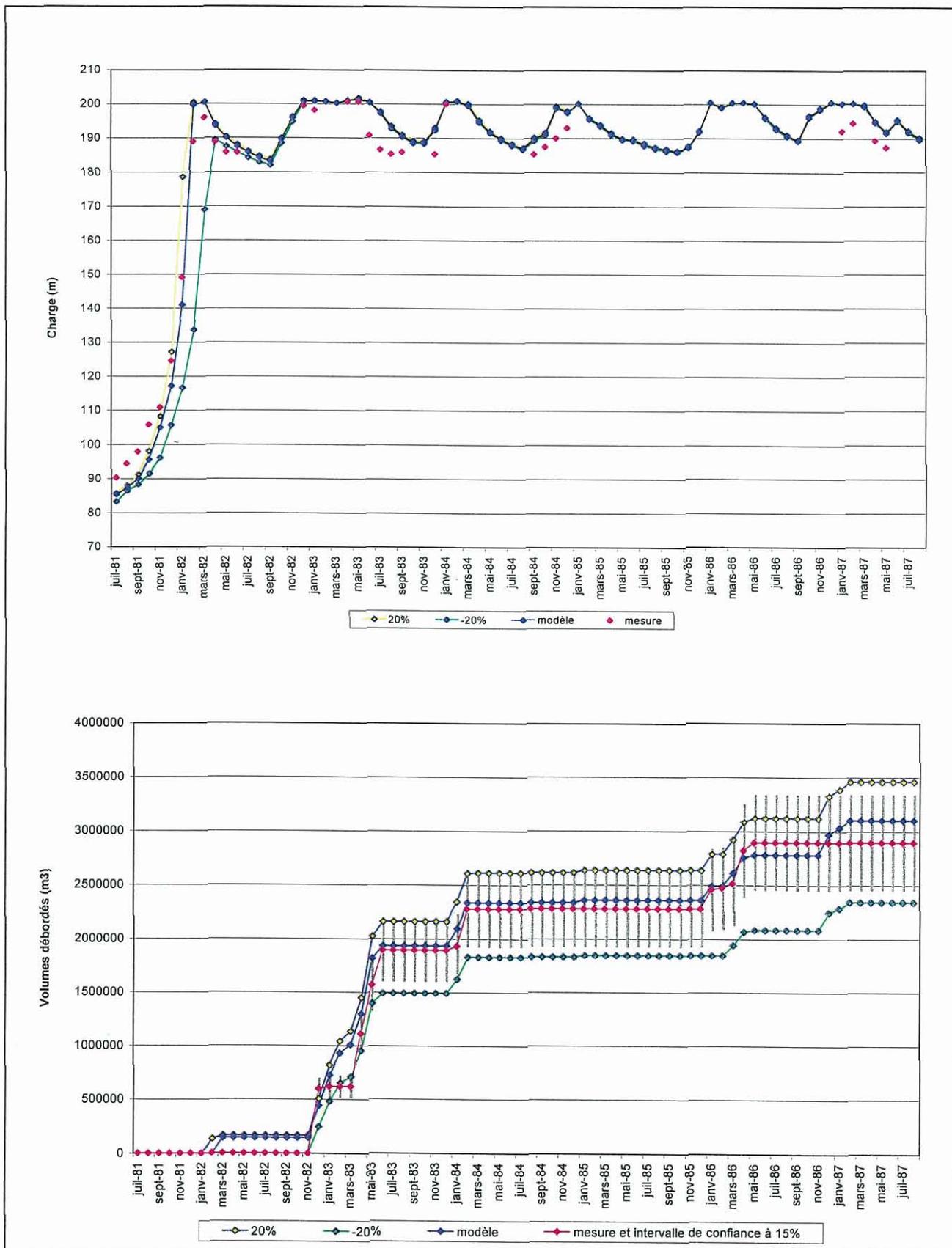


Figure 32 – Charge et volumes débordés de juillet 1981 à août 1987 pour différentes valeurs de la perméabilité de la formation ferrifère au niveau des galeries

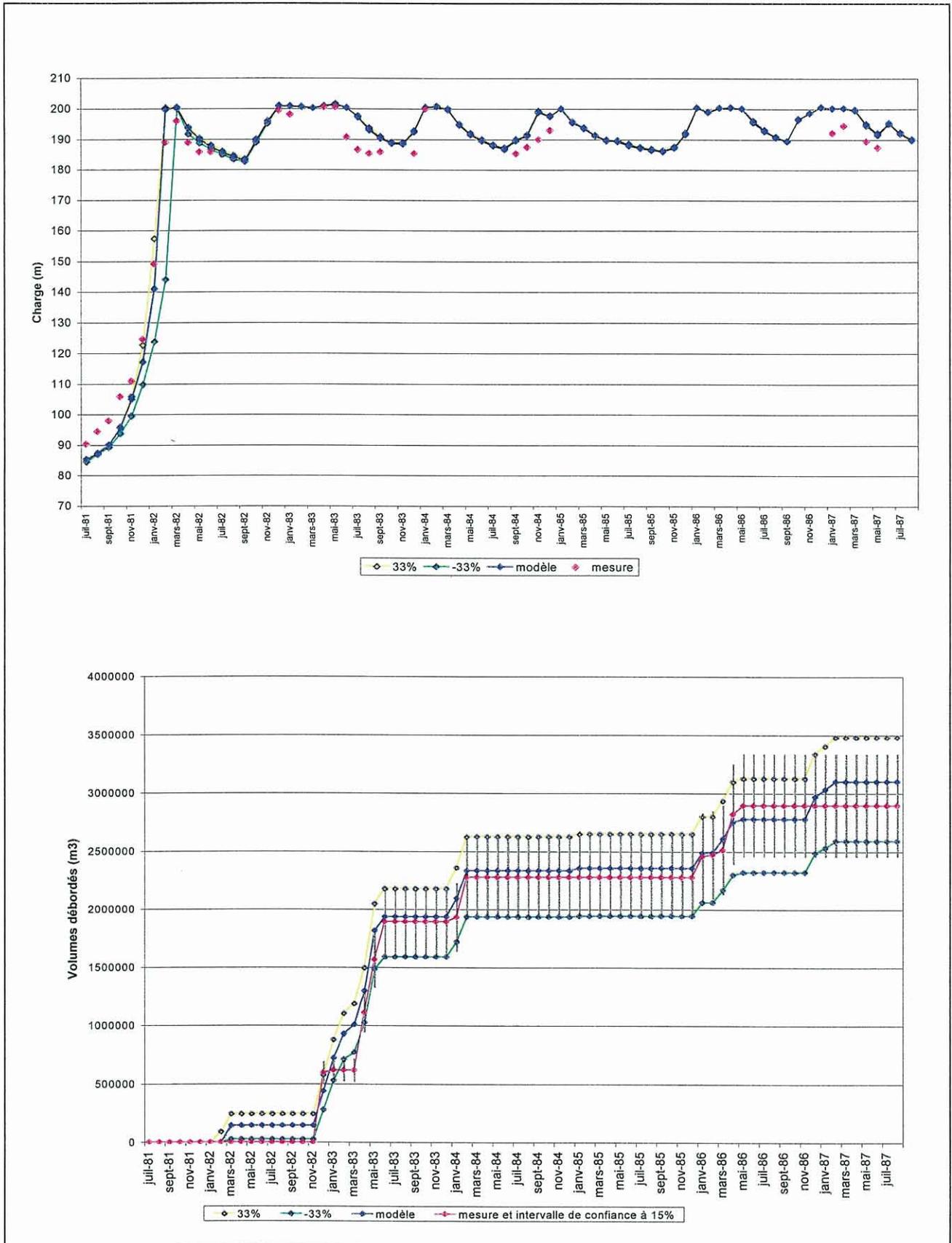


Figure 33 – Charge et volumes débordés de juillet 1981 à août 1987 pour différentes valeurs de la perméabilité des Marnes micacées au droit des galeries

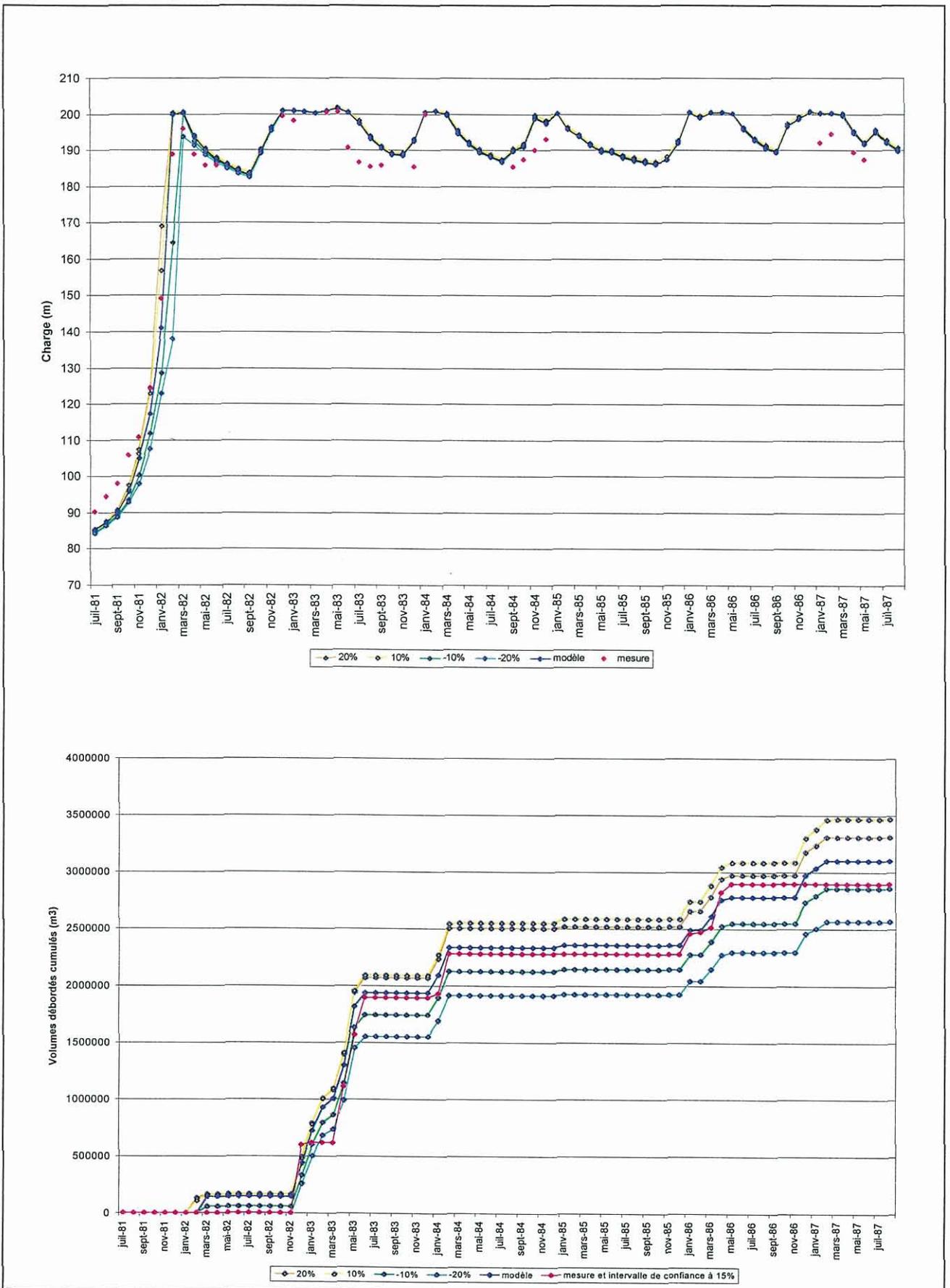


Figure 34 – Charge et volumés débordés de juillet 1981 à août 1987 pour différentes valeurs du coefficient d'échange nappe-conduit

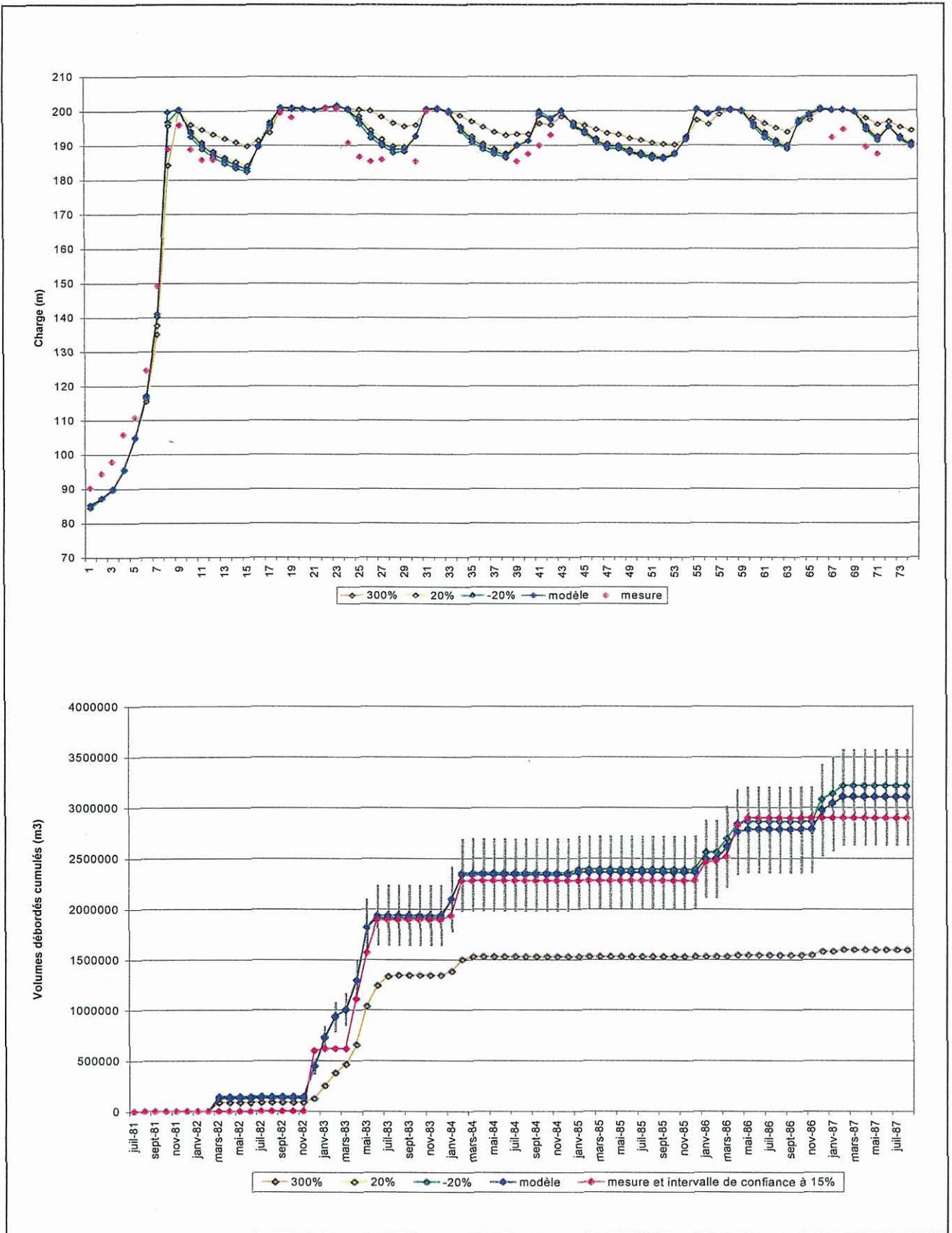


Figure 35 -- Charge et volumes débordés par la mine de juillet 1981 à août 1987 pour différentes valeurs du coefficient d'emmagasinement libre du Dogger

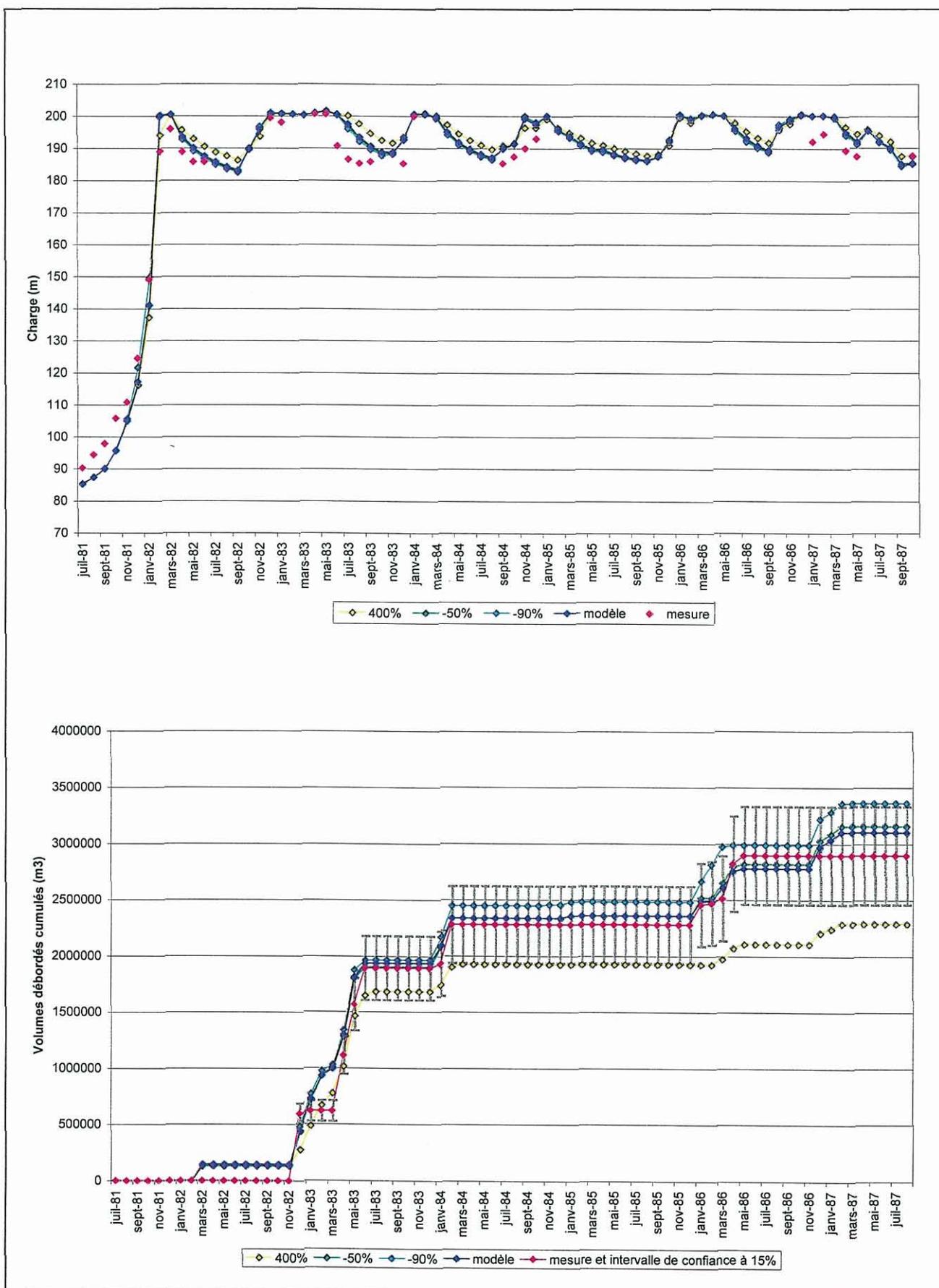


Figure 36 – Charge et volumes débordés par la mine de juillet 1981 à août 1987 pour différentes valeurs du coefficient d'emmagasinement captif

## Conclusion

L'objectif du travail exposé dans ce rapport était de tester la faisabilité d'une modélisation hydrodynamique spatialisée d'un système hydrogéologique particulièrement complexe : une ancienne mine de fer du bassin ferrifère lorrain, alimentée par un aquifère calcaire fracturé multicouche, localement karstifié. Les résultats sont satisfaisants sur les points suivants :

- Le calage reproduit bien l'évolution des deux critères de calage utilisés, à savoir la charge en un point du réseau de galeries et les volumes débordés à l'exutoire du réseau.
- Les valeurs des paramètres hydrodynamiques issues du calage respectent des ordres de grandeur couramment admis, excepté en ce qui concerne la perméabilité et le coefficient d'emmagasinement libre du Dogger. Ceci est dû à la nature karstique de cet aquifère, qu'il est très délicat de vouloir modéliser en utilisant une approche de type milieu poreux continu.
- L'utilisation de la fonctionnalité drain-conduit lors de la mise en œuvre du modèle sous MARTHE semble avoir été fructueuse : cette fonctionnalité permet un certain respect de la géométrie du réseau de galeries et de leur « état » (connexion avec l'aquifère environnant), et permet de calculer le débit circulant et la charge dans chaque tronçon du réseau.
- Enfin, l'analyse de sensibilité prouve une relative robustesse du modèle après la phase de remplissage.

Cependant, si une certaine cohérence du modèle a été vérifiée sur l'étendue de la zone d'étude, le manque d'informations, et notamment de relevés piézométriques réguliers en divers points de la zone d'étude, fait que le modèle n'est pas validé ailleurs qu'au niveau du puits d'alimentation de Pont-à-Mousson et de la sortie de l'ancienne galerie d'exhaure : sa capacité de prédiction en est donc très fortement affectée. Dans de telles circonstances, les apports de la modélisation spatialisée restent donc limités à l'analyse et à validation du modèle conceptuel du système modélisé, en permettant néanmoins une meilleure compréhension de la structure et du fonctionnement des aquifères.

Cette limite du modèle est d'abord le fait du manque de données, et non pas de l'outil numérique employé. L'étude a toutefois permis de mettre en lumière certaines limitations du code MARTHE : par exemple, il n'a pas été prévu de possibilité de débordement pour les drains-conduits ; et une géométrie de réseau non hiérarchisée (réticulée par exemple) ne peut pas être modélisée.

Compte tenu des difficultés rencontrées au cours de cette étude, liées surtout au manque de données, et tout en continuant parallèlement le test de méthodes de modélisation totalement spatialisées, il est justifié de poursuivre le développement de méthodes de modélisation globales. L'un des axes de recherche du GISOS est ainsi d'introduire dans les simulateurs de réservoirs miniers développés dans les précédentes études un niveau de spatialisement cohérent avec la quantité et la qualité des données disponibles.

## Bibliographie

- ADAMS R. and YOUNGER P.L. (2001) – A strategy for modeling groundwater rebound in abandoned deep mine systems. *Groundwater*, vol 39, p249-261.
- AGENCE DE L'EAU RHIN-MEUSE (1996) – Rapport interne.
- AGENCE DE BASSIN RHIN-MEUSE (1981) - Bassins versants souterrains dans les calcaires de Lorrain, 17p.
- AGENCE FINANCIERE DE BASSIN RHIN-MEUSE (1978) - Carte du débit probable des forages d'exploitation de la nappe du Dogger, 15p.
- AGENCE FINANCIERE DE BASSIN RHIN-MEUSE (1983) - Débordement de la mine de Saizerais par son ancienne galerie d'exhaure en décembre 1982. Note SR/JM du 19 janvier 1983.
- AGENCE FINANCIERE DE BASSIN RHIN-MEUSE (1983) - Débordement de la mine de Saizerais par son ancienne galerie d'exhaure d'avril à juin 1983 ; note complémentaire à celle du 19 janvier 1983. Note SR/MCG de septembre 1983.
- AGENCE FINANCIERE DE BASSIN RHIN-MEUSE (1986) - Débordement de la mine de Saizerais par son ancienne galerie d'exhaure en janvier et février 1984 et de janvier à mai 1986 ; note complémentaire à celles de janvier 1983 et septembre 1983. Note CDO/JV du 15 septembre 1986.
- ANDERSON M.P. and WOESSNER W.W. (1992) – Applied groundwater modeling, 341p.
- BICHELONNE J et PANGOT P. (1939) - Le Bassin Ferrifère de Lorraine. Commission d'études géologiques du bassin lorrain du Comité des Forges et des Mines de Fer de l'Est de la France, p352-414.
- BOULY S. (1979) - Possibilités d'exploitation du réservoir aquifère du Dogger entre Toul et Pont-à-Mousson. Rapport Agence Financière du Bassin Rhin-Meuse-INPL, 26p.
- BOULY S. et DEMASSIEUX L. (1984) - Rapport géologique relatif à la détermination des périmètres de protection du captage dit de la Mine de Saizerais.
- BOULY S. (1987) – Rapport géologique réglementaire relatif à la détermination des périmètres de protection du forage communal d'Avrainville, 6p.
- 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, 204p.
- BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES DE FER DE L'EST (1950) - Etat des recherches récentes de minerai de fer concernant la demande en

concession présentée par la St. Des Fonderies de Pont-à-Mousson dans la région de Saizerais.

COLLON P., FABRIOL R. et VAUTE L. (2000) – Simulation de l'évolution de la concentration en sulfate dans l'eau de la mine de fer de Saizerais, 91p.

BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES DE FER DE L'EST (1947) - Minerai de fer de Nancy. Note sur la région de Saizerais.

DEMASSIEUX L. (1977) – Etude géologique et hydrogéologique des calcaires du Dogger dans l'Est toulousin. Rapport Agence financière du bassin Rhin-Meuse-Direction Départementale de l'Equipement-INPL, 31p, (a).

DEMASSIEUX L. (1977) - Décharge contrôlée d'ordures ménagères. Rapport INPL, 5p, (b).

DRIRE (1986) - Demandes de renonciation à 8 concessions de mines de fer présentées par la Société des Mines de Saizerais. Rapport RD/MG du 27 janvier 1985, 11p.

FABRIOL R., PINAULT J.L. et VAUTE L. (2000) – Traitement du signal et réacteurs en réseaux, application à la simulation de l'évolution de la concentration en sulfate dans l'eau du bassin ferrifère lorrain. Rapport BRGM/RP-50153-FR, 48p.

FREEZE R.A. and CHERRY J.A. (1979) – Groundwater, 604p.

GEOSUM (1999) - Etude préparatoire à l'instauration des périmètres de protection du forage communal d'alimentation en eau potable de la commune de Rosières-en-Haye.

LE NIR M. (1973) – Exhaure des mines de fer du bassin lorrain. Rapport BRGM 73 SGN 320 NES, 21p.

LE ROUX J. et SALADO J. (1980) - Fonctionnement des aquifères calcaires lorrains déduit des expériences de traçages colorimétriques. Service Régional de l'Aménagement des Eaux de Lorraine Centralisateur du Bassin Rhin-Meuse, p 85-93.

MAIAUX C. (1987) – Périmètres de protection du forage AEP 01937X0042, propositions de l'hydrogéologue agréé, 7p.

MAUBEUGE P-L. (1956) - Hydrologie du Bassin Ferrifère Lorrain (Première Note). Extrait du bulletin technique des Mines de Fer de France, p3-6.

MAUBEUGE P-L. (1968) - Hydrologie du Bassin Ferrifère Lorrain (Seconde Note). Extrait du bulletin technique des Mines de Fer de France, p3-4.

NOELLE F. (1969) - Inventaire hydrogéologique provisoire, feuille de Pont-à-Mousson. Rapport Travaux du Comité Technique de l'Eau pour la Région Lorraine-INPL-Ecole Nationale Supérieure de Géologie Appliquée et de Prospection Minière, 25p.

- PETIT V. (1995) - Dossier préparatoire à la mise en place des périmètres de protection du captage de la mine de Saizerais. Rapport ANTEA A 03039, Commune de Pont-à-Mousson, 21p.
- REVOL P. (1997) - Périmètres de protection du captage d'eau potable de la mine de Saizerais. Propositions de l'hydrogéologue agréé, 6p.
- SIEGEL P., CROMIERES L. et FABRIOL R. (1998) - Etat des connaissances sur la modélisation hydrogéologique et géochimique appliquée au comportement des sites miniers. Projet PRD609 "Déprise minière et qualité de l'eau", 32p.
- SITUATION HYDROLOGIQUE (2000) – Bulletin n°65, Service eau BRGM, 83p.
- SPITZ K. and MORENO J. (1996) - A Practical Guide to Groundwater and Solute Transport Modeling, p25-49.
- TESSIER D. (2000) – Etude du bilan de l'eau dans le Dogger lorrain, Importance du sol et de son usage. Rapport du contrat B01492 INRA-Agence de l'eau Rhin-Meuse, 43p.
- THIERY D. (1990) – Logiciel MARTHE, version 4.3, notice d'utilisation. Rapport BRGM R 32 210.
- UNIVERSITE DE NANCY et TRAVAUX DU COMITE TECHNIQUE DE L'EAU POUR LA REGION LORRAINE (1968) - Inventaire Hydrogéologique, feuille de Toul.
- VAUTE L. et PINAULT J.L. (1999) – Modélisation inverse du système hydrologique « réservoir minier – nappe alluviale – Orne » à Moyeuvre-Grande. Rapport BRGM R 40860, 23p.
- VAUTE L., FABRIOL R. et PINAULT J.L. (2001) – Un modèle de l'évolution de la concentration en sulfate dans le bassin ferrifère lorrain ; étude préliminaire : construction et mise en œuvre d'un simulateur de fonctionnement simplifié. Rapport BRGM/RP-50066-FR, 65p.

## **Annexes**

**Annexe 1 :**

***Bref historique de l'exploitation de la mine de  
Saizerais***

## Exploitation minière

### Bref historique

C'est en 1916, au cours de recherches d'eau, que pour la première fois dans cette région du Bassin de Nancy le gisement de fer est recoupé. Après la Deuxième Guerre Mondiale, les besoins en minerai des Fonderies de Pont-à-Mousson et des Aciéries de Pompey motivent leur regroupement en 1952 au sein de la Société des Mines de Saizerais, qui ne démarrera l'exploitation qu'en 1957. La mise en exploitation du gisement de Saizerais est en liaison avec les progrès réalisés par la sidérurgie européenne dans le domaine de la marche acide, c'est-à-dire de l'utilisation dans les hauts fourneaux de minerai plus siliceux.

### Le minerai

#### Généralités

Le minerai ayant été exploité industriellement en Lorraine est un minerai oolithique d'une teneur en fer de 30 à 35 %, dit la "minette" (il existe un minerai sidérolithique, d'une teneur d'environ 50 %, seulement présent sous formes de rognons). Il provient d'un dépôt sédimentaire marin dans une mer peu profonde. Le minerai se présente sous forme d'oolithes enrobés dans une gangue de composition chimique très variée selon les couches. Il est composé de fer, phosphore (0,6 %), silice et calcaire en proportions variables repérées par un indice  $i$  égal au rapport chaux/silice.

#### Concession de Saizerais

Le gisement est ici composé de deux couches, l'une supérieure, calcaire d'indice moyen  $i=1,8$ , l'autre inférieure, siliceuse d'indice moyen  $i=0,5$ , séparées par un intercalaire de 0 à 40 cm interdisant l'exploitation séparée des deux couches.

	Epaisseur	Fe	CaO	SiO <sub>2</sub>
Couche supérieure	2,69 m	32,2 %	15,8 %	6,5 %
Couche inférieure	1,21 m	32,5 %	4,6 %	18,1 %

*Tableau A1a - Exemple de composition chimique de la formation ferrifère de la mine de Saizerais (Collon et al., 2000)*

La couche calcaire est plus importante vers l'Est de la concession et disparaît vers l'Ouest, inversement pour la couche siliceuse qui d'ailleurs existe seule dans le Sud de la concession. Les deux couches totalisent au maximum une hauteur de 4,5 m à 5 m sur une très petite surface.

## L'exploitation

Le toit de l'ensemble des deux couches ayant été jugé dès le début de l'exploitation particulièrement instable, Saizerais a appliqué la règle du boulonnage à chaque tir. D'autre part, dès le démarrage des travaux les venues d'eau ont été importantes pour une mine lorraine sans dépilage ; ajouté à cela le prix de revient de l'extraction, il a été décidé de ne pas procéder à des dépilages mais à une exploitation par piliers perdus avec un taux de défruitement varie de 0,45 à 0,6. Enfin, suite aux difficultés d'écoulement d'un minerai d'indice  $i$  inférieur à 0,9, dès 1960 cet indice a dépassé la valeur autorisée par le cahier des charges.

Depuis, l'exploitation a été faite en vue de produire après homogénéisation un indice de 1,4, dit autofondant, les sidérurgistes ayant mis au point une technique de fonte utilisant un mélange de minerai d'indice 1,4. Prendre une hauteur de couche comprenant à la fois le minerai calcaire ( $i = 1,8$ ) et siliceux ( $i = 0,5$ ) pour obtenir l'indice moyen recherché aurait limité de façon trop importante le gisement exploité. L'indice moyen a alors été obtenu par l'exploitation, dans les zones où la hauteur de couche le permettait, de la seule couche calcaire et en corrigeant son indice trop élevé par l'exploitation de l'ensemble des deux couches dans les zones où la couche calcaire était d'épaisseur trop faible ( $i = 0,9$ ). Pour obtenir l'indice  $i = 1,4$ , on avait moins besoin de minerai à 0,9, et on valorisait ainsi le gisement de la seule couche calcaire.

## Bilan

Pendant toute la durée de son fonctionnement, la mine a extrait 21 millions de tonnes de minerai. Sa production aura varié au rythme de l'économie nationale de l'époque, subissant notamment la crise qui débuta au milieu des années soixante dix et qui amèna la Mine de Saizerais à la fermeture en juin 1981 (Tableau A1b). Toutes les parties où la couche calcaire était suffisamment épaisse pour être exploitée seule ont été défruitées. L'épaisseur minimale adoptée a été de 2,6 m environ.

Année	1958	1968	1970	1979	1980	1981
Production (en tonnes)	375 900	1065 000	1730 000	696 700	663 000	148 000

*Tableau A1b – Evolution de la production de minerai de fer dans la mine de Saizerais (DRIRE, 1982)*

## **Annexe 2 :**

### ***Méthode d'interpolation sous Surfer***

## METHODE D'INTERPOLATION SOUS SURFER 7

### Création des grilles sous Surfer 7

Pour être lues dans Surfer 7, la table de points correspondant aux courbes de niveau digitalisées sous Mapinfo peut être exportée en fichier texte \*.txt. La table correspondant aux failles doit être exportée sous format \*.mif, et être modifiée dans le bloc-note pour être aux normes et exportée au format \*.bln.

Dans Surfer 7, aller dans Grid puis Data. Choisir le fichier texte à partir duquel la grille sera créée. La fenêtre "Scattered Data Interpolation" s'ouvre ; plusieurs paramètres peuvent être modifiés :

- Les coordonnées X et Y minimum et maximum définissant la grille :  
X min = 862100 X max = 879200  
Y min = 2421900 Y max = 2436900
- La taille de la maille (spacing) : 100\*100
- La méthode d'interpolation: Radial Basis Function.
- La zone de recherche des points à prendre en compte pour l'interpolation pour les tables dont le nombre de points dépasse 250 (search)
- Nombre de secteurs de recherche : 4
- Nombre maximal de données à prendre dans chaque secteur : 6
- Nombre minimal de données à prendre dans tous les secteurs (pas d'interpolation si moins) : 5
- Pas d'interpolation si le nombre de secteurs vides dépasse cette valeur : 4
- Faire la recherche des données dans un cercle de rayon : 5000 m

Pour prendre en compte les failles dans l'interpolation, cliquer sur l'onglet "Faults and Breaklines" et dans "File Containing Faults Traces", ouvrir le fichier de failles \*.bln.

Le calcul peut alors être lancé.

### Lisser une grille

Pour faire disparaître les variations brutales à l'échelle de la centaine de mètres, l'option "Matrix smoothing" est la mieux adaptée. L'ordinateur retravaille la valeur du point x de la grille résultat de l'interpolation, en considérant une matrice dont il est le centre et dont on donne les dimensions.

Exemple :

Lignes de part et d'autre du centre : 2

Colonnes de part et d'autre du centre : 2

```
c11 c12 c13 c14 c15
c21 c22 c23 c24 c25
c31 c32 x c34 c35
c41 c42 c43 c44 c45
c51 c52 c53 c54 c55
```

La nouvelle valeur de x, Nx, tient compte de:

- son poids : 2
- la méthode : Average

Elle est alors calculée par:

$$N_x = \frac{c11 + \dots + c15 + c21 + \dots + c25 + c31 + c32 + x * 2 + c34 + c35 + c41 + \dots + c45 + c51 + \dots + c55}{26}$$

### Ajouter ou soustraire des grilles

Dans Grid, cliquer sur Math, définir chacune des grilles intervenant dans le calcul et entrer la formule dans la dernière ligne.

### Couper les grilles aux contours de la zone d'étude

Depuis Mapinfo, créer un fichier \*.bln de la limite de la zone d'étude comme pour les failles précédemment.

Aller dans Grid et Blank pour couper la grille aux contours du fichier \*.bln

### Réaliser des coupes dans une grille

Dans Mapinfo, tracer les traits de coupe dans le même système de coordonnées que la table où sera réalisée la coupe, et en faire un fichier \*.bln. Il faut un fichier pour chaque trait de coupe.

Dans Surfer, aller dans Grid, Slice et choisir la grille puis le fichier \*.bln. Deux fichiers sont créés, un \*.bln et un \*.dat

### **Visualiser une coupe sous Excel**

Importer le fichier \*.dat de la coupe. On peut ainsi obtenir la courbe de la cote en fonction de la distance cumulée. En important les différents fichiers \*.dat correspondant au même trait de coupe mais à des grilles représentant des formations géologiques différentes, on peut réaliser une coupe à plusieurs couches.

**Annexe 3 :**  
***Sondages miniers***

*Modélisation hydrodynamique de l'ancienne mine de fer de Saizerais*

Indice	Nom	Commune	X_L2e	Y_L2e	Ep f.f	Ep m.m	Origine
01937X0014	Sz8	Griscourt	870342.9	2432624.9	6.7	4.8	BSS
01937X0013	Sz12	Villers en Haye	869999.2	2430894.5	3.88	4.56	BSS
01937X0011	Puits B	Domevre en Haye	866688.4	2431461.5	1.1	1.1	BSS
01938X0103	F-Bordure de l'Esch	Jezainville	871870.6	2436023.7		0	BSS
01938X0045	Sz11	Griscourt	871545.6	2433623	3.45	*	BSS
01938X0044	Sz10	Dieulouard	874565.8	2432906.5	0	8.19	BSS
01938X0043	S9	Dieulouard	872453	2432100.3	6.3	4.51	BSS
01938X0042	n°14	Dieulouard	873746	2433208.4	0	4	BSS
01938X0041	Sz15-Saut des Maly	Dieulouard	873816.7	2432046.4	4.59	5.48	BSS
01938X0040	Sz16-les Chauffours	Dieulouard	874124.5	2432367	3.76	5.45	BSS
01938X0039	J12	Jezainville	871771.1	2436244.2	2.2	1.9	BSS
01938X0038	MB5	Marbache	874666.3	2428253.5	2.05	1.8	BSS
01938X0035	MB6-l'Avant Garde	Marbache	876034.6	2427020.2	5.98	5.01	BSS
01938X0034	Puits I	Marbache	874797.1	2428553.5	*	*	BSS
01938X0033	n°1 la voie de Liverdun	Marbache	875966.3	2427860.8	2.8	0.6	BSS
01938X0032	n°2 la voie de Liverdun	Marbache	876096.6	2427940.5	5.6	4	BSS
01938X0031	MB2-Puits de la tarte	Marbache	876555.6	2427419.3	4.35	6.2	BSS
01938X0030	BV8	Marbache	876879.6	2429249.6	3.7	5.8	BSS
01938X0029	BV4	Belleville	876400.7	2429951	4.1	6.05	BSS
01938X0028	BV3	Belleville	875789.3	2429391.9	4	3	BSS
01938X0027	BV7	Marbache	875458.2	2428952.4	4	5	BSS
01938X0026	BV6	Belleville	876139.1	2429171	0.95	3.8	BSS
01938X0025	BV5	Belleville	875738.9	2429201.9	1.18	3.83	BSS
01938X0024	BV1-Entre Deux Voies	Belleville	876279.5	2429390.9	4.55	5.25	BSS
01938X0023	BV9	Marbache	876980.7	2429759.8	8.5	0.7	BSS
01938X0022	BV2-Fontaine à la vie	Marbache	876689.5	2429230	4.9	6.2	BSS
01938X0021	BV'2	Marbache	876759.7	2429279.8	8.8	0.8	BSS
01938X0019	n°17-Bois des Moines	Saizerais	872307.5	2429389	4.52	4.68	BSS
01938X0018	n°5	Saizerais	871224	2428010.4	5.07	2.5	BSS
01938X0017	n°4-Corsein	Saizerais	874178.1	2429225.2	5.02	4.98	BSS
01938X0016	La Batterie	Saizerais	874155.6	2428014.6	5.76	2.54	BSS
02293X0034	Saizerais 6	Rosières en Haye	870419.5	2425961	4	3.8	BSS
02293X0037	Gare	Fontenoy	868274.4	2418961.9	7.495	4.245	BSS
02293X0038	Villey 31	Villey-St-Etienne	868117.7	2420703.1	5.97	0.14	BSS
02293X0040	Fontenoy 40	Fontenoy	868626.2	2419791.6	6.85	2.08	BSS

*Modélisation hydrodynamique de l'ancienne mine de fer de Saizerais*

02294X0045	FS1	Frouard	877848.8	2423744.7	8.43	1.22	BSS
02294X0042	CL1-croisette	Liverdun	874934.7	2422480	5.85	*	BSS
02294X0041	CL2-croisette	Liverdun	875403	2421538.6	7.84	0	BSS
02294X0040	F-croisette	Liverdun	874725	2422690.6	7.95	2.3	BSS
02294X0039	VT2-grand charmois	Frouard	877646.7	2422824.6	5.97	*	BSS
02294X0037	HZ1	Liverdun	874476.4	2423381.4	6.95	*	BSS
02294X0036	37-puits4	Frouard	877798	2423364.6	8.52	6.07	BSS
02294X0033	13-Trou des Fées	Liverdun	872246.9	2424256.5	6.3	2.85	BSS
02294X0032	12- Bois Saizerais	Saizerais	873152.2	2426595.9	3.06	2.5	BSS
02294X0031	10-la Flie	Liverdun	873443.5	2422253	5.69	0.8	BSS
	SJ		864298	2434446.8	0.5	*	Archives BRGM
	sz		872923.6	2427646.2	5.11	*	Archives BRGM

X\_L2e, Y\_L2e = coordonnées en Lambert 2 étendu en mètres

Ep f.f = épaisseur de la formation ferrifère en mètres

Ep m.m = épaisseur des Marnes micacées en mètres

\* = valeur inconnue

## **Annexe 4 :**

### ***Coupes et vérifications des interpolations***

## ETUDE DE LA VALIDITE DES GRILLES D'INTERPOLATIONS

### Coupes

Grâce aux coupes réalisées dans Surfer (position des traits de coupe sur la figure A4a), la position des affleurements qu'elles donnent et leur comparaison avec la position donnée par la carte géologique, nous pouvons estimer la validité des interpolations. Les valeurs des écarts entre la carte géologique et les coupes sous Surfer sont à comparées à la précision des grilles sous Surfer, qui est de 100m, et à la taille des mailles utilisée dans le modèle MARTHE

#### **Coupe Nord**

L'écart entre la position des affleurements du Toarcien donnée par la carte géologique et la coupe sous Surfer est de 75 m, pour les Calcaires à Polypiers cet écart est inférieur au mètre.

#### **Coupe Ouest n°1**

L'écart entre les positions des affleurements de l'Aalénien et du Toarcien données par la carte géologique et la coupe sous Surfer sont inférieurs au mètre.

#### **Coupe Ouest n°2**

Même que pour la coupe précédente.

#### **Coupe Sud**

L'écart entre les positions des affleurements de l'Aalénien et du Toarcien données par la carte géologique et la coupe sous Surfer sont respectivement de 15m et de 20m

#### **Coupe Est-Ouest**

L'écart entre la position des affleurements des Calcaires à Polypiers donnée par la carte géologique et la coupe sous Surfer est de 5 m pour les limites d'affleurement Est et Ouest.

Ces comparaisons ne remettent donc pas en cause la validité des grilles d'interpolation.

### Sondages

Les sondages miniers ayant été moins nombreux à l'Ouest de la concession de Saizerais, il est à supposer que la carte structurale de l'Agence Financière de Bassin Rhin-Meuse et donc l'interpolation qui en est tirée sous Surfer soit moins fidèle à la réalité. Pour estimer une erreur éventuelle, comparons deux sondages miniers situés à l'Ouest de notre zone d'étude.

### **Sondage SJ**

- cote du toit de l'Aalénien : 220 m selon le sondage, 210,7 m selon Surfer ;
- cote du mur de l'Aalénien : 219,5 m selon le sondage, 210,2 m selon Surfer.

Les épaisseurs sont respectées mais la formation ferrifère est calculée environ dix mètres en dessous de ce qu'elle est en réalité.

### **Sondage 02293X0034**

- cote de l'orifice: 258,026 m selon le sondage minier, 257,65 m selon Surfer ;
- cote du toit des polypiers : 192,726 m selon le sondage, 196,9 m selon Surfer ;
- cote du toit de l'Aalénien : 131,326 m selon le sondage, 133,1 m selon Surfer ;
- cote du mur de l'Aalénien : 127,326 m selon le sondage, 129,1 m selon Surfer.

Les épaisseurs sont respectées mais la formation ferrifère est calculée environ entre zéro et quatre mètres en dessous de ce qu'elle est en réalité.

Il semble donc que plus on s'approche de la faille de Domèvre-en-Haye, plus la cote de l'Aalénien est sous-évaluée, ce qui n'est pas gênant dans notre cas car la d'intérêt se situe au niveau de la concession de la mine de Saizerais à plus de 7 km de la faille de Domèvre-en-Haye.

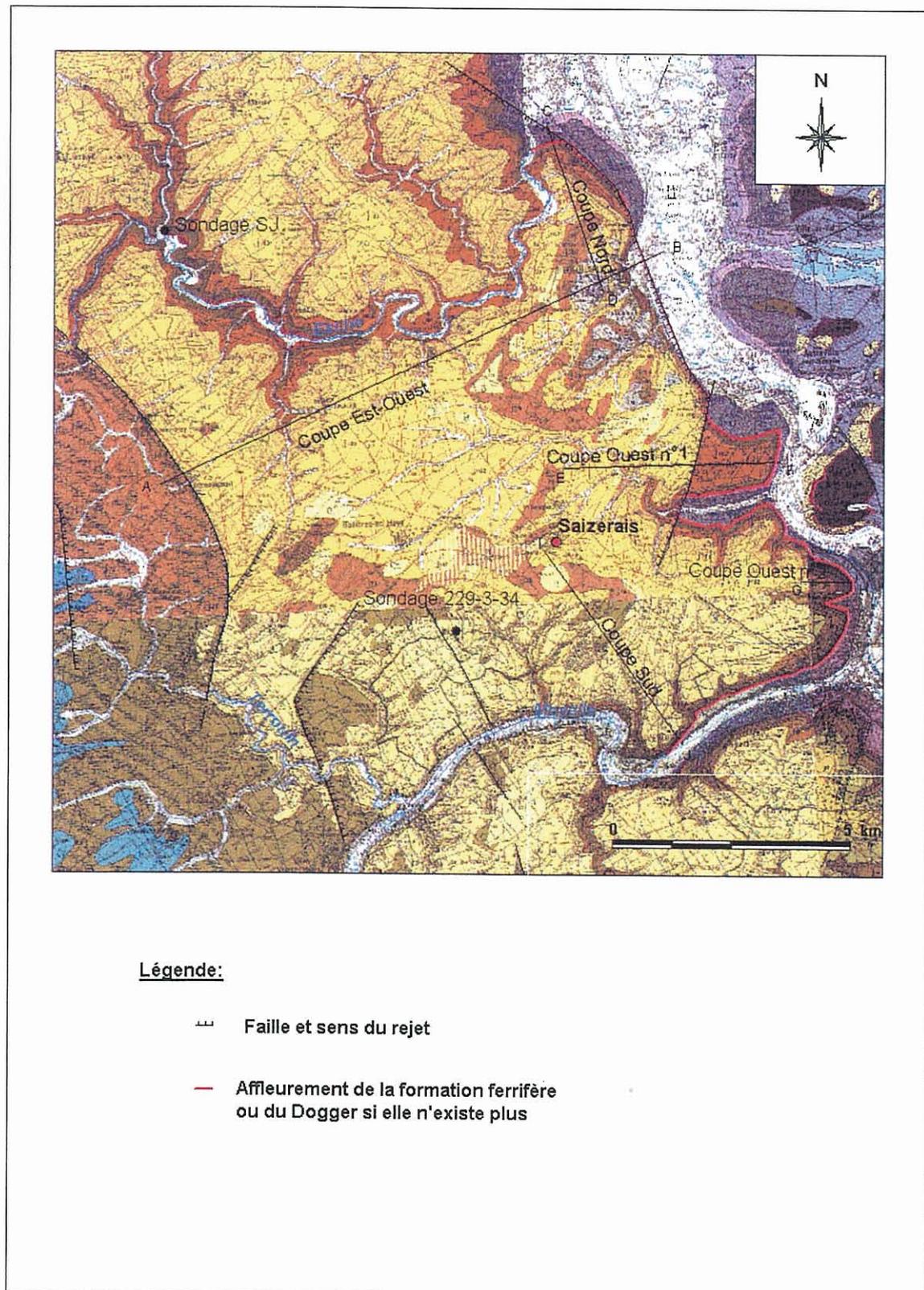
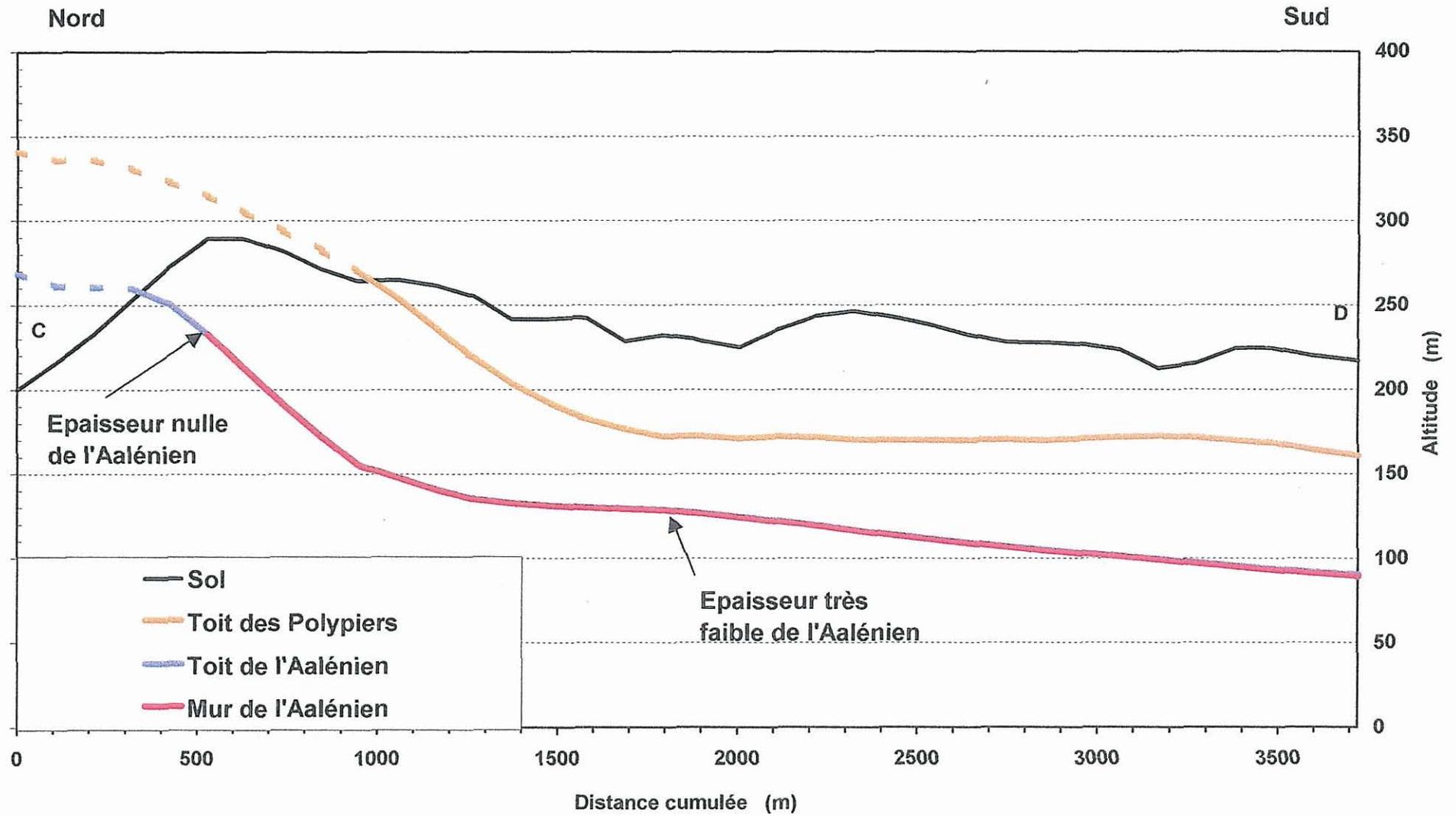


Figure A4a – Sondages et traits de coupe

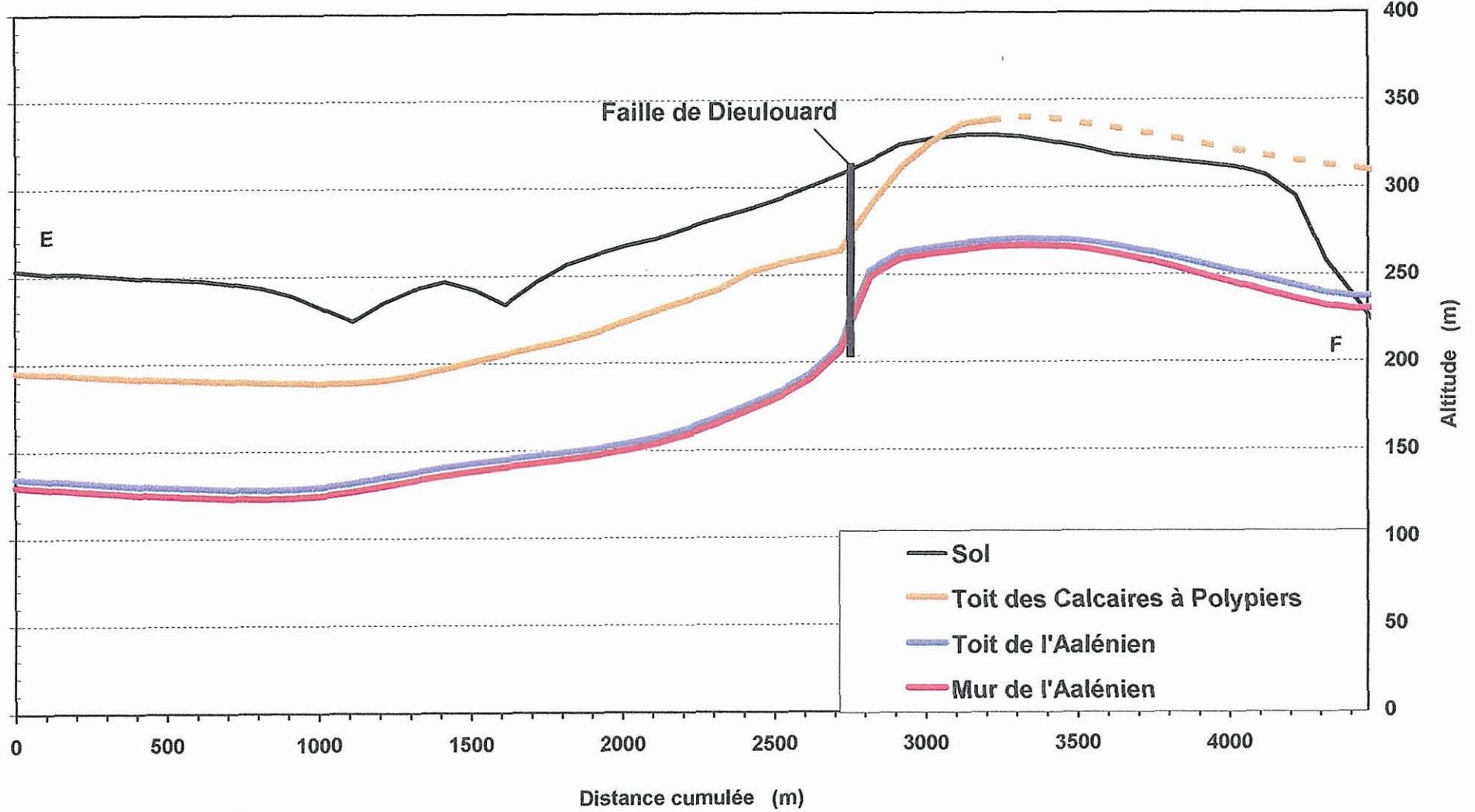
# Coupe Nord



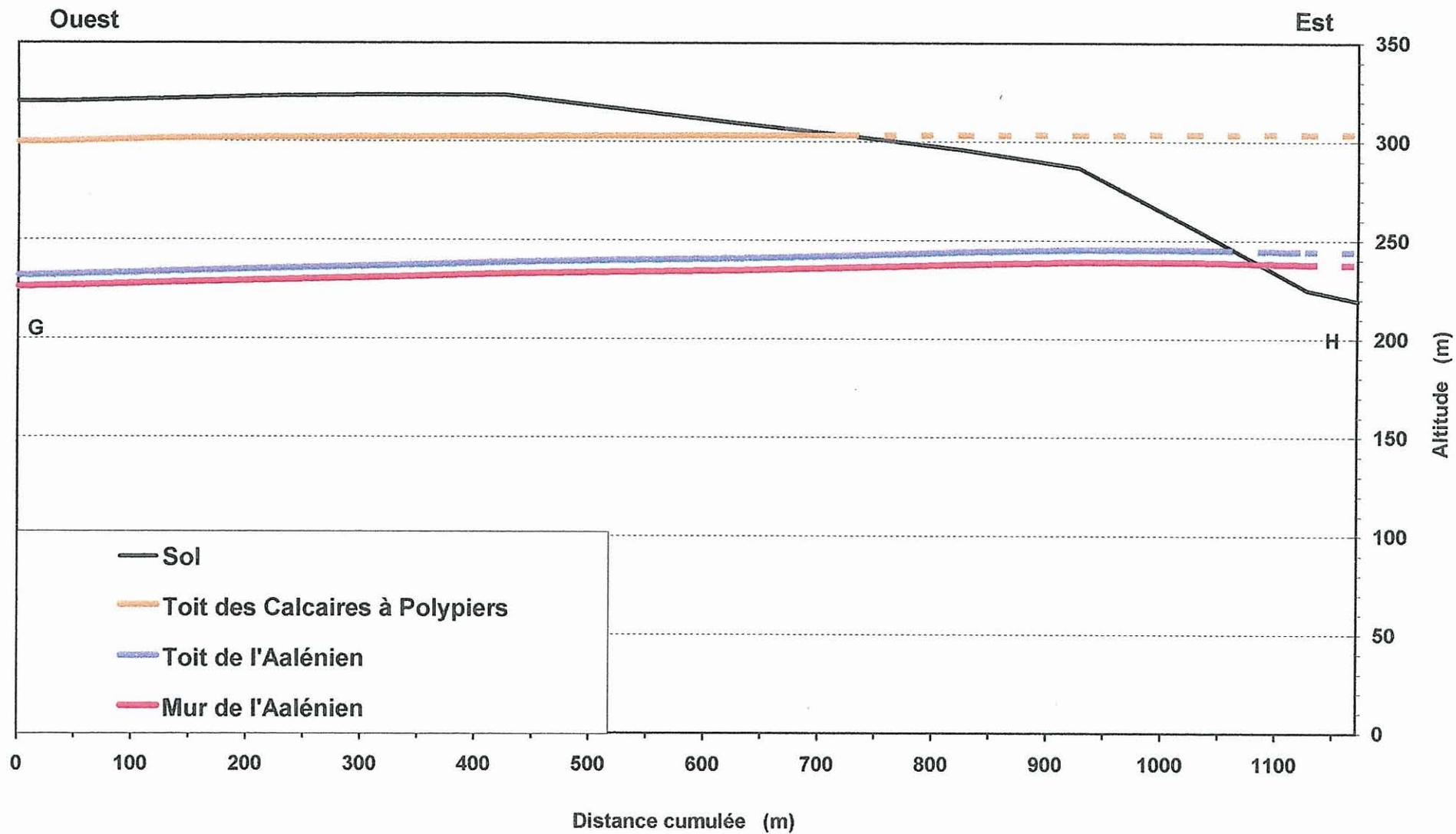
# Coupe Ouest n°1

Ouest

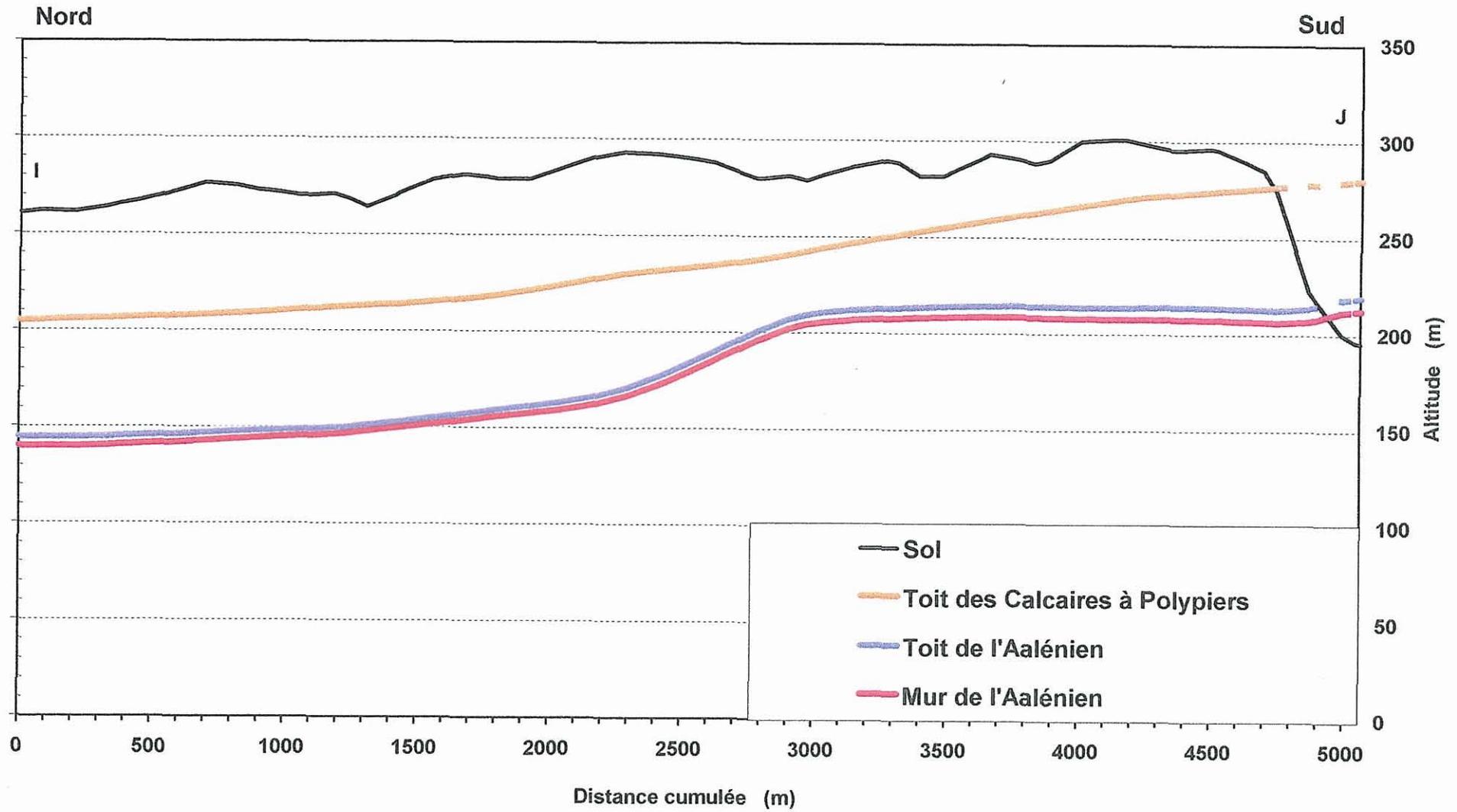
Est



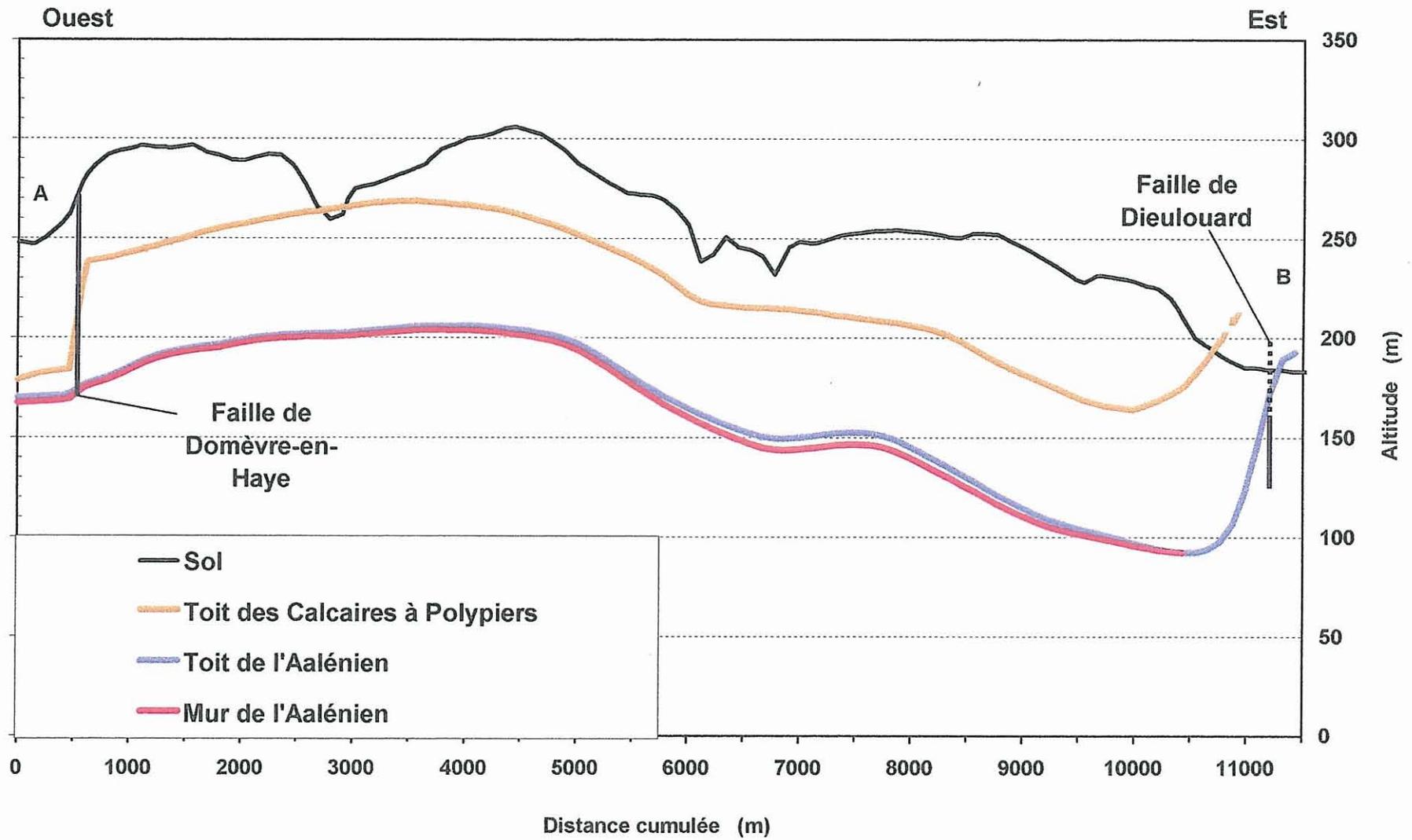
# Coupe Ouest n°2



# Coupe Sud

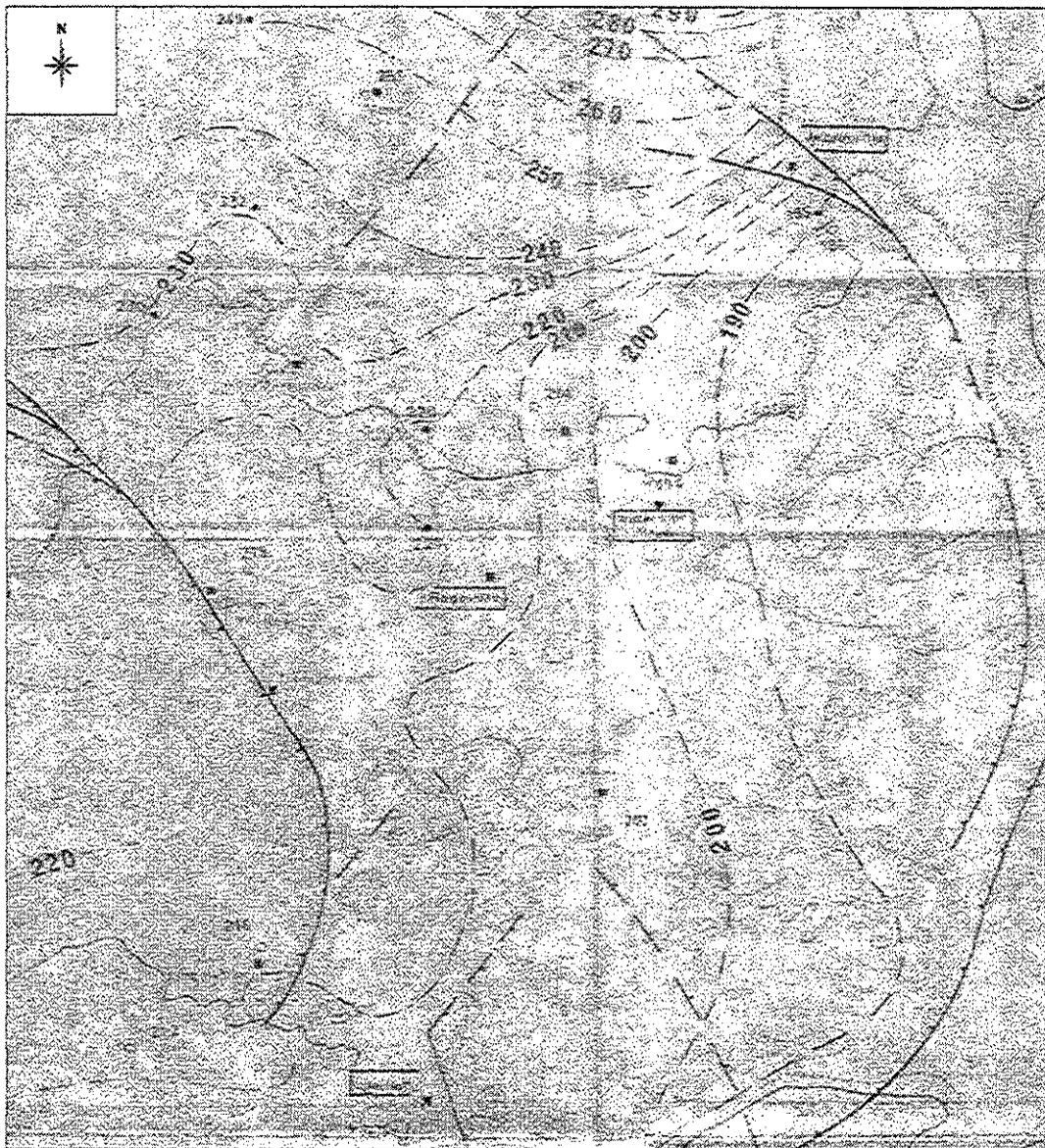


# Coupe Est-Ouest



## **Annexe 5 :**

### ***Esquisses piézométriques utilisées***



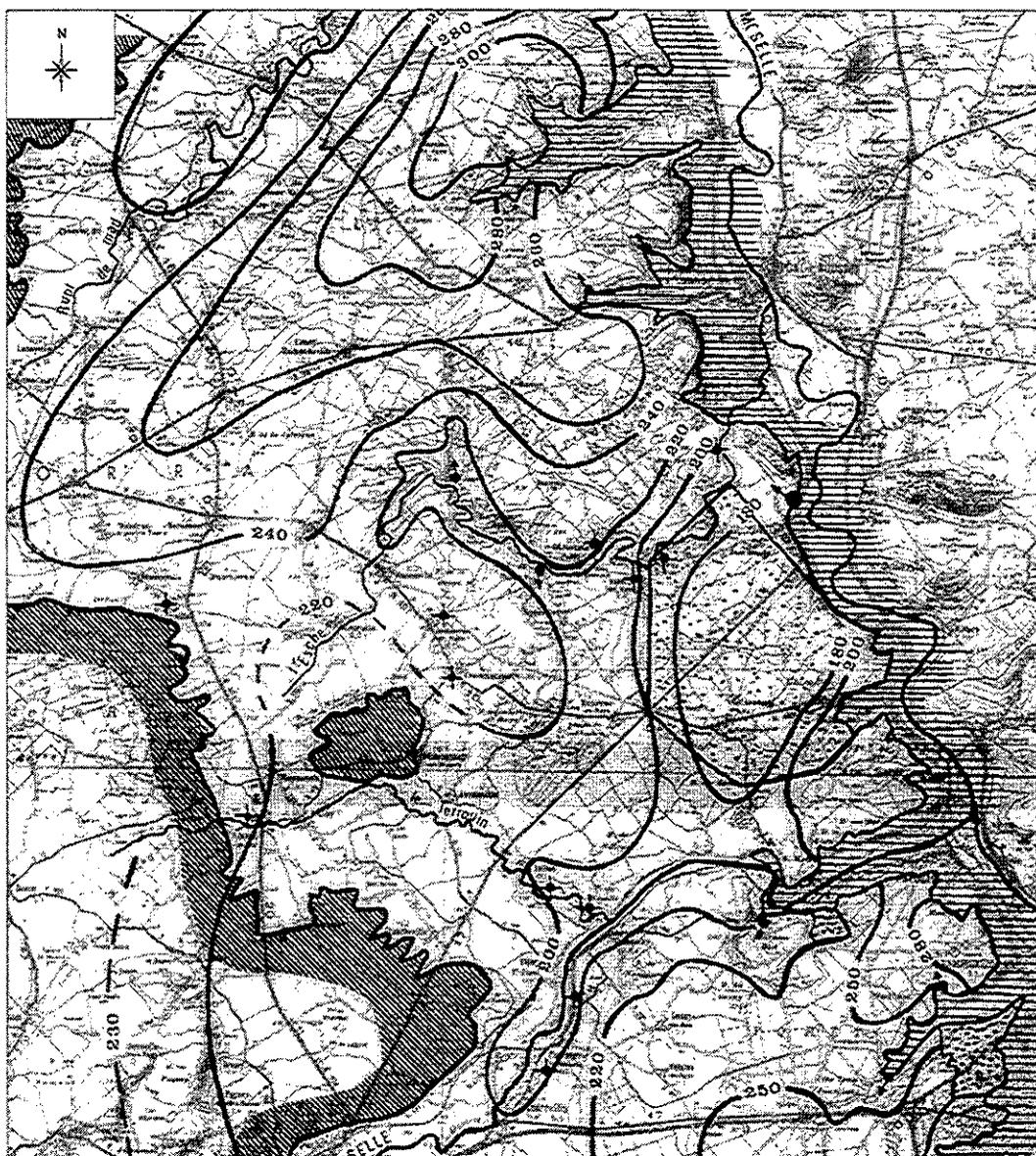
Echelle:

0 5 km

Légende:

- Puits
- Sources
- Courbe isopièze et sa cote

*Figure A5a – Esquisse piézométrique de 1977 (Demassieux, 1977, (a))*



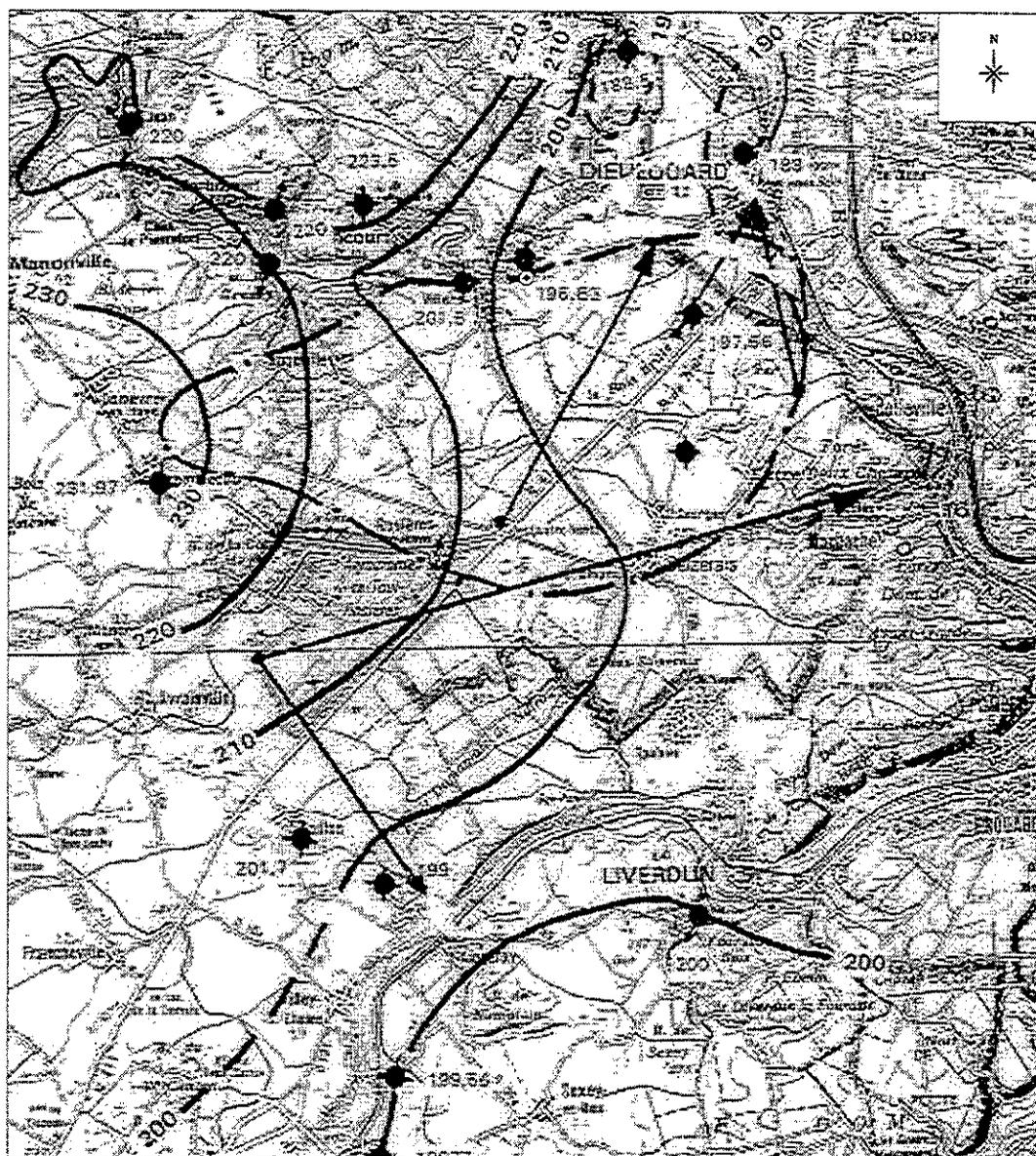
Echelle:

0 5 10 km

Légende:

- ↑ Source
- Forage
- Courbe isopièze et sa cote

*Figure A5b – Esquisse piézométrique de 1979 (Bouly, 1979)*



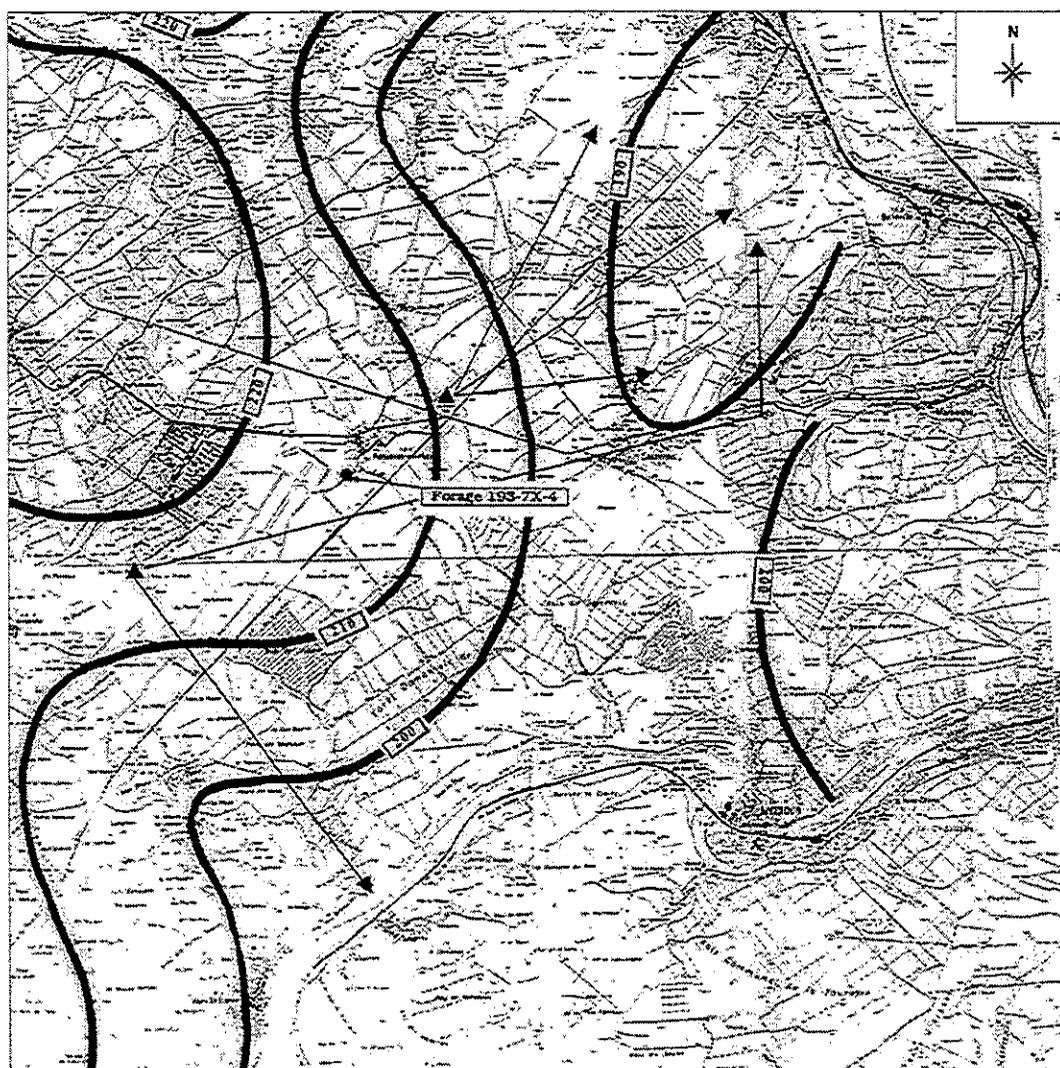
Echelle:



Légende:

- ▲ Source
- Forage
- Courbe isopièze et sa cote

Figure A5c – Esquisse piézométrique de 1984 (Petit, 1995)



Echelle:

0 5 km

Légende:

— Courbe isopièze et sa cote

*Figure A5d – Esquisse piézométrique de 1999 (GEOSUM, 1999)*

**Annexe 6 :**

***Condition de recharge***

## METHODE DU BILAN HYDRIQUE

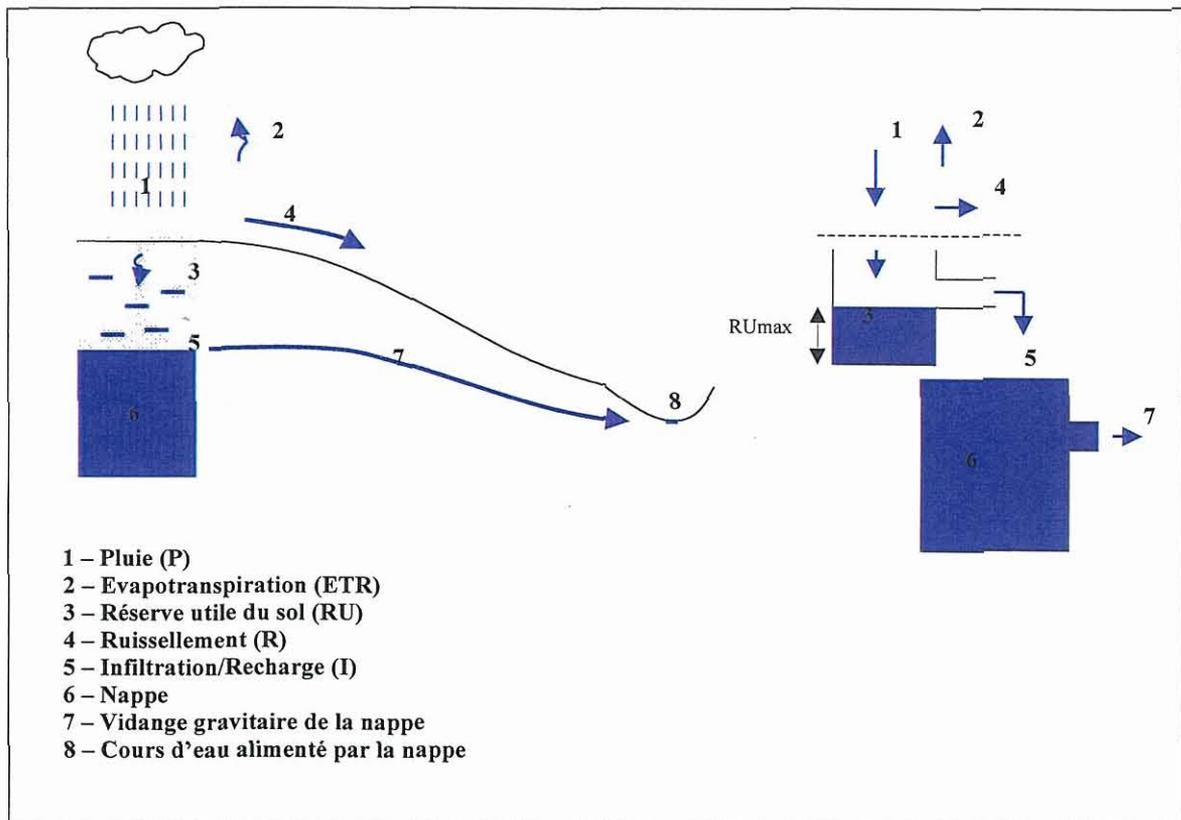


Figure A6a – Schéma conceptuel du bilan hydrique (modifié à partir de Situation hydrologique, 2000)

L'équation du bilan est la suivante :

$$P_n = ETR_n + \Delta RU_n + I_n$$

où  $P_n$  est la pluie du mois  $n$ ,  $ETR_n$  l'évapotranspiration réelle du mois  $n$ ,  $\Delta RU_n$  la variation de la réserve utile entre le mois  $n-1$  et  $n$ ,  $I_n$  la recharge du mois supposée être égale ici à ce qui échappe à l'évapotranspiration, qu'elle soit immédiate ou différée après stockage dans la réserve utile (on considérera que le ruissellement est nul).

### Calcul de la variation de la réserve utile du sol

La réserve utile se vide ou se remplit en fonction de la pluie et de ce qui s'évapore, et elle ne peut descendre en dessous de zéro et monter au dessus de  $RU_{max}$  :

$$\text{Si } P_n > \text{ETP}_n \left| \begin{array}{l} \text{alors si } P_n - \text{ETP}_n + \text{RU}_{n-1} > \text{RU}_{\text{max}} \\ \text{sinon si } P_n - \text{ETP}_n + \text{RU}_{n-1} > 0 \end{array} \right. \left| \begin{array}{l} \text{alors } \Delta \text{RU}_n = \text{RU}_{\text{max}} - \text{RU}_{n-1} \\ \text{sinon } \Delta \text{RU}_n = P - \text{ETP}_n \\ \text{alors } \Delta \text{RU}_n = P_n - \text{ETP}_n \\ \text{sinon } \Delta \text{RU}_n = - \text{RU}_{n-1} \end{array} \right.$$

### Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR)

Il est considéré que l'évapotranspiration potentielle (ETP) tend à se réaliser, et que le facteur limitant cette réalisation est la quantité d'eau disponible dans le sol, à savoir la pluie et la réserve utile, l'ETR se calcule donc ainsi :

$$\text{Si } P_n > \text{ETP}_n \left| \begin{array}{l} \text{alors } \text{ETR}_n = \text{ETP}_n \\ \text{sinon si } \text{RU}_n + P_n > \text{ETP}_n \end{array} \right. \left| \begin{array}{l} \text{alors } \text{ETR}_n = \text{ETP}_n \\ \text{sinon } \text{ETR}_n = P_n + \text{RU}_n \end{array} \right.$$

### Calcul de l'infiltration

La recharge ne peut avoir lieu que si la réserve utile est remplie :

$$\text{Si } P_n - \text{ETR}_n + \text{RU}_n > \text{RU}_{\text{max}} \left| \begin{array}{l} \text{alors } I_n = P_n - \text{ETR}_n + \text{RU}_{n-1} - \text{RU}_{\text{max}} \\ \text{sinon } I_n = 0 \end{array} \right.$$

Le calcul de l'infiltration pour la zone où la réserve utile maximale vaut 50 mm se trouve ci-dessous.

pas de temps n°	mois	P(mm)	ETP(mm)	P-ETP(mm)	ΔRU(mm)*	RU(mm)*	ETR(mm)	I(mm)
	janv-81	90.05	15.6	74.45	0	50	15.6	74.45
	févr-81	44.3	63.1	-18.8	-18.8	31.2	63.1	0
	mars-81	74.2	50.4	23.8	18.8	50	50.4	5
	avr-81	25.2	64.6	-39.4	-39.4	10.6	64.6	0
	mai-81	47.5	88.3	-40.8	-10.6	0	58.1	0
	juin-81	90.5	90.8	-0.3	0	0	90.5	0
1	juil-81	74.05	93.9	-19.85	0	0	74.05	0
2	août-81	55.8	83.5	-27.7	0	0	55.8	0
3	sept-81	107.85	56.6	51.25	50	50	56.6	1.25
4	oct-81	161.9	26.7	135.2	0	50	26.7	135.2
5	nov-81	45.15	12.8	32.35	0	50	12.8	32.35
6	déc-81	146.4	10.3	136.1	0	50	10.3	136.1
7	janv-82	90	11.5	78.5	0	50	11.5	78.5
8	févr-82	9.3	21.2	-11.9	-11.9	38.1	21.2	0
9	mars-82	91	47.3	43.7	11.9	50	47.3	31.8
10	avr-82	18	74	-56	-50	0	68	0
11	mai-82	24.8	101.2	-76.4	0	0	24.8	0
12	juin-82	118	105.1	12.9	12.9	12.9	105.1	0
13	juil-82	89.5	124.8	-35.3	-12.9	0	102.4	0
14	août-82	42.8	86.3	-43.5	0	0	42.8	0
15	sept-82	52.8	69.1	-16.3	0	0	52.8	0
16	oct-82	126.9	31.5	95.4	50	50	31.5	45.4
17	nov-82	78	21.8	56.2	0	50	21.8	56.2
18	déc-82	128.65	11.2	117.45	0	50	11.2	117.45
19	janv-83	67.05	17.5	49.55	0	50	17.5	49.55
20	févr-83	64.7	20.5	44.2	0	50	20.5	44.2
21	mars-83	52	31.9	20.1	0	50	31.9	20.1
22	avr-83	136.5	53.7	82.8	0	50	53.7	82.8
23	mai-83	200.05	61.1	138.95	0	50	61.1	138.95
24	juin-83	41.65	117.15	-75.5	-50	0	91.65	0
25	juil-83	29.65	160.8	-131.15	0	0	29.65	0
26	août-83	12.05	130.7	-118.65	0	0	12.05	0
27	sept-83	66.5	72.1	-5.6	0	0	66.5	0

*Modélisation hydrodynamique de l'ancienne mine de fer de Saizerais*

28	oct-83	55.1	37.5	17.6	17.6	17.6	37.5	0
29	nov-83	55.9	15.2	40.7	32.4	50	15.2	8.3
30	déc-83	50.15	13.6	36.55	0	50	13.6	36.55
31	janv-84	128.1	22.1	106	0	50	22.1	106
32	févr-84	89.9	24.2	65.7	0	50	24.2	65.7
33	mars-84	34.85	37.8	-2.95	-2.95	47.05	37.8	0
34	avr-84	37.7	76.5	-38.8	-38.8	8.25	76.5	0
35	mai-84	81.4	70.6	10.8	10.8	19.05	70.6	0
36	juin-84	50.3	107.1	-56.8	-19.05	0	69.35	0
37	juil-84	35.55	123.1	-87.55	0	0	35.55	0
38	août-84	48.85	96.5	-47.65	0	0	48.85	0
39	sept-84	125.2	51.8	73.4	50	50	51.8	23.4
40	oct-84	52.1	31.7	20.4	0	50	31.7	20.4
41	nov-84	89.05	22.4	66.65	0	50	22.4	66.65
42	déc-84	31.8	10.9	20.9	0	50	10.9	20.9
43	janv-85	47.15	12.2	34.95	0	50	12.2	34.95
44	févr-85	27.8	27.4	0.4	0	50	27.4	0.4
45	mars-85	50.65	45.3	5.35	0	50	45.3	5.35
46	avr-85	55.6	75.6	-20	-20	30	75.6	0
47	mai-85	74.45	74.6	-0.15	-0.15	29.85	74.6	0
48	juin-85	115.4	91.6	23.8	20.15	50	91.6	3.65
49	juil-85	23.85	131.6	-107.75	-50	0	73.85	0
50	août-85	63.85	100.3	-36.45	0	0	63.85	0
51	sept-85	31.5	70.9	-39.4	0	0	31.5	0
52	oct-85	26.3	42.1	-15.8	0	0	26.3	0
53	nov-85	79.1	19.6	59.5	50	50	19.6	9.5
54	déc-85	55.55	21.7	33.85	0	50	21.7	33.85
55	janv-86	119.7	19.4	100.3	0	50	19.4	100.3
56	févr-86	21.7	16.6	5.1	0	50	16.6	5.1
57	mars-86	90.9	40.8	50.1	0	50	40.8	50.1
58	avr-86	92.2	50.3	41.9	0	50	50.3	41.9
59	mai-86	102.4	87	15.4	0	50	87	15.4
60	juin-86	72.5	113.4	-40.9	-40.9	9.1	113.4	0
61	juil-86	23.5	126.7	-103.2	-9.1	0	32.6	0
62	août-86	85.15	102.4	-17.25	0	0	85.15	0
63	sept-86	82	59.4	22.6	22.6	22.6	59.4	0
64	oct-86	120.9	34.5	86.4	27.4	50	34.5	59
65	nov-86	61.3	25.7	35.6	0	50	25.7	35.6
66	déc-86	93.75	23.8	69.95	0	50	23.8	69.95
67	janv-87	41	19.6	21.4	0	50	19.6	21.4
68	févr-87	51.75	16.6	35.15	0	50	16.6	35.15
69	mars-87	65.2	48.1	17.1	0	50	48.1	17.1
70	avr-87	26.6	83.2	-56.6	-50	0	76.6	0
71	mai-87	107.85	84.9	22.95	22.95	22.95	84.9	0
72	juin-87	153.8	97.6	56.2	27.05	50	97.6	29.15
73	juil-87	93.3	120.3	-27	-27	23	120.3	0
74	août-87	53.3	112.1	-58.8	-23	0	76.3	0
75	sept-87	19.95	85.8	-65.85	0	0	19.95	0
76	oct-87	94.85	39.1	55.75	50	50	39.1	5.75
77	nov-87	48.1	21.8	26.3	0	50	21.8	26.3
78	déc-87	38.45	17.8	20.65	0	50	17.8	20.65
79	janv-88	111.7	26.1	85.6	0	50	26.1	85.6
80	févr-88	99.35	27.1	72.25	0	50	27.1	72.25
81	mars-88	128.55	41.1	87.45	0	50	41.1	87.45
82	avr-88	12.6	75.2	-62.6	-50	0	62.6	0
83	mai-88	89.2	87.3	1.9	1.9	1.9	87.3	0
84	juin-88	103.25	103.9	-0.65	-0.65	1.25	103.9	0
85	juil-88	75.25	115.4	-40.15	-1.25	0	76.5	0
86	août-88	40.6	119.7	-79.1	0	0	40.6	0
87	sept-88	40.15	68.4	-28.25	0	0	40.15	0
88	oct-88	100	37.2	62.8	50	50	37.2	12.8
89	nov-88	40.8	16.4	24.4	0	50	16.4	24.4
90	déc-88	97.2	15.1	82.1	0	50	15.1	82.1
91	janv-89	19.95	11.2	8.75	0	50	11.2	8.75
92	févr-89	55.1	20.8	34.3	0	50	20.8	34.3
93	mars-89	38.8	60	-21.2	-21.2	28.8	60	0
94	avr-89	132.9	48.7	84.2	21.2	50	48.7	63
95	mai-89	48.5	122.9	-74.4	-50	0	98.5	0
96	juin-89	54.8	117.8	-63	0	0	54.8	0
97	juil-89	51.15	133.4	-82.25	0	0	51.15	0
98	août-89	65.15	113.1	-47.95	0	0	65.15	0
99	sept-89	53.65	69.5	-15.85	0	0	53.65	0

Modélisation hydrodynamique de l'ancienne mine de fer de Saizerais

100	oct-89	47.8	48.5	-0.7	0	0	47.8	0
101	nov-89	28.25	19	9.25	9.25	9.25	19	0
102	déc-89	105.2	30.4	74.8	40.75	50	30.4	34.05
103	janv-90	34.9	21.6	13.3	0	50	21.6	13.3
104	févr-90	140.7	43.5	97.2	0	50	43.5	97.2
105	mars-90	20	64	-44	-44	6	64	0
106	avr-90	40.6	67.6	-27	-6	0	46.6	0
107	mai-90	42.7	120	-77.3	0	0	42.7	0
108	juin-90	138.2	98.7	39.5	39.5	39.5	98.7	0
109	juil-90	43.2	135.6	-92.4	-39.5	0	82.7	0
110	août-90	61.75	130	-68.25	0	0	61.75	0
111	sept-90	66.05	64.5	1.55	1.55	1.55	64.5	0
112	oct-90	88.8	40.5	48.3	48.3	49.85	40.5	0
113	nov-90	66.93	17.4	49.53	0.15	50	17.4	49.38
114	déc-90	102.67	12.3	90.37	0	50	12.3	90.37
115	janv-91	64.6	19.5	45.1	0	50	19.5	45.1
116	févr-91	17.4	16	1.4	0	50	16	1.4
117	mars-91	51.05	43.9	7.15	0	50	43.9	7.15
118	avr-91	28.85	77.5	-48.65	-48.65	1.35	77.5	0
119	mai-91	21.5	108.5	-87	-1.35	0	22.85	0
120	juin-91	62.35	104.7	-42.35	0	0	62.35	0
121	juil-91	58.9	150.7	-91.8	0	0	58.9	0
122	août-91	9	143.9	-134.9	0	0	9	0
123	sept-91	122.4	82.4	40	40	40	82.4	0
124	oct-91	53.55	33.2	20.35	10	50	33.2	10.35
125	nov-91	91.9	19.4	72.5	0	50	19.4	72.5
126	déc-91	54.8	21.6	33.2	0	50	21.6	33.2
127	janv-92	24	21.5	2.5	0	50	21.5	2.5
128	févr-92	43.3	26.1	17.2	0	50	26.1	17.2
129	mars-92	74.85	50.3	24.55	0	50	50.3	24.55
130	avr-92	44.3	75.4	-31.1	-31.1	18.9	75.4	0
131	mai-92	46.35	113.2	-66.85	-18.9	0	65.25	0
132	juin-92	36.7	111.1	-74.4	0	0	36.7	0
133	juil-92	70.05	118.5	-48.45	0	0	70.05	0
134	août-92	95.4	119.2	-23.8	0	0	95.4	0
135	sept-92	27.1	60.1	-33	0	0	27.1	0
136	oct-92	86.15	27.4	58.75	50	50	27.4	8.75
137	nov-92	141.75	17.9	123.85	0	50	17.9	123.85
138	déc-92	49.7	14.4	35.3	0	50	14.4	35.3
139	janv-93	83.05	26.1	56.95	0	50	26.1	56.95
140	févr-93	13.5	16	-2.5	-2.5	47.5	16	0
141	mars-93	9.15	55.1	-45.95	-45.95	1.55	55.1	0
142	avr-93	28.15	86.5	-58.35	-1.55	0	29.7	0
143	mai-93	54.55	101.2	-46.65	0	0	54.55	0
144	juin-93	47.25	127.7	-80.45	0	0	47.25	0
145	juil-93	101.5	130.1	-28.6	0	0	101.5	0
146	août-93	41.1	129.2	-88.1	0	0	41.1	0
147	sept-93	148.1	59.7	88.4	50	50	59.7	38.4
148	oct-93	79.3	35.2	44.1	0	50	35.2	44.1
149	nov-93	18.05	18.5	-0.45	-0.45	49.55	18.5	0
150	déc-93	178.745	21	157.745	0.45	50	21	157.295
151	janv-94	86.9	17.7	69.2	0	50	17.7	69.2
152	févr-94	54.05	20.7	33.35	0	50	20.7	33.35
153	mars-94	61.7	50.8	10.9	0	50	50.8	10.9
154	avr-94	62.2	60.7	1.5	0	50	60.7	1.5
155	mai-94	68.3	81.6	-13.3	-13.3	36.7	81.6	0
156	juin-94	65.4	123	-57.6	-36.7	0	102.1	0
157	juil-94	77.3	152.7	-75.4	0	0	77.3	0
158	août-94	74.5	103.9	-29.4	0	0	74.5	0
159	sept-94	139.55	55.8	83.75	50	50	55.8	33.75
160	oct-94	38.4	36.7	1.7	0	50	36.7	1.7
161	nov-94	24.8	13.3	11.5	0	50	13.3	11.5
162	déc-94	95.75	16.2	79.55	0	50	16.2	79.55

**Annexe 7 :**

***Fonctionnement des drains-conduits sous MARTHE***

## FONCTIONNEMENT DES DRAINS-CONDUITS SOUS MARTHE

Marthe offre la possibilité d'avoir un réseau de drains-conduits qui peuvent se mettre en charge (comme des conduits karstiques).

### Organisation du réseau de drains

Le réseau de drains-conduits est organisé en affluents hiérarchisés (mais ça n'a pas d'importance dans le calcul) eux même découpés en tronçons. Un tronçon de drain est défini par son numéro d'affluent (figure A7a) et par son numéro de tronçon (figure A7b), les numéros de tronçon devant être croissant de l'amont à l'aval. La hiérarchisation des affluents est défini par l'arbre de branchement des affluents, qui est une liste des numéros des affluents avals de chaque affluent.

### Données nécessaires

- Longueur du tronçon de drain (unité de longueur du modèle)
- Largeur du tronçon de drain, qui entre dans le calcul de la section du drain (unité de longueur du modèle)
- Hauteur du tronçon, qui entre dans le calcul de la section du drain (unité de charge et d'altitude)
- Altitude du fond de drain (unité de charge et d'altitude)
- Coefficient de perméabilité du drain (Coef\_perm) : c'est un facteur multiplicatif sur la perméabilité de la nappe pour calculer le débit d'échange nappe\_drain.
- Cote initiale de l'eau (charge initiale) dans le drain
- Conductivité (perméabilité) du drain pour l'écoulement dans le drain. Ce débit s'écoulant dans le drain vaut :

Débit\_dans\_drain=Section\*Conductivité\*Différence\_charge\_avec\_drains\_voisins /Longueur

### Schéma d'échange conduit- nappe

Le drain-conduit peut drainer ou alimenter une nappe, et même s'assécher en ayant une charge équivalente inférieure à son altitude. Un tronçon de conduit est caractérisé par une charge qui peut varier en régime transitoire, par un débit circulant dans le drain et par un débit d'échange positif ou négatif avec la nappe. Il a une capacité égale à son volume (=largeur\*hauteur\*longueur).

Le débit d'échange avec la nappe  $Q_{\text{échang}}$  est calculé comme suit :

$$Q_{\text{échang}} = \text{Coef\_Perm} * \text{Perm\_nap} * \text{Satur\_dra} * \text{Long\_dra} * (H_{\text{nappe}} - H_{\text{drain}})$$

- Coef\_Perm est un coefficient d'échange qui dépend de l'état du conduit (par exemple si le drain est rendu imperméable, Coef\_Perm=0, pour assurer la convergence, mettre un chiffre très petit, par exemple  $10^{-6}$ )
- Satur\_drain est une fonction du périmètre mouillé, calculée automatiquement par le code.

## Représentation des galeries à l'aide de drains-conduits

Les galeries ont été représentées sous forme de drains-conduits, selon une géométrie essayant de respecter la réalité : pour cela, nous avons considéré que le volume de vide du réservoir minier, soit  $8855542 \text{ m}^3$ , était réparti dans les galeries. L'altitude de fond de drain a été prise à la moitié de la couche de la formation ferrifère moins un mètre. Les dimensions des drains sont les suivantes : largeur 190 m, longueur variant de 200 m à 400 m, hauteur variant de 1.5 m à 2.8 m (afin de respecter le volume de vide par tranche d'altitude calculé par Collon et al. (2000)).

## Fonctionnement des écoulements dans les galeries

Le drain-conduit est associé à un milieu poreux d'une certaine conductivité. Il serait souhaitable dans notre cas que cette conductivité ne présente pas d'obstacle à l'écoulement dans le drain, mais une valeur trop grande ne doit pas être affectée à la conductivité, ceci pour deux raisons : une valeur trop grande ( $10^8 \text{ m/s}$ ) entraîne un court-circuit et réalise en fait une zone à potentiel imposé par la charge initiale dans le drain ; ou bien pose des problèmes de convergences ( $10^2 \text{ m/s}$ ).

Une valeur trop petite (0,1 m/s) limite les écoulements et en changeant peu cette valeur (en passant à 0,2 m/s), les débits et les charges dans le drain changent.

Il a donc fallu trouver une valeur suffisamment grande pour qu'elle ne limite pas trop les écoulements dans le drain (peu de changement quand la valeur est doublée), et suffisamment petite pour permettre une bonne convergence. La valeur trouvée est de 5 m/s.

## Le coefficient d'échange nappe-conduit

Ce coefficient est un paramètre de calage. Sur les parties bétonnées, la valeur zéro lui a été affectée (en fait  $10^{-6}$  pour des questions de convergence)

## Débordement avec un drain-conduit

Les drains-conduits ne sont pas prévus pour déborder. Il a donc fallu trouver une astuce pour permettre au drain représentant la galerie d'exhaure d'évacuer son eau. Pour cela, nous avons autorisé la maille dans laquelle se trouve le drain à déborder (figure A7c). De plus cette maille est isolée par des limites étanches de ses cinq voisines (quatre sur les côtés et une dessous) et ne reçoit pas de pluie. Un fort coefficient d'échange entre le

drain et la nappe ainsi qu'une forte perméabilité de la maille permettent un échange très rapide entre la nappe et le drain de sorte que leur charge est à chaque pas de temps quasi égale. Enfin, un très faible coefficient d'emménagement libre empêche la maille de stocker l'eau quand la charge monte ou d'alimenter le drain quand la charge descend. Les éventuels problèmes de convergence nécessairement posés par ce genre de maille ont été résolus (cf annexe 10).

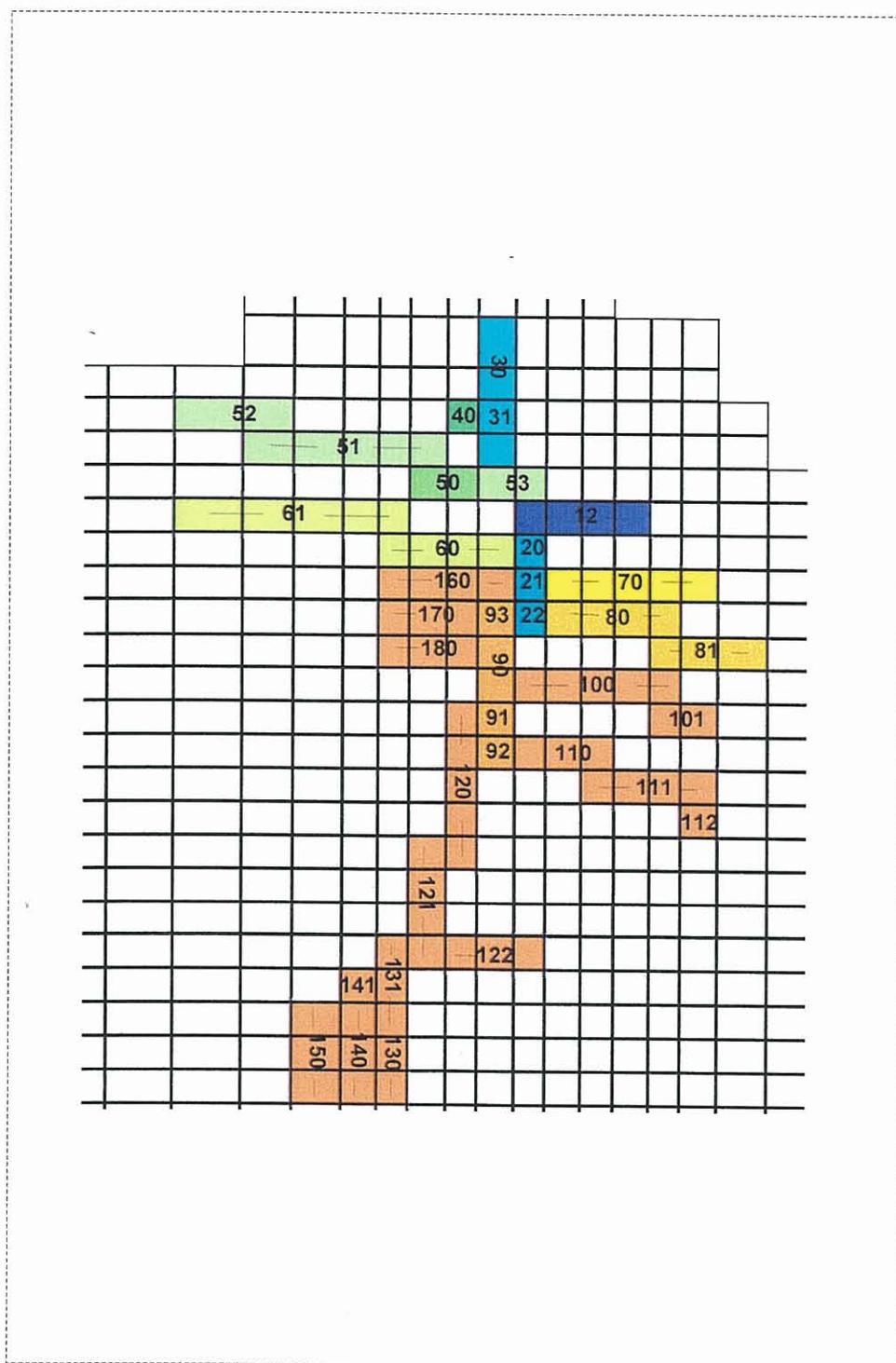
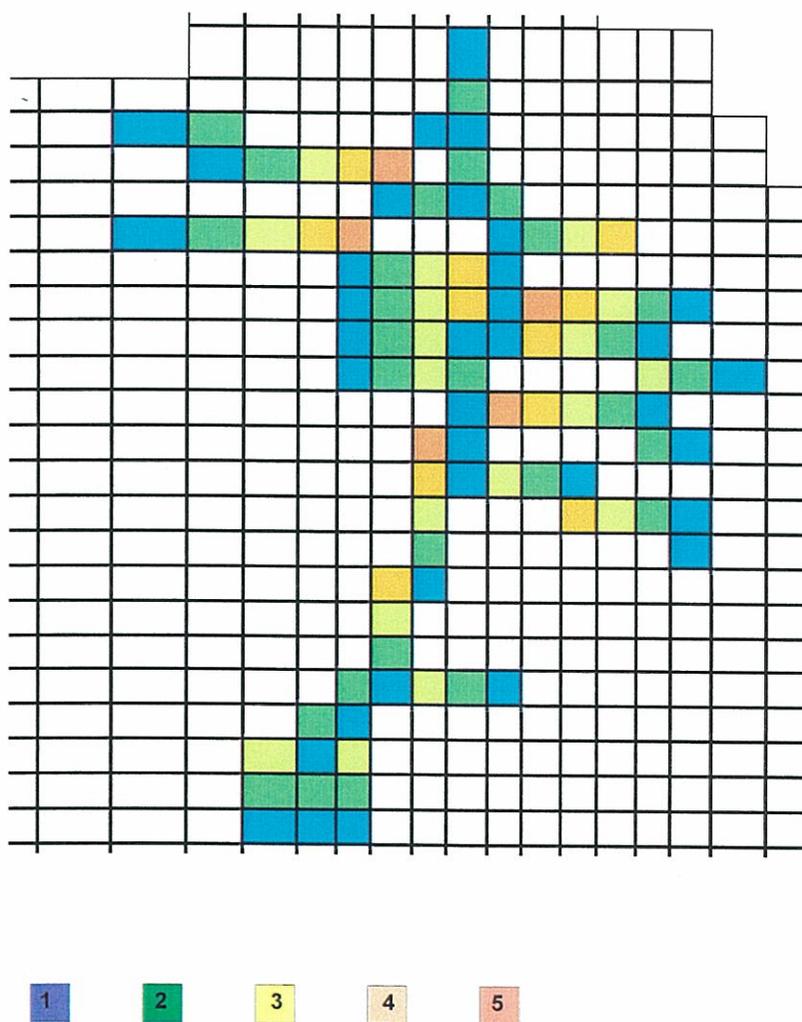


Figure A7a – Numéros des affluents représentant les galeries



*Figure A7b – Numéros de tronçon dans chaque affluent*

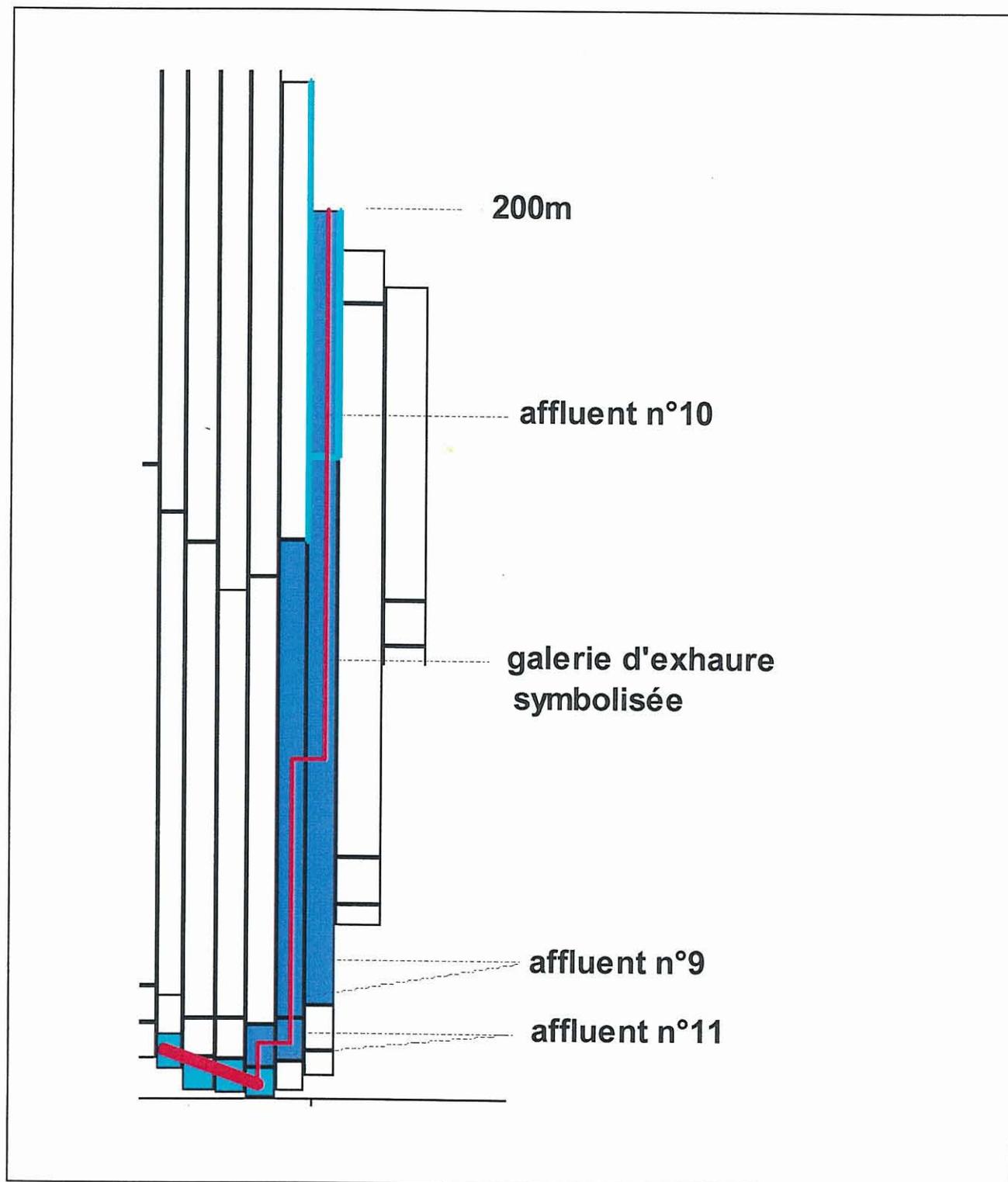


Figure A7c – Modélisation de la galerie d'exhaure

## **Annexe 8 :**

*Fichiers MARTHE relatifs à la construction du modèle*

## FICHIERS MARTHE RELATIFS A LA CONSTRUCTION DU MODELE

### Fichier répertoire (extension .rma)

saizerais	
mod1.per	= PERMEABILITES
mod1.deb	= DEBITS
mod1.cha	= CHARGES
=0	= EMMAGASINEMENT CAPTIF
=0	= EMMAGASINEMENT LIBRE
mod1.zge	= ZONES DE GEOMETRIE
mod1.sub	= COTES DU SUBSTRATUM
=0	= ZONES EQUIPOTENTIELLES
mod1.top	= COTES TOPOGRAPHIQUES
mod1.zpl	= ZONES DE PLUIES,ETP,INFILTRATION ...
=0	= ZONES D'EXCES D'IRRIGATION
=0	= INDEX DE DEBORDEMENT
	= SUBSTRATUM EPONTE SUPERIEURE
	= PERMEABILITE EPONTE SUPERIEURE
mod1.mar	= PARAMETRES GENERAUX
mod1.pas	= DESCRIPTION DES PAS DE TEMPS
mod1.lia	= LIAISONS ETANCHES
	= ANISOTROPIE HORIZONTALE KX/KY
	= ANISOTROPIE VERTICALE K_VERTIC/K_HORI
	= FICHER REPERTOIRE OPTIMISATION
	= CONCENTRAT_DENSE FLUIDE [SI DENSITE]
=0	= POROSITE=TENEUR EN EAU A SATURATION
	= PRESSION [SI DENSITE ou ZNS]
	= TENEUR EN EAU (AQUEUSE) [SI ZNS]
	= PARAMETRES LOIS NON-SATURE [SI ZNS]
	= CONCEN_DENSE EXTERIEURE [SI DENSITE]
	= CONCENTRATION [SI TRANSPORT]
	= CONCENTRAT. EXTERIEURE [SI TRANSPORT]
mod1.sui	= INDEX DE SUINTEMENT
	= TEMPERATURE DU FLUIDE [SI THERMIQUE]
	= TEMPERATURE FLUIDE EXTER. [SI THERM.]
	= PARTICULES DE CONCENTRATION_DENSE
	= PARTICULES DE TEMPERATURE DE FLUIDE
	= PARTICULES DE CONCENTRATION
	= DEPARTS DE TRAJECTOIRES
	= PRESSION DU GAZ [SI GAZ]
	= DEBIT DE GAZ [SI GAZ]
	= CHARGE HUILE (EAU SALEE) [SI HUILE]
	= DEBIT HUILE (EAU SALEE) [SI HUILE]
	= DEBIT MASS. CONCEN_DENSE [SI DENSITE]
	= FLUX D'ENERGIE [SI THERMIQUE]
	= DEBIT MASS. CONCENTR. [SI CONCENTRAT]
mod1.mdi	= MODIFICATIONS INITIALES
	= DIRAC DE MASSE_DENSE [SI DENSITE]
	= DIRAC D'ENERGIE [SI THERMIQUE]
	= DIRAC MASSE_CONCENT [SI CONCENTRAT]
	= TENEUR EN EAU FIXE [SI TRANSPORT]
	= KD VOLUMIQUE (RHO*KD) [SI TRANSPORT]
	= CINETIQUE ECHANGE (futur) [SI TRANSP]
	= TENEUR EN EAU RESIDUELLE [ZNS]
	= TENEUR PHASE LIQUIDE [MULTI_PHAS]
	= TENEUR PHASE NON_AQUEUSE [MULTI_PHAS]
	= ALTIT. INTERFACE DOUCE-SALEE [M_PHAS]
	= NUMERO D'AFFLUENT RIVIERE
	= NUMERO TRONCON RIVIERE
	= LONGUEUR DE TRONCON RIVIERE
	= LARGEUR DE TRONCON RIVIERE
	= COTE ABSOLUE DE L'EAU DANS LA RIVIERE
	= EPAISSEUR DE COLMATAGE DE LIT RIVIERE
	= PERMEABILITE DE COLMATAGE LIT RIVIERE
	= INJECTION (POMPAGE) DANS LES RIVIERES
	= DEBIT (ECOULEMENT) DANS LES RIVIERES

	= DEBIT (ECOULEMENT) DANS LES RIVIERES
	= DEBIT AMONT (SOURCE) RIVIERES
	= RUGOSITE RIVIERE (MANNING STRICKLER)
	= PENTE RIVIERE (SI MANNING STRICKLER)
	= ARBRE DE BRANCHEMENT AFL RIVIERE
	= ALTITUDE BAS DU FORAGE (SI EAU SALEE)
	= DIFFUSION MOLECULAIRE
	= DISPERSIVITE LONGITUDINALE
	= DISPERSIVITE TRANSVERSALE
	= CONDUCTIVITE THERMIQUE GRAINS MATRICE
	= DISPERSIVITE LONGITUDINALE THERMIQUE
	= DISPERSIVITE TRANSVERSALE THERMIQUE
	= CHALEUR SPECIFIQUE VOLUMIQUE MINERAL
	= COTE DU FOND RIVIERE (RIVIERE A SEC)
mod1.lay	= DESCRIPTION DES COUCHES AQUIFERES
	= PROFOND LIMITE REPRISE MAX A LA NAPPE
	= PROFOND EXTINCTION REPRISE A LA NAPPE
	= CONCENTRATION RIVIERE
	= CONCENTRATION EXTERIEURE RIVIERE
	= DEBIT MASSIQUE CONCENTAT RIVIERE
	= DIRAC MASSE CONCENTAT RIVIERE
	= TEMPERATURE RIVIERE
	= TEMPERATURE EXTERIEURE RIVIERE
	= FLUX D'ENERGIE RIVIERE
	= DIRAC D'ENERGIE RIVIERE
	= CONCENTRAT_DENSE RIVIERE
	= CONCEN_DENSE EXTERIEURE RIVIERE
	= DEBIT MASS. CONCEN_DENSE RIVIERE
	= DIRAC MASSE_DENSE RIVIERE
mod1.afd	= NUMERO D'AFFLUENT DRAIN
mod1.trd	= NUMERO DE TRONCON DRAIN
=0	= LONGUEUR DE TRONCON DE DRAIN
mod1.z_d	= ALTITUDE DU FOND DE TRONCON DRAIN
=0	= COEFFICIENT DE PERMEAB ECH. DRAINS
mod1.ard	= ARBRE DE BRANCHEMENT AFL DRAINS
	= TRANSMISSIVITE EST
	= TRANSMISSIVITE SUD
	= TRANSMISSIVITE BAS
	= FRACTURES PLANES
mod1.his	= DEFINITION DES MAILLES A HISTORIQUES
mod1.prf	= PROFIL D'UTILISATEUR
=0	= ZONES de DONNEES METEO (PLUIE ...)
	= DIRECTION AVAL POUR RUISSELL SUPERFIC
	= VITESSE POUR RUISSELLEMENT SUPERFIC.
	= FLUX DE RUISSELL. SUPERFICIEL. (MAILL)
	= FLUX DE RECHARGE DE NAPPE (MAILL)
	= METEO : PRECIPITATIONS
	= METEO : EVAPOTRANSPIR. POTENTIELLE
	= METEO : TEMPERATURE AIR
	= NOMS DES ELEMENTS/ESPECES CHIMIQUES
	= PARAMETRES CHIMIQUES INTRINSEQUES
	= PARAMETRES CHIMIQUES SPECIFIQUES
	= REFERENCE CONCENTRATIONS CHIMIQUES LIQ
	= DERIVATIONS DE DEBITS DU RESEAU HYDROG
=0	= LARGEUR DE TRONCON DE DRAIN_CONDUIT
=0	= HAUTEUR DE TRONCON DE DRAIN_CONDUIT
=0	= COTE DE L'EAU DANS LE DRAIN_CONDUIT
=0	= INJECTION (POMPAGE) DRAIN_CONDUIT
=0	= CONDUCTIVITE (PERMEAB) DRAIN_CONDUIT
	= NUMERO DES ZONES METEO DES FICHER MET
	= TEMPS DE 1/2 DEGRADATION SPATIALISE

Fichier modifications initiales (extension .mdi)

```

saizerais
/PERMH/ZONES Z= 19V= 1000;
/PERMH/ZONES Z= 24V= 150;
/PERMH/ZONES Z= 21V= 150;
/PERMH/ZONES Z= 6V= 0.95;
/PERMH/ZONES Z= 7V= 5-2;
/PERMH/ZONES Z= 4V= 3-3;
/PERMH/ZONES Z= 5V= 1-3;
/PERMH/MAILL C= 44L= 18P= 1V= 1000;
/QEX_D/TRONC A= 12T= 4V= -310;
/LON_D/TRONC A= *T= *V= 0.2;
/LON_D/TRONC A= 52T= 1V= 0.4;
/LON_D/TRONC A= 52T= 2V= 0.3;
/LON_D/TRONC A= 51T= 1V= 0.3;
/LON_D/TRONC A= 51T= 1V= 0.3;
/LON_D/TRONC A= 61T= 1V= 0.4;
/LON_D/TRONC A= 61T= 2V= 0.3;
/LON_D/TRONC A= 61T= 3V= 0.3;
/LAR_D/TRONC A= *T= *V= 0.19;
/HVE_D/TRONC A= *T= *V= 2.6;
/HVE_D/TRONC A= 12T= *V= 2.8;
/HVE_D/TRONC A= 31T= *V= 2.8;
/HVE_D/TRONC A= 53T= 2V= 2.8;
/HVE_D/TRONC A= 51T= 3V= 2.5;
/HVE_D/TRONC A= 51T= 4V= 2.5;
/HVE_D/TRONC A= 61T= 4V= 2.5;
/HVE_D/TRONC A= 61T= 5V= 2.5;
/HVE_D/TRONC A= 60T= 1V= 2.5;
/HVE_D/TRONC A= 160T= 1V= 2.5;
/HVE_D/TRONC A= 170T= 2V= 2.5;
/HVE_D/TRONC A= 170T= 3V= 2.5;
/HVE_D/TRONC A= 180T= 3V= 2.5;
/HVE_D/TRONC A= 90T= *V= 2.5;
/HVE_D/TRONC A= 100T= 2V= 2.5;
/HVE_D/TRONC A= 100T= 3V= 2.5;
/HVE_D/TRONC A= 100T= 4V= 2.5;
/HVE_D/TRONC A= 100T= 5V= 2.5;
/HVE_D/TRONC A= 80T= 1V= 2.5;
/HVE_D/TRONC A= 81T= 3V= 2.5;
/HVE_D/TRONC A= 51T= 2V= 2.1;
/HVE_D/TRONC A= 61T= 3V= 2.1;
/HVE_D/TRONC A= 170T= 1V= 2.1;
/HVE_D/TRONC A= 180T= 1V= 2.1;
/HVE_D/TRONC A= 180T= 2V= 2.1;
/HVE_D/TRONC A= 91T= *V= 2.1;
/HVE_D/TRONC A= 120T= 3V= 2.1;
/HVE_D/TRONC A= 120T= 4V= 2.1;
/HVE_D/TRONC A= 120T= 5V= 2.1;
/HVE_D/TRONC A= 92T= *V= 2.1;
/HVE_D/TRONC A= 110T= *V= 2.1;
/HVE_D/TRONC A= 111T= 3V= 2.1;
/HVE_D/TRONC A= 111T= 4V= 2.1;
/HVE_D/TRONC A= 101T= *V= 2.1;
/HVE_D/TRONC A= 100T= 1V= 2.1;
/HVE_D/TRONC A= 81T= 2V= 2.1;
/HVE_D/TRONC A= 52T= 2V= 2.2;
/HVE_D/TRONC A= 51T= 1V= 2.2;
/HVE_D/TRONC A= 81T= 1V= 2.2;
/HVE_D/TRONC A= 111T= 1V= 2.2;
/HVE_D/TRONC A= 111T= 2V= 2.2;
/HVE_D/TRONC A= 112T= *V= 2.2;
/HVE_D/TRONC A= 120T= 1V= 2.2;
/HVE_D/TRONC A= 120T= 2V= 2.2;
/HVE_D/TRONC A= 121T= 2V= 2.2;
/HVE_D/TRONC A= 121T= 3V= 2.2;
/HVE_D/TRONC A= 121T= 4V= 2.2;
/HVE_D/TRONC A= 122T= *V= 2.2;
    
```

```

/HVE_D/TRONC A= 121T= 1V= 1.5;
/HVE_D/TRONC A= 130T= *V= 1.5;
/HVE_D/TRONC A= 140T= *V= 1.5;
/HVE_D/TRONC A= 150T= *V= 1.5;
/HVE_D/TRONC A= 52T= 1V= 1.5;
/HVE_D/TRONC A= 61T= 1V= 1.5;
/HVE_D/TRONC A= 30T= 1V= 1.95;
/HVE_D/TRONC A= 14T= 1V= 5.17;
/HVE_D/TRONC A= 15T= 1V= 87;
/HVE_D/TRONC A= 16T= 1V= 66;
/LAR_D/TRONC A= 14T= 1V= 1.5-3;
/LAR_D/TRONC A= 15T= 1V= 1.5-3;
/LAR_D/TRONC A= 9T= *V= 2-2;
/LAR_D/TRONC A= 10T= 1V= 2-2;
/LAR_D/TRONC A= 11T= *V= 2-2;
/LON_D/TRONC A= 14T= 1V= 1.5-3;
/HVE_D/TRONC A= 10T= 1V= 33;
/HVE_D/TRONC A= 9T= 2V= 74;
/HVE_D/TRONC A= 9T= 1V= 5;
/LON_D/TRONC A= 10T= 1V= 2-2;
/LON_D/TRONC A= 9T= 2V= 2-2;
/HVE_D/TRONC A= 11T= *V= 20;
/LON_D/TRONC A= 15T= 1V= 1.5-3;
/LON_D/TRONC A= 16T= 1V= 1.5-3;
/CND_D/TRONC A= *T= *V= 5E6;
/CND_D/TRONC A= 9T= *V= 5E6;
/CND_D/TRONC A= 10T= *V= 5E6;
/CND_D/TRONC A= 11T= *V= 5E6;
/PER_D/TRONC A= *T= *V= 2;
/PER_D/TRONC A= 14T= 1V= 1-6;
/PER_D/TRONC A= 15T= 1V= 1-6;
/PER_D/TRONC A= 16T= 1V= 1-6;
/PER_D/TRONC A= 9T= *V= 1-6;
/PER_D/TRONC A= 10T= 1V= 7;
/PER_D/TRONC A= 9T= 2V= 1-6;
/PER_D/TRONC A= 11T= *V= 1-6;
/HAU_D/TRONC A= *T= *V= 80;
/CHARG/TRONC A= *T= *V= 80;
/DEBIT/EDITI *= 1;V= 0;L= 0;S= 0;Z= 0
/HAU_D/EDITI I= 1
/CHARG/EDITI I= 1
/INFIL/ZONEP Z= 51V= 19.30;
/INFIL/ZONEP Z= 41V= 19.30;
/INFIL/ZONEP Z= 31V= 19.30;
/INFIL/ZONEP Z= 21V= 19.3;
/INFIL/ZONEP Z= 55V= 1-4;
/EMMLI/ZONES Z= *V= 2.5-3;
/EMMLI/ZONES Z= 21V= 2.5-3;
/EMMLI/ZONES Z= 4V= 1-2;
/EMMLI/ZONES Z= 5V= 1-2;
/EMMLI/ZONES Z= 6V= 1-2;
/EMMLI/ZONES Z= 7V= 1-2;
/EMMLI/MAILL C= 44L= 18P= 1V= 1-8;
/EMMCA/ZONES Z= *V= 1;
/DEBIT/EDITI *= ;V= ;L= ;S= 1;Z= 1
/****/**** Fin d'initialisation
    
```

## Fichier des paramètres généraux (extension .mar)

```

saizerais
*** Editions et controles [Param MARTHE 6.0] ***
1=LISTING DETAILLE (1=OUI 0=NON)
0=////////////////////////////////////
0=EDITION DE TOUS LES TABLEAUX DE DONNEES LUS (ET DEDUITS)
0=EDITION DE L'ETAT DE FIN DE CALCUL (0=NON 1=OUI -1=Binaire)
0=CONTROLE DE LA CONVERGENCE DANS UNE MAILLE PARTICULIERE
18= NUM DE LIGNE DE LA MAILLE A CONTROLER [SI CONTROLE]
42= NUM DE COLONNE DE LA MAILLE A CONTROLER [SI CONTROLE]
3= NUM COUCHE A CONTRO [0=MAILLE MAX(DEBIT RESID)] [SI CONTRO]
    
```

```

0= NUM DU GIGOGNE DE LA MAILLE A CONTROLER [Def=0] [SI CONTRO]
0= NOMBRE ITERATIONS FINALES A CONTROLER [SI CONTROLE]
0=ALLEGEMENT FICHIER BILAN [0=CONSERV 1,2=ALLEG 9999=ANNULAT]
0=VERIF SEULE SANS CALCULS + [1=EDITION CLAIRE ; -1=BINAIRE]
0=EDITION DES BILANS MASSIQUES PAR ZONES (SI APPLIQUABLE)
0=EDITION DES HISTORIQUES DE BILANS HYDRODYNAMIQUES
0=EDITION DES HISTORIQUES DE VARIATIONS/DEBUT
0=ANNULATION DES CALCULS DE BILANS DE DEBIT FLUIDE [Def=Calcul]
*** Pas et Sous-Pas de Temps ***
162=NOMBRE MAX POSSIBLE DE PAS DE MODELE EN TRANSITOIRE [*=Tous]
0=[//NBR DE PAS DE CALCUL HYDRAUL PAR PAS MODELE//][Def=1]
0=NOMBRE DE SOUS-PAS MODELE [Default=1]
*** Controle de la Resolution Hydrodynamique ***
220=NOMBRE MAXI D'ITERATIONS PAR PAS DE CALCUL SUIVANT LE PAS 0
220=NOMBRE MAXI D'ITERATIONS POUR LE PAS 0 (PERMANENT INITIAL)
1-8=VARIAT MOY DE CHARGE ENTRE 2 ITERAT POUR CONVERG [Def=1-8]
0.070=COEF. DE RELAXATION DES CALCULS [Def=1 ; <1=Sous-Rel >1=Sur-rel]
1=PONDER PERMEAB VOIS (1=GEOMET 3=AMONT 4=HARMO 5=ARITH Def=OPT)
0=RAPPORT = (EPAIS. MINI DENOY)/(EPAIS. MOY COUCHE) [Def=5-3]
0=SOLVEUR [0=G.CONJ/CHOLES 1=BANDE 3=POLY 4=MAIL 5=ORTH 6=EISEN.]
15=NOMBRE D'ITERATIONS INTERNES SI RESOLUTION DIRECTE [Def=10]
0=PERIODICITE DES CALCULS HYDRODYNAMIQUES [Def=Tous les pas]
0=REGIME HYDRODYNAMIQUE 0=TRANSITOIRE 1=PERMANENT
0=LECTURE DE : 1=COEFF. D'ECHANGE ; 2=FRACTURES VERTICALES
1=CALCUL AVEC DENOIEMENTS EN PSEUDO-ZNS (0=Non 1=Oui)
2=SATURATION MINIMALE (%) SI DENOYAGE PSEUDO-ZNS [Def=1%]
0=SCHEMA NEWTON-RAPHSON [ZNS UNIQUEMENT] [0=Non=Def 1=Oui]
0=TYPE DE COEFF. D'ECHANGE LUS [0=TRANSMISS 1=PERMEABILITE]
2=SATURATION MINIMALE (%) POUR LIMITATION DES POMPAGES [Def=0%]
*** Unites des donnees ***
1-6=UNITE DES PERMEABILITES DES AQUIF EN M/S (ou M2)
1-3=UNITE DES DEBITS EN M3/S (KG/S si GAZ)
1=UNITE DES CHARGES, ALTITUDES EN M
1-5=UNITE DES EMMAGASINEMENTS CAPTIFS EN [-] ou 1/M
1=UNITE DES EMMAGASINEMENTS LIBRES EN [-]
1=UNITE DES HAUTEURS HYDROCLIMATO (PLUIE,ETP,INFILTRAT.) EN MM
0=UNITE DES HAUTEURS D'EXCEDENT IRRIGATION EN MM
MOI=DUREE DES DUREES HYDROCLIMATOLOG. (SEC,MIN,HEU,JOU,MOI,ANN)
MOI=UNITE DE TEMPS (PAS DE MODELE) (SEC,MIN,HEU,JOU,MOI,ANN)
1000=UNITE DES COORDONNEES DES MAILLES EN M
0=COEFFICIENT D'ANISOTROPIE VERTICALE KV/KH DES PERMEABILIT.
0=COEFFICIENT D'ANISOTROPIE HORIZONTALE KX/KY DES PERMEABILIT.
1=EMMAG. CAPTIF LUS (1=SPECIF 2=COMPRS 0=TTES CHES -1=PAR COU)
0=UNITE DES CONCENTR. DENSES [EAU DOUCE=0] EN KG/M3
0=UNITE DES CONCENTRATIONS EN KG/M3
1=UNITE DES POROSITES = TENEURS EN EAU EN [-] [1E-2 SI EN %]
1=UNITE DES STOCKS D'EAU EN M3
0=UNITE DES MASSES EN KG
0=TYPE DE PERMEAB :(0=Def=PERM A L'EAU ; 1=PERM INTRINS)
0=UNITE DES VOLUMES POUR CONCEN 'CHIMIQUES' [Def=1E-3=Litre]
0=TYPE DE DEBITS MASS. LUS : (0=PAR M2 DE SURF ; 1=PAR MAILLE) [...]
*** Reseau Hydrographique et Drains ***
0=COUPLAGE AVEC UN RESEAU HYDROGRAPHIQUE [0=Non ; 1=Oui]
50=NOMBRE MAXIMAL D'ITERATIONS POUR LE CALCUL DES DEBITS RIVIERES
1=VARIATION MOY DE DEBIT_RIV ENTRE 2 ITERAT. POUR CONVERG.
0=NOMBRE MAXIMAL DE TRONCONS DE RIVIERE [Def=200]
0=LOI HAUT(Q) RIVIERE [0=Non ; 1=Manning_Large 2=Manning]
0=ETAT INITIAL RIVIERE LU SI LOI HAUT(Q) [0=HAUTEURS 1=DEBITS]
0=ROUTING RIVIERE [0=NON 1=OUI] SI TRANSITOIRE ET SI HAUT(Q)
0=SCHEMA RESOLUTION ROUTING [0=Debits ; 1 ou 2=Hauteurs]
0=SCHEMA ECHANGES [1=AVEC DEBORD 6,7=CONTI 8=LIN 9=MDFL Def=1]
0=COEF DE RELAXATION POUR DEBITS RIVIERES [Def=1]
2=COUPLAGE AVEC UN SYST. DE DRAINS [0=Non ; 1=Drains ; 2=Conduits]
1=SYSTEME DE DRAINS HIERARCHISE EN RESEAU [0=Non ; 1=Oui]
200=NOMBRE MAXIMAL DE TRONCONS DE DRAINS
0=HAUTEURS RIVIERES : [0=COTES ABSOL ; 1=HAUTEURS / FOND]
0=SOLVEUR POUR ROUTING DU RESEAU DE RIVIERES [0=STRAHLER ; 1,..]
0=FACTEUR CORRECT. SUR VITESSES DE RUISS. DE SURFACE % [Def=100%]
0=VITESSE DE RUISELL. SUPERFIC. MINIMA. (SECURITE) [Def=0.05 m/s] [...]
*** Fin fichier Parametres Generaux ***

```

## **Annexe 9 :**

### ***Prélèvements AEP du secteur***

## PRELEVEMENTS AEP DU SECTEUR

Voici la liste de certains prélèvements, pour lesquels les volumes en mètres cubes pompés durant l'année sont donnés, qui ont été fournis par l'Agence de l'eau :

<b>Prélèvements</b>	<b>1998</b>	<b>1997</b>	<b>1996</b>	<b>1995</b>	<b>1994</b>	<b>1993</b>	<b>1992</b>	<b>1991</b>
Saizerais - Sce Bouillante	448 930 ?	209370	212073	215286	230455	207328	221626	230265
Marbache - exhaure de mine	110290	113440	75454	69252	93388	98710	102946	104167
Marbache - sce	836 ??	20 440 ??	72681	67399	64890	65251	78619	97958
<b>Prélèvements</b>	<b>1990</b>	<b>1989</b>	<b>1988</b>	<b>1987</b>	<b>1986</b>	<b>1985</b>	<b>1984</b>	<b>1983</b>
Saizerais - Sce Bouillante	230069	239057	220755	227200	226949	237035	236941	237661
Marbache - exhaure de mine	108386	110812	92881	99278	104353	114852	130462	94614
Marbache - sce	99048	86242	124684	130119	101442	83871	65400	107907
<b>Prélèvements</b>	<b>1982</b>	<b>1981</b>	<b>1980</b>	<b>1979</b>	<b>1978</b>	<b>1977</b>		
Saizerais - Sce Bouillante	215471	173565	203765	197680	195708	215078		
Marbache - exhaure de mine	130140	119828	96818	138537	119044	74892		
Marbache - sce	120960	121312	114621	92728	119044	74892		

**Tableau A9a – Volumes prélevés à différents points du secteur**

Les débits moyens utilisés dans le modèle sont :

<b>Prélèvements</b>	<b>Débit moyen(l/s)</b>
Saizerais - Sce Bouillante	7.26
Marbache - exhaure de mine	3.84
Marbache - sce	2.85

**Tableau A9b – Débits moyens prélevés correspondants**

Les autres prélèvements AEP pour lesquels nous avons des données sont : Rosières-en-Haye, Domèvre-en-Haye, Villers-en-Haye et Griscourt, dont les débits moyens ont été estimés à partir des valeurs données dans les dossiers communaux et par l'Agence de l'eau.

<b>Prélèvements</b>	<b>Débit moyen(l/s)</b>
Rosières-en-Haye	6.57
Domèvre-en-Haye	0.44
Villers-en-Haye	0.4
Griscourt	0.17

**Tableau A9c – Débits moyens prélevés estimés**

## **Annexe 10 :**

### *Etude de la convergence*

## ETUDE DE LA CONVERGENCE

Ci-dessous se trouvent le bilan résiduel maximal du modèle et la maille associée, la somme des valeurs absolues des débits résiduels, les convergences globales et internes ainsi que le bilan résiduel maximal du réseau de drains pour les 36 premiers pas de temps (l'année d'envoyage suivie de deux années de débordement).

pas de temps	bilan rés. max. (l/s)	maille associée (Co;Li;Cou)	$\Sigma$ Idéb. rés.l (l/s)	CV interne (%)	CV globale (%)	bilan rés.max. drain(l/s)
0	0,0769	44;18;1	1,759	0,1931	-0,02702	-0,205
1	5,955	39;17;4	61,65	12,9	0,6878	-217,8
2	0,01839	13;51;2	1,368	0,3324	-0,06391	-26,79
3	0,01536	37;5;4	1,25	0,2757	-0,04542	17,04
4	1,199	49;28;2	4,578	0,09225	0,008902	-15,7
5	0,0246	13;51;2	2,209	0,1207	-0,01388	15,5
6	0,03408	27;18;2	3,116	0,05284	0,003464	13,41
7	0,07381	50;28;4	3,375	0,09043	-0,00506	10,93
8	2,18	44;18;1	12,27	1,018	0,2416	5,533
9	0,01236	13;51;2	3,584	0,242	0,0337	8,608
10	5,501	44;18;1	14,83	1,895	-1,014	4,825
11	4,515	44;18;1	11,47	2,11	1,014	6,861
12	3,062	44;18;1	11,51	2,685	-1,085	5,482
13	2,175	44;18;1	7,892	2,18	-1,035	4,468
14	0,8285	44;18;1	9,202	2,866	-0,2735	8,044
15	5,568	44;18;1	14,37	4,788	-2,637	-5,737
16	2,729	44;18;1	11,14	0,7811	0,2637	7,252
17	3,597	44;18;1	11,71	0,5775	0,2408	4,582
18	0,06191	48;28;4	3,853	0,074	0,007366	-3,899
19	0,02485	13;51;2	4,344	0,1667	-0,006836	3,942
20	0,02209	13;51;2	3,921	0,1733	0,004228	4,73
21	0,01691	13;51;2	3,514	0,2353	0,04792	5,519
22	0,01724	32;13;2	4,092	0,11	0,01583	5,519
23	1,538	2;18;2	7,096	0,1142	0,0406	3,154
24	0,0236	13;51;2	3,734	0,2288	0,02307	4,73
25	0,02482	35;35;2	6,75	0,755	0,02955	8,256
26	4,085	44;18;1	13,86	2,287	0,7694	3,449
27	1,751	44;18;1	6,825	1,494	0,4406	2,365
28	0,2355	44;18;1	5,052	1,367	-0,1323	-3,326
29	3,261	44;18;1	9,487	2,386	-1,144	-4,633
30	1,62	32;5;2	7,579	0,6529	0,04721	-1,278
31	14,81	32;5;2	32,69	0,8377	0,7223	8,619
32	12,18	49;47;2	27,02	0,09091	0,7823	-2,524
33	4,741	44;18;1	13,05	1,208	-0,4514	-4,797
34	5,196	44;18;1	13,46	1,972	0,9028	7,954
35	3,024	44;18;1	11,16	2,222	-0,8107	-3,528
36	0,7706	44;18;1	8,275	2,099	-0,2199	-4,709

Tableau A10a – La convergence pour les 36 premiers pas de temps

La convergence est assez bonne : en effet, excepté le premier pas de temps pour lequel la brusque variation des contraintes entraîne logiquement une moins bonne convergence, pour les autres pas de temps la convergence interne (somme des valeurs absolues des débits résiduels/débit d'entrée) est en moyenne inférieure à 1 % et n'excède pas 5 %, et la convergence globale (somme des débits résiduels/débit d'entrée) est en moyenne des valeurs absolues inférieure à 0,4 % et n'excède pas 3 %.

## **Analyse par phases**

Les 36 pas de temps couvrent différentes phases hydrologiques. Du pas de temps 1 à 9 il s'agit du remplissage de la mine, puis du pas 10 à 17 c'est une période de basses eaux (avril-novembre 1982), puis de 18 à 24 c'est une période de hautes eaux et de débordement pour la mine (décembre 1982-juin 1983), de 25 à 30 c'est à nouveau un période de basses eaux (juillet-décembre 1983), de 31 à 32 c'est une nouvelle période de hautes eaux et de débordements (janvier-février 1983), et enfin de 33 à 36 c'est une période de basses eaux.

### **Remplissage**

C'est durant cette période que la variation de charge dans la mine est la plus importante, donc que le débit circulant dans les galeries est le plus fort. Ainsi, pour des débits résiduels maximaux de drains plus forts à cette période que postérieurement, le rapport débit résiduel maximal sur débit dans les drains n'est pas plus élevé. Pour expliquer ces débits résiduels plus fort peut également entrer en compte l'amortissement de la perturbation du pas de temps 1.

### **Basses eaux**

C'est durant ces périodes que les convergences globale et interne sont les plus fortes. Mais cela ne signifie pas que le modèle converge mal : les débits résiduels restent raisonnables, mais le débit d'entrée est plus faible. Comme on pouvait s'y attendre, la maille de débordement du réseau de galeries (maille 44 ;18 ;1) est durant ces périodes une source importante de débits résiduels. Ce problème pourrait être résolu par le développement d'une nouvelle fonctionnalité de débordement pour drain.

### **Hautes eaux**

Durant ces périodes, les mailles qui occasionnent de forts débits résiduels sont très souvent en limite de modèle, ce qui autorise une plus grande tolérance pour les valeurs de débits résiduels.

**Annexe 11 :**

***Documentation sur MARTHE***

# M A R T H E

## MODELISATION D'AQUIFERES AVEC MAILLAGE RECTANGULAIRE, TRANSPORT ET HYDRODYNAMIQUE

(1/10)

### DOMAINE D'APPLICATION

Conçue et réalisée au groupe BRGM pour la **modélisation hydrodynamique et hydrodispersive des écoulements souterrains en milieu poreux**, la chaîne de logiciels MARTHE est destinée à modéliser les problèmes d'écoulement rencontrés dans des contextes variés :

Gestion des ressources aquifères :

- Evaluation des termes du bilan hydraulique d'un système aquifère : recharge par infiltration pluviale, apports latéraux par les bassins versants, circulations souterraines et flux associés, fluctuations annuelles, stockages-déstockages saisonniers, ...
- Impacts hydrodynamiques d'aménagements existants ou à créer : pompages, irrigation, drainage, gravières, bassins d'infiltration, ...
- Gestion et optimisation de champs captants.

Génie civil :

- Assèchement de fouilles.
- Effets hydrauliques de parois étanches.
- Travaux souterrains (métros, parking, tunnels, ...).

Environnement :

- Infiltration d'un polluant en zone non saturée, percolation jusqu'à la nappe, puis migration souterraine.
- Simulation du panache de pollution s'échappant d'une zone contaminée : trajectoires, vitesses de déplacement, concentrations atteintes à l'aval. Modélisation de scénarios hydrauliques de confinement ou de décontamination.
- Impacts de décharges domestiques et industrielles sur les eaux souterraines.
- Etude du confinement de stockages souterrains.

Exploitation minière :

- Calcul de débits d'exhaures miniers et des rabattements associés.

### REFERENCES

Au cours des 15 dernières années, MARTHE a été utilisé pour modéliser plus de 200 contextes aquifères répartis dans une vingtaine de pays, sur des financements français, nationaux et internationaux.

<b>Manuels d'utilisation :</b> Rapports : R 32210, R 37762, R 38018, R 38085, R 38149	<b>Ordinateurs :</b> Stations VAX - Systèmes d'exploitation : VMS et ULTRIX PC - Système d'exploitation : Windows
<b>Langage de programmation :</b> FORTRAN 90	<b>Versions :</b> Français, Anglais

# M A R T H E

(2/10)

## CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

MARTHE permet de simuler de nombreux types d'écoulement, en zones saturées et non saturées, en milieux monophasiques et diphasiques. Cinq niveaux d'utilisation sont distingués :

### **Niveau 1 :**

- Maillages 2D (en plan, en coupe verticale, en coordonnées cylindriques) ou 3D.
- Aquifères monocouches ou multicouches (empilement d'aquifères séparés par des épontes semi-perméables).
- Nappes libres, captives ou semi-captives en régime hydraulique permanent ou transitoire.
- Prise en compte de discontinuités telles que plans d'eau à surface libre (lacs, gravières), assèchements locaux de nappe (et remise en eau), y compris en aquifères multicouches, débordements de nappe (cours d'eau, sources, drains), parois étanches (palplanches, ...).
- Anisotropies horizontale et verticale des perméabilités.
- Calcul de trajectoires (directes et inverses) en régime hydraulique permanent ou transitoire.

### **Niveau 2 :**

- Migration dispersive d'un effluent dans la nappe.

### **Niveau 3 :**

- Traitement continu de la zone saturée et de la zone non saturée.
- Effets densitaires induits par des salinités et/ou des températures hétérogènes.
- Prise en compte des variations de viscosité avec la température.

### **Niveau 4 :**

- Calage automatique du modèle, selon des zones homogènes ou maille par maille.
- Analyse de sensibilité aux paramètres de calage.

### **Niveau 5 :**

- Couplage avec un réseau hydrographique.
- Bilan hydroclimatique couplé.
- Fractures verticales par transmissivités équivalentes.
- Transport avec interactions physico-chimiques entre eau, effluents et matrice poreuse.
- Ecoulements diphasiques : eau et air, eau et "huile".
- Ecoulements de gaz.

Le domaine à modéliser est discrétisé selon un maillage rectangulaire de type "écossais" : chaque ligne et chaque colonne de mailles a une largeur constante, mais l'utilisateur est libre d'adapter la largeur de chacune de ces lignes et colonnes en fonction des hétérogénéités locales, de la densité des informations disponibles, et de la précision recherchée. Il est en outre possible d'affiner localement le maillage par des sous-maillages emboîtés (gigognes).

Les mailles du modèle sont automatiquement associées à des coordonnées géographiques (norme SEMIS élaborée au groupe BRGM), ce qui permet de superposer les données initiales et les résultats des simulations à des fonds cartographiques préalablement digitalisés. Les données peuvent être définies maille par maille, ou bien par zones, par couches ou globalement pour tout le maillage. Toutes les données sont stockées dans des fichiers texte (ASCII).

Les résultats de modélisation sont édités dans des fichiers texte (ASCII). Ils peuvent être consultés sous éditeur de texte et représentés graphiquement. Les débits calculés (débits aux potentiels imposés, débits résiduels de convergence) peuvent être présentés maille par maille, ou bien par zones, par couches, ou encore pour tout le modèle.

La convergence des calculs est contrôlée par plusieurs critères : écarts de charge (moyen et maximal entre deux itérations successives) et débits résiduels d'erreur (global sur l'ensemble du modèle, et ponctuel dans chacune des mailles).

# M A R T H E

(3/10)

## **Calcul des écoulements**

Les calculs hydrodynamiques sont effectués selon une méthode aux volumes finis. Plusieurs algorithmes de résolution sont proposés, dont une résolution matricielle par gradients conjugués, avec préconditionnement de Choleski.

## **Calcul du transport**

Selon le type de problème posé (dominance de la convection ou de la dispersion), l'utilisateur peut choisir entre trois techniques de calcul pour optimiser le schéma de transport mis en oeuvre :

- volumes finis ;
- méthode des caractéristiques (MOC) utilisant des particules ;
- méthode des déplacements aléatoires (Random Walk), dite aussi méthode des particules ;

Le transport en nappe est simulé sous ses composantes advective, diffusive et dispersive. Deux options sont proposées pour le transport réactif :

- décroissance exponentielle de l'effluent en fonction du temps ;
- facteur de retard avec coefficient de partage  $K_d$  (phénomènes d'adsorption-désorption).

## **Interactions géochimiques**

Les interactions physico-chimiques entre eau, effluents et matrice peuvent être simulées par couplage entre MARTHE et un modèle chimique "dédié" au contexte géochimique d'écoulement.

## **STRUCTURE DU LOGICIEL**

Au module de calcul hydrodynamique et hydrodispersif (MARTHE proprement dit), sont associés des modules de préparation, gestion et représentation graphique des données et des résultats de modélisation :

### **WinMARTHE**

Définition et modification graphique, sous environnement Windows, d'un maillage écoulement, en superposition à un fond cartographique digitalisé.

Visualisation des données couche par couche ou en coupe verticale Ouest-Est ou Nord-Sud

Opérations diverses sur des fichiers de données à la norme SEMIS :

- opérations algébriques, logiques ou géographiques sur les données d'un fichier Semis,
- combinaisons algébriques, logiques ou géographiques entre les données de plusieurs Semis.

Représentation graphique des fichiers de résultats générés par MARTHE :

- courbes isovaleurs (piézométrie, rabattements, épaisseurs mouillées, ...)

### **INGRID**

Interpolation de données spatiales éparées (cotes du substratum, topographie, ...), pour tracé de courbes iso-valeurs ou affectation des valeurs interpolées aux mailles du modèle (norme SEMIS).

Plusieurs options d'interpolation sont proposées. Les données initiales peuvent être un nuage de points ou une famille de courbes isovaleurs digitalisées.

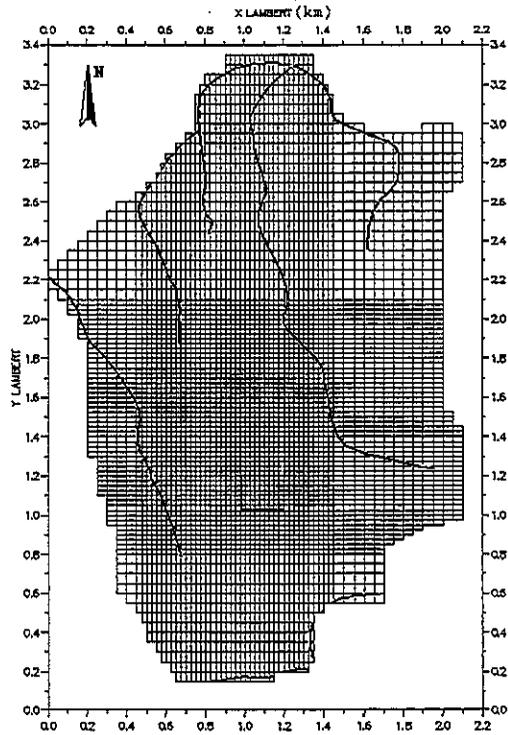
### **GRAPHMAR**

Représentation graphique des fichiers de résultats générés par MARTHE :

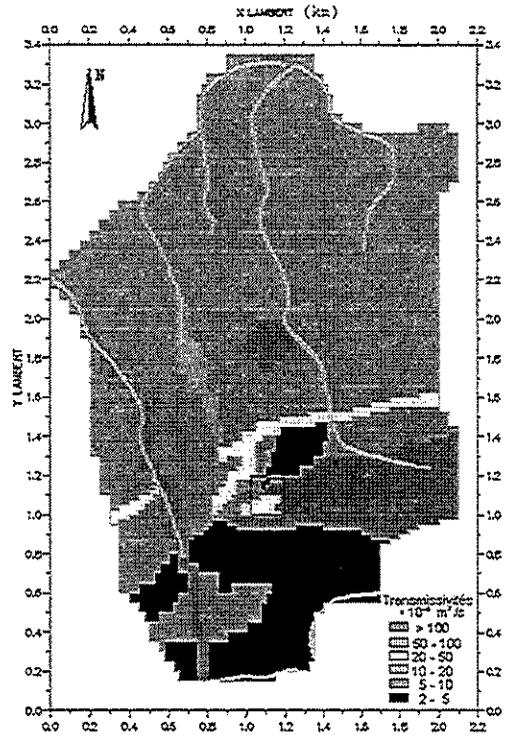
- courbes isovaleurs (piézométrie, rabattements, épaisseurs mouillées, ...)
- historiques de charge et de débit en différents points de contrôle.

# M A R T H E

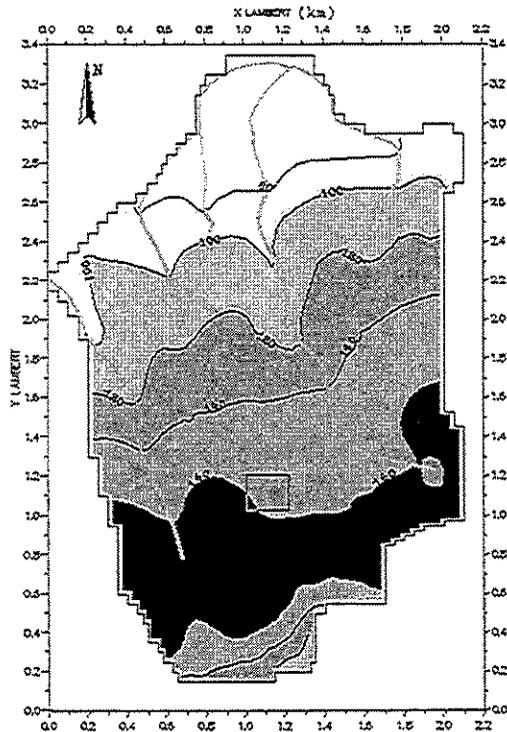
MODELISATION D'UNE ZONE ALLUVIALE OU SE TROUVE IMPLANTE UN SITE INDUSTRIEL (4/10)



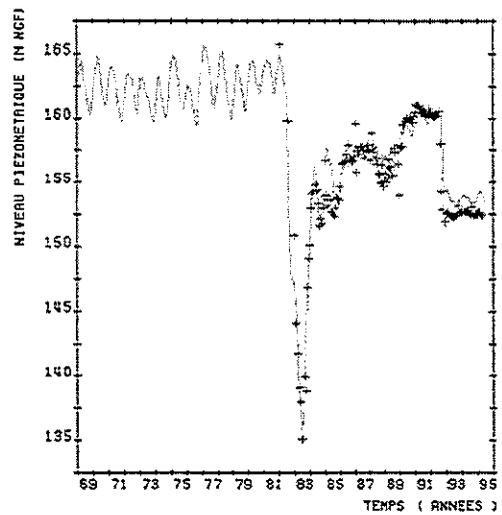
Maillage "écossais", réseau hydrographique et contour d'un site industriel



Distribution spatiale des transmissivités (en relation avec la carte géologique)



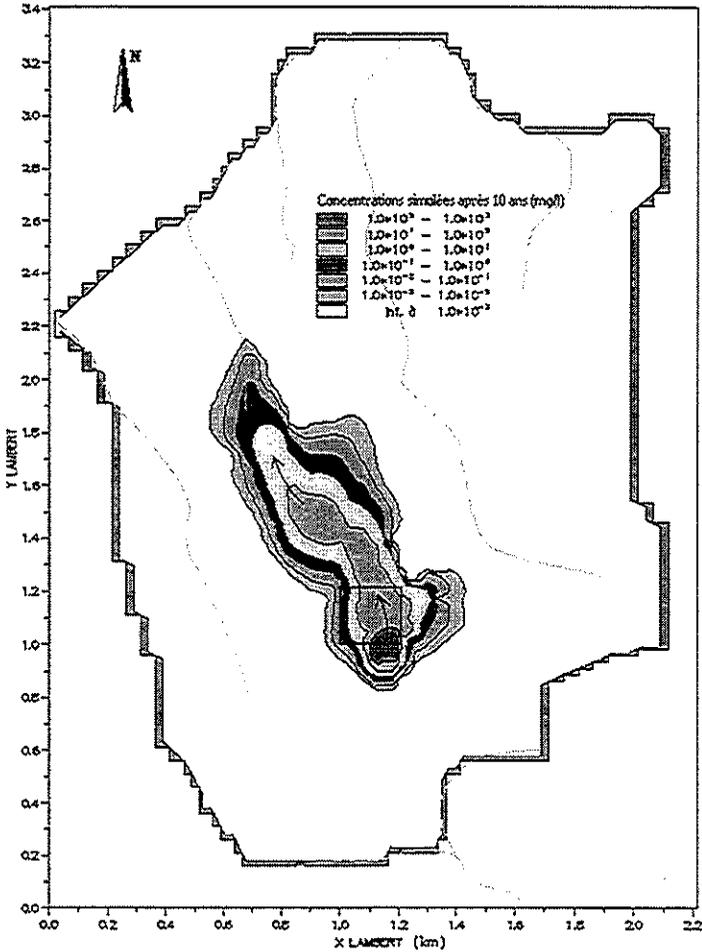
Carte isopièze simulée (fort drainage par le réseau hydrographique)



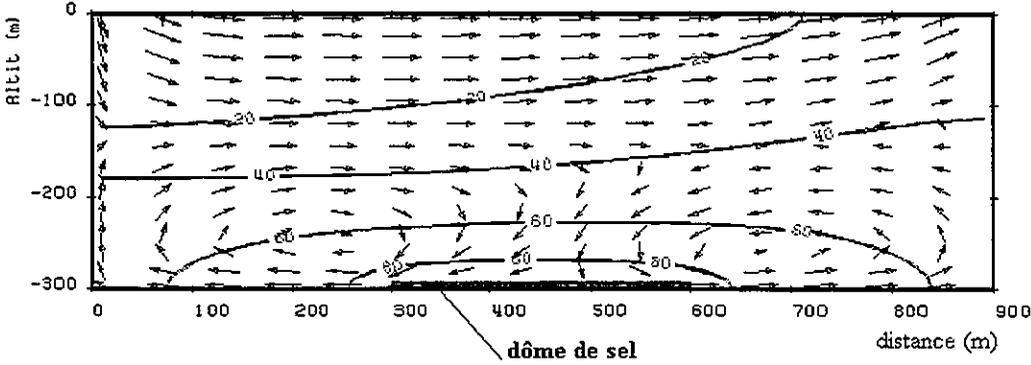
Chronique piézométrique

# M A R T H E

## SIMULATION DE LA MIGRATION D'UN PANACHE DE POLLUTION



## CELLULES DE CONVECTION INDUITES DANS UNE NAPPE PAR UN DÔME DE SEL (Champ des vitesses et courbes iso-concentrations en sel - Coupe verticale)



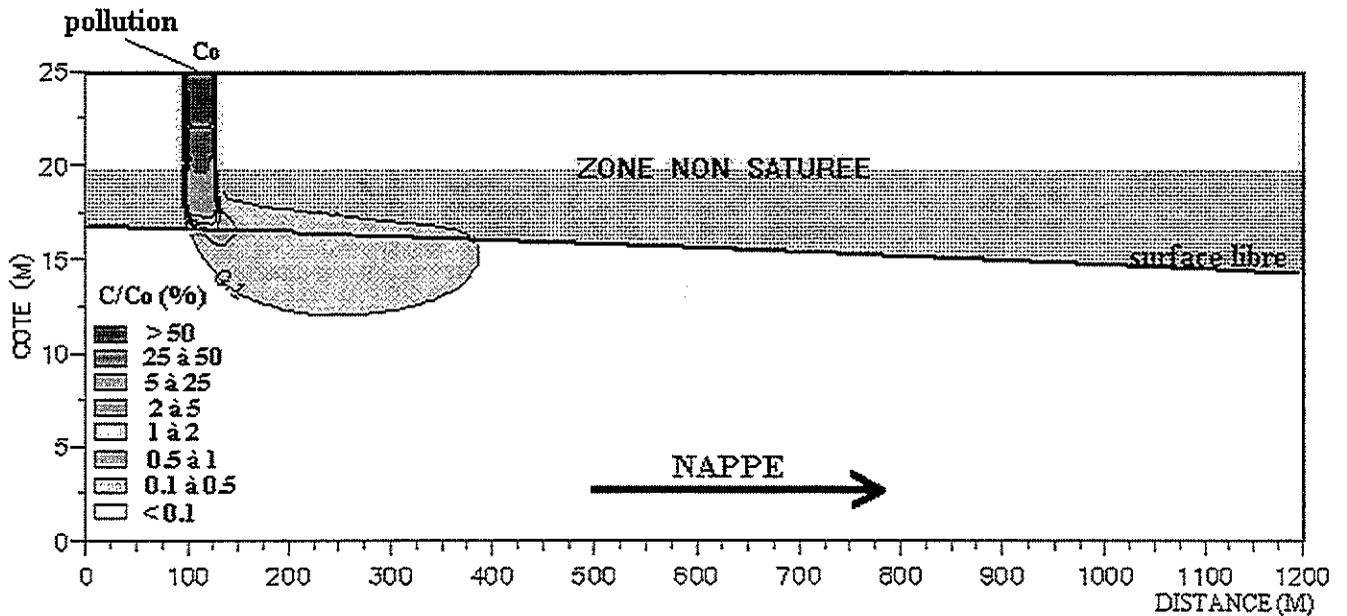
# M A R T H E

(6/10)

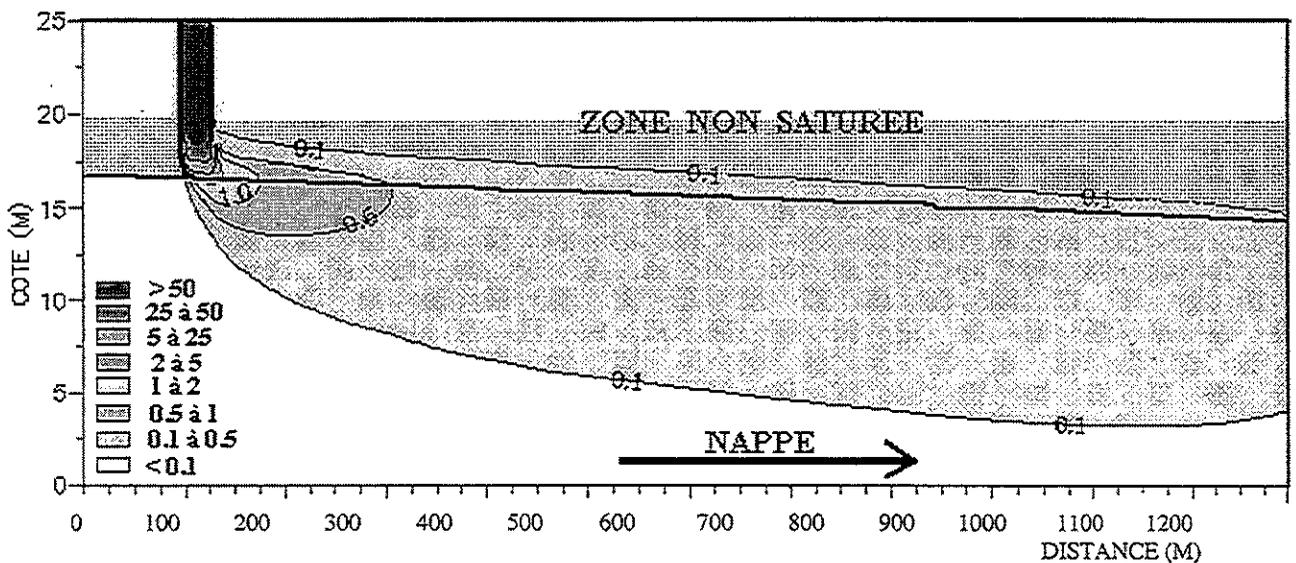
INFILTRATION D'UN POLLUANT AU TRAVERS DE LA ZONE NON SATUREE,  
PUIS MIGRATION AVEC LA NAPPE

MODELISATION EN COUPE VERTICALE  
(2 COUCHES DISTINCTES DANS LA ZONE NON SATUREE)

DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS AU BOUT DE 5 MOIS



DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS AU BOUT DE 12 MOIS

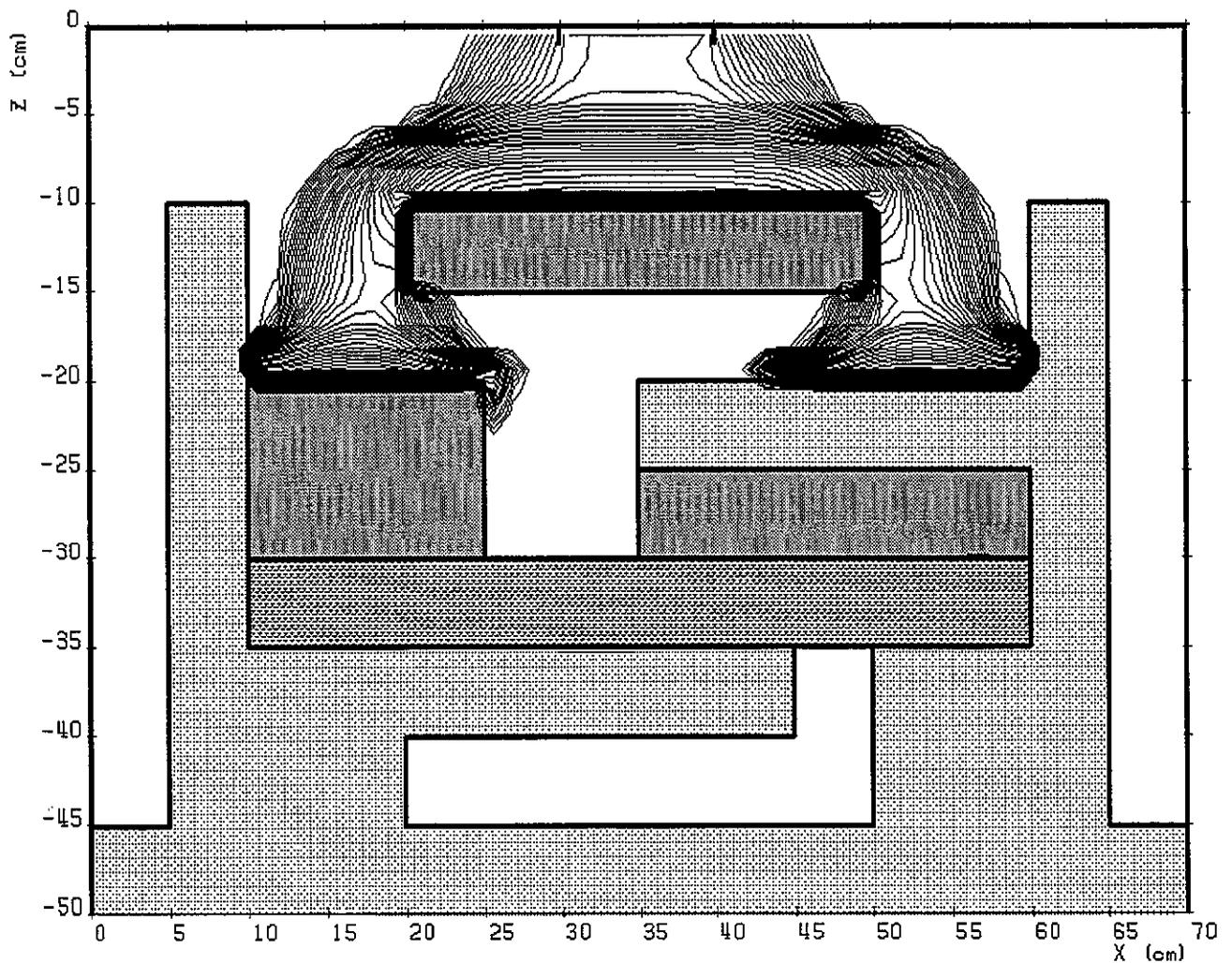


# M A R T H E

(7/10)

INFILTRATION D'UN FLUIDE NON MISCIBLE (TETRA-CHLORO-ETHYLENE)  
DANS UN MILIEU POREUX HETEROGENE INITIALEMENT SATURE EN EAU

CARTE DES ISO-SATURATIONS DU TETRA-CHLORO-ETHYLENE AU BOUT DE 3mn

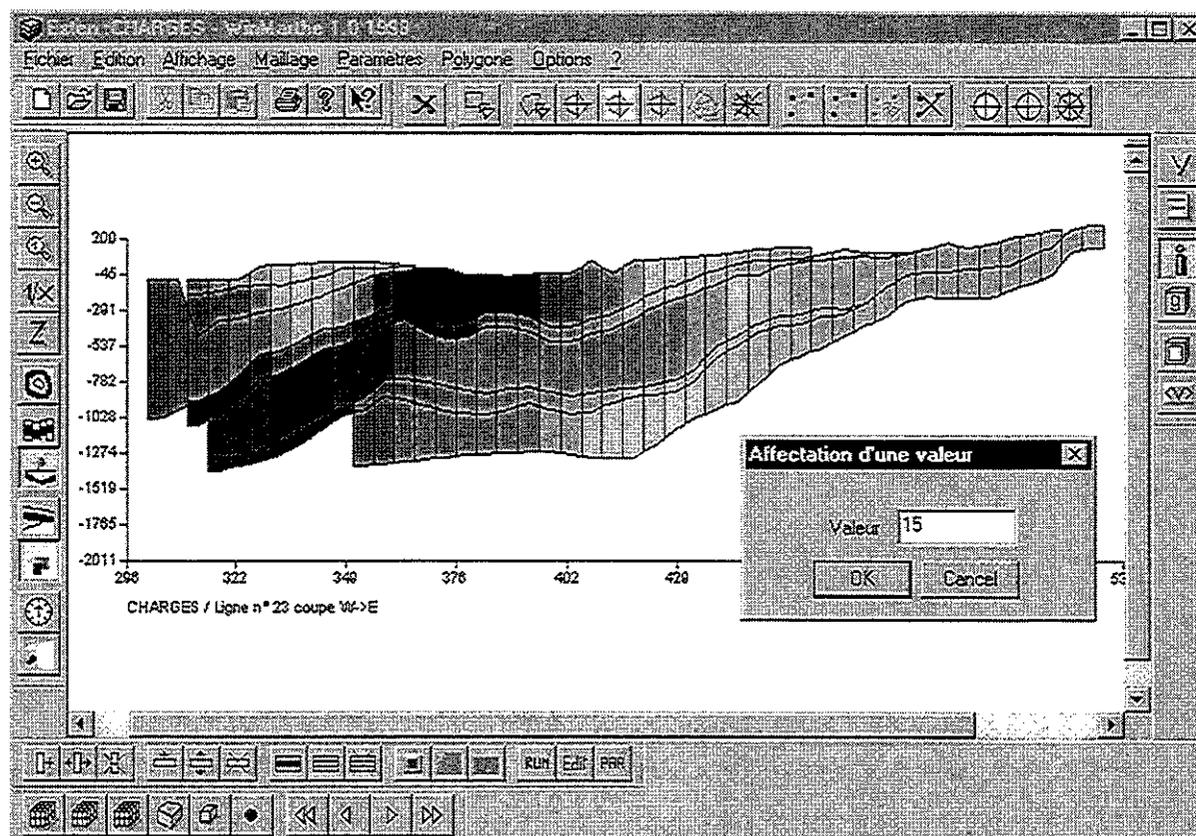


# M A R T H E

(8/10)

## VUE EN COUPE VERTICALE AVEC LE PRE-PROCESSEUR WinMARTHE DES CHARGES HYDRAULIQUES

### Région de Bordeaux : coupe Ouest-Est

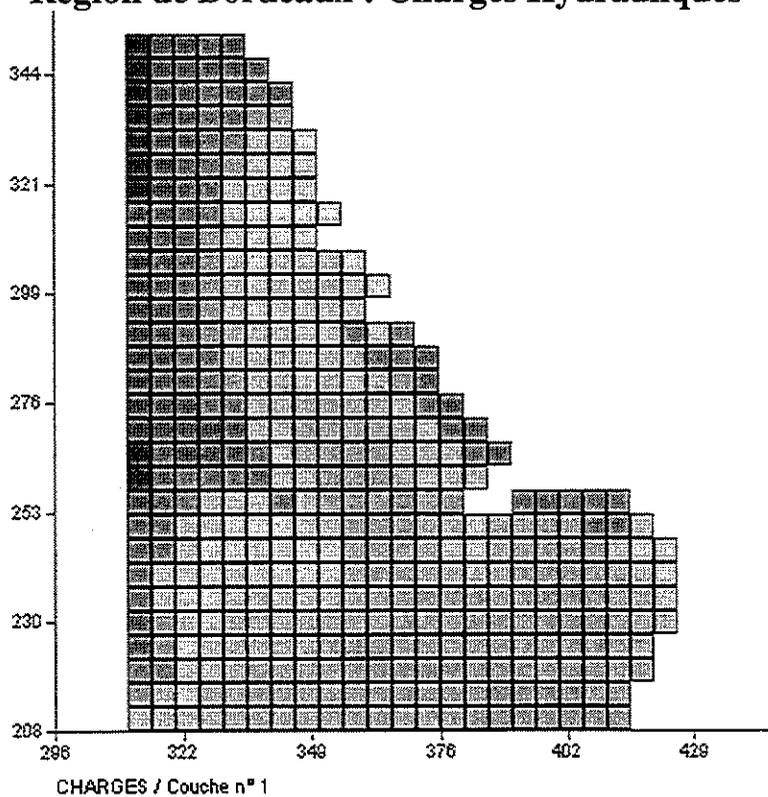


# M A R T H E

(9/10)

## VUE EN PLAN DE LA COUCHE DE SURFACE

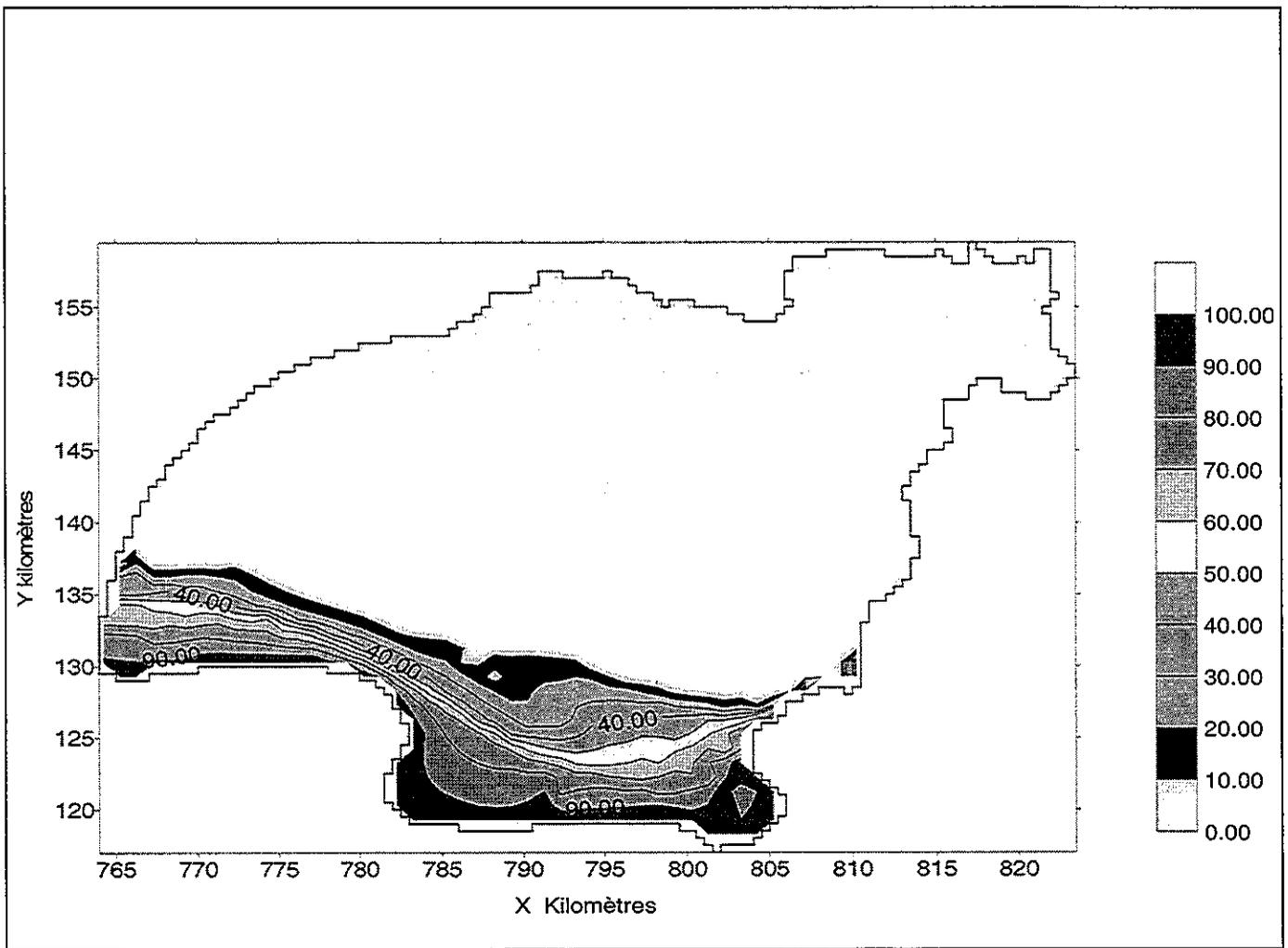
### Région de Bordeaux : Charges Hydrauliques



# M A R T H E

(10/10)

**SIMULATION DIPHASIQUE DE L'INTRUSION SALINE  
AQUIFERE DE LA CRAU (FRANCE)**  
Les couleurs représentent le pourcentage d'eau salé



**BRGM**  
**SERVICE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL LORRAINE**  
1, avenue du Parc de Brabois – 54500 VANDOEUVRE-LES-NANCY – France  
Tél. : 03.83.44.81.49 – Fax : 03.83.44.15.18