



Symasol.

Syndicat d'eau et d'Assainissement de Fessy et Lully.

**Etude du potentiel et de la vulnérabilité de
l'aquifère des Contamines.**

Novembre 2010

Résumé – Conclusions.

Au Nord-est de Bons en Chablais, le Syndicat Intercommunal des Eaux de Fessy Lully utilise pour l'alimentation en eau potable, un aquifère dit "des Contamines", sur la commune de Fessy.

Deux forages d'une vingtaine de mètres de profondeur exploitent cette ressource.

Cet aquifère est exploité comme une ressource pérenne et structurante par le Syndicat. La production est voisine de 130 000 m³/an.

Conscient de l'importance de cet aquifère, face à l'augmentation de l'urbanisation dans ce secteur, le Symasol et le Syndicat Intercommunal des Eaux de Fessy et Lully ont entrepris l'étude de cette ressource avec l'aide de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse et du Conseil Général de la Haute Savoie et avec l'objectif de définir :

- le potentiel de cette ressource ;
- les sujétions à mettre en place pour assurer la pérennité de la qualité des eaux prélevées.

Ce rapport présente les différentes étapes qui ont permis d'acquérir les informations nécessaires à la construction d'un modèle numérique permettant de simuler le comportement hydrodynamique de l'aquifère, les éléments pris en compte pour la construction de ce modèle, et les conclusions déduites de cet outil concernant la productivité et la vulnérabilité de la ressource.

Les terrains constituant l'aquifère des Contamines s'étendent sur une superficie voisine de 13 hectares, le long des ruisseaux de la Gorge et de la Tulière, sur une longueur de 810 mètres entre les villages des Réziers et de Lully et sur une largeur comprise entre 100 et 220 mètres. Le volume de terrains saturé en période de hautes eaux est proche de 1 190 000 m³, représentant un volume d'eau stocké de 204 000 m³. Le volume de terrain saturé en période de basses eaux est proche de 1 030 000 m³, représentant un volume d'eau stocké de 175 100 m³. La ressource disponible entre ces deux états est voisine de 27 000 m³ (2 mois d'exploitation au débit moyen actuel prélevé : 400 m³/jour).

L'aquifère des Contamines est contenu dans des alluvions fluvio et glacio-lacustres constituées de graviers de 2 à 25 mm de diamètre noyés dans une matrice sableuse. Ces alluvions sont situées entre 0 et 37 mètres de profondeur et leur épaisseur est comprise entre 12 et 27 mètres. Elles sont recouvertes depuis la surface, par une couverture argilo-graveleuse dont l'épaisseur varie entre 8 et 15 mètres selon les secteurs. Cette couverture argileuse maintient l'aquifère en charge partielle dans la partie basse de l'aquifère. A l'amont, le niveau piézométrique de la nappe n'est pas contraint par les niveaux argileux. La nappe est libre.

L'altitude du niveau piézométrique décroît progressivement de l'amont du hameau de Rézier au puits des Contamines. Cette diminution progressive traduit un écoulement global de l'aquifère de l'amont vers l'aval et une alimentation prioritaire par des infiltrations se produisant sur la partie amont du bassin versant drainé par l'aquifère et par les infiltrations des ruisseaux de la Gorge et de la Tulière.

Les observations géologiques, piézométriques et physico-chimiques conduisent à considérer que l'alimentation de l'aquifère est assurée par l'infiltration des eaux précipitées sur les bassins versants

dominant l'aquifère et par les infiltrations des ruisseaux. La superficie du bassin versant potentiel de l'aquifère (350 hectares environ) et les précipitations moyennes observées (1 300 mm) sont cohérentes avec les volumes qui transitent dans l'aquifère au cours d'un cycle hydrologique.

Les variations de l'altitude des niveaux piézométriques dans les forages réalisés et surveillés se répartissent en trois groupes :

- un groupe (piézomètres localisés dans l'aquifère à proprement parler PZ2, PZ3, forages d'exploitation) présentant des altitudes et des amplitudes en relation avec celles relevées aux forages des Contamines, caractéristiques du comportement de l'aquifère des Contamines ;
- un forage (F4) situé en bordure de l'aquifère ; forage dont le niveau présente des variations corrélées avec les variations de l'aquifère, mais dont l'amplitude est fortement amortie ;
- un forage (PZ1 ou forage des Chênes) situé à l'aval hydraulique de l'aquifère dont l'altitude et les fluctuations du niveau piézométrique ne sont pas en relation avec celles de l'aquifère des Contamines.

L'impact des prélèvements effectués sur le puits des Contamines est perçu sur les piézomètres F2, F3, F4 ainsi que sur la source de Lully.

Les fluctuations du niveau piézométrique présentent un caractère saisonnier, en relation avec le régime des précipitations et des prélèvements effectués au puits des Contamines. Entre avril et septembre 2009, période pendant lesquelles les précipitations ont été fortement déficitaires et les prélèvements abondants, le niveau piézométrique de l'aquifère a chuté de 2.20 mètres au droit des forages.

La minéralisation des eaux peut être qualifiée d'importante. Les eaux sont dures, bicarbonatées, calciques, sulfatées, magnésiennes. Les paramètres mesurés respectent les limites et références de qualité définie par le Code de la Santé Publique, pour l'alimentation en eau potable. L'impact de l'activité humaine est perceptible par une concentration faible mais non négligeable de nitrates et de chlorure de sodium.

La profondeur du niveau piézométrique et la couverture argileuse assurent la protection de la ressource vis-à-vis des contaminations accidentelles. La ressource reste cependant vulnérable, sur l'ensemble du bassin versant drainé, dans la mesure où les cours d'eau participent de façon significative à l'alimentation de l'aquifère.

Le comportement de l'aquifère observé pendant un cycle hydrologique a pu être modélisé. L'interprétation des observations piézométriques et l'exploitation du modèle permet les approches quantitatives suivantes :

- au cours d'un cycle hydrologique, le volume global transitant dans l'aquifère est proche de 750 000 m³, soit environ 2 000 m³/jour ou 24 l/s. Ce volume inter-annuel correspond au volume théorique exploitable de la ressource ;
- l'exploitation de ce volume se fait au détriment du débit du ruisseau de la Gorge à l'aval de la station de pompage et au détriment du débit de la source de Lully. L'exploitation de ce volume génère le tarissement du ruisseau de la Gorge et de la source de Lully ;
- les équipements actuels de la station de pompage permettent théoriquement l'exploitation de l'intégralité de la ressource mais la position optimale d'un ouvrage de prélèvement serait localisée légèrement à l'ouest de PZ3 ;

- en période d'étiage, le débit du ruisseau de la Gorge provient, en quasi-totalité, du drainage de l'aquifère des Contamines. Si l'on admet que l'on peut réduire, à cette période, le débit du cours d'eau de 50 % (débit résiduel de 7 l/s), le volume journalier exploitable à la station de pompage est de 620 m³/jour ;
- ce volume journalier représente une augmentation possible de 30 % prélèvements effectués à partir du 01 mai 2010, 41 % des prélèvements effectués en 2010 ; et 65 % des prélèvements effectués en 2009.

L'aquifère des Contamines n'est que partiellement protégé par des terrains de couverture de nature argilo-graveleuse et les infiltrations du ruisseau de la Gorge parviennent rapidement aux forages d'exploitation. L'aquifère des Contamines apparaît donc très vulnérable aux contaminations de surface. (temps de transit moyen : inférieur à 10 jours).

La zone alimentant les forages d'exploitation s'étend vers l'est, en direction du hameau de Rézier et selon l'axe de la combe. Elle s'étend sur une longueur de 160 mètres environ en direction de PZ3 et sur une largeur de 110 mètres environ perpendiculairement à l'axe du vallon. L'isochrone 10 jours est localisée à la hauteur du ruisseau de la Gorge, l'isochrone 50 jours à mi-chemin entre le ruisseau de la Gorge et le PZ3.

La bonne qualité des eaux, observée jusqu'à ce jour, provient des bonnes conditions sanitaires observées sur le bassin versant. Le maintien de ces conditions est impératif pour assurer la pérennité de la qualité de la ressource.

La mise en place formelle des périmètres de protection doit être considérée avec diligence. Les observations faites au cours de cette étude et les conclusions résultantes permettent une définition rationnelle des périmètres à mettre en place et des sujétions à imposer pour conserver la valeur patrimoniale de cette importante ressource locale.

Alban Falconet.
Philippe Rousset.
Octobre 2010.

Sommaire

1.	Présentation.....	13
1.1	Description des interventions.	13
2.	Contextes géographique et géologique.	16
2.1	Le contexte géographique.....	16
2.2	Le contexte géologique.....	17
3.	Nature et géométrie des terrains aquifères. mesures géophysiques réalisées en 2008.	23
3.1	Présentation et interprétation des mesures géophysiques réalisées en novembrE 2008.	23
3.2	Profil n°P1.	24
3.2.1	Caractéristiques du profil.....	24
3.2.2	Caractéristiques géologiques, interprétation de la carte géologique.	24
3.2.3	Interprétation.	24
3.3	Profil n°P2.....	27
3.3.1	Caractéristiques du profil.....	27
3.3.2	Caractéristiques géologiques, interprétation de la carte géologique.	27
3.3.3	Interprétation.	29
3.4	Profil n°P3 et 3 Bis.....	30
3.4.1	Caractéristiques du profil.....	30
3.4.2	Caractéristiques géologiques, interprétation de la carte géologique.	31
3.4.3	Interprétation.	31
3.5	Profil n°P4.....	33
3.5.1	Caractéristiques du profil.....	33
3.5.2	Caractéristiques géologiques, interprétation de la carte géologique.	33
3.5.3	Interprétation.	34
3.6	Profil n°P5.....	36
3.6.1	Caractéristiques du profil.....	36
3.6.2	Caractéristiques géologiques, interprétation de la carte géologique.	36
3.6.3	Interprétation.	37
3.7	Profil n°P6.....	39
3.7.1	Caractéristiques du profil.....	39
3.7.2	Caractéristiques géologiques, interprétation de la carte géologique.	39
3.7.3	Interprétation.	40
4.	Synthèse des observations Géophysiques.	42
5.	Création du réseau piézométrique.....	46
5.1.1	Caractéristiques des ouvrages.....	46
5.1.2	Principales caractéristiques techniques des piézomètres.	48

5.1.3	Coordonnées Lambert II étendu des ouvrages.	49
5.1.4	Synthèse des observations géologiques.	49
5.1.5	Synthèse des observations géophysiques et géologiques,	50
6.	Comportement hydrodynamique de l'aquifère.	67
7.	Contexte météorologique de la période du suivi piezométrique.	70
7.1.1	Précipitations annuelles.	70
8.	Présentation de l'évolution du niveau piézométrique pendant la période de suivi.....	75
8.1.1	Présentation de l'évolution du niveau de la nappe au droit de chaque piézomètre. Interprétation.	75
8.1.2	Présentation détaillée des relevés piézométriques.	76
8.2	Bilan des prélèvements effectués a la station de pompage et des débit écoulés à la source de Fessy pendant la période de mesures.	93
9.	Pompage d'essai. Presentation et interprétation.	97
9.1.1	Caractéristiques du pompage.	97
9.1.2	Résultats de l'essai de nappe.	97
10.	Traçage n°1. Traçage radial convergeant.	103
10.1.1	Conditions de l'injection :	103
10.1.2	Conditions de pompage et de prélèvements :	103
10.1.3	Courbes de restitution et résultats :	104
11.	Traçage n°2. Traçage des eaux du ruisseau de la Gor ge.	105
11.1.1	Conditions de l'injection :	105
11.1.2	Conditions de pompage et de prélèvements :	105
11.1.3	Courbes de restitution et résultats :	106
12.	Bilan hydrologique du bassin versant de l'aquifère.....	109
12.1	Résultats du bilan hydrologique.	113
13.	Caractéristiques physico-chimiques des eaux de l'aquifère.....	115
13.1	Présentation des resultats par paramètres.	115
13.1.1	pH	115
13.1.2	Conductivité.	115
13.1.3	Dureté totale.....	116
13.1.4	Titre alcalimétrique complet.	116
13.1.5	Hydrogénocarbonates.....	116
13.1.6	Calcium.	116
13.1.7	Magnésium.....	117
13.1.8	Sodium.....	117
13.1.9	Potassium.	117
13.1.10	Sulfates.	117
13.1.11	Chlorures.....	117

13.1.12	Nitrates.....	118
13.1.13	Silice	118
13.1.14	Ammonium.....	118
13.1.15	Fer total.....	118
13.1.16	Manganèse	118
13.2	Oxygène 18 et deutérium.....	119
14.	Modélisation du comportement de l'aquifère.	122
14.1	Observations et fonctionnement hydrologique du système.....	122
14.1.1	Infiltration du ruisseau de la Gorge	122
14.1.2	Exutoire de la nappe	122
14.1.3	Station de pompage	123
14.1.4	Ruisseau de la Tuilière.....	123
14.1.5	Jaugeages ponctuels des débits des cours d'eau.....	124
14.2	Conception du modèle.	128
14.2.1	Nombre de couches et type de nappe.	128
14.2.2	Alimentation de l'aquifère.....	128
14.2.3	Homogénéité des terrains aquifères.	128
14.2.4	Conditions aux limites.	128
14.2.5	Mur de l'aquifère.....	129
14.2.6	Outils de simulation.....	129
14.3	Phase de calcul.....	129
14.4	Calage du modèle.....	129
15.	Exploitation du modèle.....	136
15.1	Bilan sur un cycle hydrologique (du 15/04/09 au 15/04/10)	136
15.2	Bilan entre une période de hautes-eaux (15/03/09) et une période d'étiage (31/10/09)	138
15.3	Volumes théoriques exploitables	138
15.4	Hypothèses de prélèvements.....	139
15.5	Protection de la ressource. Définition de la géométrie des lignes isochrones.....	141

Liste des figures.

Figure 2-1	Présentation du contexte géographique. Localisation.....	16
Figure 2-2	Présentation du contexte géographique. Localisation.....	17
Figure 2-3	Présentation du contexte géologique. Contexte général.....	19
Figure 2-4	Contexte géologique détaillé.....	20
Figure 2-5	Coupe géologique schématique du secteur.....	21
Figure 2-6	Les phases glaciaires. Conséquence sur le contexte géologique local.....	21
Figure 3-1	Structure de l'aquifère. Campagne géophysique de novembre 2007. Carte de localisation des panneaux électriques réalisés.....	23
Figure 3-2.	Profil n°P1. Carte de localisation. Carte Ign.....	25
Figure 3-3.	Profil n°P1. Carte de localisation. Photo aérienne.....	25
Figure 3-4.	Profil n°P1. Contexte géologique.....	26
Figure 3-5	Profil n°P1. Coupe géo-électrique interprétée.....	26
Figure 3-6.	Profil n°P2. Carte de localisation. Carte Ign.....	27
Figure 3-7	Profil n°P2. Carte de localisation. Photo aérienne.....	28
Figure 3-8.	Profil n°P2. Contexte géologique.....	28
Figure 3-9	Profil n°P2. Coupe géo-électrique interprétée.....	30
Figure 3-10.	Profil n°P3. Carte de localisation. Carte Ign.....	31
Figure 3-11	Profil n°P3. Carte de localisation. Photo aérienne.....	32
Figure 3-12.	Profil n°P3. Contexte géologique.....	32
Figure 3-13	Profil n°P3. Coupe géo-électrique interprétée.....	33
Figure 3-14.	Profil n°P4. Carte de localisation. Carte Ign.....	34
Figure 3-15	Profil n°P4. Carte de localisation. Photo aérienne.....	35
Figure 3-16.	Profil n°P4. Contexte géologique.....	35
Figure 3-17	Profil n°P4. Coupe géo-électrique interprétée.....	36
Figure 3-18.	Profil n°P5. Carte de localisation. Carte Ign.....	37
Figure 3-19	Profil n°P5. Carte de localisation. Photo aérienne.....	38
Figure 3-20.	Profil n°P5. Contexte géologique.....	38
Figure 3-21	Profil n°P5. Coupe géo-électrique interprétée (1).....	39
Figure 3-22.	Profil n°P6. Carte de localisation. Carte Ign.....	40
Figure 3-23	Profil n°P6. Carte de localisation. Photo aérienne.....	41
Figure 3-24.	Profil n°P6. Coupe géo-électrique interprétée.....	41
Figure 4-1	Projection en trois dimensions des profils interprétés. Limites et extension des secteurs géo-électriques mis en évidence par les mesures géophysiques.....	43
Figure 4-2	Interprétation des mesures géophysiques après calage à partir des observations géologiques faites lors de la création du réseau piézométrique.....	44
Figures 5-1	Structure de l'aquifère. Carte de localisation des forages et des piézomètres.....	48
Figure 5-2	Structure de l'aquifère. Carte des isohypses du mur de l'aquifère.....	58

Figure 5-3	Structure de l'aquifère. Carte des isohypses du mur de l'aquifère.	59
Figure 5-4	Structure de l'aquifère. Carte des isobathes du mur de l'aquifère. Carte IGN.	59
Figure 5-5	Structure de l'aquifère. Carte des isobathes du mur de l'aquifère. Ortophoto.	61
Figure 5-6	Structure de l'aquifère. Epaisseur des terrains saturés en eau. Période de basses eaux.	62
Figure 5-7	Structure de l'aquifère. Epaisseur des terrains de couverture en période de hautes eaux.	63
Figure 5-8	Structure de l'aquifère. Epaisseur des terrains de couverture.	64
Figure 5-9	Structure de l'aquifère. Représentation schématique (1).	65
Figure 6-1	Suivi piézométrique. Carte de localisation des points de mesures.	69
Figure 7-1	Suivi piézométrique. Analyse du contexte météorologique. Année 2008. Précipitations annuelles à la station météorologique de Thonon Inra.	71
Figure 7-2	Suivi piézométrique. Analyse du contexte météorologique. Année 2008. Précipitations mensuelles à la station de Thonon Inra.	71
Figure 7-3	Suivi piézométrique. Analyse du contexte météorologique. Année 2009. Précipitations annuelles à la station météorologique de Thonon Inra.	72
Figure 7-4	Suivi piézométrique. Analyse du contexte météorologique. Année 2009. Précipitations mensuelles à la station de Thonon Inra.	73
Figure 7-5	Suivi piézométrique. Analyse du contexte météorologique. Année 2010. Précipitations annuelles à la station météorologique de Thonon Inra. Mois de janvier à octobre.	74
Figure 7-6	Suivi piézométrique. Analyse du contexte météorologique. Année 2010. Précipitations mensuelles à la station de Thonon Inra.	74
Figure 8-1	Suivi piézométrique. Evolution de l'altitude du niveau piézométrique pendant la période de suivi. Présentation des principaux paramètres statistiques décrivant les valeurs relevées.	77
Figure 8-2	Suivi piézométrique. Présentation des principaux paramètres statistiques décrivant les valeurs relevées relatives à l'aquifère des Contamines. (Zoom).	77
Figure 8-3	Suivi piézométrique. Evolution de l'altitude des niveaux piézométriques pendant la période de suivi. Relation niveaux piézométriques, débits des cours d'eau.	78
Figure 8-4	Suivi piézométrique. Evolution de l'altitude du niveau piézométrique de l'aquifère des Contamines pendant la période de suivi. Relation niveaux piézométriques, débits des cours d'eau. Forage F1, piézomètres PZ2, PZ3, PZ4.	79
Figure 8-5	Suivi piézométrique. Evolution de l'altitude du niveau piézométrique de l'aquifère des Contamines pendant la période de suivi. Relation niveaux piézométriques, précipitations.	80
Figure 8-6	Suivi piézométrique. Evolution de l'altitude du niveau piézométrique de l'aquifère des Contamines pendant la période de suivi. Relation niveaux piézométriques, débit de la source de Lully.	81
Figure 8-7	Suivi piézométrique. Evolution de l'altitude du niveau piézométrique de l'aquifère des Contamines pendant la période de suivi. Relation niveaux piézométriques, débits d'exhaure de la station de pompage.	82
Figure 8-8	Suivi piézométrique. Evolution de l'altitude du niveau piézométrique de l'aquifère des Contamines pendant la période de suivi. Forage n°1. Relation niveaux piézométriques, prélèvements, précipitations, débit des cours d'eau.	83
Figure 8-9	Suivi piézométrique. Evolution de l'altitude du niveau piézométrique de l'aquifère des Contamines pendant la période de suivi. Piézomètre n°1. Relation niveaux piézométriques, prélèvements, précipitations, débit des cours d'eau.	84
Figure 8-10	Suivi piézométrique. Evolution de l'altitude du niveau piézométrique de l'aquifère des Contamines pendant la période de suivi. Piézomètre n°2.	

	Relation niveaux piézométriques, prélèvements, précipitations, débit des cours d'eau.....	85
Figure 8-11	Suivi piézométrique. Evolution de l'altitude du niveau piézométrique de l'aquifère des Contamines pendant la période de suivi. Piézomètre n°3. Relation niveaux piézométriques, prélèvements, précipitations, débit des cours d'eau.....	86
Figure 8-12	Suivi piézométrique. Evolution de l'altitude du niveau piézométrique de l'aquifère des Contamines pendant la période de suivi. Piézomètre n°4. Relation niveaux piézométriques, prélèvements, précipitations, débit des cours d'eau.....	87
Figure 8-13	Illustration de l'évolution de l'épaisseur des terrains saturés en eau au cours de la période de mesures.....	88
Figure 8-14	Suivi piézométrique. Analyse de la saisonnalité des variations du niveau piézométrique. Spectre des fréquences constituant les piézogrammes relevés. Fréquences supérieures à 1 fois / jour. Puits F1.....	90
Figure 8-15	Suivi piézométrique. Corrélogramme des valeurs horaires observées. Piézomètre n°2.....	92
Figure 8-16	Suivi piézométrique. Analyse des relations entre les ouvrages. Analyse en composantes principales des valeurs.	93
Figure 8-17	Débit exploité au puits des Contamines et débit écoulé à la source de Lully pendant la période de suivi. Principaux paramètres statistiques. Débits exprimés en m3/jour.....	94
Figure 8-18	Débit exploité au puits des Iles. Evolution du débit journalier pendant la période de suivi.	95
Figure 9-1	Interprétation du pompage d'essai de nappe. Courbe Rabattement = $F(\text{durée du pompage})$	98
Figure 9-2	Interprétation du pompage d'essai de nappe. Courbe Rabattement = $F(\log(\text{durée du pompage}))$	98
Figure 9-3	Interprétation du pompage d'essai de nappe. Courbe Rabattement = $F(\text{durée du pompage et du débit})$	99
Figure 9-4	Interprétation du pompage d'essai de nappe. Courbe Rabattement = $F(\text{durée du pompage et du débit})$. Ajustement des observations à l'équation de Theis.	99
Figure 9-5	Interprétation du pompage d'essai de nappe. Forage F1. Courbe Rabattement = $F(\text{durée du pompage et du débit})$. Ajustement des observations à l'équation de Theis.....	100
Figure 9-6	Interprétation du pompage d'essai de nappe. PZ2. Courbe Rabattement = $F(\text{durée du pompage et du débit})$. Ajustement des observations à l'équation de Theis.	100
Figure 9-7	Interprétation du pompage d'essai de nappe. PZ3. Courbe Rabattement = $F(\text{durée du pompage et du débit})$. Ajustement des observations à l'équation de Theis.	101
Figure 9-8	Interprétation du pompage d'essai de nappe. PZ4. Courbe Rabattement = $F(\text{durée du pompage et du débit})$. Ajustement des observations à l'équation de Theis.	101
Figure 10-1	Opérations de traçage de la nappe. Localisation des points d'injection et de surveillance.	104
Figure 10-2	Traçage à l'ion iodure. 1 ^{er} traçage avec injection dans le piézomètre n°2. ...	105
Figure 11-1	Traçage à l'ion iodure. 2 ^{ème} traçage avec injection dans le ruisseau de la Gorge.	107
Figure 12-1	Bilan hydrologique du bassin versant de l'aquifère. Précipitations moyennes annuelles.....	109
Figure 12-2	Bilan hydrologique du bassin versant de l'aquifère. Températures moyennes annuelles.....	110

Figure 12-3	Bilan hydrologique du bassin versant de l'aquifère. Evapotranspiration moyenne annuelle. (Formule de Turc).	111
Figure 12-4	Bilan hydrologique du bassin versant de l'aquifère. Précipitations efficaces moyennes annuelles en mm.	112
Figure 14-1	Corrélation entre le ruisseau de la Gorge à l'aval de la confluence avec la Tuilière, et le débit d'exhaure de la station.	124
Figure 14-2	Jaugeages des cours d'eau. Mesures du 24/03/2010.	125
Figure 14-3	Jaugeages des cours d'eau. Mesures du 23/04/2010.	126
Figure 14-4	Jaugeages des cours d'eau. Mesures du 27/07/2010.	126
Figure 14-5	Jaugeages des cours d'eau. Mesures du 05/10/2009.	127
Figure 14-6	Carte de localisation des sections jaugées et des portions d'infiltration et de drainage du ruisseau de la Gorge3.	127
Figure 14-7	Présentation des principaux paramètres permettant d'apprécier le calage du modèle. Ensemble des écarts entre valeur observée et calculée pour les trois points d'observation.	130
Figure 14-8	Calage du modèle. Comparaison entre valeurs calculées et observées pour le Piézomètre 2.	131
Figure 14-9	Calage du modèle. Comparaison entre valeurs calculées et observées pour le Piézomètre 3.	131
Figure 14-10	Calage du modèle. Comparaison entre valeurs calculées et observées pour le Puits n°2.	132
Figure 14-11	Calage du modèle. Comparaison entre les volumes drainés à l'aval du modèle et les volumes observés à la source de Lully.	132
Figure 14-12	Ensemble des flux journaliers entrant et sortant du système durant l'ensemble de la période d'étude.	133
Figure 14-13	Structure de l'aquifère. Carte piézométrique en période de basses eaux, le 29/10/2009 à 21 heures.	134
Figure 14-14	Structure de l'aquifère. Carte piézométrique en période de hautes eaux, le 01/01/2010 à 14 heures.	135
Figure 15-1		137
Figure 15-2	Simulation d'un pompage de 60 jours (de t=88 à t=148). Evolution du flux total drainé à l'aval du système.	139
Figure 15-3	Simulation d'un pompage constant de 650 m ³ /jour. Evolution du flux total drainé à l'aval du système.	140
Figure 15-4	Courbes isochrones de 10 à 50 jours. Période d'étiage. Situation avec un pompage continu de 620 m ³ /jour et situation actuelle.	142
Figure 15-5	Lignes de courants et vecteurs vitesse. Période d'étiage. Situation avec un pompage continu de 620 m ³ /jour.	143

Régie
Départementale d'
Assistance



CHAPITRE N°1. PRESENTATION.

Symasol.

Syndicat Intercommunal Eau et Assainissement de Fessy Lully.

Etude de la productivité et de la vulnérabilité de l'aquifère des Contamines.

1. PRESENTATION.

Au Nord-est de Bons en Chablais, le Syndicat Intercommunal des Eaux de Fessy Lully utilise pour l'alimentation en eau potable, un aquifère dit des Contamines, sur la commune de Fessy.

Deux forages d'une vingtaine de mètres de profondeur exploitent cette ressource.

Cet aquifère est exploité comme une ressource pérenne et structurante par le Syndicat. La production est voisine de 130 000 m³/an.

Conscient de l'importance de cet aquifère, face à l'augmentation de l'urbanisation dans ce secteur, le Symasol et le Syndicat Intercommunal des Eaux de Fessy et Lully ont entrepris l'étude de cet aquifère avec l'aide de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse et du Conseil Général de la Haute Savoie et avec l'objectif de définir :

- le potentiel de cette ressource ;
- les sujétions à mettre en place pour assurer la pérennité de la qualité des eaux prélevées.

Les terrains constituant l'aquifère des Contamines s'étendent sur une superficie voisine de 13 hectares le long des ruisseaux de la Gorge et de la Tulière, sur une longueur de 810 mètres entre les villages des Réziers et de Lully et sur une largeur comprise entre 100 et 220 mètres.

1.1 DESCRIPTION DES INTERVENTIONS.

La connaissance des caractéristiques hydrogéologiques et hydrodynamiques de l'aquifère ont été acquises au cours d'une période d'observations comprise entre les mois d'octobre 2 007 et le mois de septembre 2010.

Les investigations, travaux et mesures suivants ont été réalisés :

- une campagne de mesures géophysiques (octobre, novembre 2007) ;
- la création d'un réseau piézométrique (Août 2008 – Janvier 2009) ;
- une campagne de mesures physico-chimiques sur tous les points d'eau donnant accès à l'aquifère (Avril 2009) ;
- un suivi automatique des fluctuations du niveau piézométrique de l'aquifère et des prélèvements effectués entre le 19/08/08 et le 30/09/10, soit 772 jours d'observations ;
- un pompage d'essai de puits afin d'acquérir la valeur des paramètres hydrodynamiques ;
- six campagnes de mesure ponctuelle de débits sur les cours d'eau entre le 05/10/09 et le 09/09/10 ;

- un suivi de l'évolution de la concentration en O18 et en deutérium des eaux de l'aquifère ;
- un traçage radial convergent entre le piézomètre n°2 et les forages d'exploitation ;
- un traçage des eaux du ruisseau de la Gorge dans leur zone d'infiltration, avec surveillance aux forages d'exploitation et à l'exutoire de la nappe ;
- l'intégration des valeurs observées et interprétées dans l'outil de simulation numérique Modflow.

Ce rapport présente le détail de chaque intervention, les observations réalisées et leurs interprétations.

Régie
Départementale d'
Assistance



CHAPITRE N°2. CONTEXTES GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE.

2. CONTEXTES GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE.

2.1 LE CONTEXTE GEOGRAPHIQUE.

L'aquifère des Contamines est localisé, sur la commune de Fessy, dans le Bas Chablais, au pied de la montagne du Char et de l'Aiguille, à 11 kilomètres au sud-est de Thonon.

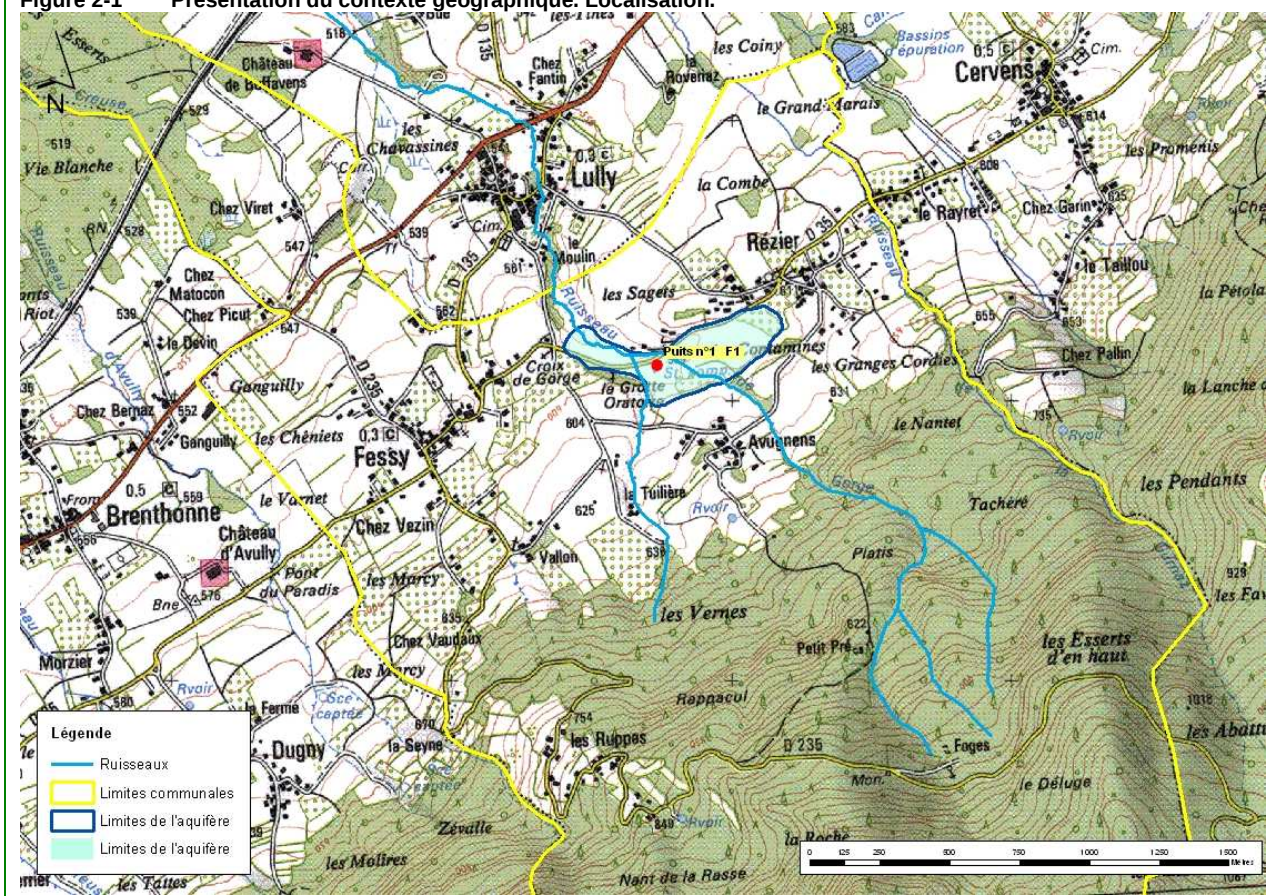
L'aquifère localisé dans une dépression établie entre le versant de la Montagne du Char au sud, à l'Est et à l'Ouest, et un cordon morainique au nord.

Les eaux précipitées sur ce versant sont collectées par les ruisseaux de la Gorge et de la Tuilière, affluent du Foron de Sciez, qui s'écoule du sud-est vers le nord-ouest et rejoint le lac Léman. Le bassin versant potentiel des eaux drainé par les ruisseaux, convergeant vers l'aquifère, est voisin de 350 hectares.

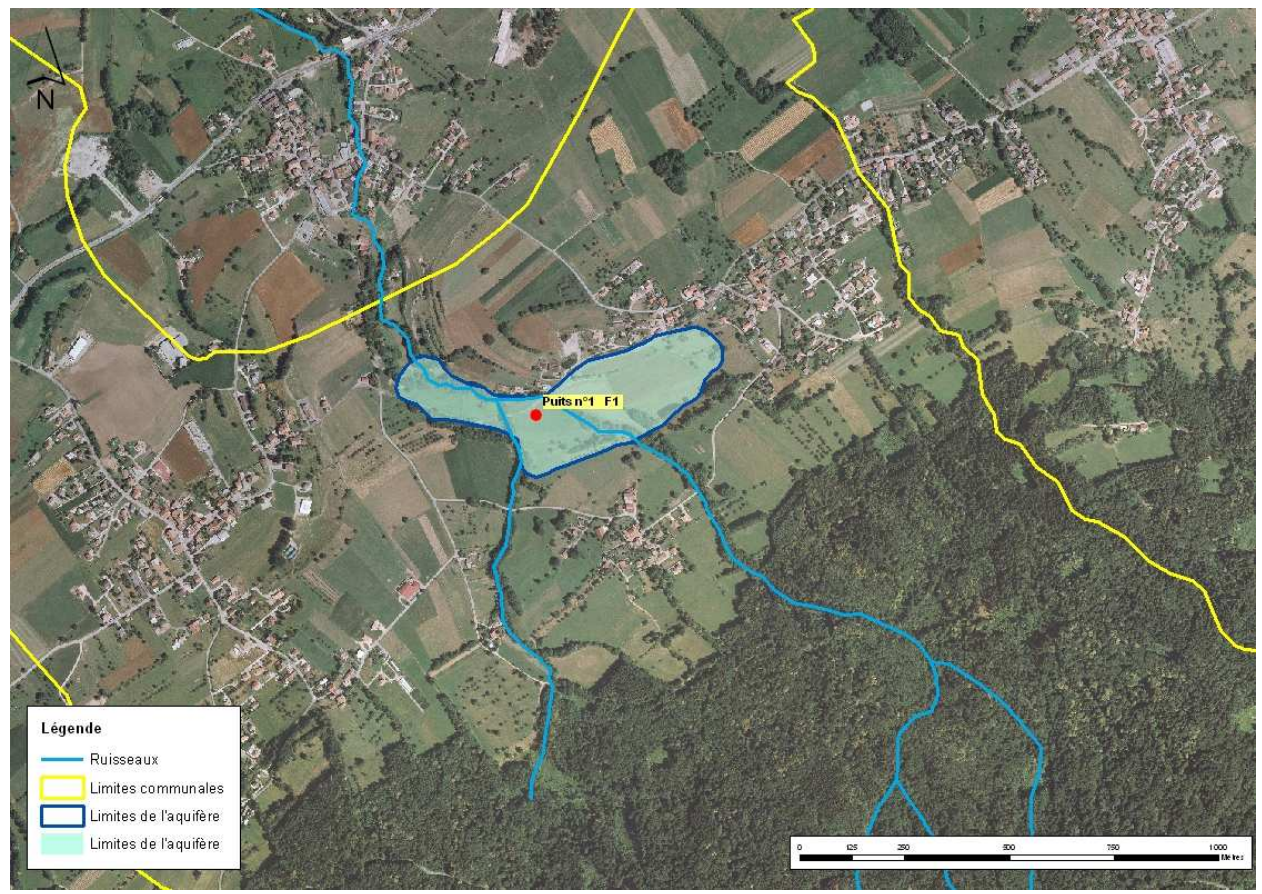
L'aquifère au sens strict s'étend, sur une superficie de 13 hectares environ, perpendiculairement aux ruisseaux de la Gorge et de la Tuilière, sur une longueur de 810 mètres entre le hameau de Rézier et le chef-lieu de Lully et sur une largeur comprise entre 100 et 200 mètres.

Les Figure 2-1 et Figure 2-2 présentent ce contexte géographique.

Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.
Figure 2-1 Présentation du contexte géographique. Localisation.



Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.
Figure 2-2 Présentation du contexte géographique. Localisation.



2.2 LE CONTEXTE GEOLOGIQUE.

La région du Bas Chablais s'étend au front de la nappe des Préalpes Médiannes et de la Nappe des Voirons. Ces nappes chevauchent localement, les molasses du bassin molassique lémanique. Ces terrains du substratum sont recouverts par des formations détritiques quaternaires pouvant atteindre localement plusieurs centaines de mètres d'épaisseur.

L'aquifère des Contamines est localisé au sud du bassin versant des Blaves. Les observations générales faites dans ce bassin, suite à de nombreux travaux de recherche en eau peuvent être extrapolées au secteur étudié.

De façon générale, les terrains quaternaires du Bas Chablais correspondent à des cycles accumulation-érosion complexes, rythmés par l'avancée et le recul des glaciers. L'épais remplissage (bassin des Blaves, bassin de Plan Bois ?) de terrains quaternaires se compose de puissantes couches de moraines dans lesquelles s'intercalent des dépôts glacio-lacustres et fluvio-glaciaires potentiellement aquifères.

L'analyse de l'organisation de ces dépôts (observés en surface et dans les forages réalisés) sur le plateau de Gavot, la région d'Evian, de Thonon, dans le bassin des Blaves a permis de reconstituer l'historique de l'évolution des conditions de sédimentation durant le quaternaire. L'histoire des dépôts quaternaires comprend dans ce secteur, quatre étapes majeures :

- au Würm précoce (de -65 000 à -35 000 ans), une crue majeure du glacier rhodanien (maximum glaciaire du Würm) met en place une moraine de fond, à des altitudes pouvant être supérieures à 900 mètres ;
- vers -30 000 ans, une décrue glaciaire s'accompagne de la création d'un lac localisé vers 400 mètres d'altitude, dans lequel s'accumulent des dépôts glacio-lacustres fins intercalés de niveaux grossiers, d'origine deltaïque, provenant de cours d'eau latéraux ;

- entre -30 000 et -27 000 ans, le glacier rhodanien s'élève de nouveau, sans dépasser toutefois l'altitude de 850 mètres. Pendant cette période, dans le bassin des Blaves, une succession de dépôts glacio-lacustres et de moraines comble progressivement la dépression, au fur et à mesure que le niveau du glacier et du lac juxtaglaciaire qui l'accompagne s'élève. Les terrains associés à cet épisode sont respectivement observés au forage de Sorcy, Trossy, Chessy, Bonnant entre 340 et 600, 380 et 600, 400 et 450, 540 et 600 mètres d'altitude environ.
- entre -26 000 et -25 000 ans ; le glacier se retire progressivement vers 400 mètres d'altitude, accompagné d'un fort alluvionnement de la Dranse en bordure du glacier, à l'origine de la formation des hautes terrasses de Thonon. Ces terrasses matérialisent les phases d'arrêt intermédiaire du glacier. Pendant l'une de ces phases de retrait, le chenal de Draillant se crée, suite à une vidange d'un lac juxtaglaciaire, à l'écoulement des eaux de fontes des langues glaciaires et à l'écoulement des cours d'eau périglaciaires.

Les dépôts caractéristiques liés à cet environnement glaciaire et péri-glaciaire sont :

- les dépôts glaciaires, matériaux transportés, façonnés et déposés par les glaciers :
- les moraines de fond. Ce sont des dépôts sous-glaciaires, constitués d'argile jaune ou bleue à blocs, parfois argilo-sableuse, rarement graveleuse avec deux types identifiés par M. Dray en 1993 : une moraine de fond inférieure argilo-limoneuse avec peu ou pas de galets et une moraine de fond supérieure constituée d'argile à blocs gris bleu. Ces formations sont peu poreuses, peu perméables et considérées comme imperméables, peu susceptibles de contenir d'importantes ressources en eau ;
- les moraines fronto-latérales. Ces dépôts sont généralement constitués de matériel argileux, parfois graveleux. Ils forment des crêtes allongées et sont liés au dernier retrait glaciaire. Ils représentent des phases de stagnation des glaciers. Les moraines latérales se joignent dans la région axiale du glacier, sous forme d'une moraine frontale. Ces formations sont globalement imperméables, mais leur partie graveleuse peuvent localement contenir des petites unités aquifères susceptibles de donner naissance à des émergences de faible débit ;
- les moraines interglaciaires. Selon Jayet (1966), les moraines de fond peuvent être prises entre deux lames de glace. Elles progressent peu vers la surface du glacier. Elles émergent au front du glacier pour former les moraines frontales et latérales. De même nature que les moraines de fond, ces formations sont peu poreuses, peu perméables et peu susceptibles de contenir d'importante ressource en eau ;
- les dépôts péri-glaciaires, matériaux sans relation directe avec les glaciers, mais accumulés à sa bordure, par des agents de transports situés en périphérie :
- les terrasses de Kame ou sédiments glacio-lacustres. Selon M. Dray, lors de la fonte des glaciers, les cours d'eau périphériques acquièrent un important pouvoir d'érosion. Ces cours d'eau peuvent alluvionner un lac juxtaglaciaire, en bordure des moraines latérales. La sédimentation est de type deltaïque, caractérisée par un granoclassement vertical (granulométrie croissante de haut en bas) et un granoclassement horizontal (granulométrie décroissante avec l'éloignement de la zone d'apport) liée à la progradation du delta.

Ces matériaux sont hétérogènes, souvent graveleux, potentiellement épais, fortement poreux et perméables. Ils peuvent contenir, selon leur extension et les conditions d'alimentation, d'importantes ressources en eau ;

- les dépôts fluvio-glaciaires. Ce sont des épandages d'éléments sablo-graveleux à caillouteux mis en place par l'eau de fonte des glaciers. Ces épandages surmontent généralement les dépôts glacio-lacustres lors de la phase finale du comblement des lacs juxtaglaciaires.

Ces matériaux hétérogènes, souvent graveleux, d'extension hectométrique à kilométrique, peuvent contenir d'importantes ressources en eau.

L'aquifère des Contamine, situé à une faible profondeur, est principalement contenu, dans des matériaux périglaciaires accumulés à la bordure du cordon morainique de Rézier Cursinges.

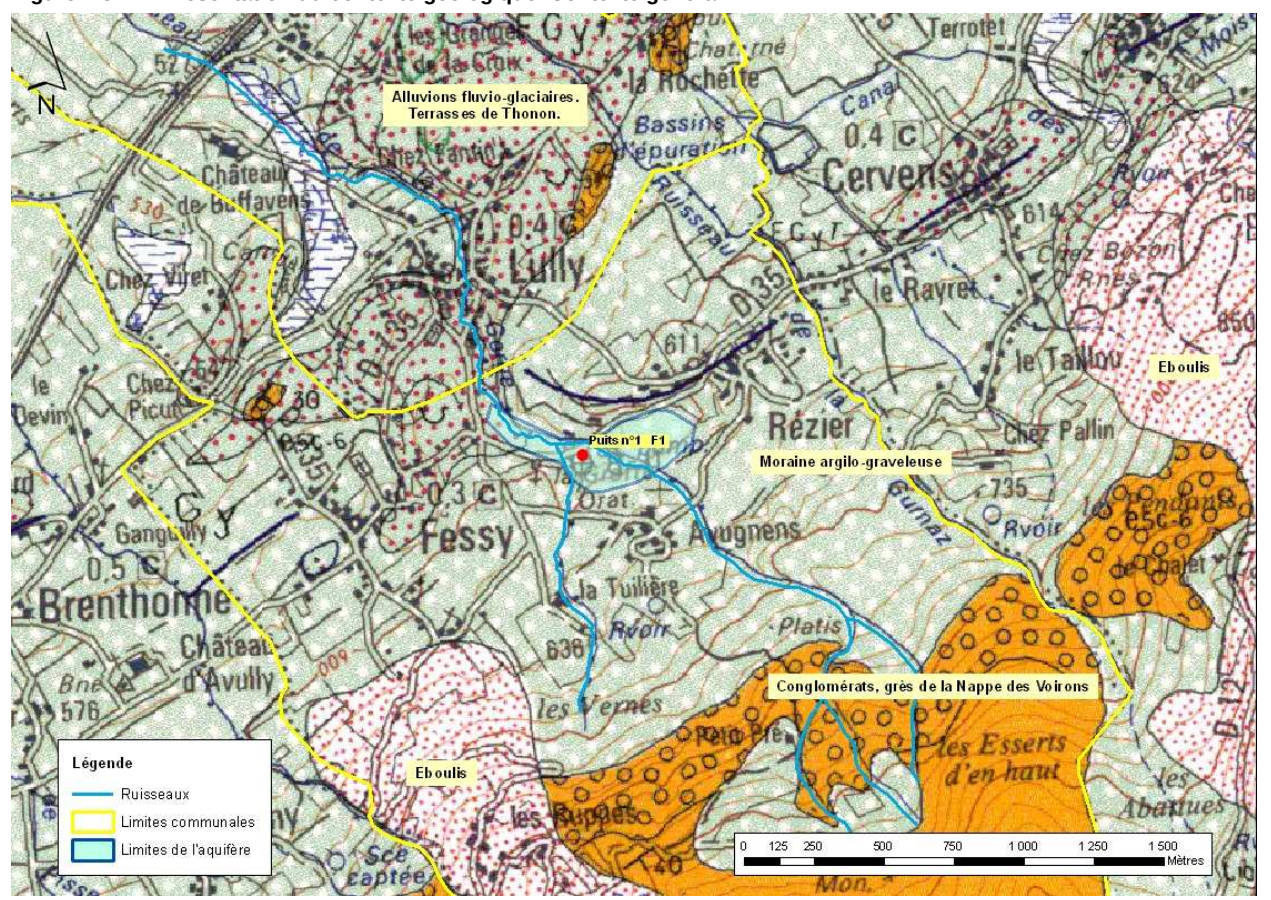
Les Figure 2-3 à Figure 2-6 , illustre le contexte géologique de l'aquifère des Contamines.

Les forages des Contamines ont rencontrés, de haut en bas :

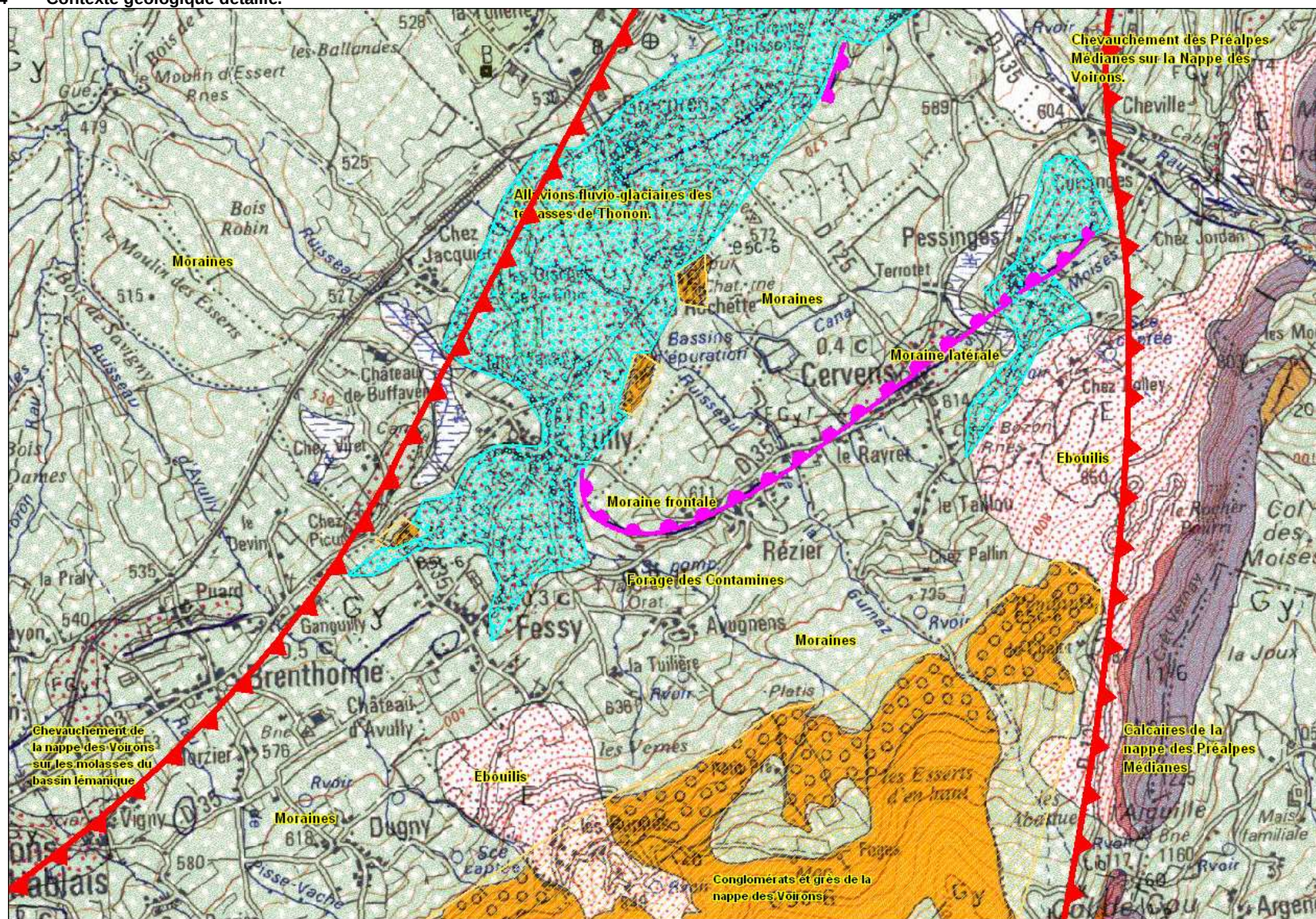
- 5 mètres d'alluvions argilo-sableuses ;
- 5 mètres de graviers argileux ;
- 11,90 mètres de graviers propres.

Les forages sont arrêtés sur des gros blocs appartenant probablement à la moraine sous-jacente. Ils n'ont pas atteint les terrains du substratum.

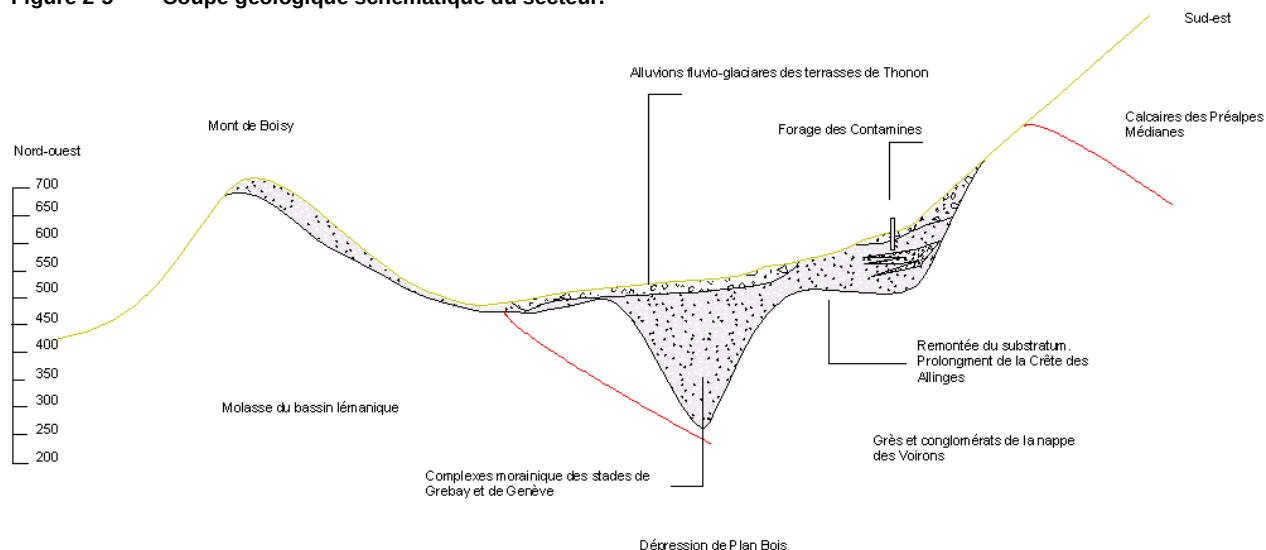
Symasol. Syndicat d'Eau et d'Assainissement de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.
Figure 2-3 Présentation du contexte géologique. Contexte général.



Symasol. Syndicat d'Eau et d'Assainissement de Fessy - Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.
Figure 2-4 Contexte géologique détaillé.

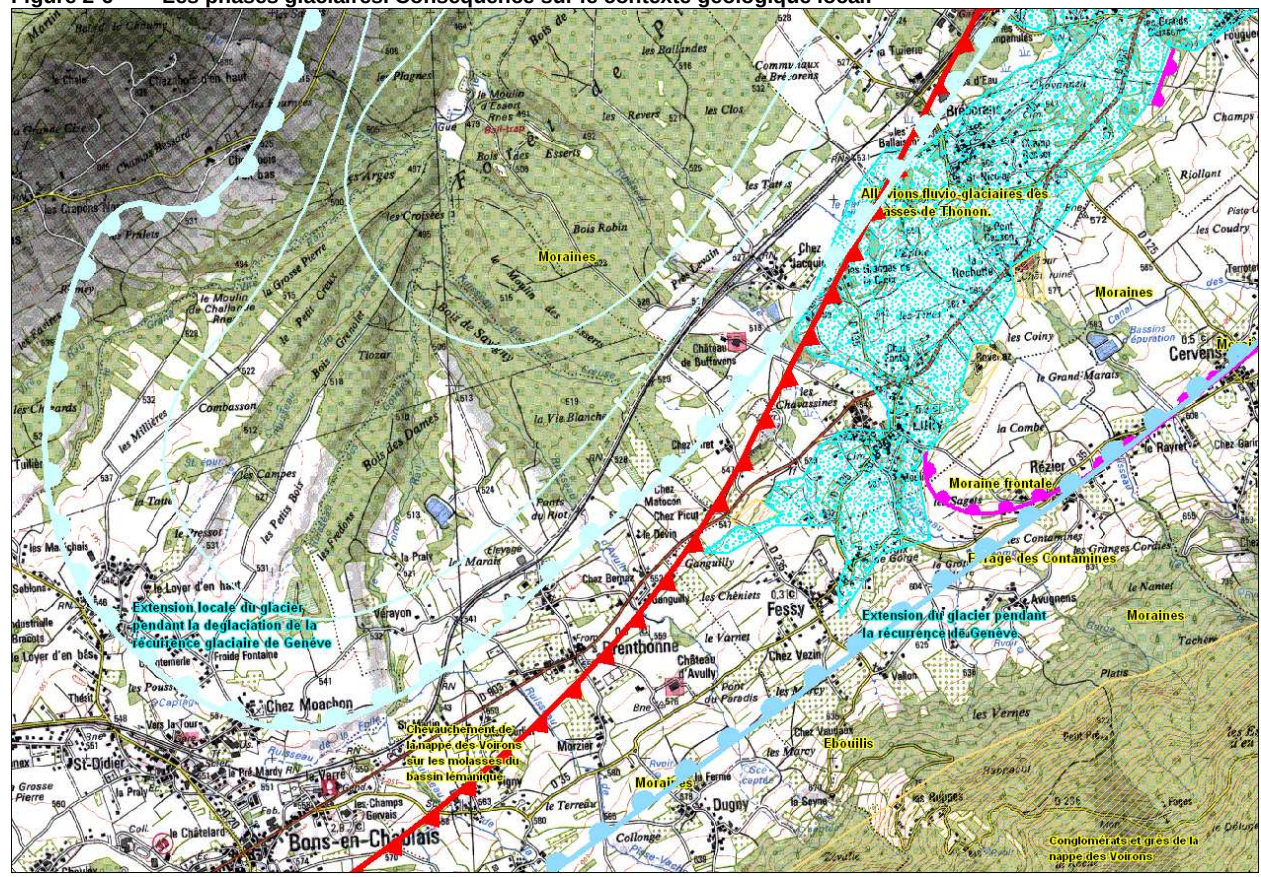


Syndicat d'Eau et d'Assainissement de Fessy - Lully. Etude de l'aquifère des Contamines. Etude géophysique préliminaire.
Figure 2-5 Coupe géologique schématique du secteur.



d'après V. Chazal et S. Grange, 2002.

Syndicat d'Eau et d'Assainissement de Fessy - Lully. Etude de l'aquifère des Contamines. Etude géophysique préliminaire.
Figure 2-6 Les phases glaciaires. Conséquence sur le contexte géologique local.



Régie
Départementale d'
Assistance



MESURES GEOPHYSIQUES.

3. NATURE ET GEOMETRIE DES TERRAINS AQUIFERES. MESURES GEOPHYSIQUES REALISEES EN 2008.

3.1 PRESENTATION ET INTERPRETATION DES MESURES GEOPHYSIQUES REALISEES EN NOVEMBRE 2008.

Les mesures ont été réalisées par Monsieur A Daumesnil, ingénieur géophysicien de la Société IMS RN, 680 rue Aristide Bergès, 38330 Montbonnot, au cours du mois de novembre 2007.

Caractéristiques des mesures :

- six panneaux électriques d'une longueur comprise entre 640 et 1280 mètres ;
- longueur totale prospectée : 4 960 mètres ;
- géométrie des dispositifs : type pôle-dipôle avec report à l'infini de l'électrode d'injection ; électrodes de mesures et d'injection espacées de 5 mètres ;
- appareil de mesures : résistivimètre Abem Sas 4000 et multiplexeur ES10-64 ;
- profondeur d'investigation maximale après inversion : 80 mètres

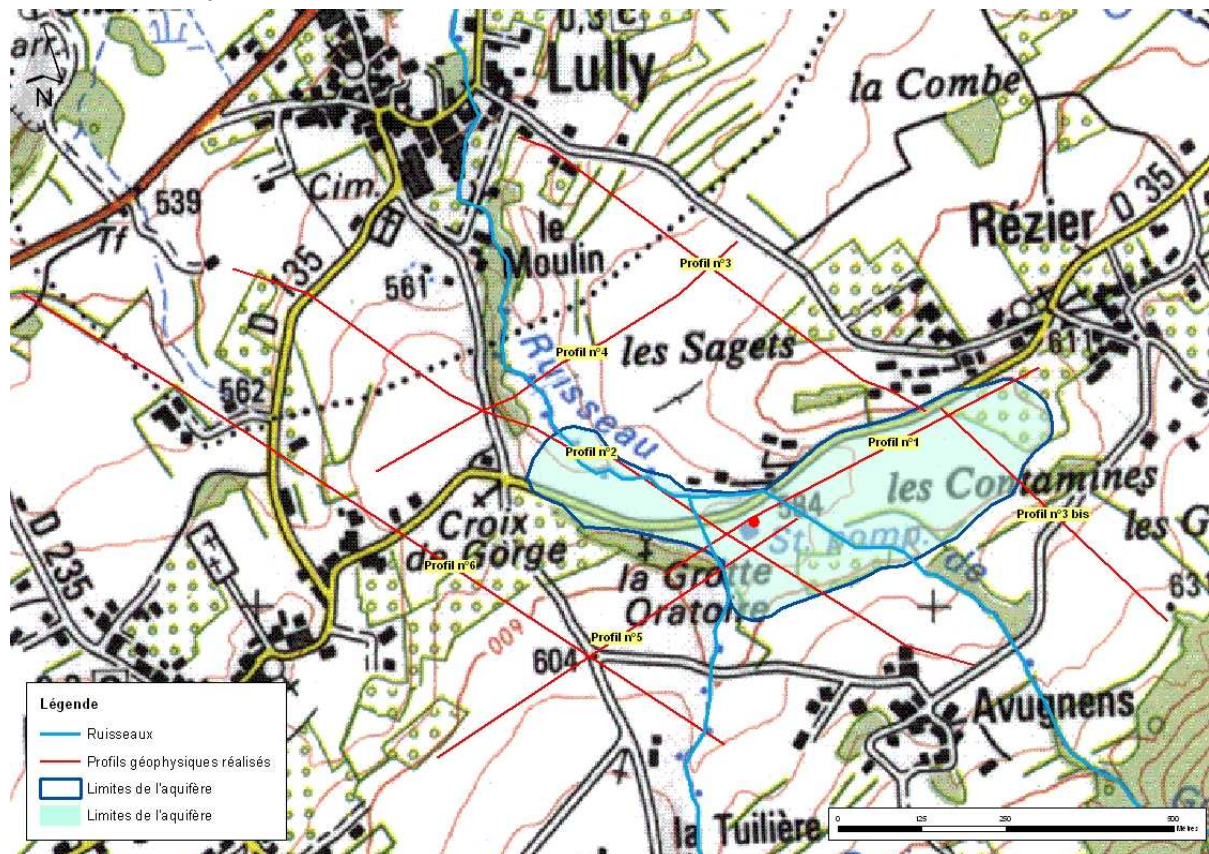
Les panneaux ont été enregistrés avec le protocole IMSRN PDP64.

Les sections brutes relevées sont interprétées, pour la valeur de la résistivité vraie et l'épaisseur des formations, par le logiciel Res2Dinv de la société Abem.

La Figure 3-1 présente l'implantation des profils réalisés.

Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 3-1 Structure de l'aquifère. Campagne géophysique de novembre 2007. Carte de localisation des panneaux électriques réalisés.



3.2 PROFIL N°P1.

3.2.1 Caractéristiques du profil.

Position du profil.	Profil parallèle aux courbes de niveaux. Centré sur les puits des Contamines. Entre l'Oratoire de la Grotte et Rézier.
Longueur du profil.	640 mètres.
Position de l'électrode n°1.	X =926 622 ; Y = 2 150 050 (Lambert II) ; Z = ~ 600 mètres.
Position de l'électrode n°128.	X = 915 161.9 Y = 2 150 356.0 (Lambert II) ; Z = ~605 mètres.

3.2.2 Caractéristiques géologiques, interprétation de la carte géologique.

Points de référence.	Nature du terrain en surface.
Electrodes n°1 à 128	Moraines argilo-graveleuses, sur substratum de grès et conglomérats de la nappe des Voirons.

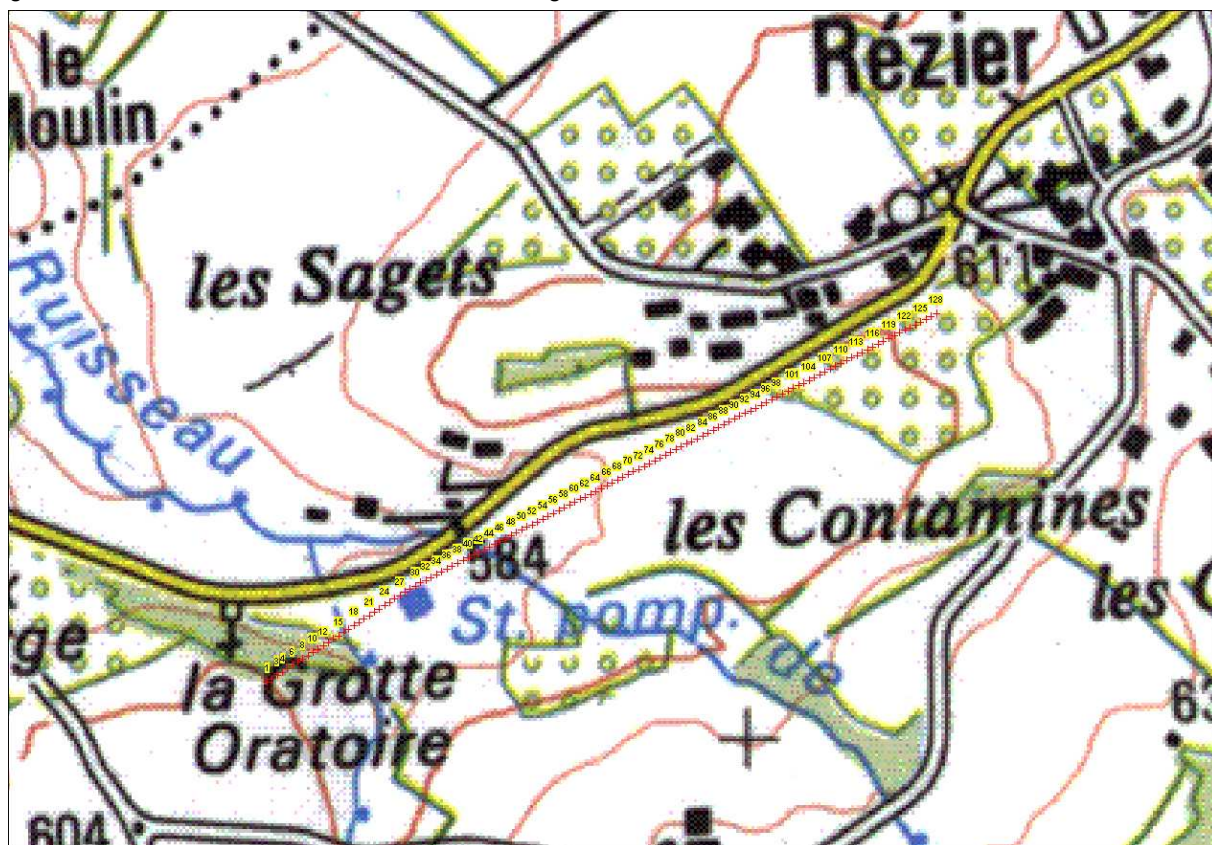
3.2.3 Interprétation.

Dans le contexte géologique du lieu, trois zones peuvent être identifiées sur ce profil :

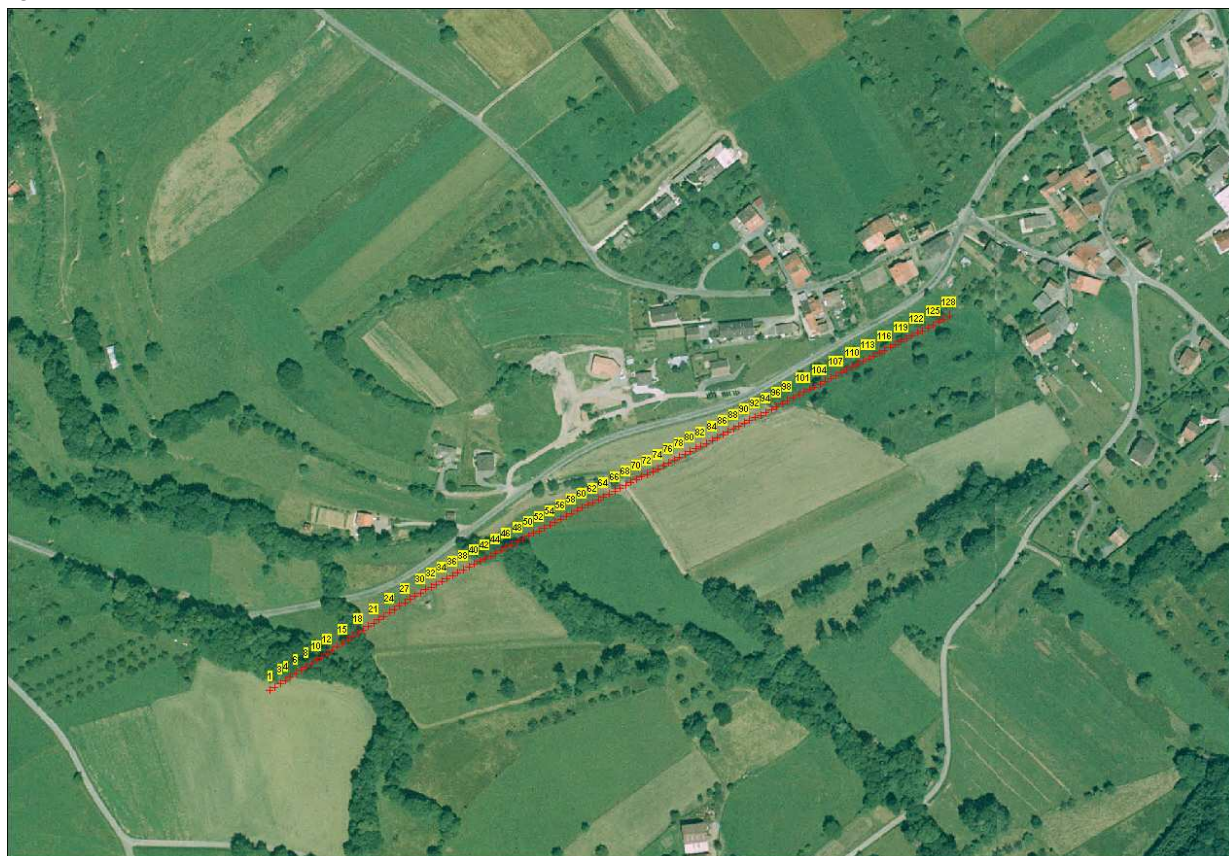
- en surface, entre 0 et 10 mètres de profondeur, sur toute la longueur du profil, des formations à dominantes argileuses (résistivités inférieures à 150 ohm.m), assimilées aux moraines argilo-graveleuses ;
- entre 10 et 40 mètres de profondeur, entre les électrodes n°1 et 91, des terrains à dominante graveleuse, potentiellement aquifères (résistivité comprise entre 200 et 600 ohm.m). Ils apparaissent bien développés à 150 mètres au nord-est des forages actuels où leur épaisseur atteint une trentaine de mètres ;
- au-delà de 40 mètres de profondeur, sur toute la longueur du profil, des terrains à dominantes argileuses (résistivité inférieure à 150 ohm.m), assimilés des moraines argilo-graveleuses.

Nb : les lignes blanches sur les coupes géo-électriques interprétées représentent les isobathes, espacées de 10 mètres. Les numéros avec un arrière plan jaune représentent le numéro des électrodes.

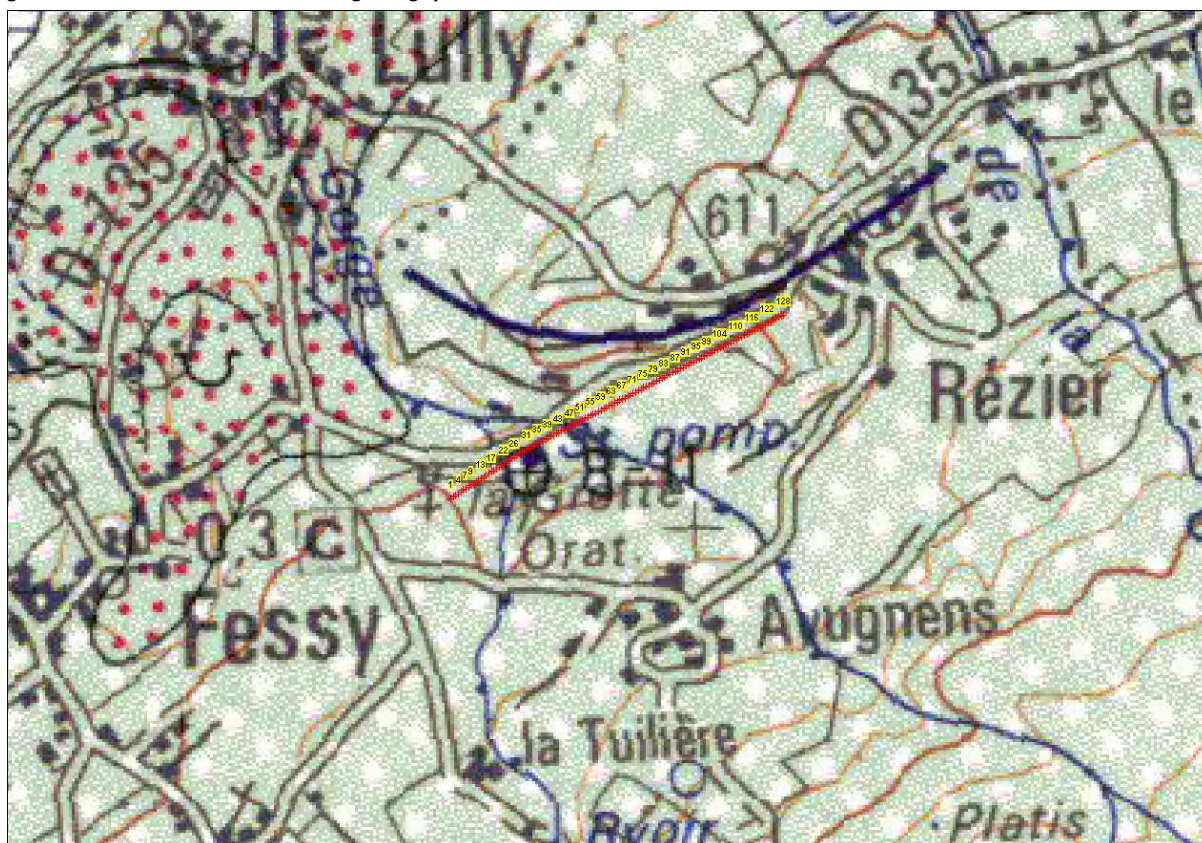
Syndicat d'Eau et d'Assainissement de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines. Etude géophysique préliminaire
Figure 3-2. Profil n°P1. Carte de localisation. Carte Ign.



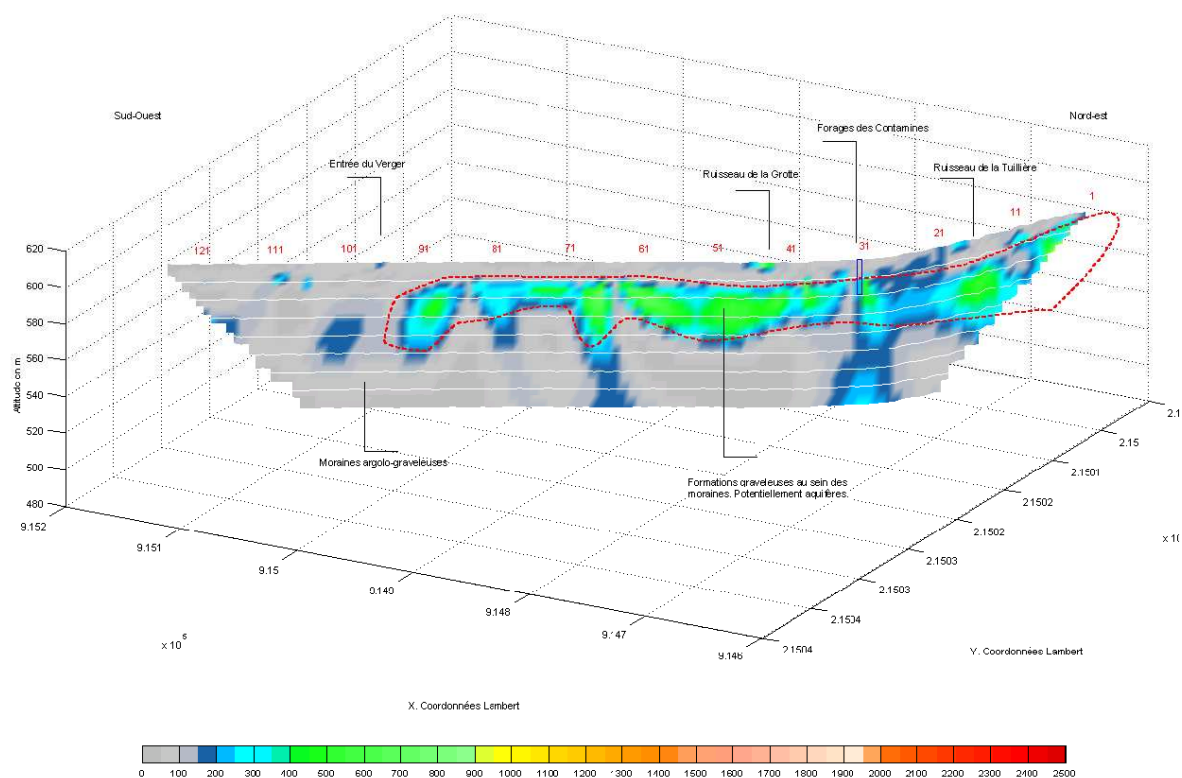
Syndicat d'Eau et d'Assainissement de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines. Etude géophysique préliminaire.
Figure 3-3. Profil n°P1. Carte de localisation. Photo aérienne.



Syndicat d'Eau et d'Assainissement de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines. Etude géophysique préliminaire.
Figure 3-4. Profil n°P1. Contexte géologique.



Syndicat d'Eau et d'Assainissement de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines. Etude géophysique préliminaire.
Figure 3-5 Profil n°P1. Coupe géo-électrique inter préétée.



3.3 PROFIL N°P2

3.3.1 Caractéristiques du profil.

Position du profil.	Profil perpendiculaire aux courbes de niveau, positionné dans l'axe du vallon où sont implantés les forages des Contamines.
Longueur du profil.	1 250 mètres.
Position de l'électrode n°1.	X = 913 964 ; Y = 2 15 0 502 (Lambert II) ; Z = ~552 mètres.
Position de l'électrode n°252.	X = 915 066 ; Y = 2 149 914 (Lambert II) ; Z = ~625 mètres.

3.3.2 Caractéristiques géologiques, interprétation de la carte géologique.

Points de référence.	Nature du terrain en surface.
Electrodes n°1 à 122	Alluvions glacio-lacustres des terrasses de Thonon reposant sur les grès et les conglomérats de la nappe des Voirons.
Electrodes n°122 à 252	Moraines argilo-graveleuses.

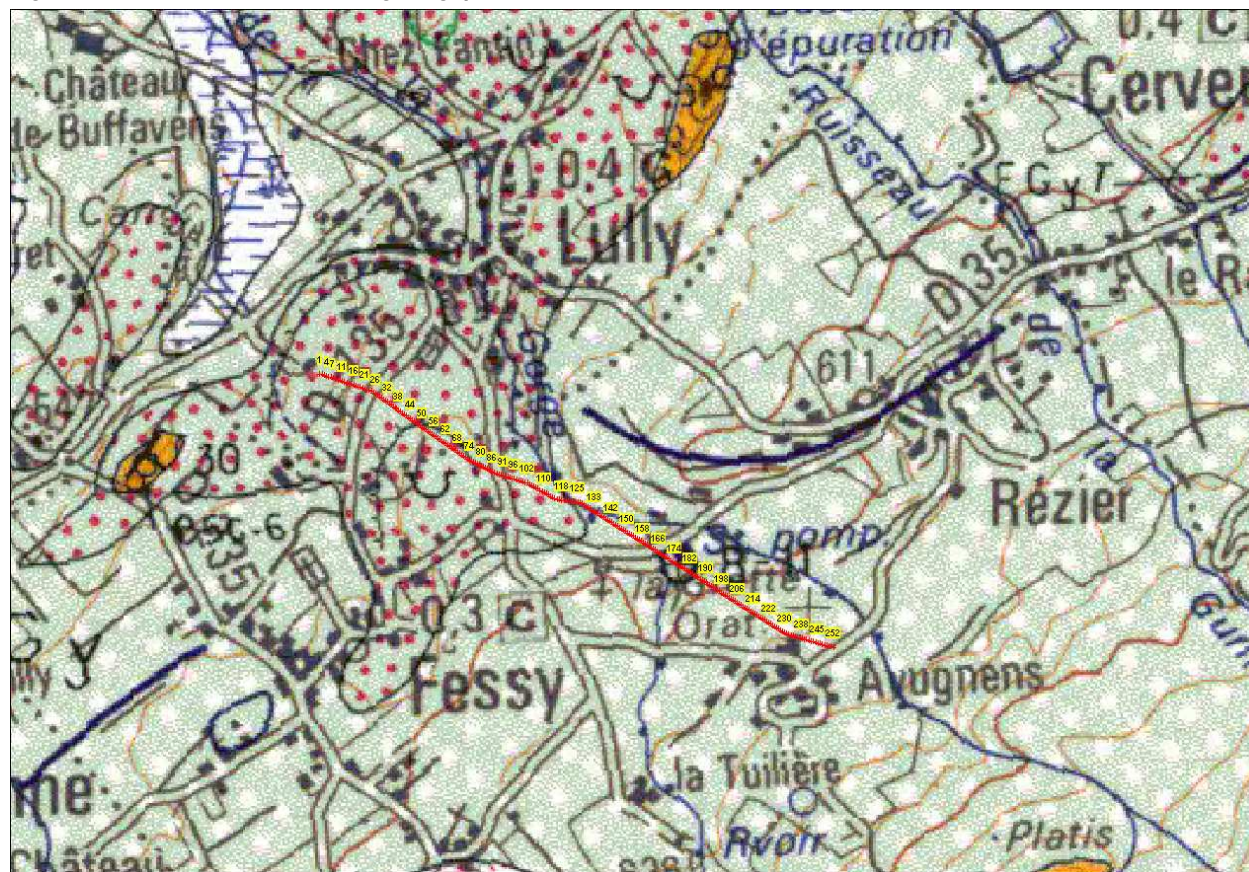
Syndicat d'Eau et d'Assainissement de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines. Etude géophysique préliminaire.
Figure 3-6. Profil n°P2. Carte de localisation. Carte Ign.



Syndicat d'Eau et d'Assainissement de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines. Etude géophysique préliminaire.
Figure 3-7 Profil n°P2. Carte de localisation. Photo aérienne.



Syndicat d'Eau et d'Assainissement de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines. Etude géophysique préliminaire.
Figure 3-8. Profil n°P2. Contexte géologique.



3.3.3 Interprétation.

Ce profil présente deux parties distinctes :

- une partie nord-ouest, entre les électrodes n°1 et 120, caractérisée par des terrains fortement résistants (résistivités comprise entre 600 et 2000 ohm.m) noyés dans des formations conductrices ;
- une partie sud-est, entre les électrodes n°120 et 250, caractérisée par des terrains moyennement résistants (résistivité comprise entre 250 et 900 ohm.m) noyés dans des formations conductrices.

Entre les électrodes n°1 et 120, la superposition de trois types de terrains est mise en évidence :

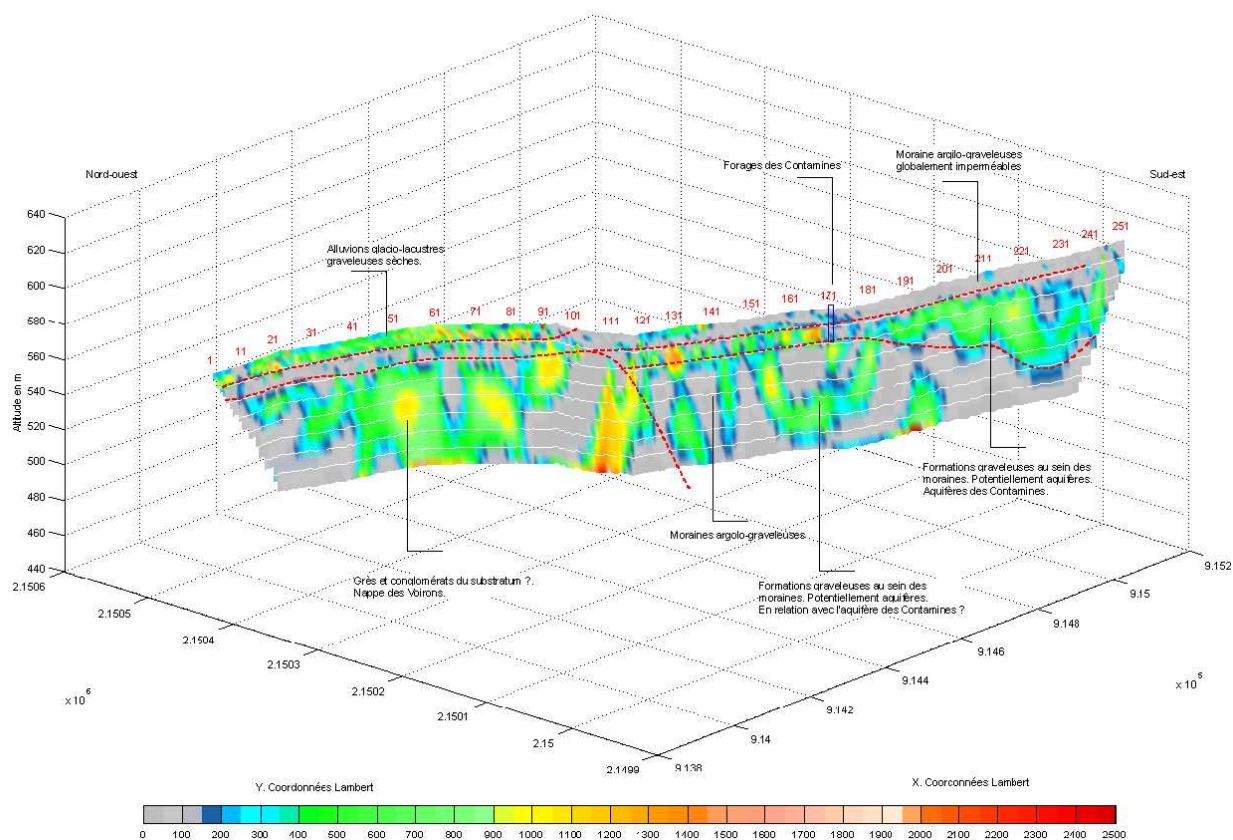
- entre 0 et 10 mètres de profondeur, les terrains fortement résistants observés correspondent à des alluvions glacio-lacustres grossières sèches ;
- entre 10 et 20 mètres de profondeur, des terrains conducteurs correspondent à des moraines argilo-graveleuse imperméables ;
- au delà de 20 mètres de profondeur, les formations fortement résistantes relevées peuvent être assimilés aux terrains du substratum (grès et conglomérats de la nappe des Voirons) qui affleurent à, respectivement 350 au sud et 750 mètres au nord du profil).

Entre les électrodes n°120 à 250, les résistivités relevées sont du même ordre de grandeur que celles observée au droit du panneau n°1 :

- entre 0 et 10 mètres de profondeur, sur toute la longueur du profil, les terrains sont de faibles résistivité (inférieure à 150 ohm.m), assimilée à des moraines argilo-graveleuses, globalement imperméables ;
- au delà de cette profondeur, des terrains potentiellement aquifères apparaissent, assimilés aux terrains contenant l'aquifère des Contamines. Ils sont particulièrement développés au sud-est des forages (une cinquantaine de mètres d'épaisseur, entre les électrodes n°211 à 231). Cette épaisseur diminue fortement à l'aval des forages, limitée à une dizaine de mètres entre les électrodes 120 à 171.

Dans cette partie du profil, des sillons graveleux, potentiellement aquifères, sont visibles entre les électrodes 120 et 171. Les mesures effectuées et leur interprétation indiquent une relation éventuelle, à préciser, entre ces structures et les terrains contenant l'aquifère des Contamines.

Syndicat d'Eau et d'Assainissement de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines. Etude géophysique préliminaire.
Figure 3-9 Profil n°P2. Coupe géo-électrique inter prétée.



3.4 PROFIL N°P3 ET 3 BIS

3.4.1 Caractéristiques du profil.

Position du profil P3	Profil perpendiculaire aux courbes de niveau, parallèle au profil n°2 et au nord-est de celui-ci, entre Lully et Rézier, au nord-ouest de la départementale D35.
Longueur du profil.	730 mètres.
Position de l'électrode n°1.	X = 914 387 ; Y = 2 150 696 (Lambert II) ; Z = ~ 555 mètres.
Position de l'électrode n°145	X = 914 993 ; Y = 2 150 291 (Lambert II) ; Z = ~ 600 mètres.
Position du profil P3 Bis	Profil dans le prolongement du profil n°3 au sud-est de la départementale D35.
Longueur du profil.	460 mètres.
Position de l'électrode n°146.	X = 915 016 ; Y = 2 150 295 (Lambert II) ; Z = ~ 600 mètres.
Position de l'électrode n°242	X = 915 352 ; Y = 2 149 979 (Lambert II) ; Z = ~ 638 mètres.

3.4.2 Caractéristiques géologiques, interprétation de la carte géologique.

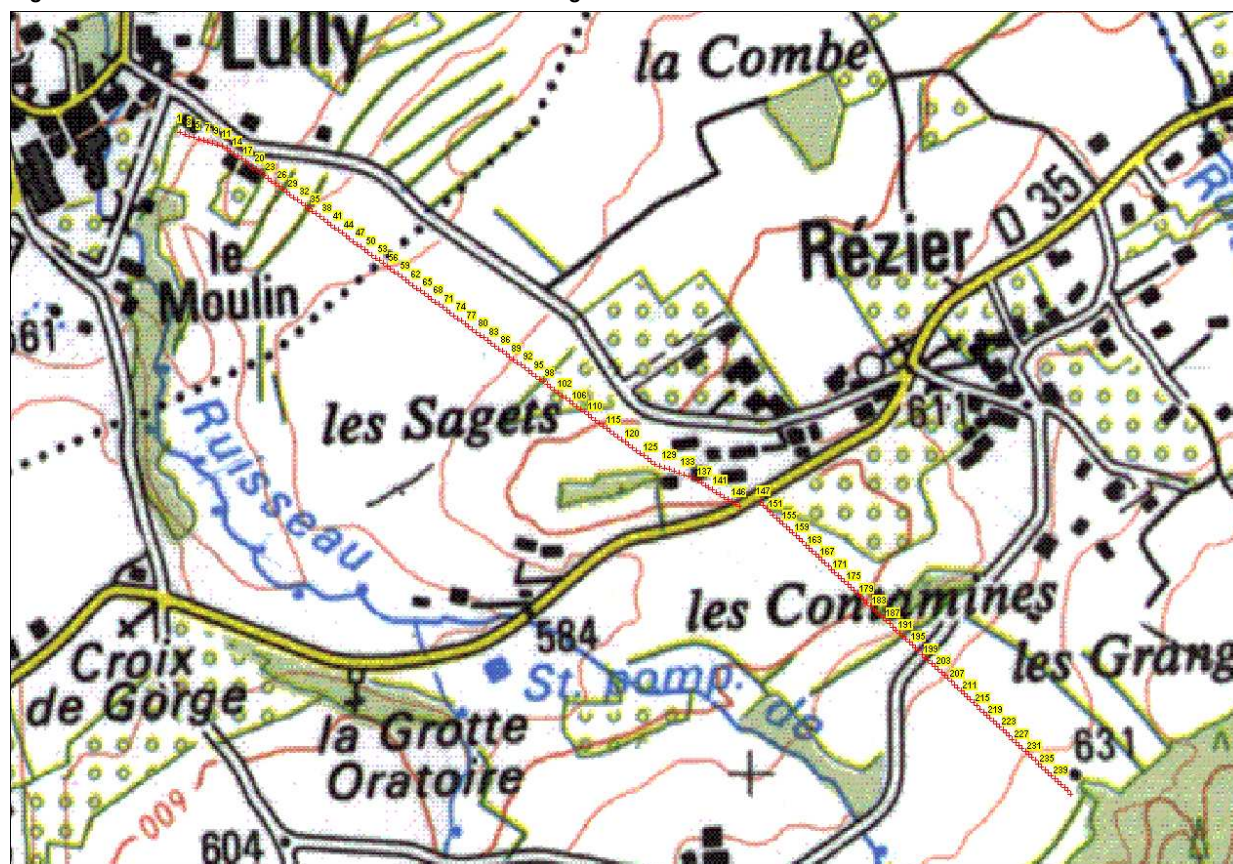
Points de référence.	Nature du terrain en surface.
Electrodes n°1 à 24	Alluvions glacio-lacustres des terrasses de Thonon reposant sur les grès et les conglomérats de la nappe des Voirons.
Electrodes n°24 à 242	Moraines argilo-graveleuses.

3.4.3 Interprétation.

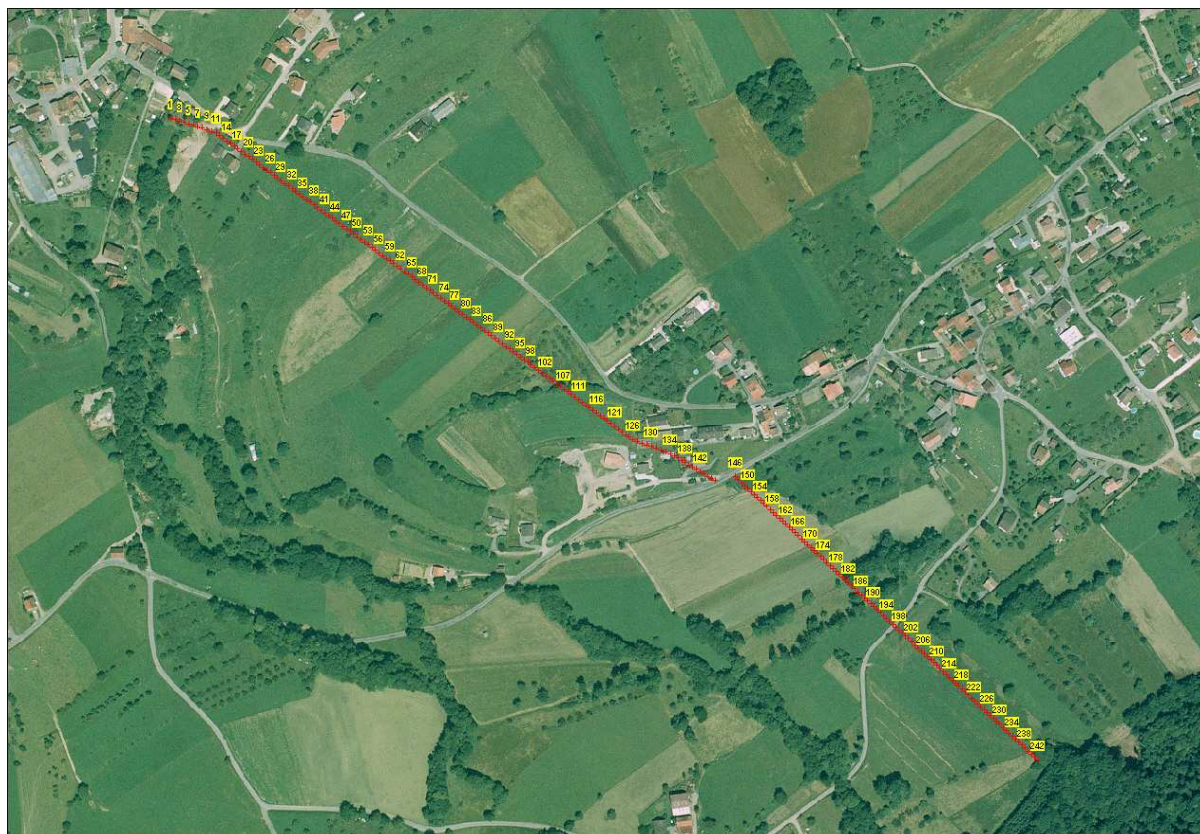
Le profil n°3 présente une organisation homogène des terrains sur toute la longueur du profil, caractérisée par :

- la présence de formations conductrices (résistivités inférieures à 500 ohm.m) entre 0 et 20 mètres de profondeur entre les électrodes 0 et 100 et entre 0 et 10 mètres de profondeur au delà de l'électrode 100. Ces terrains sont assimilés à des moraines argilo-graveleuses, globalement imperméables ;
- sous ces terrains, la présence de formations, moyennement résistantes (résistivité voisine de 500 ohm.m) peuvent être assimilées à des terrains graveleux potentiellement aquifères. La résistivité relevée est cependant un peu trop élevée pour être formel. Ces mesures interprétées, donnent l'image, sur toute la longueur du profil, de la présence de sillons de terrains graveleux entrecoupés de courts passages argileux. Si ces formations sont véritablement aquifères, le potentiel exploitable apparaît important, étant données leur extension.
- ces terrains sont supportés au delà de 70 mètres de profondeur, par des formations conductrices assimilées à des moraines argilo-graveleuses imperméables.

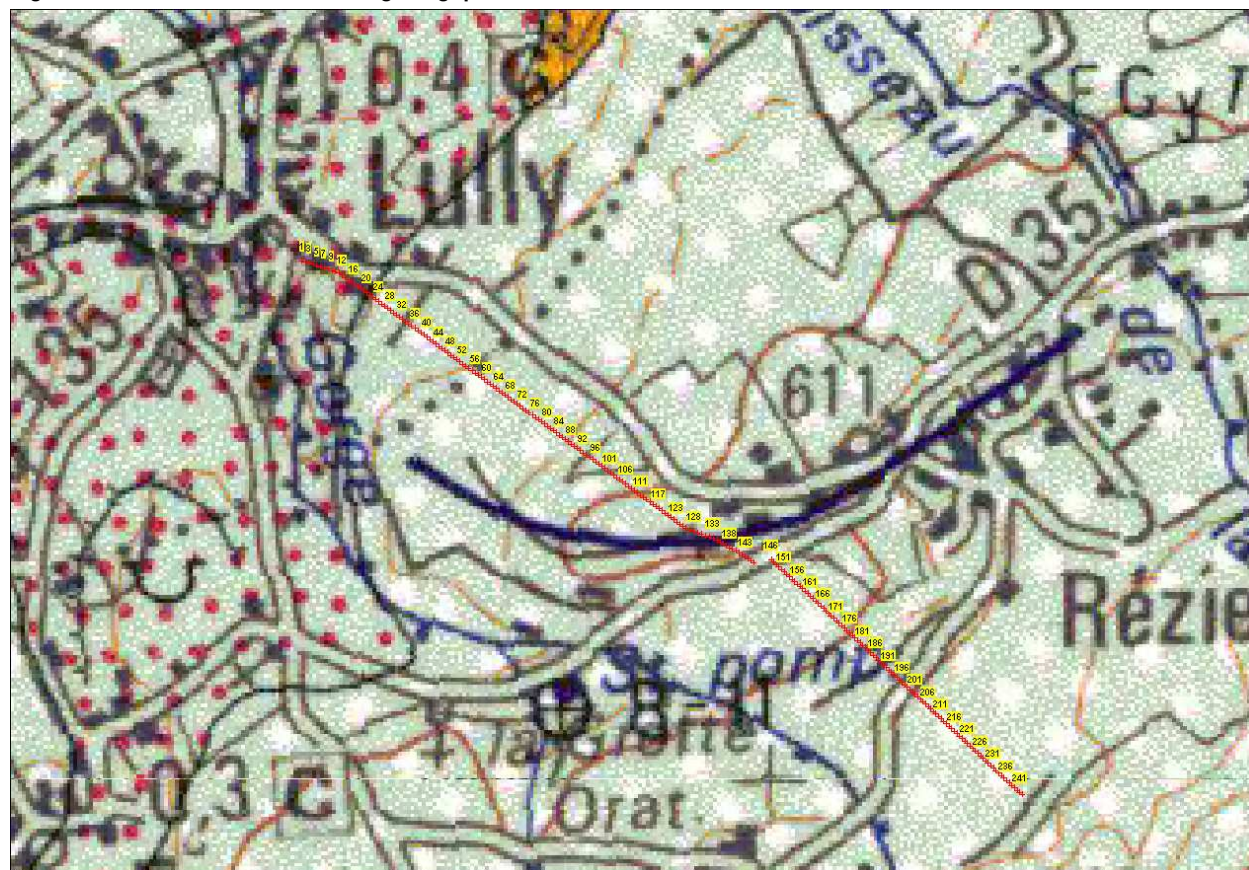
Syndicat d'Eau et d'Assainissement de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines. Etude géophysique préliminaire.
Figure 3-10. Profil n°P3. Carte de localisation. Carte Ign.



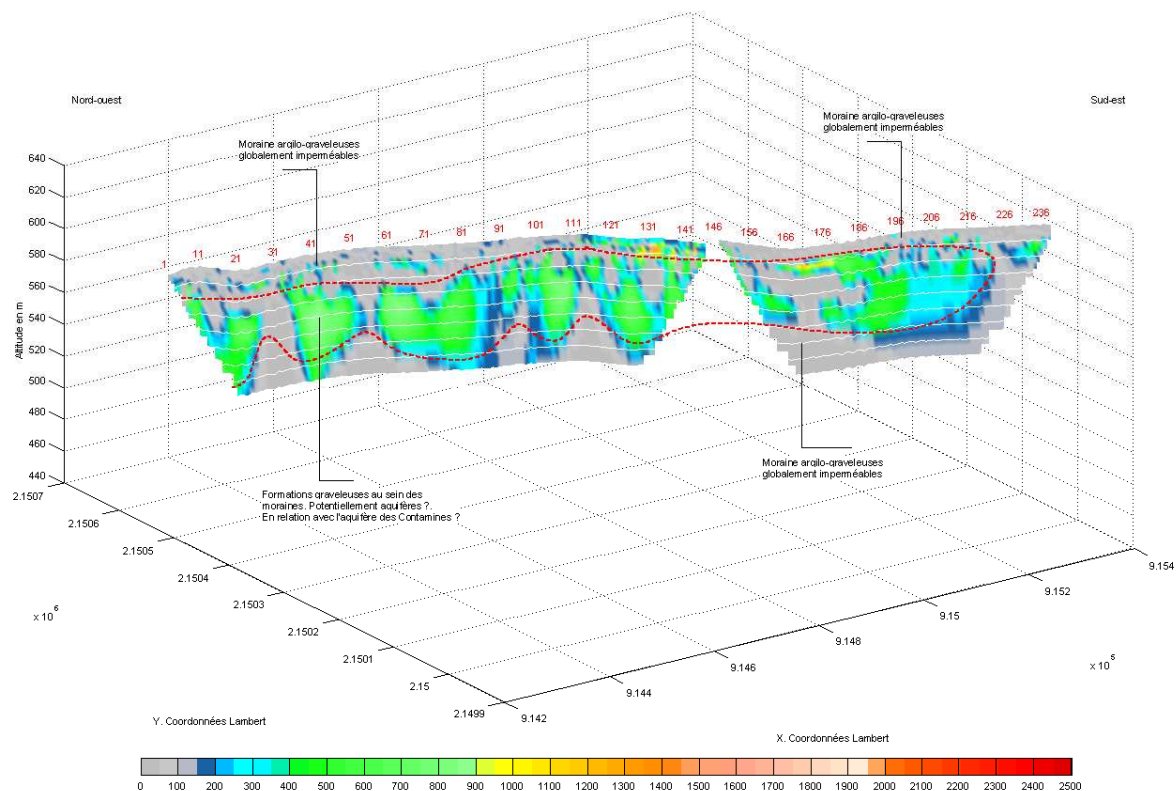
Syndicat d'Eau et d'Assainissement de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines. Etude géophysique préliminaire.
Figure 3-11 Profil n°P3. Carte de localisation. Photo aérienne.



Syndicat d'Eau et d'Assainissement de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines. Etude géophysique préliminaire.
Figure 3-12. Profil n°P3. Contexte géologique.



Syndicat d'Eau et d'Assainissement de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines. Etude géophysique préliminaire.
Figure 3-13 Profil n°P3. Coupe géo-électrique interprétée.



3.5 PROFIL N°P4

3.5.1 Caractéristiques du profil.

Position du profil.	Profil parallèle aux courbes de niveau, 350 mètres à l'aval des forages des Contamines.
Longueur du profil.	640 mètres.
Position de l'électrode n°1.	X = 914 176 ; Y = 2 150 201 (Lambert II) ; Z = 585 mètres.
Position de l'électrode n°126.	X = 914 715 ; Y = 2 150 545 (Lambert II) ; Z = 585 mètres.

3.5.2 Caractéristiques géologiques, interprétation de la carte géologique.

Points de référence.	Nature du terrain en surface.
Electrode n°1 à 56	Alluvions glacio-lacustres des terrasses de Thonon reposant sur les grès et les conglomérats de la nappe des Voirons.
Electrode n°56 à 126	Moraines argilo-graveleuses.

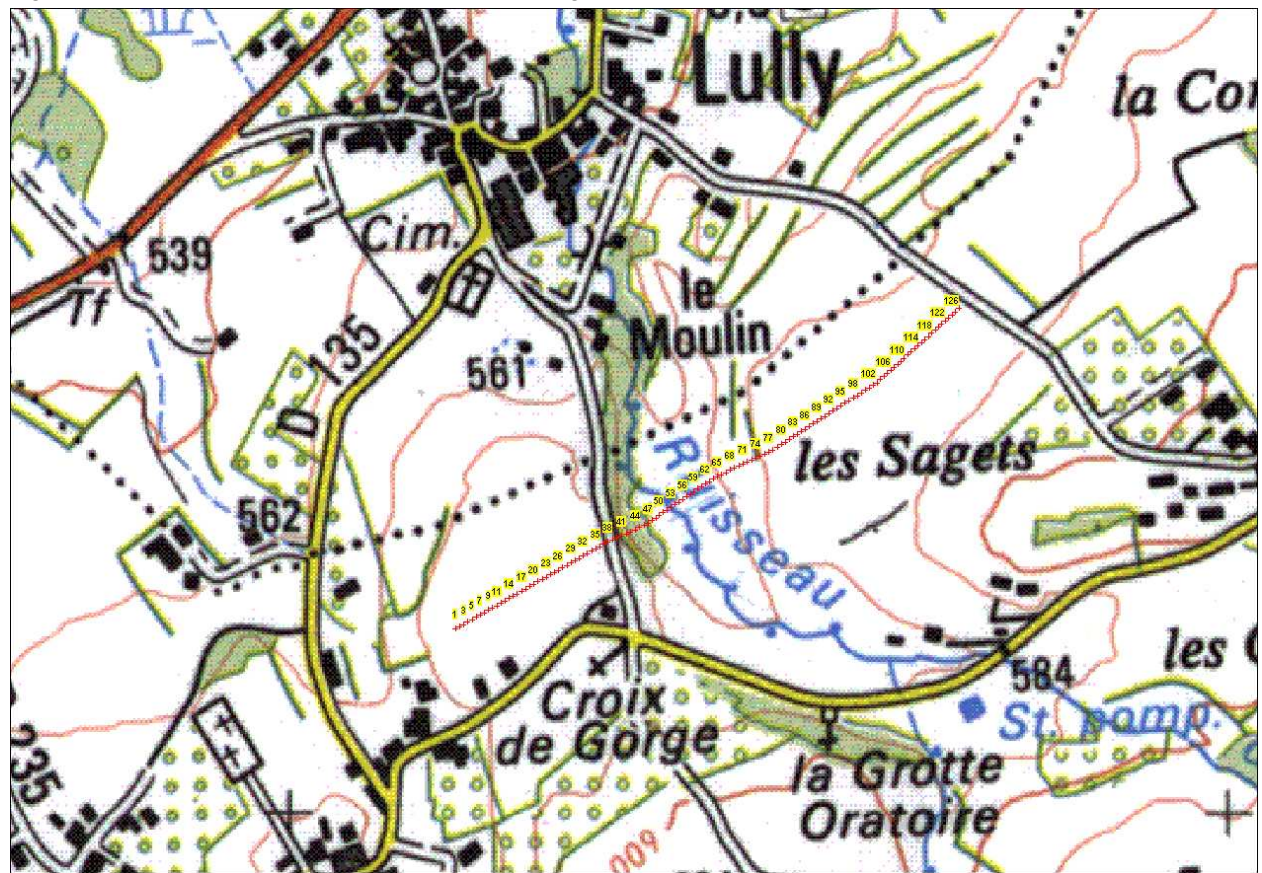
3.5.3 Interprétation.

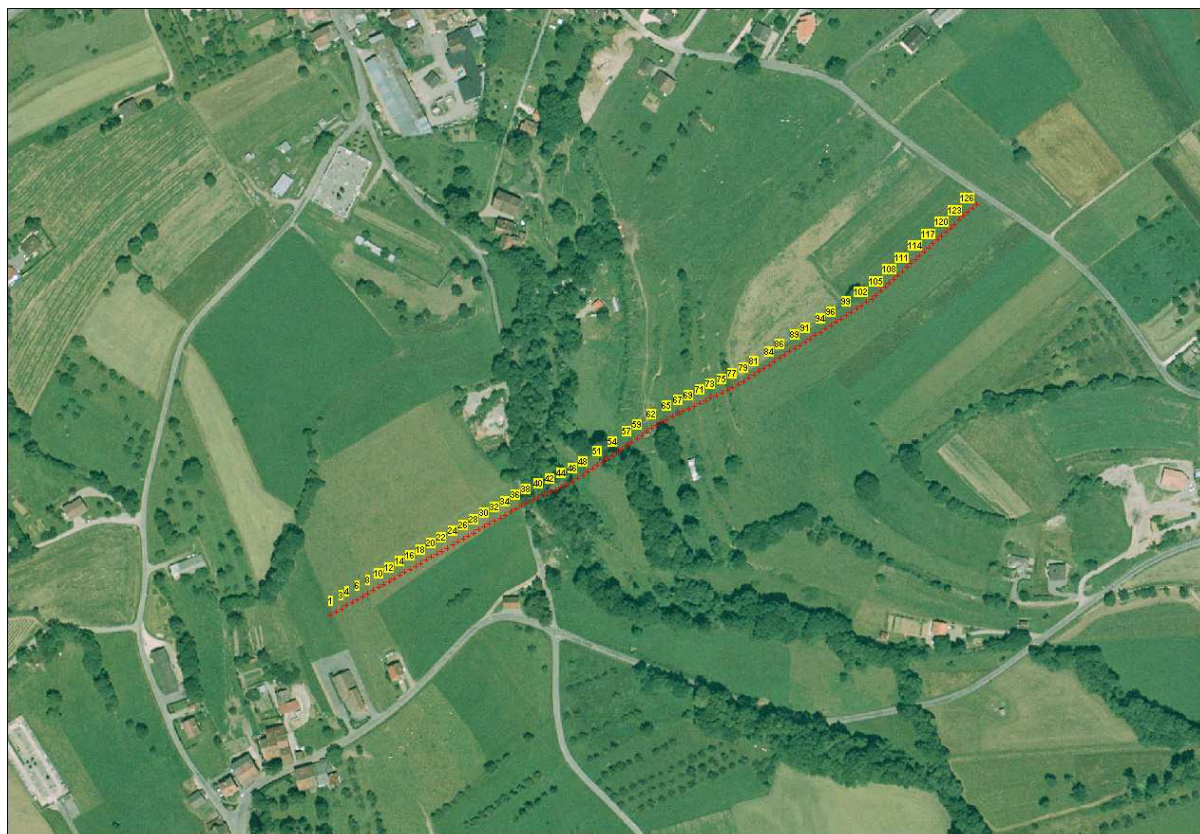
Le profil n°4 est caractérisé par la présence :

- entre 0 et 10 mètres de profondeur, entre les électrodes 0 et 41 et 75 et 110 ; de terrains résistants (résistivité comprise entre 700 et 1 000 ohm.m), correspondant à des dépôts glacio-lacustres graveleux, secs ;
- au delà de 20 mètres de profondeur, de terrains moyennement résistants, interprétés comme des sables et graviers potentiellement aquifères, déposés sous la forme de sillons plus ou moins contigus.

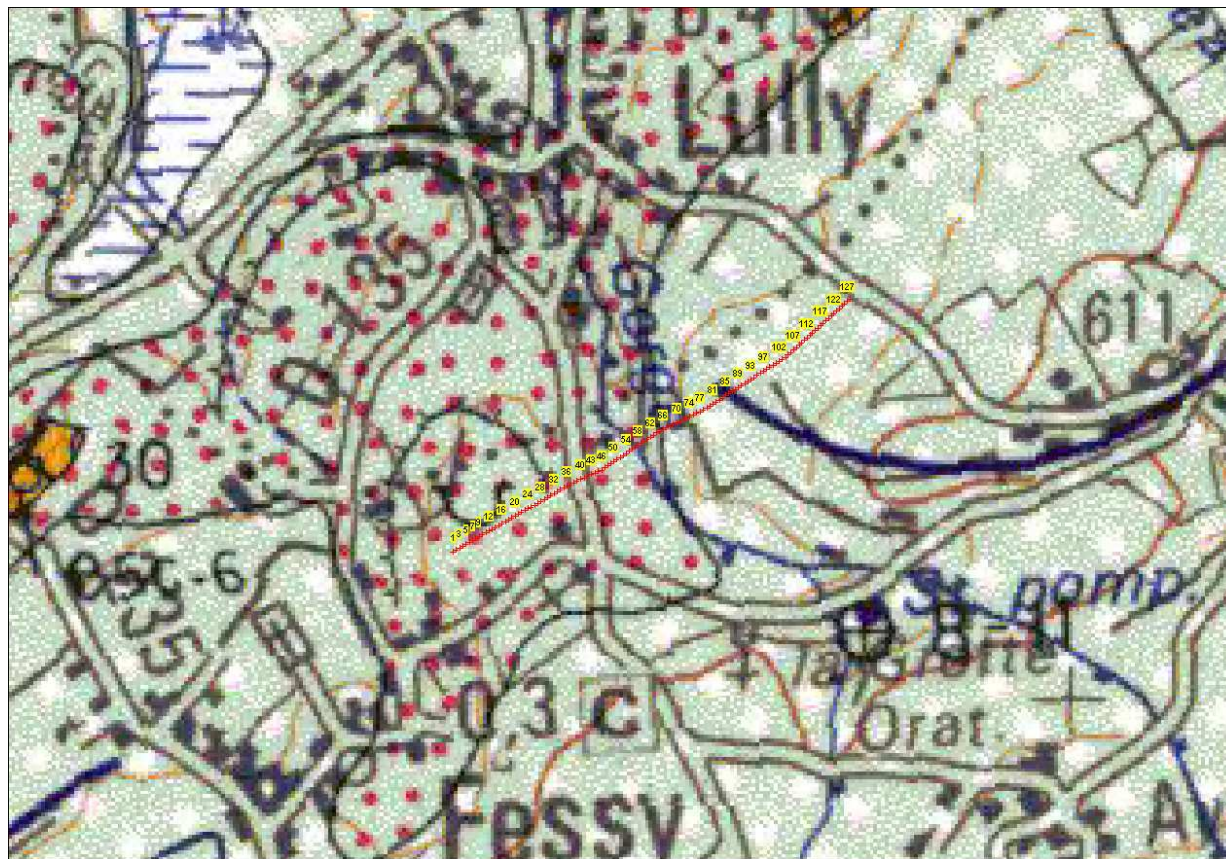
Ces formations apparaissent particulièrement développées. Elles présentent, si le caractère aquifère est confirmé, un potentiel important.

Syndicat d'Eau et d'Assainissement de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines. Etude géophysique préliminaire.
Figure 3-14. Profil n°4. Carte de localisation. Carte Ign.

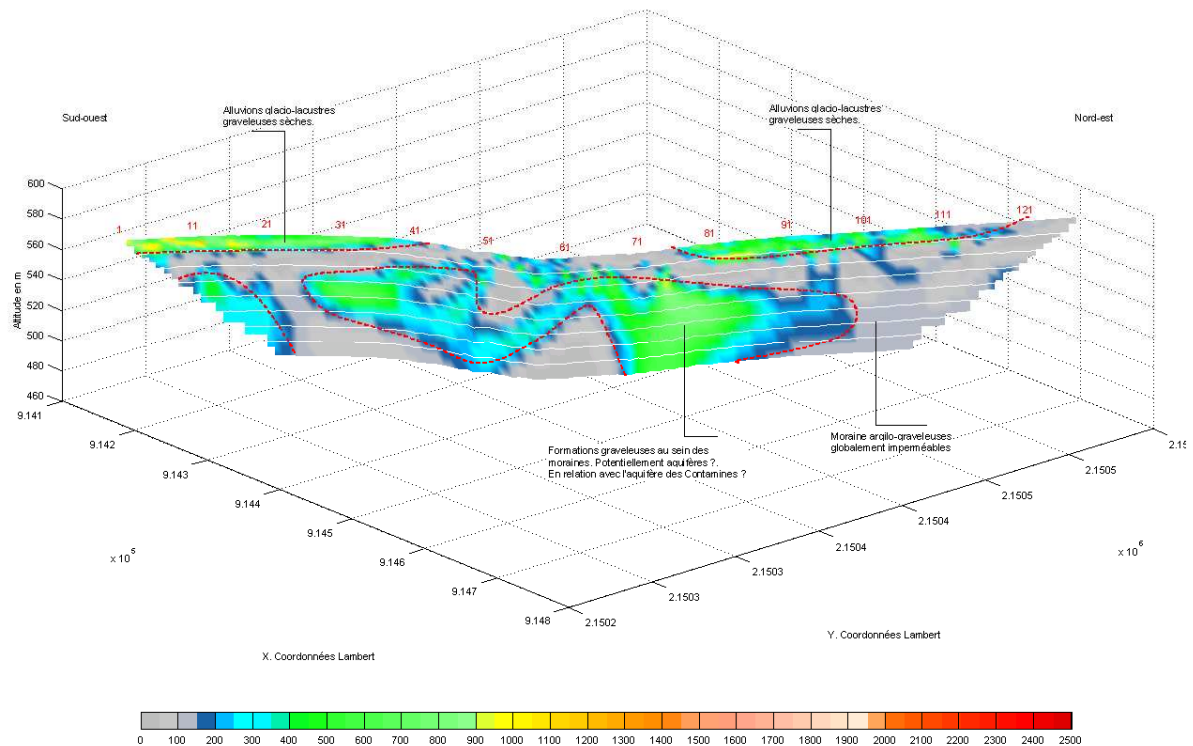




Syndicat d'Eau et d'Assainissement de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines. Etude géophysique préliminaire.
Figure 3-16. Profil n°P4. Contexte géologique.



Syndicat d'Eau et d'Assainissement de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines. Etude géophysique préliminaire.
Figure 3-17 Profil n°P4. Coupe géo-électrique interprétée.



3.6 PROFIL N°P5

3.6.1 Caractéristiques du profil.

Position du profil.	Prolongement vers le sud-ouest du profil n°1. Profil parallèle aux courbes de niveau. Entre les forages des Contamines et le hameau de Chez Vezin.
Longueur du profil.	640 mètres.
Position de l'électrode n°1.	X = 914 267 ; Y = 2 14 9 776 (Lambert II) ; Z = ~ 600 mètres.
Position de l'électrode n°128.	X = 914 802 Y = 2 1 50 131 (Lambert II) ; Z = ~ 588 mètres.

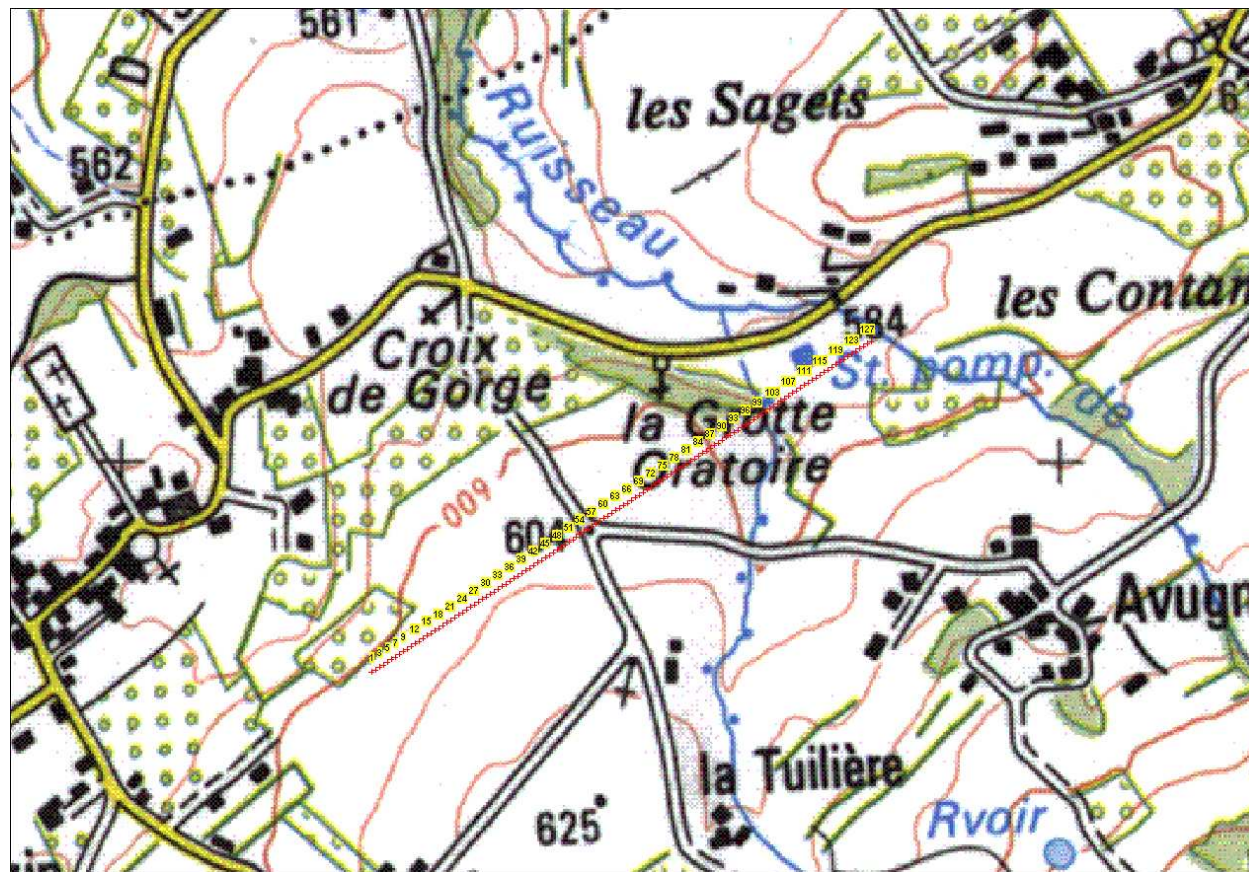
3.6.2 Caractéristiques géologiques, interprétation de la carte géologique.

Points de référence.	Nature du terrain en surface.
Electrode n°1 à 128	Moraines argilo-graveleuses.

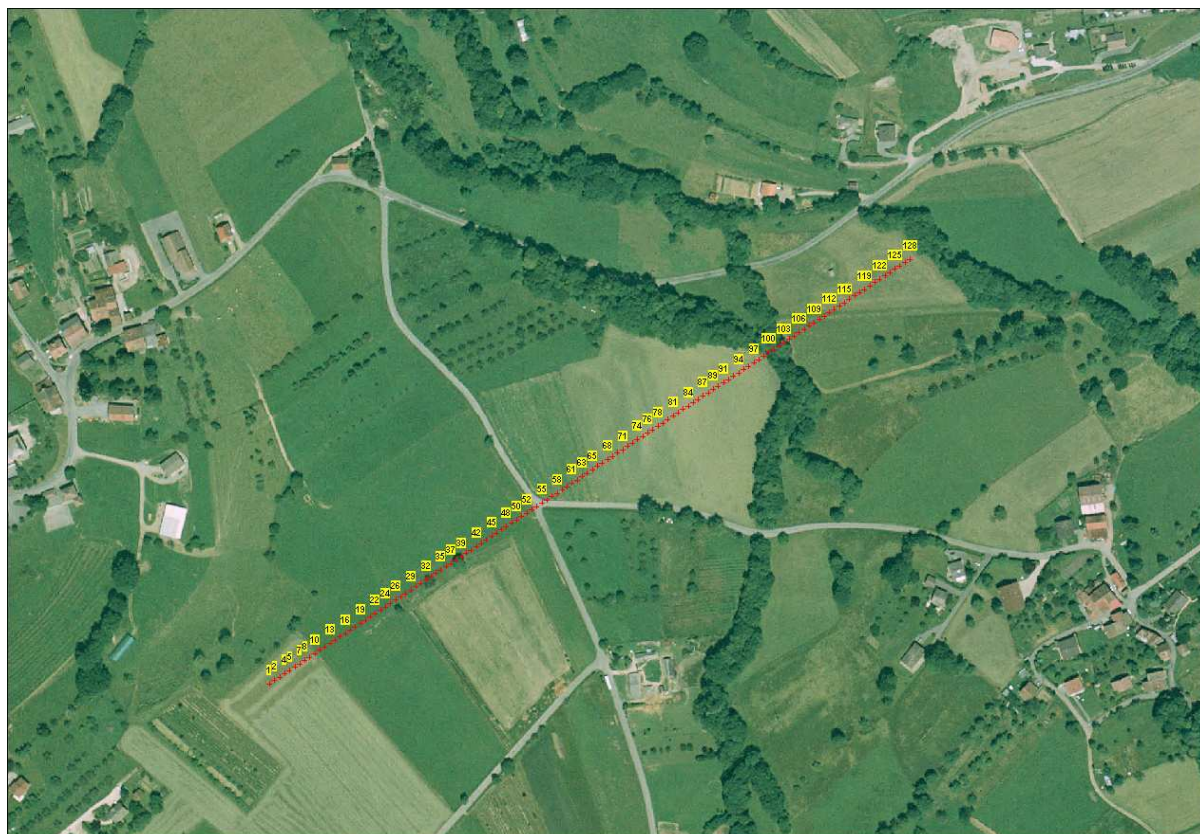
3.6.3 Interprétation.

Les caractéristiques du profil n°5 sont identiques à celles du profil n°4. Sous une couverture de terrains conducteurs (résistivités inférieures à 150 ohm.m), de 10 à 20 mètres d'épaisseur, des terrains potentiellement aquifères de 30 à 50 mètres d'épaisseur, sont observés sur toute la longueur du profil.

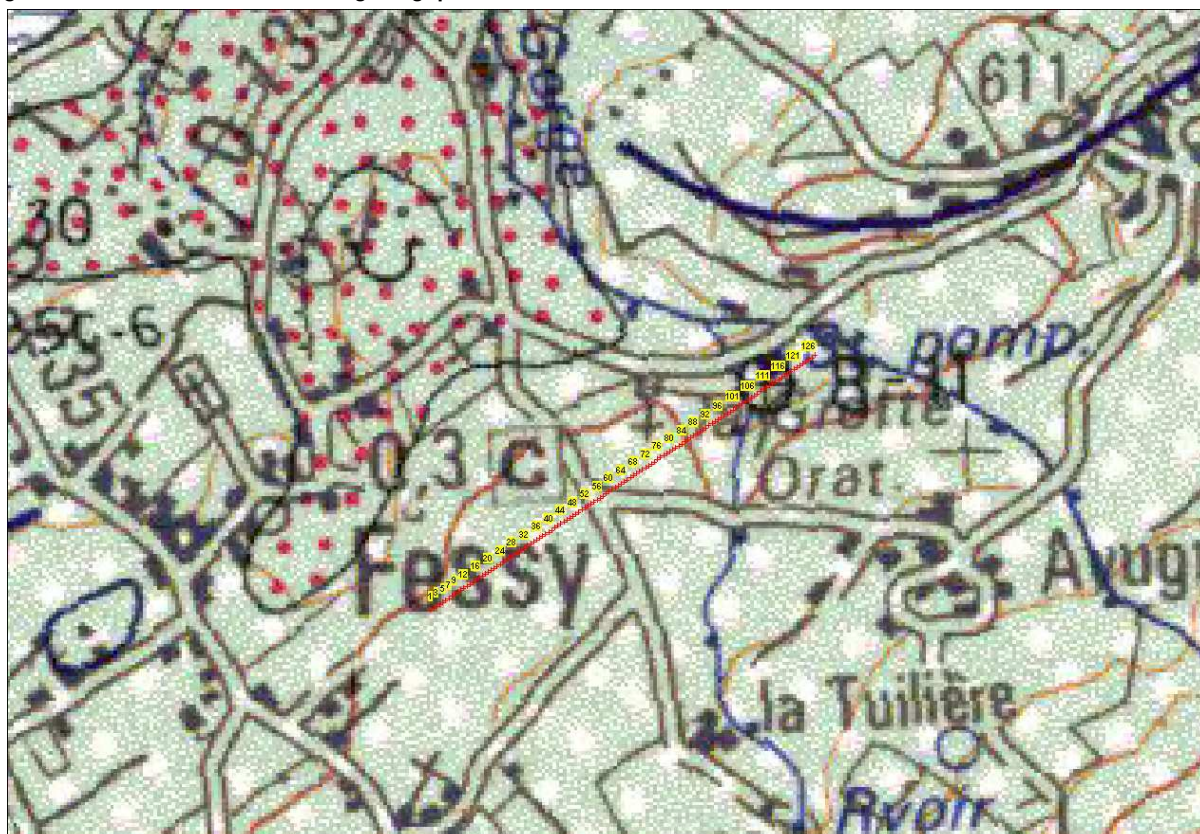
Syndicat d'Eau et d'Assainissement de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines. Etude géophysique préliminaire.
Figure 3-18. Profil n°5. Carte de localisation. Carte Ign.



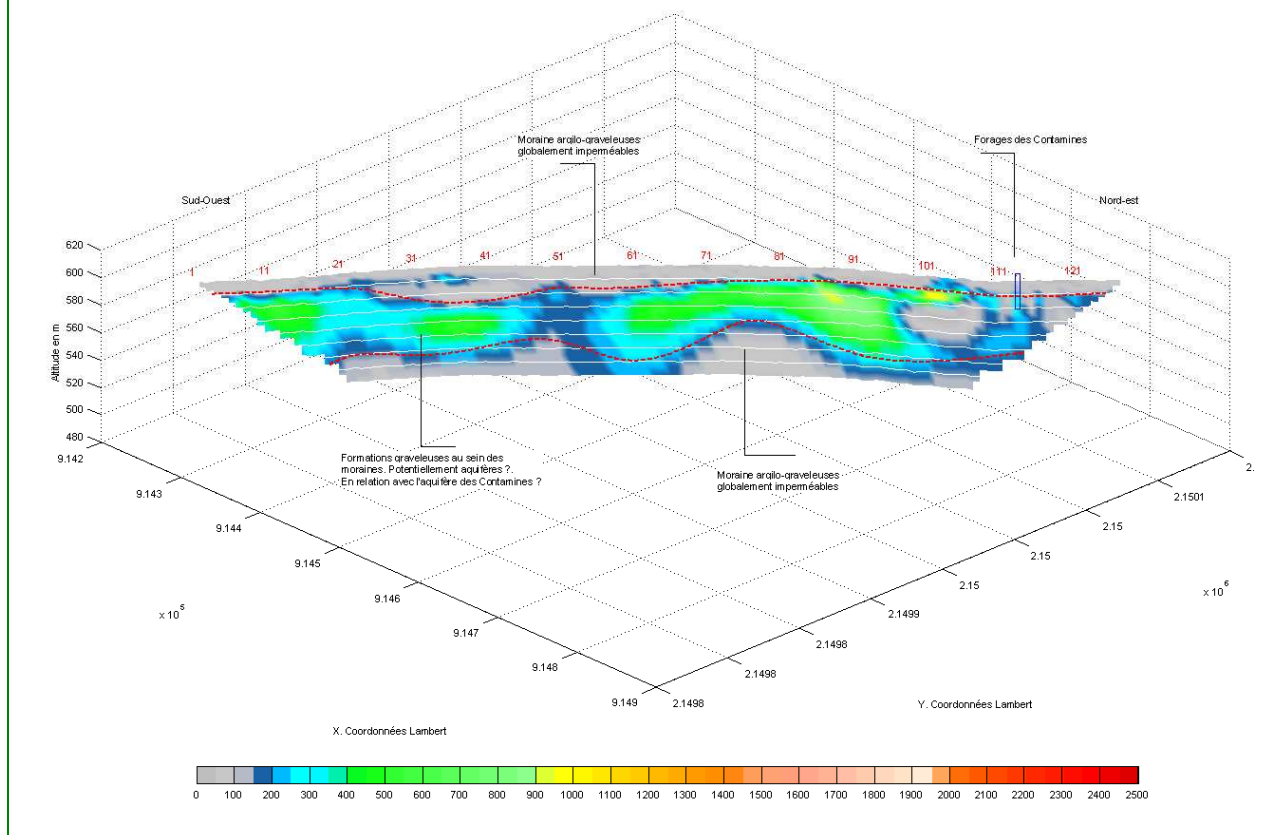
Syndicat d'Eau et d'Assainissement de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines. Etude géophysique préliminaire.
Figure 3-19 Profil n°P5. Carte de localisation. Ph oto aérienne.



Syndicat d'Eau et d'Assainissement de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines. Etude géophysique préliminaire.
Figure 3-20. Profil n°P5. Contexte géologique.



Syndicat d'Eau et d'Assainissement de Fessy - Lully. Etude de l'aquifère des Contamines. Etude géophysique préliminaire.
Figure 3-21 Profil n°P5. Coupe géo-électrique interprétée (1).



3.7 PROFIL N°P6

3.7.1 Caractéristiques du profil.

Position du profil.	Profil perpendiculaire aux courbes de niveau. Localisé au sud des forages des Contamines, entre la départementale D 903 et les hameaux de la Tuillière, Avugnens.
Longueur du profil.	1 240 mètres.
Position de l'électrode n°1.	X = 913 652 ; Y = 2 150 463 (Lambert II) ; Z = ~ 550 mètres.
Position de l'électrode n°248.	X = 914 693 Y = 2 149 795 (Lambert II) ; Z = ~ 610 mètres.

3.7.2 Caractéristiques géologiques, interprétation de la carte géologique.

Points de référence.	Nature du terrain en surface.
Electrode n°1 à 149	Alluvions glacio-lacustres des terrasses de Thonon reposant sur les grès et les conglomérats de la nappe des Voirons. Proximité des grès et des conglomérats de la nappe des Voirons, entre les électrodes n°1 à 30.
Electrode n°149 à 248	Moraines argilo-graveleuses.

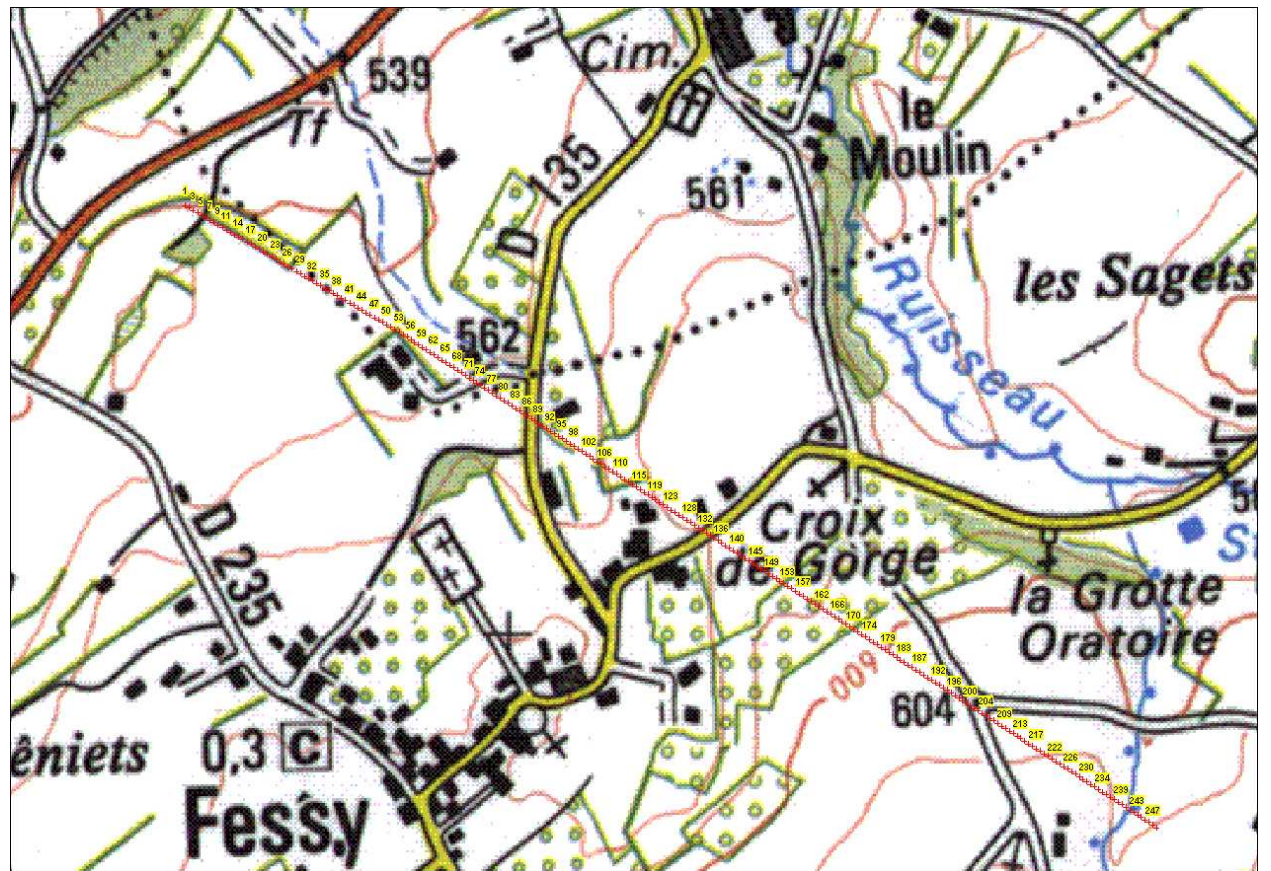
3.7.3 Interprétation.

Les caractéristiques du profil n°6 sont identiques à celles du profil n°2. Le profil est caractérisé par deux parties distinctes :

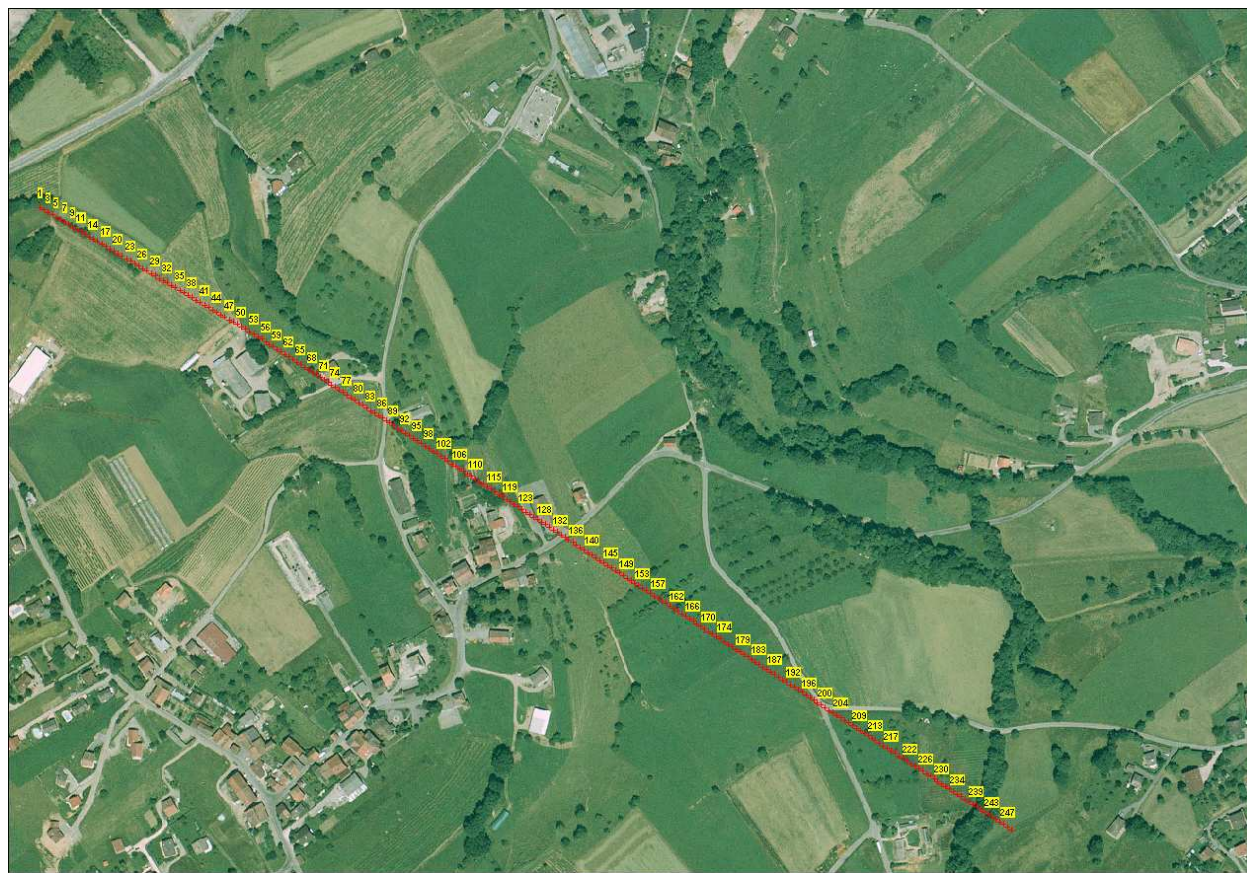
- au nord ouest, entre les électrodes 1 et 131, des formations résistantes, mal structurées, sont enveloppées de terrains conducteurs. Cette partie du profil est interprétée comme des terrains morainiques recouvrant le substratum peu profond de la nappe des Voirons ;
- au sud-est de l'électrode 131 jusqu'à l'extrémité du profil, une couche de terrains moyennement résistants de 30 à 50 mètres d'épaisseur, potentiellement aquifères, est observée entre 20 et 30 mètres de profondeur.

Si le caractère aquifère de ces terrains est avéré, ils présentent un potentiel de ressource important.

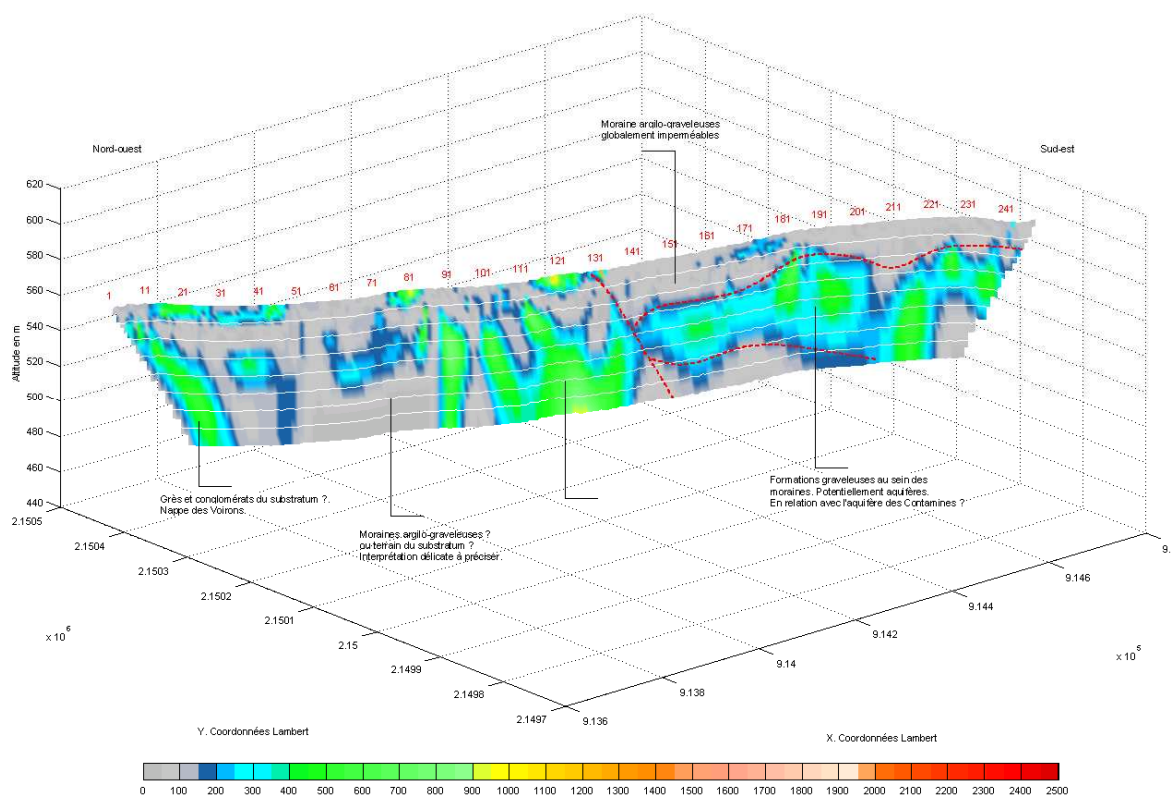
Syndicat d'Eau et d'Assainissement de Fessy - Lully. Etude de l'aquifère des Contamines. Etude géophysique préliminaire.
Figure 3-22. Profil n°6. Carte de localisation. Carte Ign.



Syndicat d'Eau et d'Assainissement de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines. Etude géophysique préliminaire.
Figure 3-23 Profil n°P6. Carte de localisation. Photo aérienne.



Syndicat d'Eau et d'Assainissement de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines. Etude géophysique préliminaire.
Figure 3-24. Profil n°P6. Coupe géo-électrique interprétée.



4. SYNTHESE DES OBSERVATIONS GEOPHYSIQUES.

L'interprétation des profils géophysiques réalisés autour des forages des Contamines est schématisée sur les figures suivantes.

L'interprétation des profils géophysiques réalisées autour des forages des Contamines, suite à la vérification de la nature des terrains par des forages de reconnaissance, est proposée sur les figures suivantes.

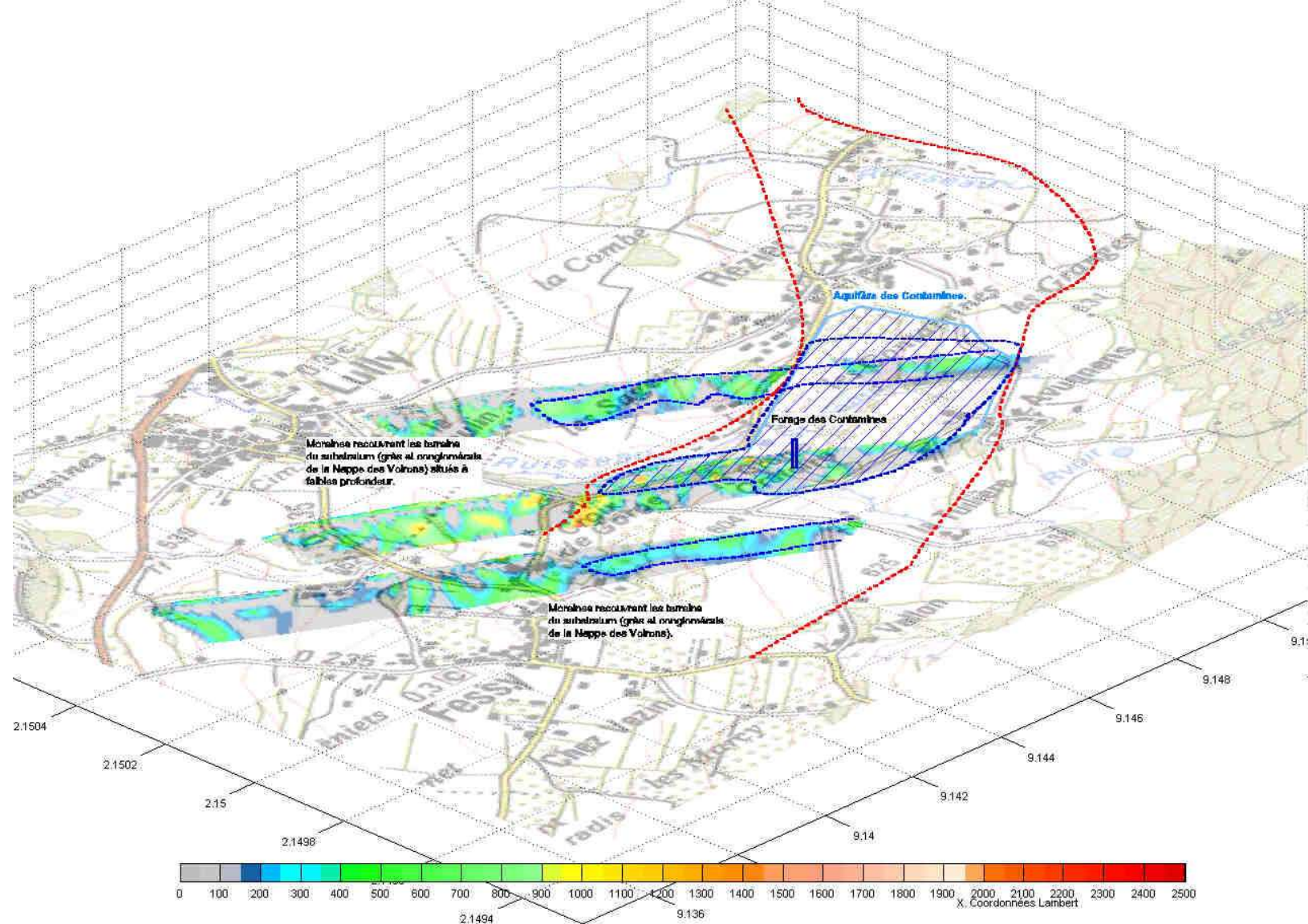
Les terrains présentant des résistivités comprises entre 200 et 600 ohm-mètres ; terrains potentiellement aquifères dans le contexte hydrogéologique local, ne correspondent pas systématiquement à des sables et graviers saturés en eau. La majeure partie correspond malheureusement à des moraines argilo-graveleuses peu perméables et localement faiblement aquifères.

Les terrains graveleux aquifères sont localisés sur une petite superficie, autour des forages d'exploitation des Contamines. Ces terrains sont observés sur les profils n°1, n°2, 3 bis, et 5.

Les figures (Figure 4-1 et Figure 4-2) présentent l'évolution de l'interprétation des mesures géophysiques faite avant la réalisation des sondages de reconnaissance et celle réalisée après ces sondages. L'extension de l'aquifère apparaît fortement réduite. La mise en place de ces terrains contenant l'aquifère des Contamines résulte principalement des apports torrentiels en provenance du versant, plus que d'un phénomène plus général correspondant aux dépôts des terrasses de Thonon.

Syndicat d'Eau et d'Assainissement de Fessy - Lully. Etude de l'aquifère des Contamines. Etude géophysique préliminaire.

Figure 4-2 Interprétation des mesures géophysiques après calage à partir des observations géologiques faites lors de la création du réseau piézométrique.



Régie
Départementale d'
Assistance



LE RESEAU PIEZOMETRIQUE. STRUCTURE DE L'AQUIFERE.

5. CREATION DU RESEAU PIEZOMETRIQUE.

Six piézomètres ont été réalisés entre le 25/08/2008 et le 12/02/2009 par l'entreprise Delavoët (Zone artisanale des Tattes, 74380 Nangy), sous le contrôle de la Régie Départementale d'Assistance.

La Figure 5-1 présente la localisation des ouvrages et les différentes nominations adoptées.

Le réseau piézométrique nécessaire à l'étude de la nappe des Contamines a été défini en fonction des résultats des mesures géophysiques, des contraintes hydrogéologiques et foncières.

Sur les six ouvrages réalisés :

- deux recoupent l'aquifère des Contamines à proprement parler (PZ2 et PZ3) ;
- un est localisé en bordure de l'aquifère (PZ4),
- un recoupe des venues d'eau indépendantes de l'aquifère des Contamines (Piézomètre des Chênes) ;
- deux n'ont pas recoupé de structures aquifères (Forage des Sagets et forage de Sur les Vignes).

5.1.1 Caractéristiques des ouvrages.

5.1.1.1 Foration.

Les piézomètres ont été réalisés au marteau fond de trou : méthode Odex (185 mm) avec tubage à l'avancement (185 mm).

5.1.1.2 Equipement.

5.1.1.2.1 Diamètre et nature de l'équipement.

L'ensemble de l'équipement est composé de tubes PVC alimentaire, vissés, de diamètre 112/125 mm. La colonne de soutènement est crépinée au droit des terrains aquifères (caractéristique de la crépine : slot 1 mm, % ouverture : environ 9 %).

5.1.1.2.2 Profondeur.

En fonction de la nature des matériaux rencontrés, les profondeurs prévisionnelles ont été ajustées lors de la réalisation des piézomètres. Les profondeurs des ouvrages sont comprises entre 21,00 mètres (piézomètre n°2) et 38 mètres (piézomètre n°3).

5.1.1.2.3 Massif filtrant.

Le massif filtrant, situé entre le terrain naturel et les crépines, est composé de sables siliceux naturels (2.4/3.4 mm.) lavés et dépoussiérés.

Au-dessus de ce massif filtrant a été mis en place environ 1 m de sablons puis 1 m environ d'argile gonflante (sobranite). Cette argile a été hydratée et le gonflement a duré plus d'une heure avant de réaliser la cimentation.

5.1.1.2.4 Cimentation.

Le ciment a été mis en place gravitairement lorsque le niveau de la sobranite était hors d'eau. Pour les autres ouvrages, le coulis de ciment a été injecté sous pression à l'aide d'un tube d'injection spécifique.

5.1.1.2.5 Développement.

Le développement par soufflage a été réalisé à l'aide de deux opérations distinctes : un premier soufflage après avoir installé le massif filtrant.

Un second soufflage de 30 min à 1h30, une fois l'ouvrage complètement équipé.

La durée globale de développement a été de l'ordre de 2 h par ouvrage. Le débit obtenu par soufflage était compris entre 5 et 10 m³/h environ.

5.1.1.2.6 Lithologie.

La partie captante des piézomètres est localisée au droit des alluvions grossières correspondant aux terrains aquifères. Ces alluvions grossières sont composées de galets et graviers, sables grossiers et sables fins plus ou moins argileux.

La foration a été arrêtée lorsque des matériaux argileux étaient rencontrés sur plus d'un mètre d'épaisseur. Avec ces caractéristiques, ce niveau argileux peut alors être interprété comme le mur de l'aquifère.

5.1.1.2.7 Piézométrie.

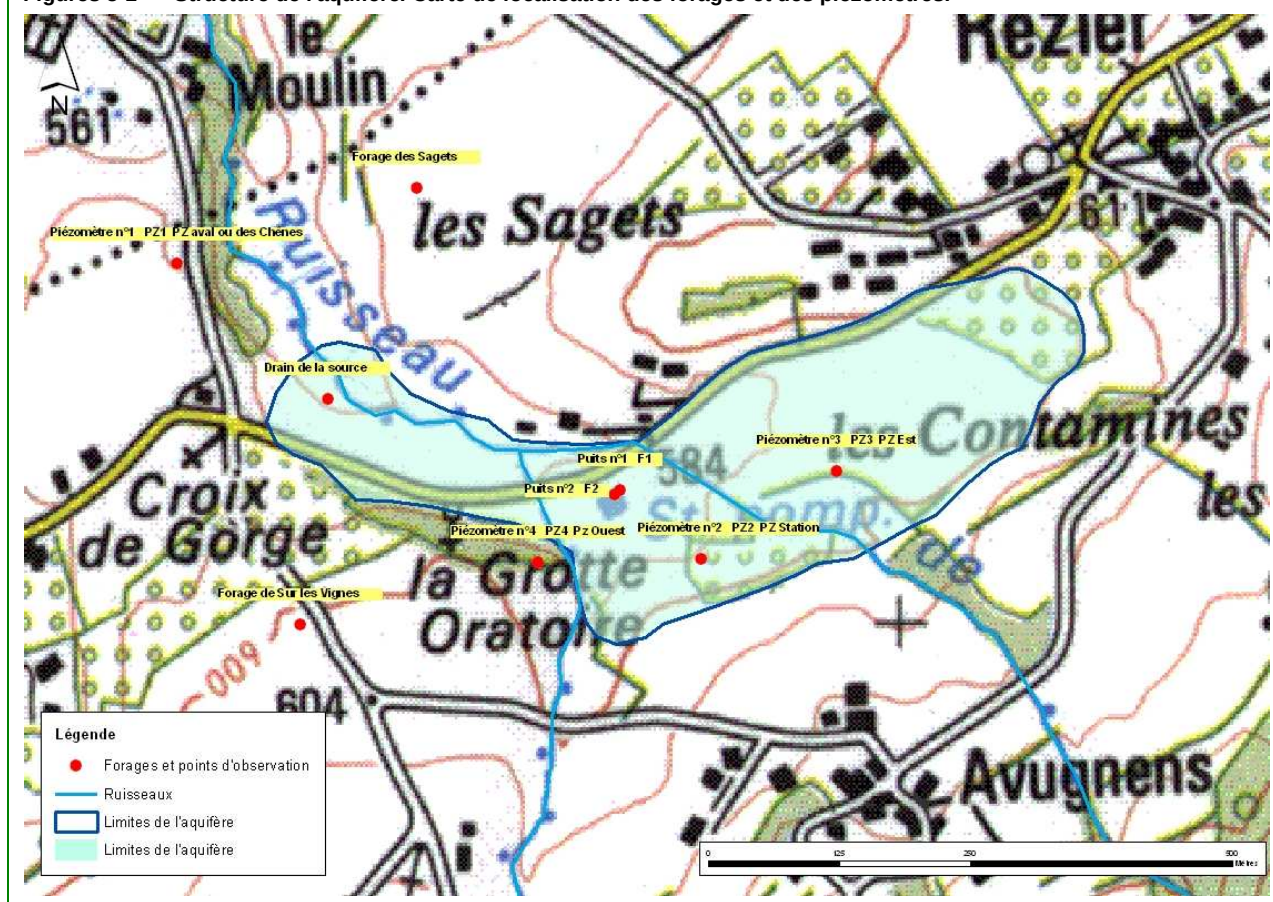
Les ouvrages suivants n'ont pas recoupé d'aquifère : Forage des Sagets, forage de Sur les Vignes.

Dans les autres ouvrages, la profondeur des niveaux piézométriques est très variable : Forage des Chênes : 23 m ; Pz2 : 16.50 m ; Pz3 : 15.60 m ; Pz 4 : 12 m.

Le niveau piézométrique relevé au forage des Chênes est indépendant du niveau piézométrique de l'aquifère des Contamines.

Les caractéristiques techniques des ouvrages sont résumées dans le tableau suivant. Les coupes géologiques et techniques sont reportées à la fin de ce chapitre.

Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.
Figures 5-1 Structure de l'aquifère. Carte de localisation des forages et des piézomètres.



5.1.2 Principales caractéristiques techniques des piézomètres.

Nom	Profondeur	Diamètre de l'équipement	Profondeur base de la crépine	Profondeur du sommet de la crépine	Observations à caractère hydrogéologique.
PZ1	32 m	112*125 mm	27.50 m	21.50 m	Piézomètre des Chênes. Venues d'eau en cours de foration entre 23 et 26 mètres et entre 29 et 32 mètres de profondeur. Les terrains aquifères sont globalement argileux et peu productifs.
PZ2	30 m	112*125 mm	30 m	18 m	Piézomètre des Contamines. Venues d'eau franches en cours de foration entre 14.50 et 27 mètres de profondeur. Terrains aquifères constitués par des sables et graviers propres.
PZ3	38 m	112*125 mm	36.80 m	15.80 m	Piézomètre des Chenaux. Venues d'eau franches en cours de foration entre 15.60 m et 38 m. de profondeur. Terrains aquifères constitués par des sables et graviers propres.
PZ4	26 m	112*125 mm	25.00 m	12.00 m	Piézomètre de Fillian. Venues d'eau faibles entre 12 et 13 mètres de profondeur et entre 21,70 et 24,30 m. Les terrains aquifères sont globalement argileux et peu productifs.

5.1.3 Coordonnées Lambert II étendu des ouvrages.

	PZ1. Les Chênes	PZ2. Les Contamines	PZ3. Les Chenaux.	PZ4. Fillian	Les Sagets.	Sur les Vignes	Puits d'exploitation n°1	Puits d'exploitation n°2
X	914 317	914 317	914 945	914 660	914 545	914 430	914 740	914 660
Y	2 150 343	2 150 343	2 150 146	2 150 0 59	2 150 415	2 149 999	2 150 129	2 150 059

5.1.4 Synthèse des observations géologiques.

Les forages réalisés (ouvrages réalisés à l'occasion de la mise en exploitation de la ressource des Contamines, piézomètres réalisés dans le cadre de cette étude) permettent les constatations suivantes :

- l'extension de l'aquifère des Contamines apparaît limitée et réduite au fond du vallon, dit des Contamines entre les lieux-dits Rézier, Avugnens, la Grotte ;
- les terrains interprétés comme potentiellement aquifères, dans l'étude géophysique, correspondent à des formations morainiques argilo-graveleuses, localement saturées en eau, mais peu aquifères ;
- le mur de l'aquifère des Contamines est situé à une profondeur comprise entre 27,60 et 36,98 mètres au droit des piézomètres PZ2 et PZ3. Le mur est constitué par les terrains du substratum (grès de la nappe des Voirons) et par des moraines argilo-graveleuses ;
- les terrains aquifères correspondent au remplissage d'une petite dépression localisée entre le versant de la montagne de la Tête du Char et la crête morainique observée au sud du hameau de Rézier. Cette dépression se prolonge dans le vallon du ruisseau de la Gorge en direction de Lully, à mi-distance environ entre le hameau de Lully et la station de pompage, au droit de l'ancienne source captée de Lully ;
- l'épaisseur des terrains aquifères saturés en eau est comprise entre 6, 12.50 et 21.10 mètres aux ouvrages suivants : puits d'exploitation, PZ2 et PZ3. Ils sont recouverts de terrains argilo-graveleux, assurant une protection partielle de la ressource vis à vis des contaminations de surface, dont l'épaisseur est comprise entre 10.30 m, 15.10 m, 8 m au forage d'exploitation, au PZ2 et au PZ3 ;
- les limites de l'aquifère sont constituées par la remontée du substratum gréseux de la nappe des Voirons sur la bordure sud-est de l'aquifère, par la remontée des moraines argilo-graveleuse sur les autres limites. Ces moraines sont également supportées par le substratum gréseux de la nappe des Voirons.

La nappe des Contamines apparaît donc contenue dans des alluvions fluvio et glacio-lacustres constituées de graviers de 2 à 30 mm noyés dans une matrice sableuse. Ces alluvions sont situées entre 8 et 15 mètres de profondeur et leur épaisseur est comprise entre 6 et 21 mètres. Elles sont recouvertes de façon générale par une couverture argileuse graveleuse dont l'épaisseur varie entre 8 et 15 mètres. Cette couverture argileuse maintient l'aquifère en charge partielle au niveau des forages d'exploitation. A l'amont, le niveau piézométrique de la nappe reste libre.

Synthèse de la profondeur et de l'épaisseur des terrains observés au droit des forages.

	PZ1	PZ2	PZ3	PZ4	Puits des Contamines
Profondeur du toit argileux.	23	15 m	8 m	24.30 m m	10.30 m

	PZ1	PZ2	PZ3	PZ4	Puits des Contamines
Epaisseur de la couverture argilo-graveleuse	23 m	15 m	8 m	24.30 m	10.30 m
Profondeur du toit et du mur des terrains graveleux.	23 – 32 m	15.00 – 27.60 m	8.00 – 36.80.00 m	0 – 24.30 mm	10.30 – 21.70 m
Epaisseur de l'aquifère.	9 m	12.50 m m	28.80 mm		11.40 m
Remarques	Aquifère indépendant. Formations à dominantes argileuses.	Aquifère des Contamines	Aquifère des Contamines	Terrains à dominante argileuse avec petite venues d'eau. Niveau piézométrique en relation avec l'aquifère des Contamines.	Aquifère des Contamines.

5.1.5 Synthèse des observations géophysiques et géologiques,

La synthèse des observations géophysiques et géologiques permettent de définir la géométrie du toit et du mur des terrains aquifères.

Cette géométrie est définie par interpolation des valeurs observées, sur toute la surface potentielle de l'aquifère, avec les hypothèses suivantes :

- le mur de l'aquifère est constitué par les niveaux argileux observés à la base des forages. L'altitude la plus basse possible de ce mur est l'altitude correspondant à une profondeur de 40 mètres proche de celle relevée au droit du PZ3. Les valeurs supérieures obtenues par la géophysique, et le calcul d'interpolation, faute de confirmation formelle, sont fixées à 40 mètres. Ce mur est constitué par les terrains gréseux du substratum et par des moraines argilo-graveleuses ;
- le toit de l'aquifère est constitué par les couches argileuses observées en tête des forages. Ces terrains de nature argilo-graveleuse ne permettent pas une mise en charge totale de l'aquifère et sont considérés comme faisant partie intégrante du réservoir.
- l'extension de l'aquifère est définie :
 - à partir des mesures géophysiques en considérant comme limite les zones de transitions entre des terrains conducteurs et résistants. Ces limites peuvent correspondre physiquement à la remontée du substratum ou à des terrains argileux déposés en marge des graviers ;
 - à partir de la superficie des terrains noyés à différentes phases du cycle hydrologique.

L'extension et la géométrie résultante du mur de l'aquifère sont présentées sur les figures suivantes : Figure 5-2, Figure 5-4, Figure 5-6, Figure 5-7.

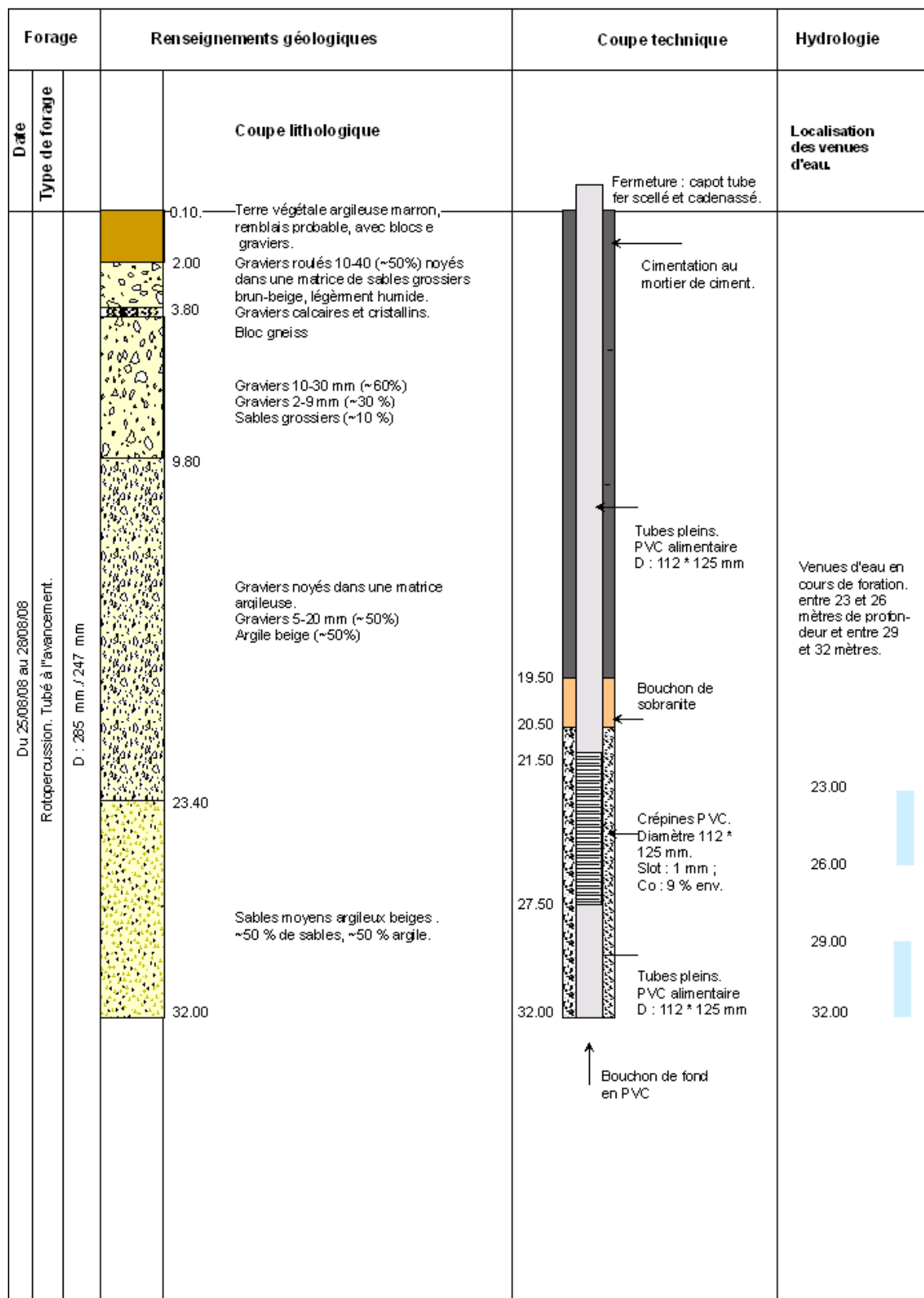
**Syndicat des Eaux de Fessy et Lully.
Forage des Vignes.**

Forage		Renseignements géologiques		Coupe technique	Hydrologie
Date	Type de forage	Coupe lithologique			Localisation des venues d'eau.
Du 28/08/09 au 02/09/08	Rotopercussion. Tubé à l'avancement.	D : 285 mm / 247 mm			Une petite venue d'eau à 20.60 m de profondeur. Asséchée en foration.
			0.00 m. Gros graviers noyés dans une matrice de sables grossiers. 5.00 m. Graviers 10-30 mm noyés dans une matrice argileuse beige. 6.20 m. Graviers 10-30 mm noyés dans une matrice argileuse grise. 13.00 Graviers 5-30 mm noyés dans une matrice argilo-sableuse gris-beige. Graviers : ~60 % Sables argileux : ~40 %. 21.40 Sables grossiers argileux beiges avec graviers 5-30 mm. Sables grossiers (~70%) Graviers (~30%). 25.10 Sables grossiers beige-gris, sans graviers. 27.40 32.00 Terrains du substratum. Grès.	Cimentation au mortier de ciment. 7.00 Forage rebouché avec matériaux extraits du forage. 32.00	

**Syndicat des Eaux de Fessy et Lully.
Forage des Sagets.**

Forage		Renseignements géologiques		Coupe technique	Hydrologie
Date	Type de forage	Coupe lithologique			Localisation des venues d'eau.
Les 05/08/08 - 06/09/08	Rotopercussion. Tubé à l'avancement.	D : 185 mm / 160 mm	0.50 m. Terre végétale argileuse marron. Graviers 0.5 à 40 mm noyés dans une matrice de sables grossiers. Graviers (~50%), sables grossiers (~50%). 15.50 Sables moyens à fins beige, légèrement argileux. 16.70 Argile graveleuse grise sèche. Graviers abondants (~30%) à partir de 25.50 m. 26.40 Sables fins gris beige. 27.60 Terrains du substratum. Grès. 30.00	 Cimentation au mortier de ciment. 7.00 Forage rebouché. 30.00	Terrains secs. Pas de venues d'eau.

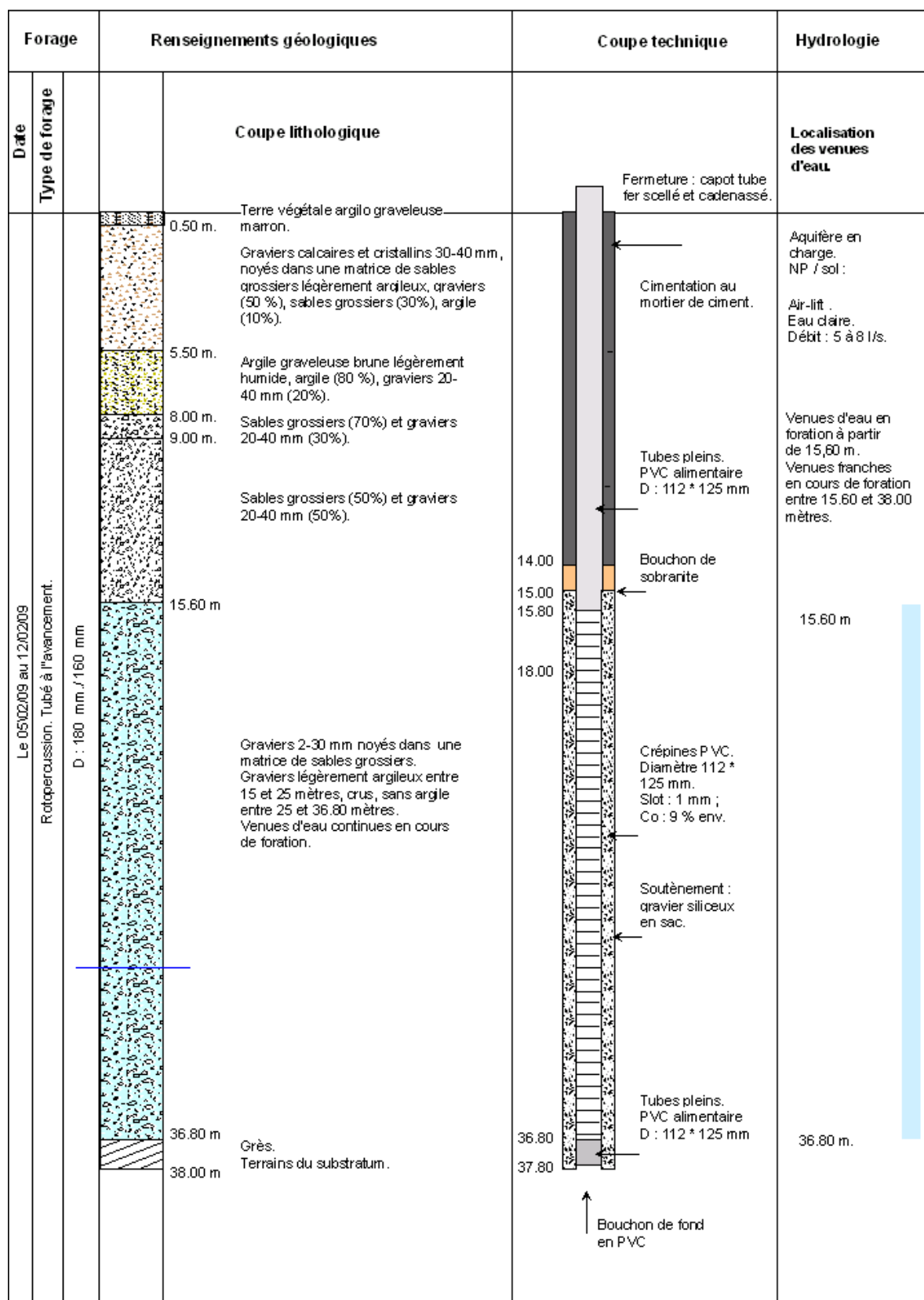
Syndicat des Eaux de Fessy et Lully.
Forage des Chênes.



Syndicat des Eaux de Fessy et Lully.
Piézomètre des Contamines. PZ2.

Forage		Renseignements géologiques		Coupe technique	Hydrologie
Date	Type de forage	Coupe lithologique			Localisation des venues d'eau.
Le 03/09/08 au 05/09/08	Rotopercussion. Tubé à l'avancement.				
	D : 180 mm / 160 mm	0.50 m. Terre végétale argileuse marron. Terre végétale argilo-graveleuse brune. Gravier 5-30 mm (~30%). Argile (~70%). 3.10 m. Argile graveleuse marron humide et collante. Quelques graviers 5-30 mm. 8.90 m. Gravier 5-30 mm noyés dans une matrice argileuse brune. Gravier (~70%) Argile (~30%). 15.10 m. Gravier 2-20 mm noyés dans une matrice de sables grossiers. Gravier légèrement argileux entre 15 et 21 mètres, crus, sans argile entre 21 et 27 mètres. Venues d'eau continues en cours de foration. 27.60 m. Terrains du substratum. Grès. 30.00 m.		Fermeture : capot tube fer soellé et cadénassé. Cimentation au coulis de ciment. Tubes pleins. PVC alimentaire D : 112 * 125 mm Bouchon de sobranite 14.00 16.00 18.00 Crépines P.V.C. Diamètre 112 * 125 mm. Slot : 1 mm ; Co : 9 % env. Soutènement : gravier siliceux en sac. 30.00 Bouchon de fond en PVC	Aquifère en charge. NP / sol : Air-lift. Eau claire. Débit : 5 l/s. Venues d'eau en foration à partir de 14,50 m. Venues franches en cours de foration entre 16 et 27 mètres. 16.50 27.00

Syndicat des Eaux de Fessy et Lully.
Piézomètre des Chenaux. PZ 3.



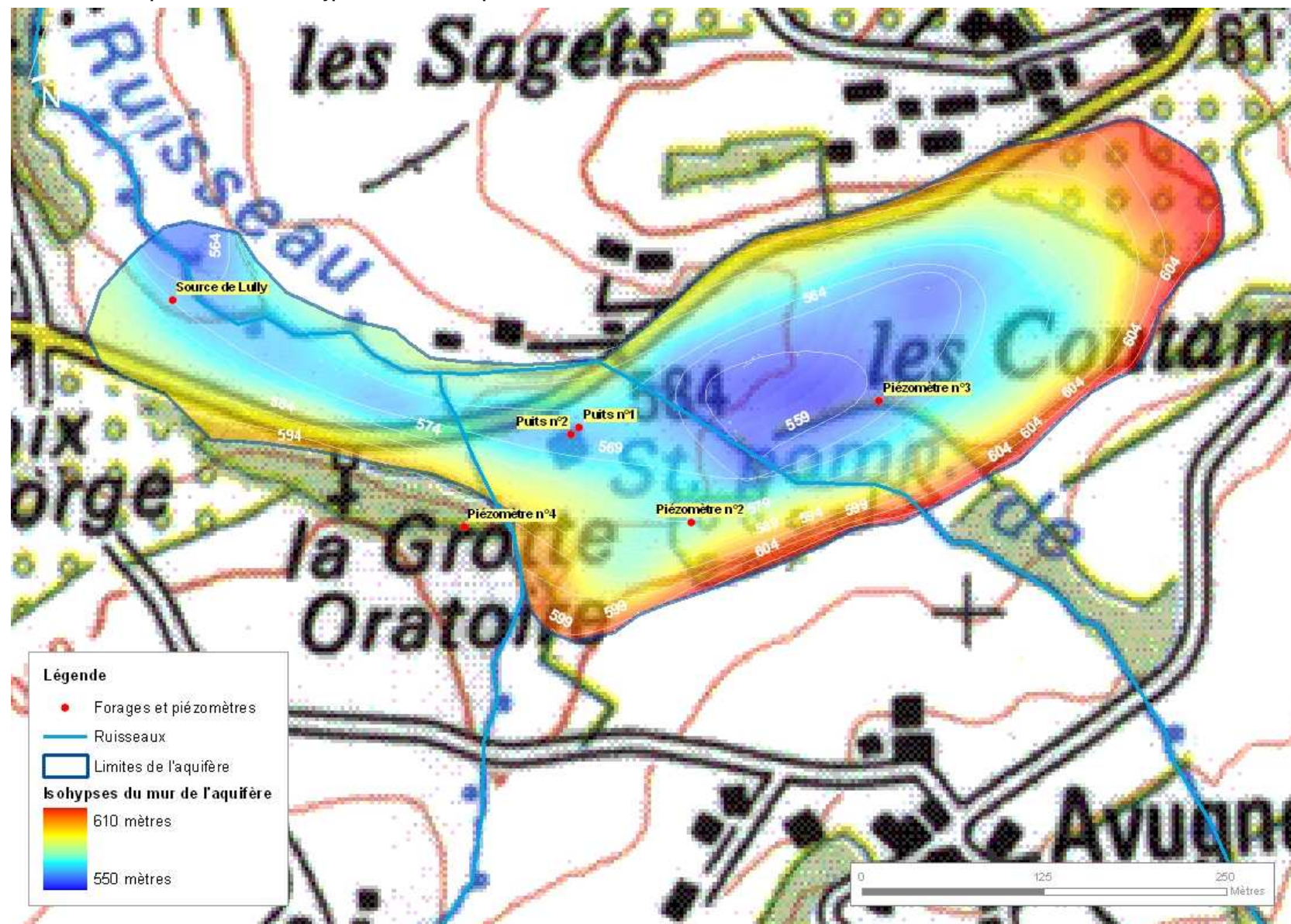
Syndicat des Eaux de Fessy et Lully.
Piézomètre de Fillian Sud. PZ 4.

Forage		Renseignements géologiques		Coupe technique	Hydrologie
Date	Type de forage	Coupe lithologique			Localisation des venues d'eau.
Le 13/02/09 au 16/02/09	Rotopercussion. Tubé à l'avancement.				
	D : 180 mm / 160 mm	0.50 m.	Terre végétale argilo graveleuse marron.	Fermeture : capot tube fer scellé et cadénassé.	
			Argile gravo-sableuse brune.	Cimentation au mortier de ciment.	
		6.00 m.	Sables grossiers et graviers 20-40 mm.	Tubes pleins. PVC alimentaire D : 112 * 125 mm	Petites venues d'eau en foration entre 12 et 13 mètres et entre 21.70 et 24.30 m. Vaporisées en cours de foration.
		7.50 m.	Sables (80%), graviers (20%).		
			Graviers et sables argileux. Graviers 20-30 mm (40%), sables grossiers (40%), argile (20%). Petites venues d'eau entre 12 et 13 mètres de profondeur.	Bouchon de sobranite	Profondeur du niveau piézométrique en fin de travaux : 11.90 m.
		17.00 m.	Graviers et sables argileux. Graviers 20-30 mm (30%), sables grossiers (20%), argile (50%). Petites venues d'eau à partir de 21.70 m	Crépines P.V.C. Diamètre 112 * 125 mm. Slot : 1 mm ; Co : 9 % env.	12.00 m
		24.30 m	Argile grise compacte sèche.	Soutènement : gravier siliceux en sac.	13.00 m
		26.00 m		Tubes pleins. PVC alimentaire D : 112 * 125 mm	21.70 m
				Bouchon de fond en PVC	24.30 m
					Air-lift. Eau trouble. Débit : 0.5 l/s.

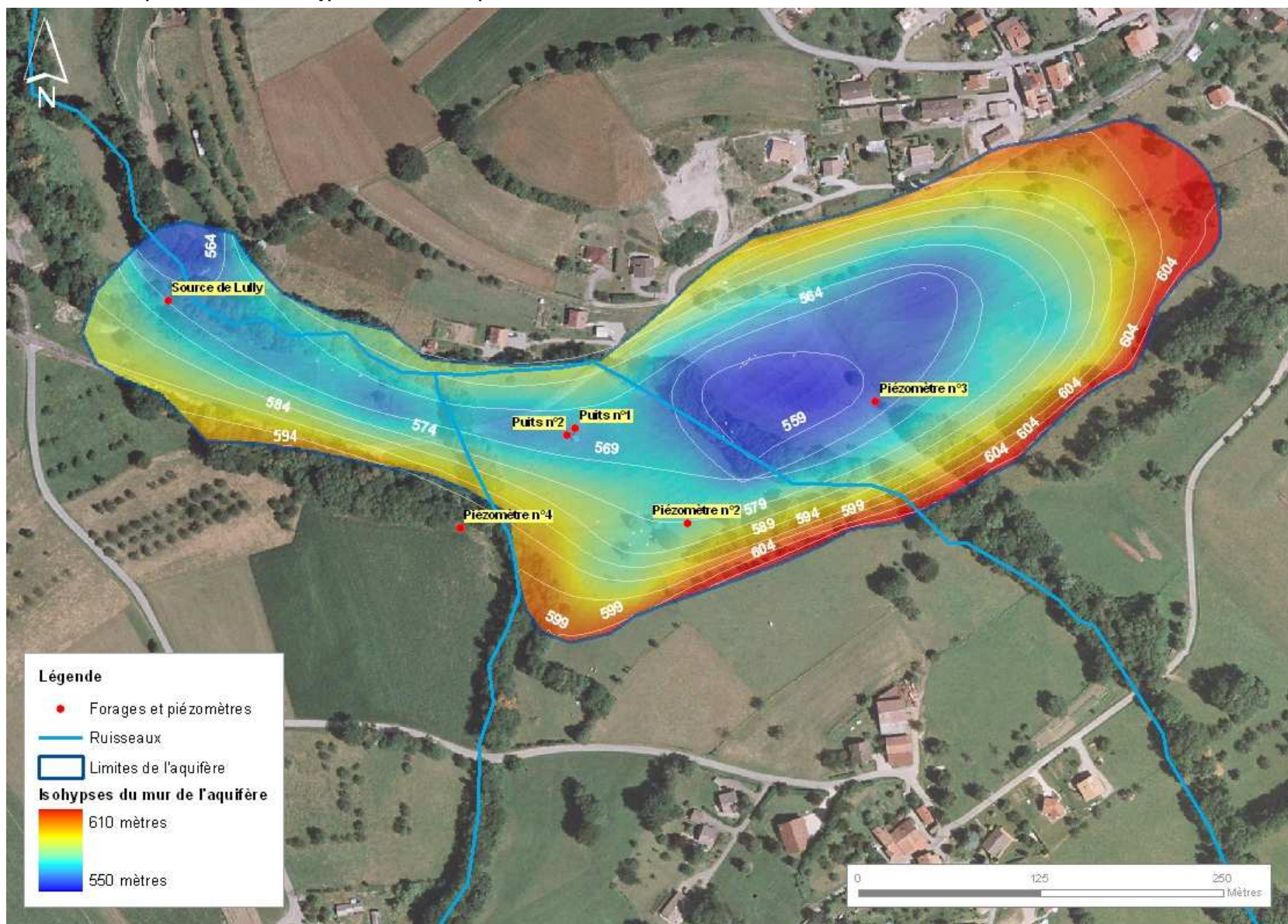
Syndicat des Eaux de Fessy et Lully.
Forage des Contamines. Ouvrage de captage.

Forage		Renseignements géologiques		Coupe technique	Hydrologie
Date	Type de forage		Coupe lithologique		Localisation des venues d'eau.
Réalisé en 1966			 0.60 Terre végétale Argile jaune légèrement sableuse. Graviers et galets noyés dans une matrice argilo-sableuse. Graviers (>50%). Sables argileux (~30%). 8.10 m. Sables très argileux jaune. Graviers et galets. 10.30 m Sables argileux, graviers et galets. Dominante argileuse. 14.90 Argile grise légèrement sableuse avec quelques galets. 16.70 Sables grossiers, galets et graviers. 21.70 m 21.90 m Blocs calcaires noirs plus ou moins bréchiques avec joints de calcite.	 Tubes acier D : 220* 222 mm	

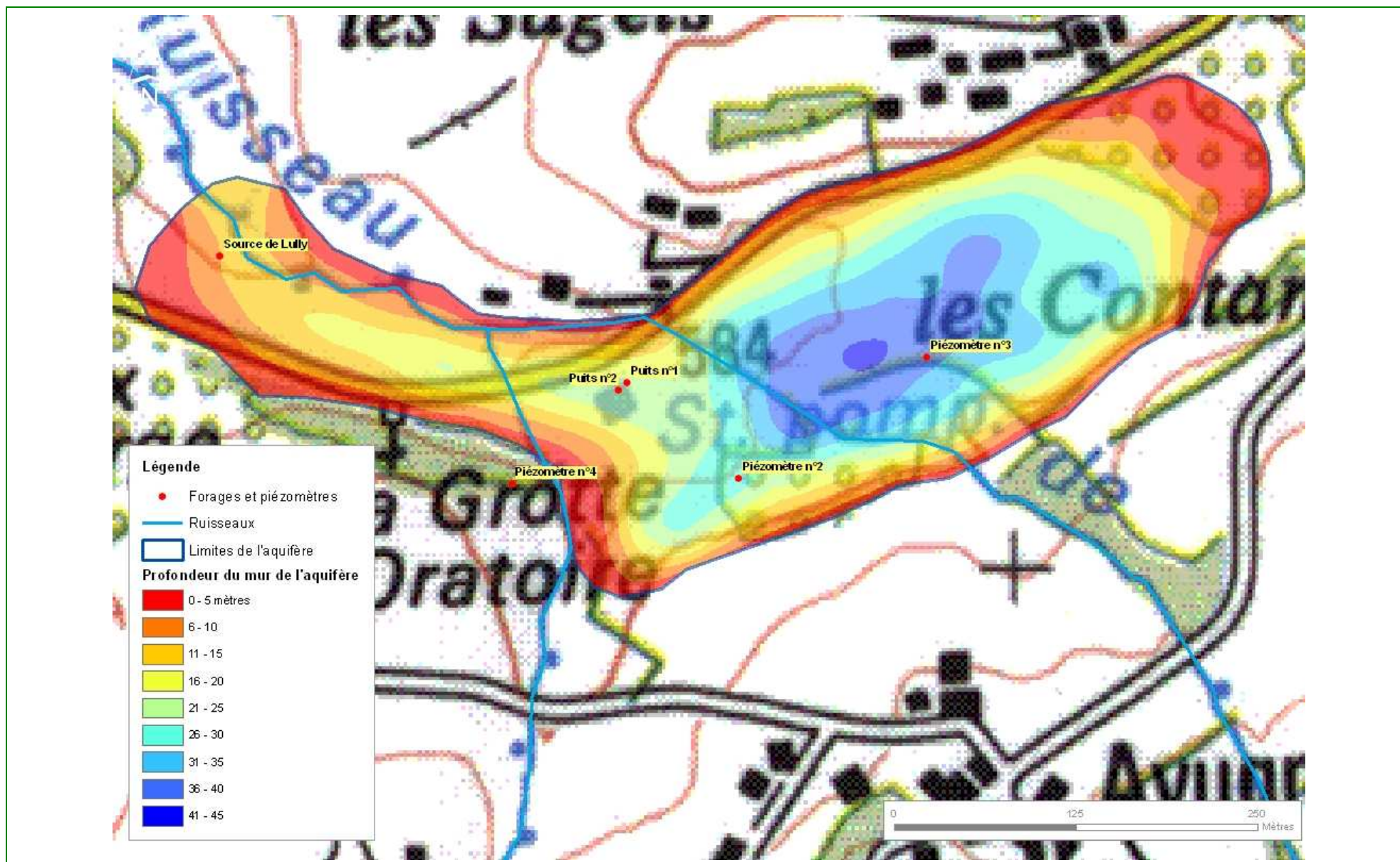
Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.
Figure 5-2 Structure de l'aquifère. Carte des isohypses du mur de l'aquifère.



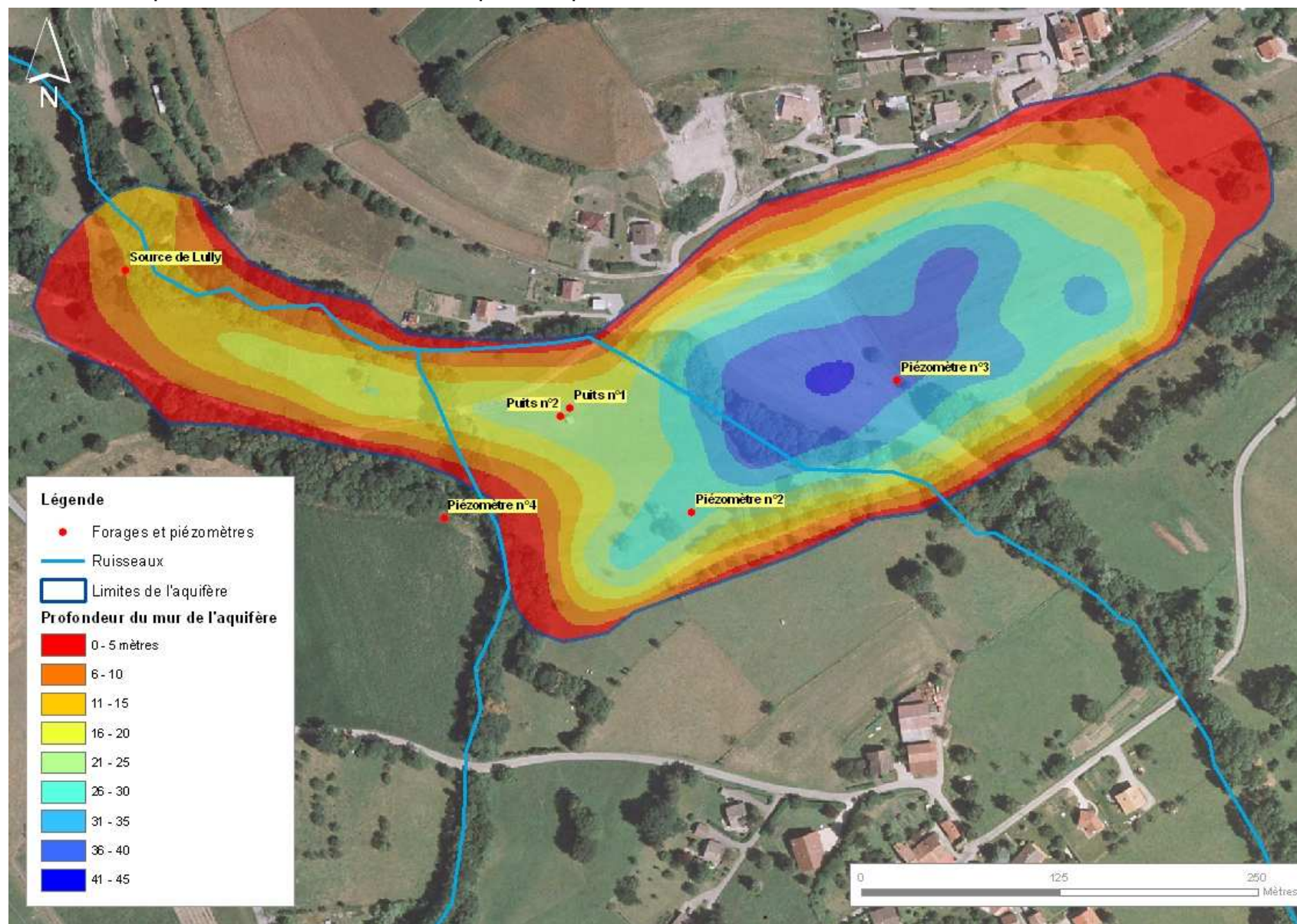
Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.
Figure 5-3 Structure de l'aquifère. Carte des isohypses du mur de l'aquifère.



Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.
Figure 5-4 Structure de l'aquifère. Carte des isobathes du mur de l'aquifère. Carte IGN.

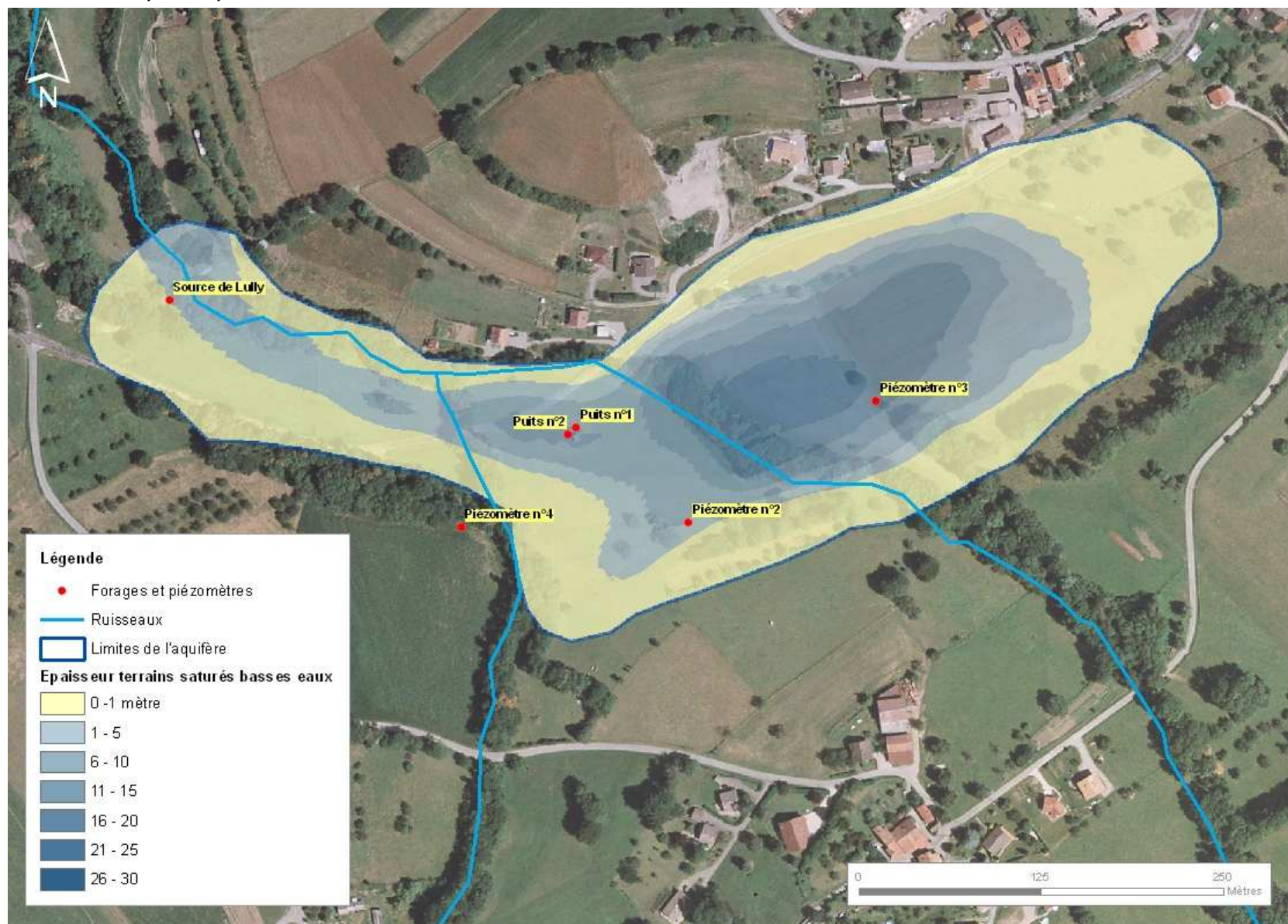


Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.
Figure 5-5 Structure de l'aquifère. Carte des isobathes du mur de l'aquifère. Ortophoto.



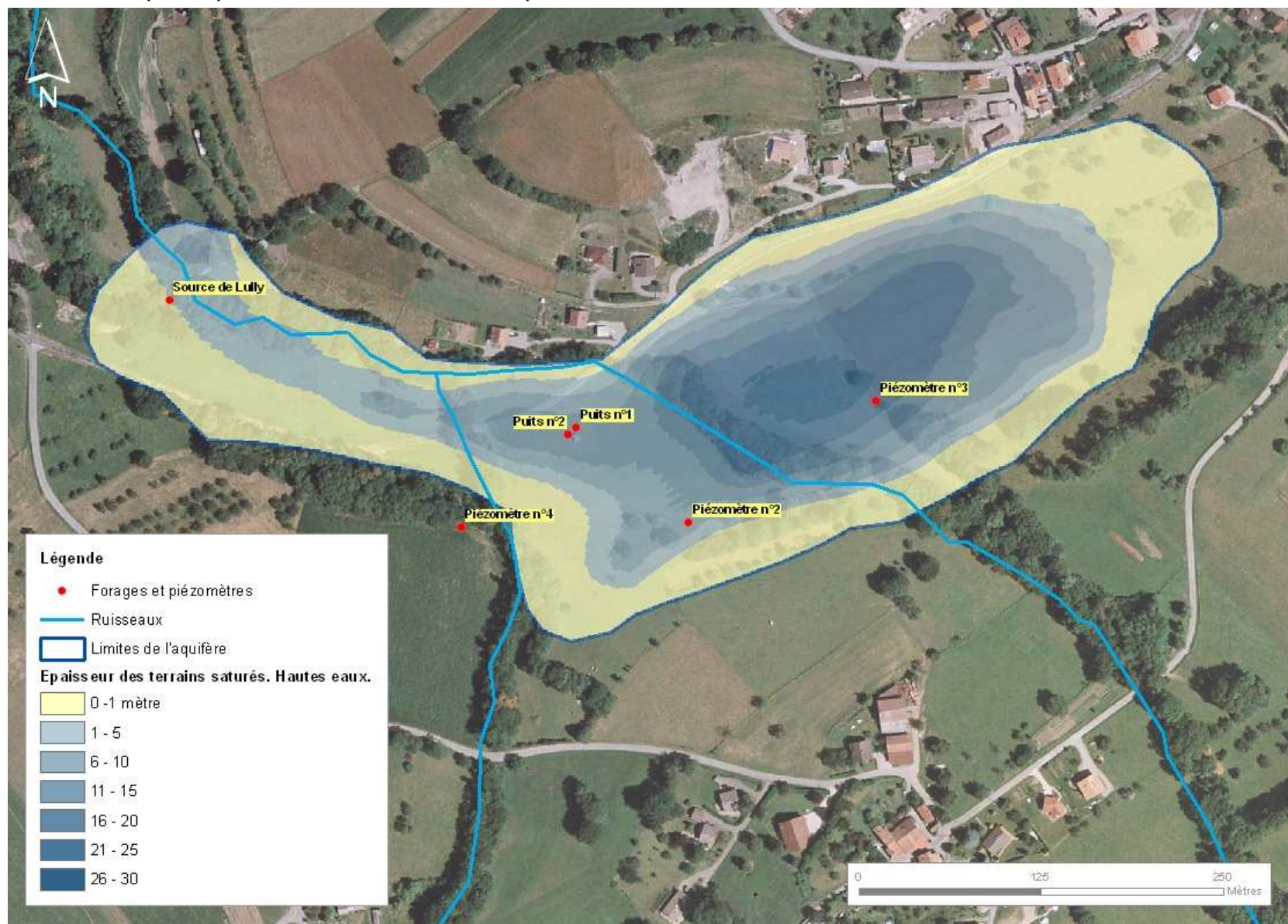
Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 5-6 Structure de l'aquifère. Epaisseur des terrains saturés en eau. Période de basses eaux. .

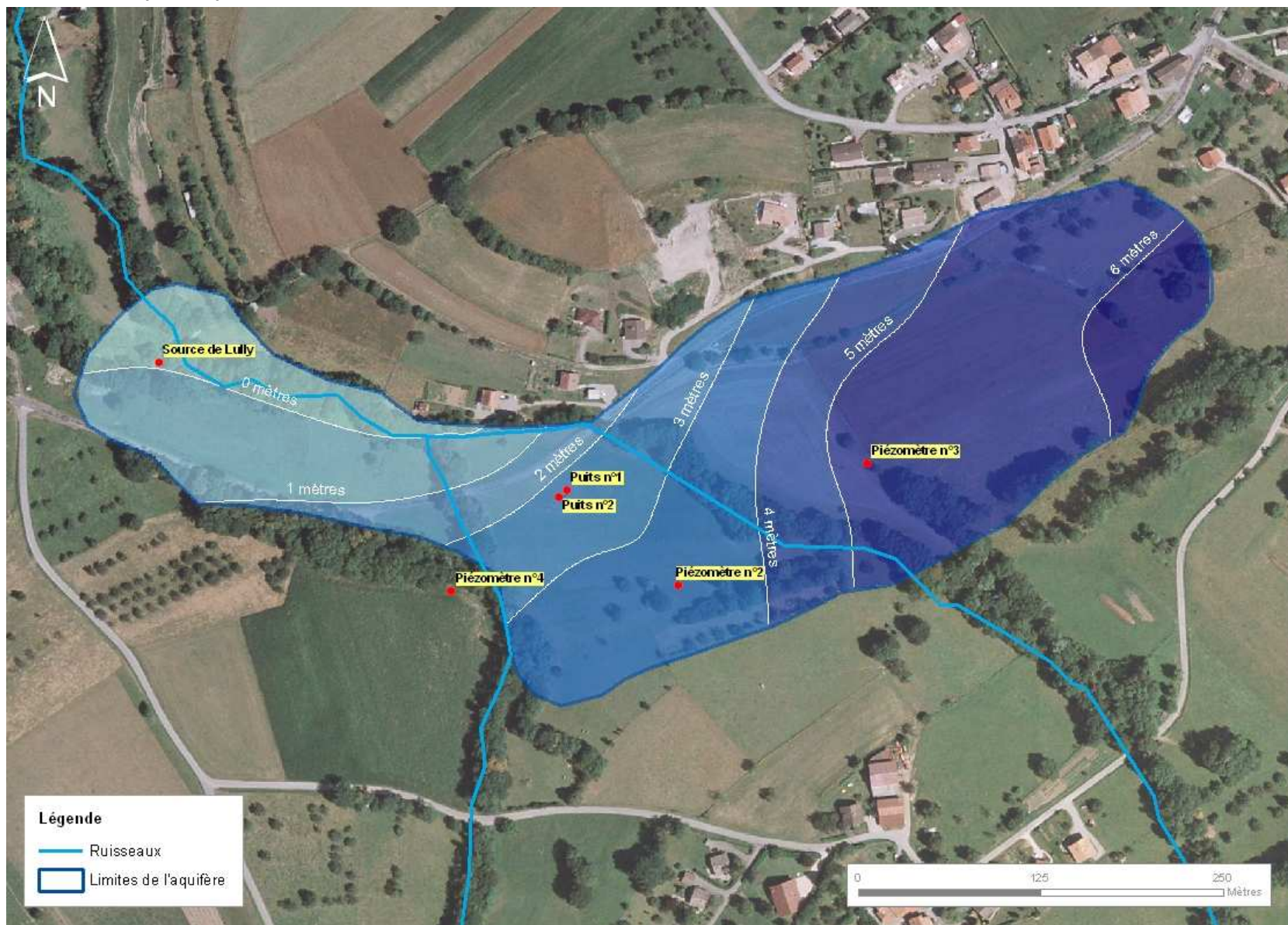


Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

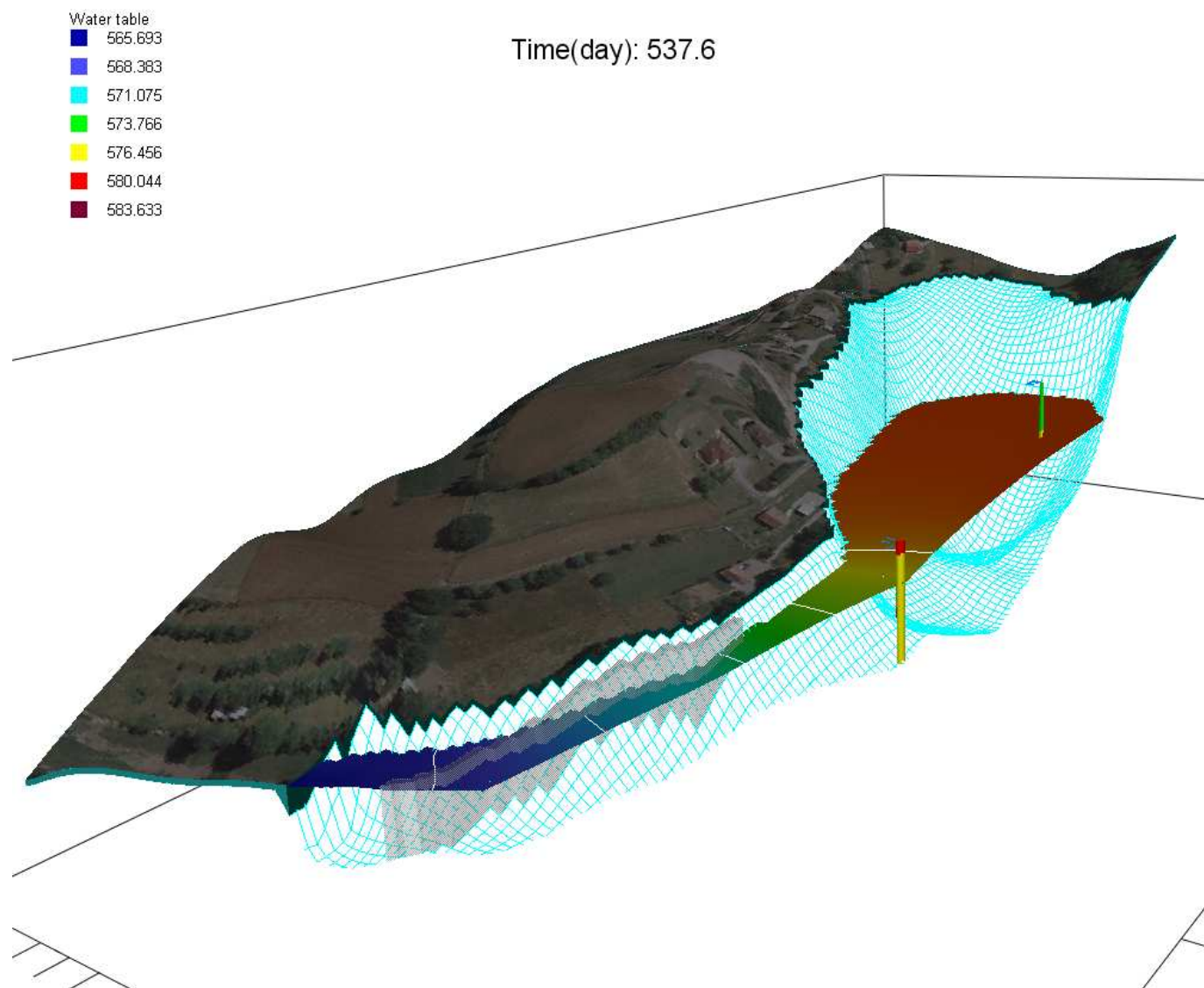
Figure 5-7 Structure de l'aquifère. Epaisseur des terrains de couverture en période de hautes eaux.



Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.
Figure 5-8 Structure de l'aquifère. Epaisseur des terrains de couverture.



Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.
Figure 5-9 Structure de l'aquifère. Représentation schématique (1).



Régie
Départementale d'
Assistance



SUIVI PIEZOMETRIQUE ET COMPORTEMENT HYDRODYNAMIQUE DE L'AQUIFERE.

6. COMPORTEMENT HYDRODYNAMIQUE DE L'AQUIFERE.

L'évolution du niveau piézométrique de l'aquifère au cours d'un cycle hydrologique et au cours de pompages d'essai permet d'apprécier le comportement hydrodynamique de la ressource et de quantifier les principaux paramètres caractéristiques (perméabilité, coefficient d'emménagement).

Les mesures suivantes ont été effectuées :

- enregistrement horaire de la profondeur du niveau piézométrique simultanée, sur tous les ouvrages permettant d'accéder à la nappe (5 points de mesure) entre le 01/03/2009 et le 30/09/2010 ;
- enregistrement horaire ;
- de la variation de la hauteur de la lame d'eau des ruisseaux de la Gorge et de la Tuilière entre le 01/03/2009 et le 30/09/2010 ;
- enregistrement horaire des débits prélevés aux forages des Contamines et des débits écoulés à la source de Fessy entre le 01/03/2009 et le 30/09/2010;

Un pompage d'essai de longue durée a été réalisé entre le 10/06/2009 à 12h00 et le 12/06/2009 à 14h00 (50 heures), au débit moyen de 69 m³/h (1 650 m³/jour). Les caractéristiques hydrodynamiques déterminées au cours de cet essai seront prises comme références pour le calage du modèle.

Ce paragraphe présente :

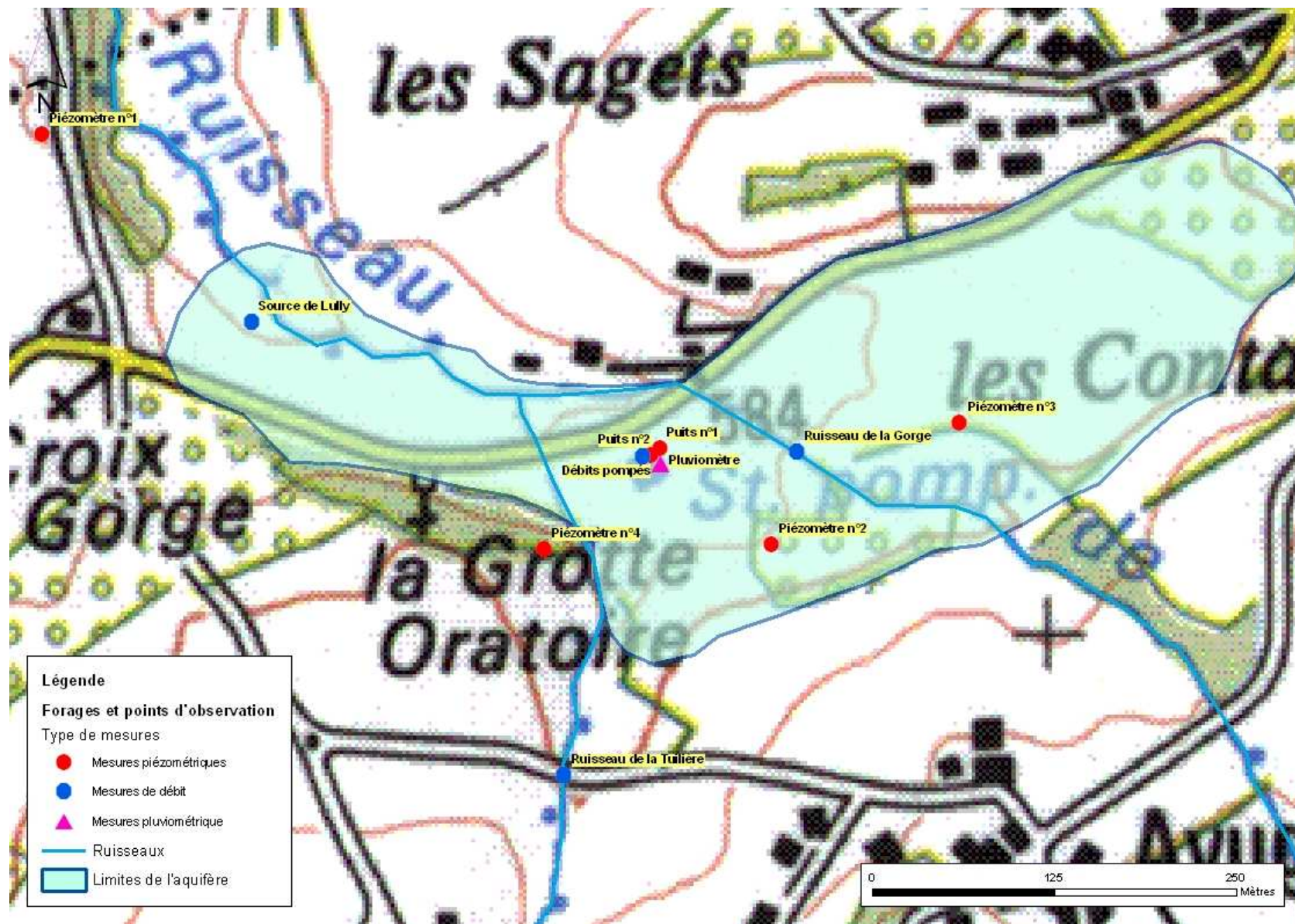
- le contexte météorologique de la période de suivi ;
- l'évolution du niveau piézométrique de l'aquifère et de la hauteur d'eau et du débit des ruisseaux de la Gorge et de la Tuilière avec pour chaque point de mesure :
 - le détail des mesures effectuées sous la forme d'un graphe altitude et profondeur du niveau piézométrique en fonction du temps ;
 - les principaux paramètres statistiques descriptifs ;
 - l'analyse des différentes composantes, de la série de valeurs relevées : tendance, fluctuation saisonnière ou aléatoire, sous la forme de corrélogrammes et de diagrammes présentant le spectre des fréquences des fluctuations observées ;
 - les relations entre les différents points de mesure appréhendées par le calcul de la matrice de corrélation et le corrélogramme des valeurs des ouvrages pris 2 à 2 ;
- les cartes piézométriques observées en période de hautes et basses eaux.

Caractéristiques du suivi et cotes de référence des mesures.

Nom	Type de mesures	Altitude de la référence de mesure	Nature de la référence de mesure
PZ1	Mesure automatique. Enregistreur de niveau. Une mesure / heure.	579.04m	Sommet du tube fer
PZ2	Mesure automatique. Enregistreur de niveau. Une mesure / heure.	590.81 m	Sommet du tube fer
PZ3	Mesure automatique. Enregistreur de niveau. Une mesure / heure.	595.32m	Sommet du tube fer
PZ4	Mesure automatique. Enregistreur de niveau. Une mesure / heure.	591.74 m	Sommet du tube fer
Forage n°1 des Contamines	Mesure automatique. Enregistreur de niveau. Une mesure / heure.	581.26 mm	Sommet du tube fer
Source de Fessy	Mesure automatique. Enregistreur de niveau. Une mesure / heure.	569.39 m	Drains de la source.

Nom	Type de mesures	Altitude de la référence de mesure	Nature de la référence de mesure
Ruisseau de la Gorge	Mesure automatique. Enregistreur de niveau. Une mesure / heure.	582.70 m	
Ruisseau de la Tuilière	Mesure automatique. Enregistreur de niveau. Une mesure / heure	596.60 m	
Précipitations.	Mesure automatique. Enregistreur de niveau. Une mesure / heure	Pluviomètre installé sur le toit de la station de pompage.	

Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.
Figure 6-1 Suivi piézométrique. Carte de localisation des points de mesures.



7. CONTEXTE METEOROLOGIQUE DE LA PERIODE DU SUIVI PIEZOMETRIQUE.

Le contexte météorologique de la période du suivi piézométrique est analysé à partir des mesures effectuées à la station météorologique de Thonon Inra, gérée par Météo France, en service depuis 1956.

7.1.1 Précipitations annuelles.

7.1.1.1 Précipitation de l'année 2008.

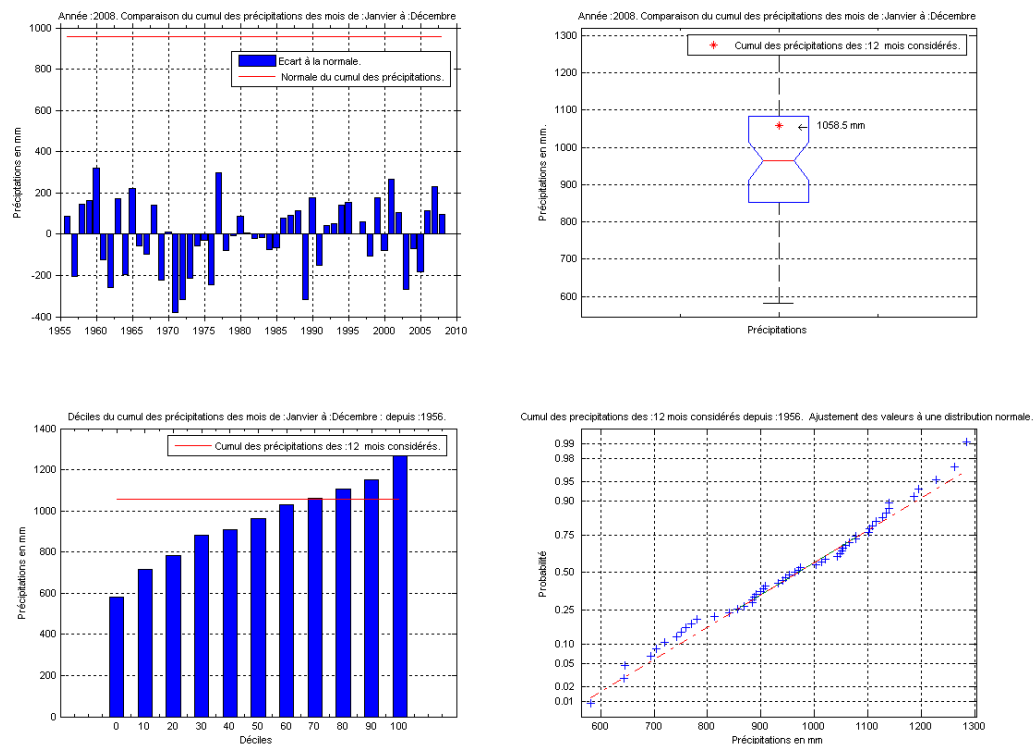
Les précipitations de l'année 2008 (1 058 mm) sont abondantes, proches du troisième quartile des valeurs relevées depuis 1976. L'écart à la normale est voisin de 6 %.

Les cumuls mensuels des précipitations sont cependant fortement contrastés, avec :

- une valeur moyenne au cours des mois de janvier ;
- une valeur faible au cours du mois de février, proche du premier quartile ;
- une valeur légèrement inférieure à la moyenne au cours du mois de mars ;
- une valeur très forte au cours du mois d'avril, proche de la valeur maximale relevée depuis 1956 ;
- une valeur moyenne faible au cours des mois de mai et juin ;
- une valeur forte proche du troisième quartile au cours des mois de juillet et d'août ;
- une valeur très forte proche de la valeur maximale relevée, au mois de septembre ;
- une valeur forte proche de la valeur du troisième quartile au mois d'octobre ;
- une valeur faible inférieure au premier quartile au mois de novembre ;
- une valeur forte supérieure au troisième quartile au mois de décembre.

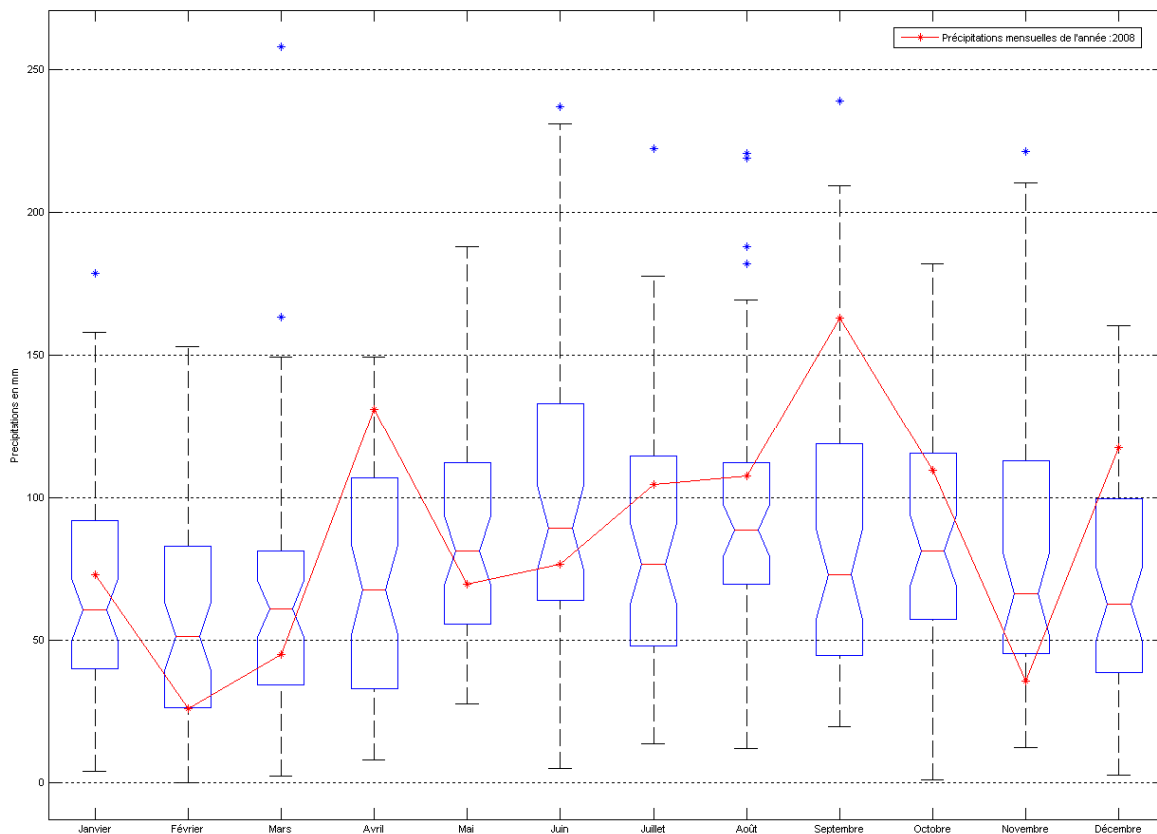
Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 7-1 Suivi piézométrique. Analyse du contexte météorologique. Année 2008. Précipitations annuelles à la station météorologique de Thonon Inra.



Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 7-2 Suivi piézométrique. Analyse du contexte météorologique. Année 2008. Précipitations mensuelles à la station de Thonon Inra.



7.1.1.2 Précipitations de l'année 2009.

Le cumul des précipitations de l'année 2009 (878 mm) sont faibles, légèrement supérieures à la valeur du premier quartile observé depuis 1956.

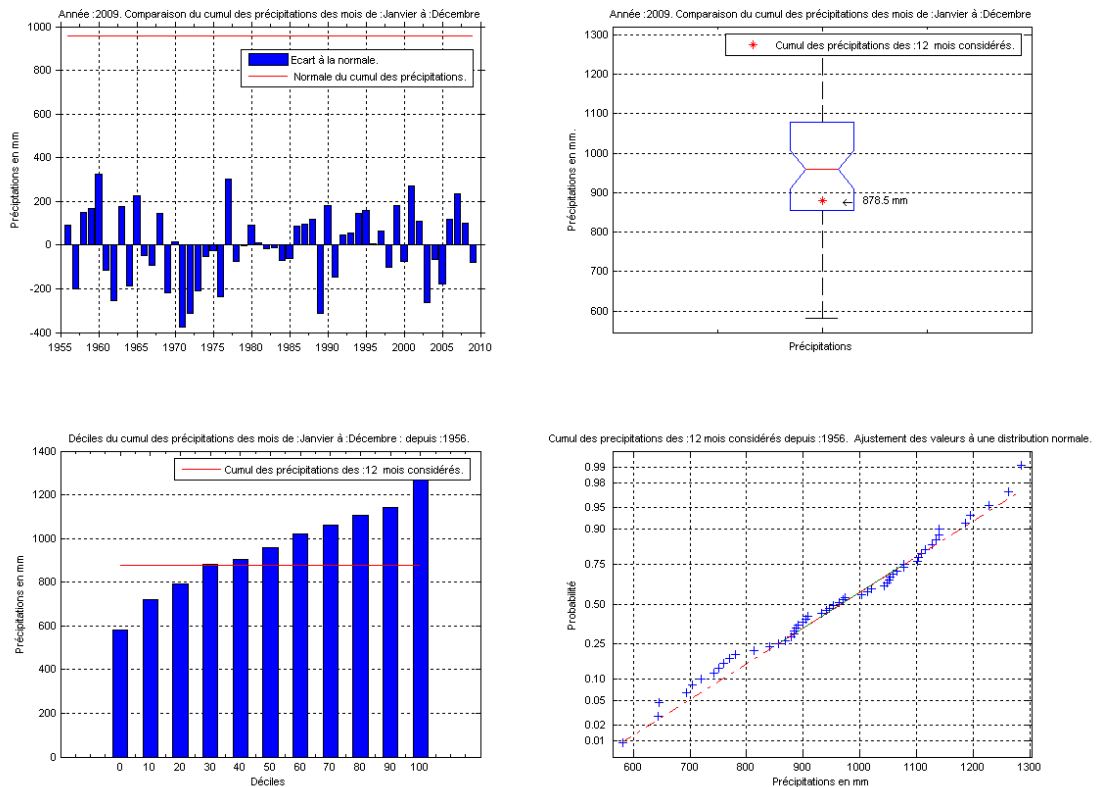
Ces précipitations faibles contrastent avec les précipitations abondantes des deux années précédentes.

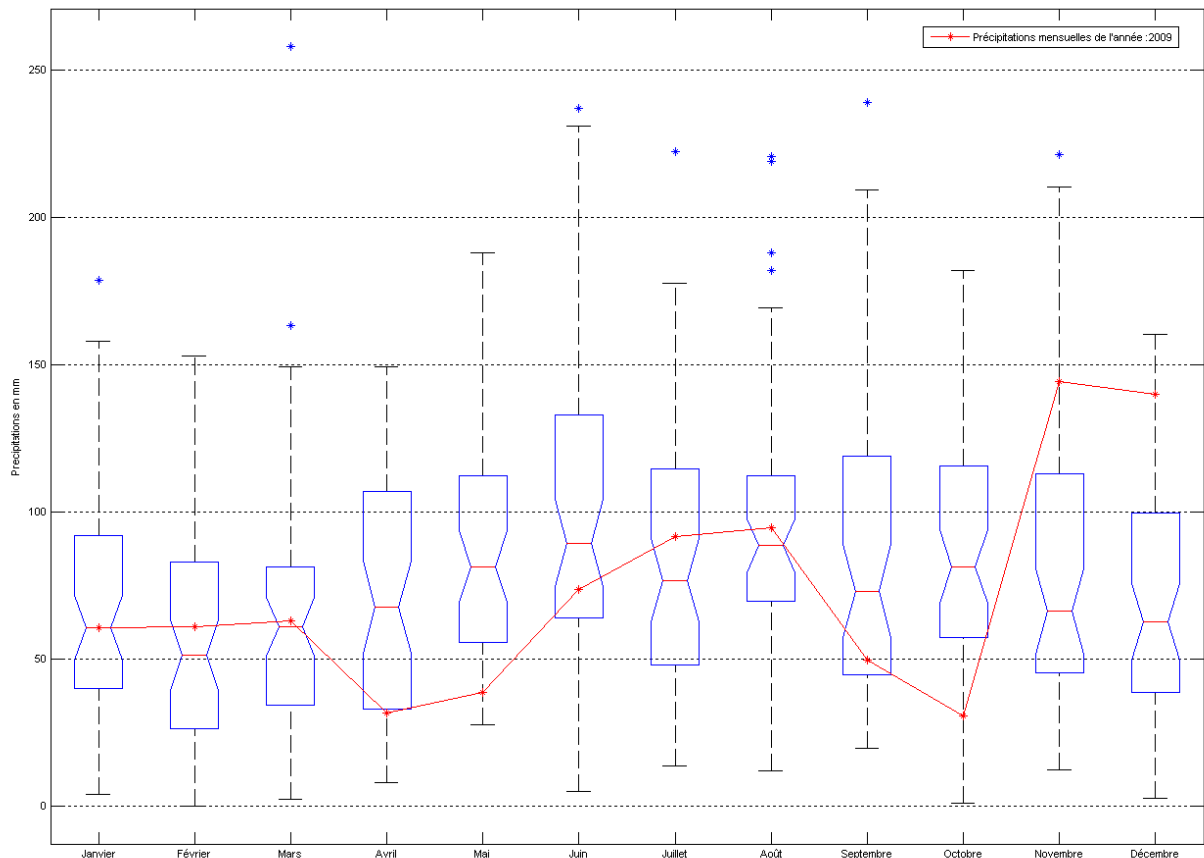
Le cumul des précipitations mensuelles est également contrasté, avec un régime différent de celui de l'année 2009. Les cumuls présentent :

- une valeur proche, légèrement supérieure à la normale au cours des mois de janvier, février, mars ;
- une valeur faible, inférieure au premier quartile, aux mois d'avril et mai ;
- une valeur faible, légèrement supérieure au premier quartile au mois de juin ;
- une valeur légèrement supérieure à la moyenne au cours des mois de juillet et d'août ;
- une valeur faible proche du premier quartile au mois de septembre ;
- une valeur très faible, inférieure au premier quartile au cours du mois d'octobre ;
- une valeur très forte proche de la valeur maximale relevée au cours du mois de novembre et de décembre.

Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 7-3 Suivi piézométrique. Analyse du contexte météorologique. Année 2009. Précipitations annuelles à la station météorologique de Thonon Inra.



Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.**Figure 7-4 Suivi piézométrique. Analyse du contexte météorologique. Année 2009. Précipitations mensuelles à la station de Thonon Inra.****7.1.1.3 Précipitations des neuf premiers mois de l'année 2010.**

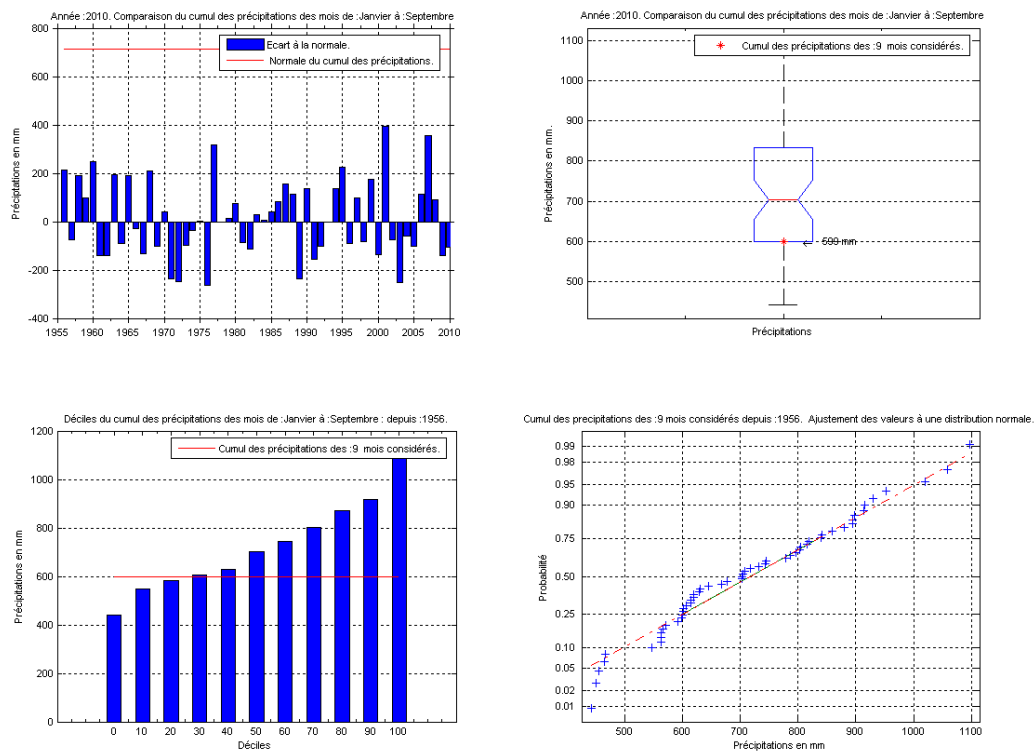
Le cumul des précipitations des 9 premiers mois de l'année 2010 (600 mm) est faible, proche de la valeur du premier quartile observé depuis 1956, pour cette même période de l'année. Les neufs premiers mois de l'année 2010 prolongent la situation déficitaire observée en 2009.

Les précipitations mensuelles sont d'un mois à l'autre contrastée avec :

- une valeur faible proche du premier quartile au cours du mois de janvier ;
- une valeur forte supérieure au troisième quartile au cours du mois de février ;
- une valeur proche de la moyenne en mars ;
- une valeur faible, inférieure au premier quartile au mois d'avril ;
- une valeur forte, inférieure mais proche du troisième quartile en mai ;
- une valeur faible inférieure au premier quartile aux mois de juin et juillet ;
- une valeur forte, supérieure au troisième quartile au mois d'août ;
- une valeur faible, inférieure au premier quartile au mois de septembre.

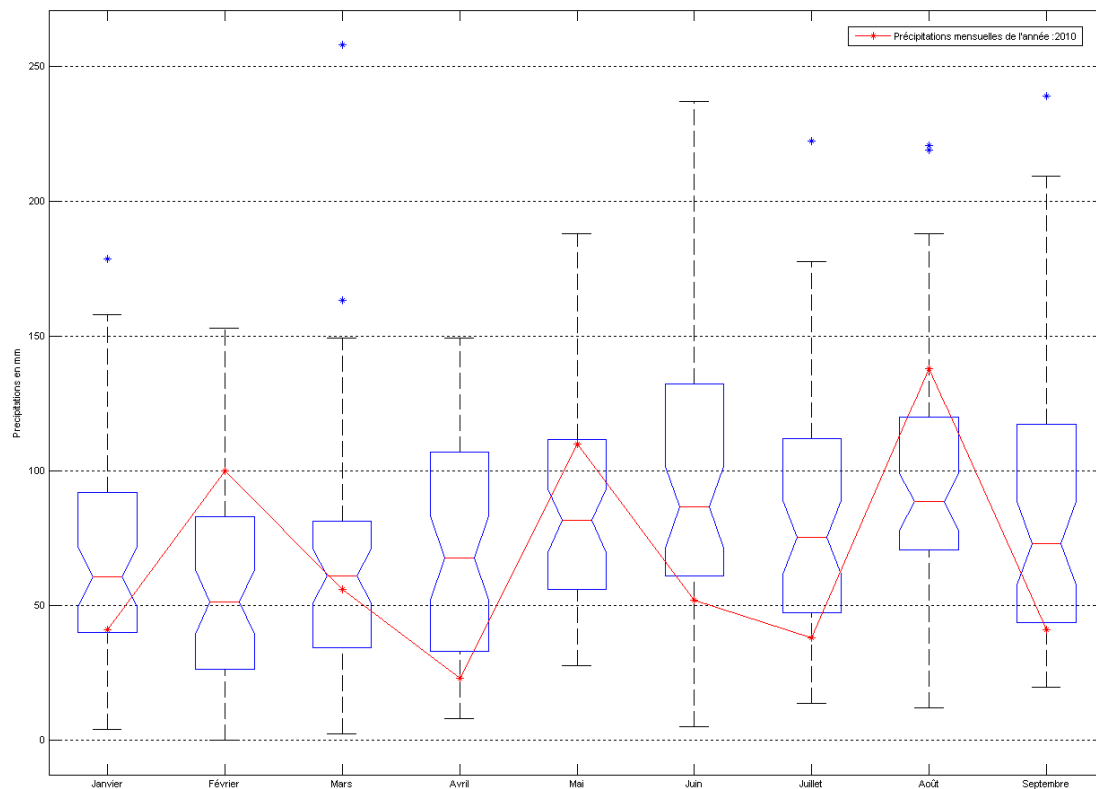
Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 7-5 Suivi piézométrique. Analyse du contexte météorologique. Année 2010. Précipitations annuelles à la station météorologique de Thonon Inra. Mois de janvier à octobre.



Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 7-6 Suivi piézométrique. Analyse du contexte météorologique. Année 2010. Précipitations mensuelles à la station de Thonon Inra.



7.1.1.4 Régime des précipitations.

Au courant de l'année 2008, le régime des précipitations est caractérisé par deux périodes de précipitations : une période au printemps (mois d'avril) et une période à la fin de l'été (mois de septembre).

Au cours de l'année 2009, le régime des précipitations est caractérisé par une seule période de précipitations abondantes à la fin de l'automne (novembre et décembre).

Au cours de l'année 2010, le régime des précipitations est caractérisé par trois périodes de précipitations abondantes au cours de l'hiver (février), au printemps (mai) et en été (août).

Le régime des précipitations ne présente donc pas, d'une année sur l'autre, une saisonnalité marquée au cours d'un cycle hydrologique.

8. PRESENTATION DE L'EVOLUTION DU NIVEAU PIEZOMETRIQUE PENDANT LA PERIODE DE SUIVI.

8.1.1 Présentation de l'évolution du niveau de la nappe au droit de chaque piézomètre. Interprétation.

La Figure 8-3 présente l'évolution de l'altitude du niveau piézométrique pendant la période de suivi et ses relations avec le débit des cours d'eau. Ce graphe met en évidence :

- une forte relation entre l'évolution du niveau piézométrique de l'aquifère au droit de F1, de PZ2 et de PZ3 ;
- une relation très faible entre l'évolution du niveau piézométrique de l'aquifère et celle observée au PZ4 ;
- l'absence de relation entre l'évolution du niveau piézométrique de l'aquifère et celle observée au PZ1 ;
- une forte différence d'altitude entre les niveaux piézométriques de l'aquifère et celle de PZ1. Ces niveaux sont indépendants. Le niveau observé au PZ1 correspond au niveau piézométrique d'une petite structure contenue dans les moraines argilo-graveleuses. Ce niveau n'est pas caractéristique de l'aquifère des Contamines et n'est plus considéré dans la suite de la présentation ;
- une diminution progressive de l'altitude du niveau piézométrique de l'aquifère, de PZ3 au forage d'exploitation. Elle matérialise un écoulement général de l'aquifère de l'Est vers l'Ouest.
- un synchronisme entre l'évolution du niveau piézométrique de l'aquifère et le débit des cours d'eau ;
- l'absence de relation forte entre l'amplitude de la variation du débit et l'amplitude de la variation de la profondeur du niveau piézométrique. La relation qui existe entre les cours d'eau et l'aquifère n'apparaît pas comme l'unique source d'alimentation de l'aquifère. Une alimentation par le substratum rocheux est fort probable.

La Figure 8-4 illustre la forte corrélation qui existe entre les fluctuations du niveau piézométrique au droit des ouvrages recoupant l'aquifère à proprement parler. Cette forte dépendance résulte de l'extension limitée et d'une forte perméabilité des terrains aquifères.

La Figure 8-5 présente les relations entre les fluctuations du niveau piézométrique de l'aquifère et les précipitations sur le bassin versant. Les fluctuations de l'aquifère apparaissent dépendantes des précipitations mais l'amplitude des fluctuations n'est pas en relation directe avec l'intensité de ces précipitations. En période de basses eaux, la réponse de l'aquifère est fortement amortie probablement par le fait que l'évapotranspiration et la saturation des terrains de couverture se font au dépend de l'infiltration. A l'inverse, en période de hautes eaux, l'amplitude de la réponse de l'aquifère est forte.

8.1.2 Présentation détaillée des relevés piézométriques.

L'évolution du niveau piézométrique au droit de chaque ouvrage est présentée, ouvrage par ouvrage en annexe.

8.1.2.1 Présentation des principaux paramètres statistiques décrivant les valeurs observées.

Valeurs horaires. Mesures de positions. Profondeur du niveau piézométrique en mètres par rapport à la référence.

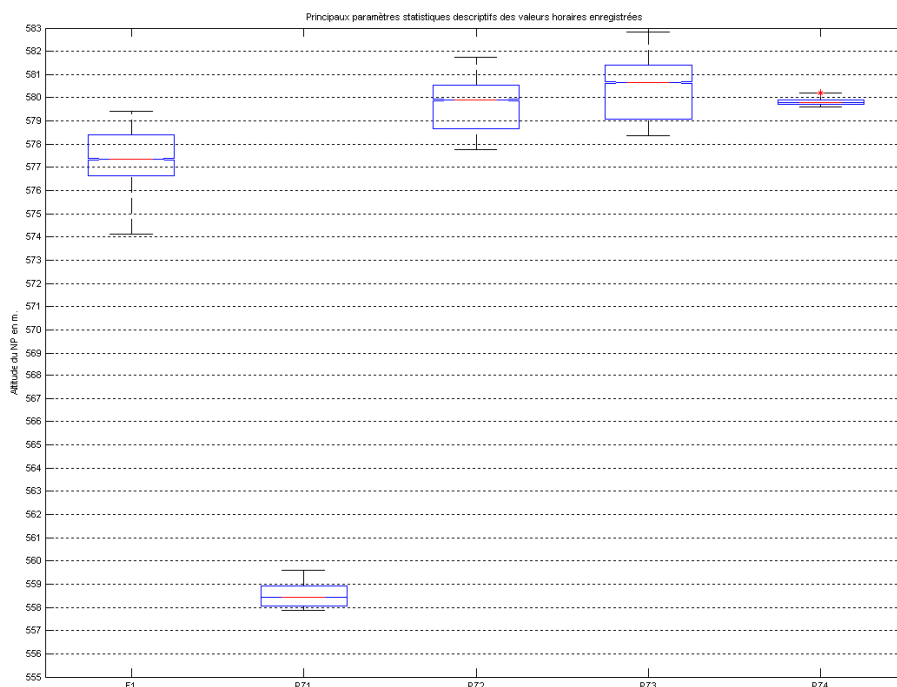
	Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Puits des Contamines
Moyenne	20.55	11.16	14.99	11.91	3.92
Médiane	20.60	11.06	14.87	11.92	3.87
Premier décile	19.94	9.86	13.39	11.76	2.47
Premier quartile	20.17	10.44	14.14	11.82	2.97
Troisième quartile	20.96	12.83	15.96	12.01	4.62
Dernier décile	21.04	12.47	16.65	12.05	5.65
Profondeur minimale	19.43	9.055	12.50	11.52	1.82
Profondeur maximale	21.16	13.05	16.94	12.14	7.09

Mesures de la dispersion.

	Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Puits des Contamines
Ecart type	0.43	0.96	1.16	0.11	1.15
Classement des écarts type	5	4	1	3	2
Différence entre mini et maxi	1.73	3.99	4.44	0.62	5.27
Classement des écarts min max	4	3	2	5	1
Espace interquartile	0.79	1.58	1.82	0.17	1.65
Classement des espaces	4	3	1	5	2

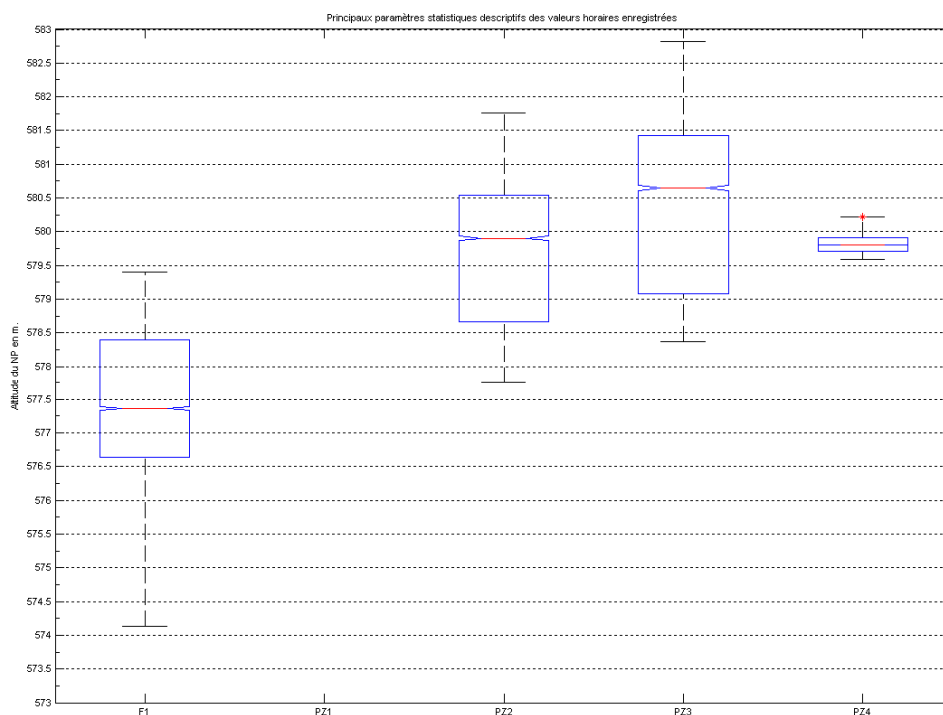
Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 8-1 Suivi piézométrique. Evolution de l'altitude du niveau piézométrique pendant la période de suivi. Présentation des principaux paramètres statistiques décrivant les valeurs relevées.



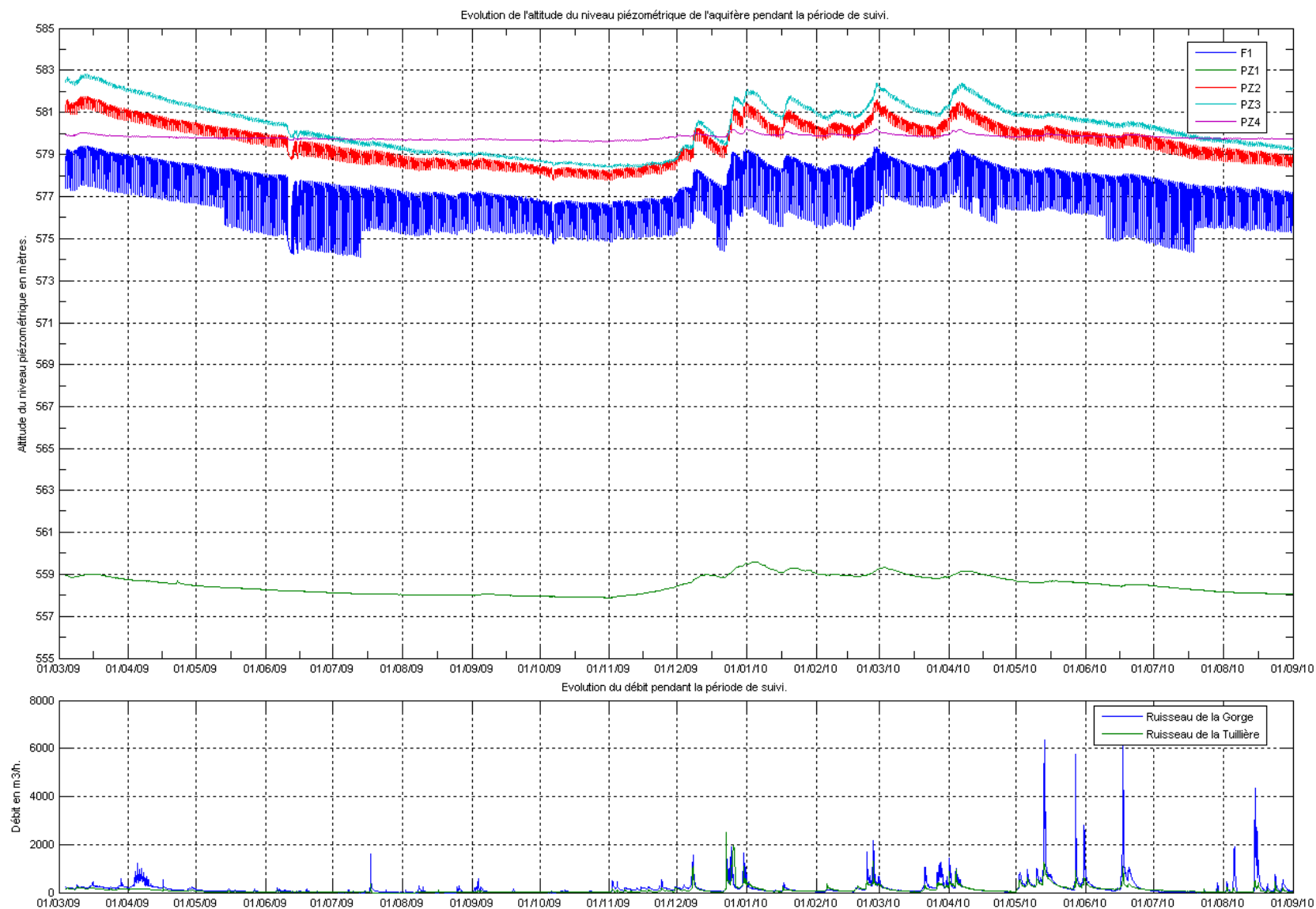
Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 8-2 Suivi piézométrique. Présentation des principaux paramètres statistiques décrivant les valeurs relevées relatives à l'aquifère des Contamines. (Zoom).



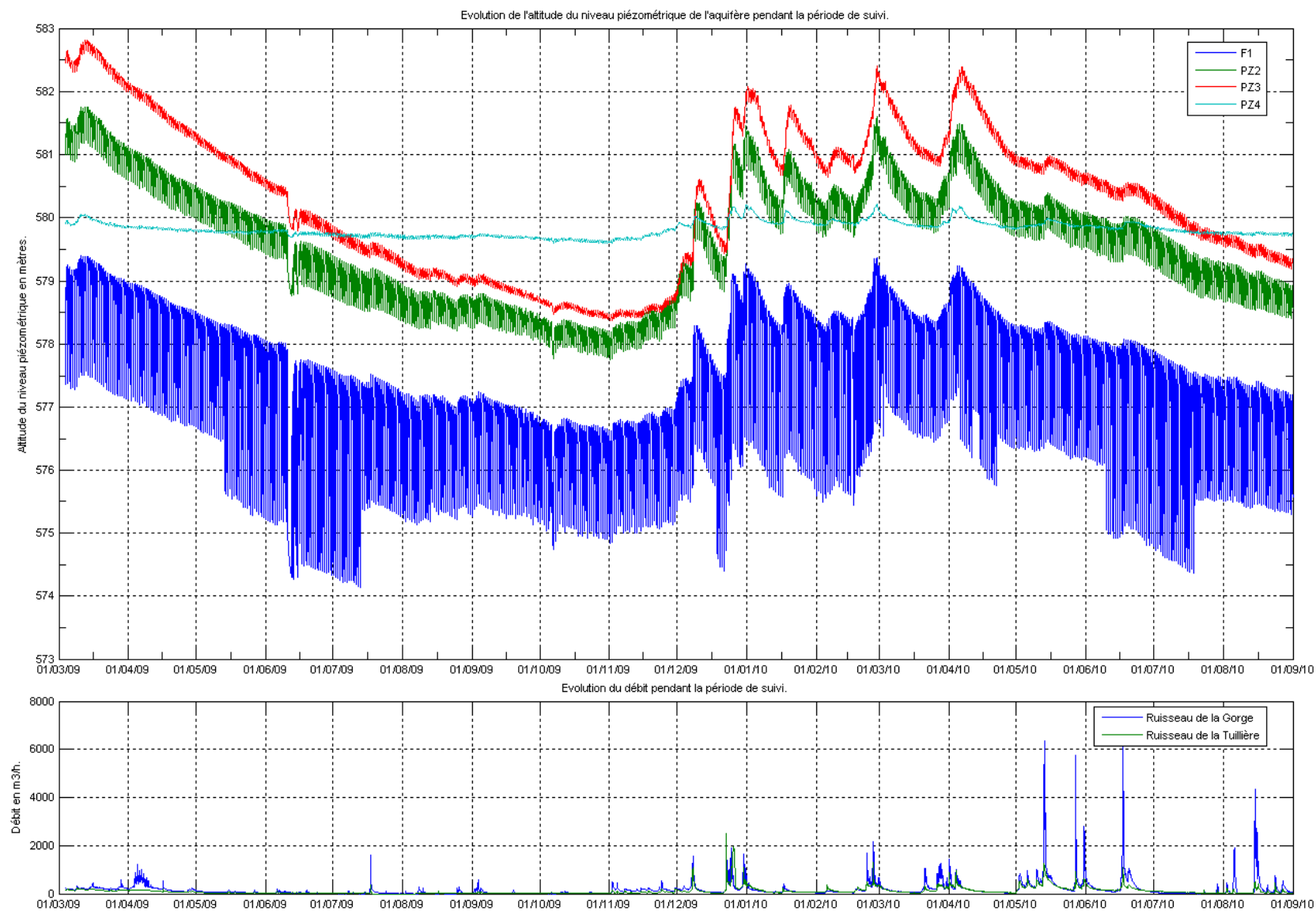
Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 8-3 Suivi piézométrique. Evolution de l'altitude des niveaux piézométriques pendant la période de suivi. Relation niveaux piézométriques, débits des cours d'eau.



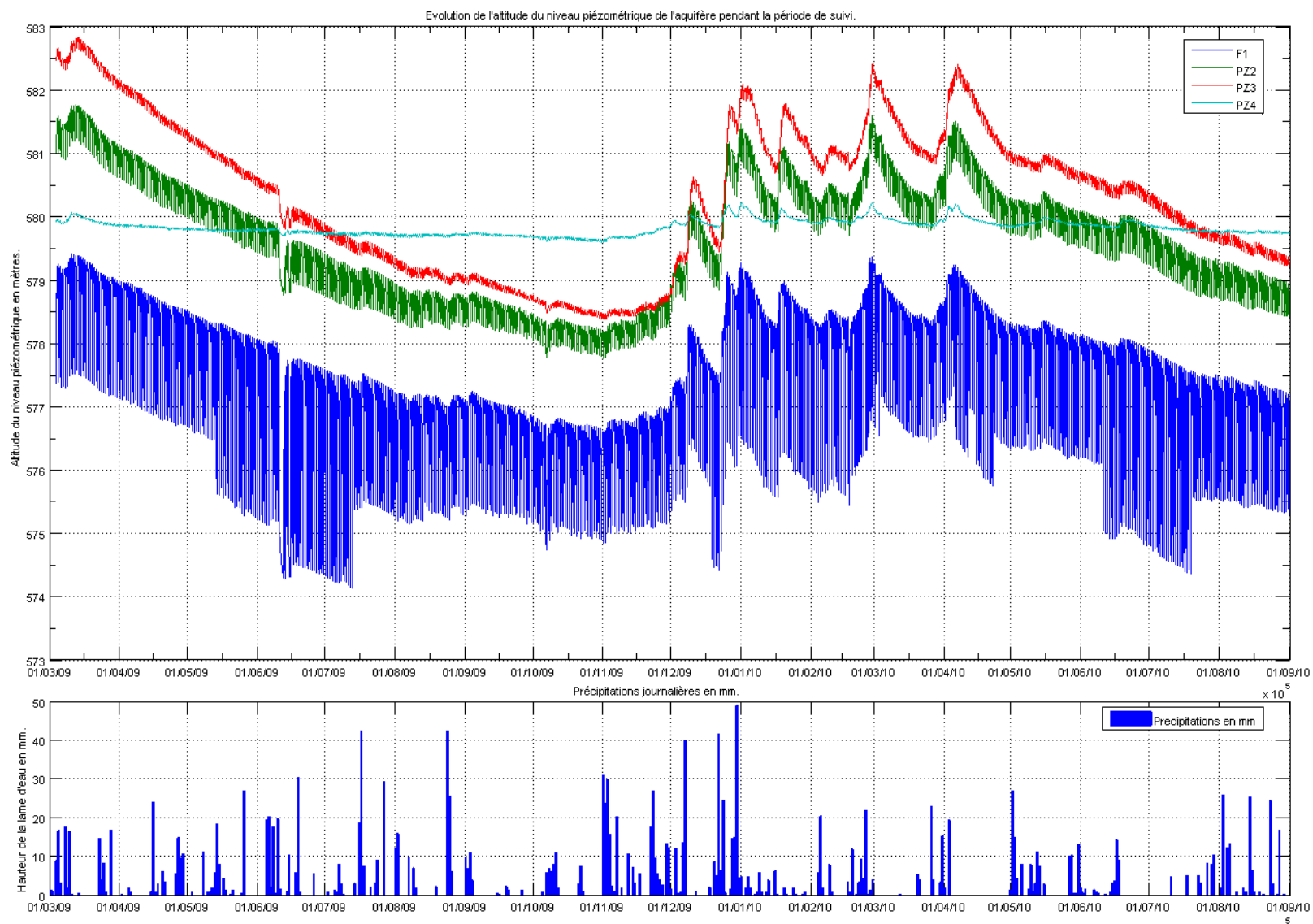
Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 8-4 Suivi piézométrique. Evolution de l'altitude du niveau piézométrique de l'aquifère des Contamines pendant la période de suivi. Relation niveaux piézométriques, débits des cours d'eau. Forage F1, piézomètres PZ2, PZ3, PZ4.



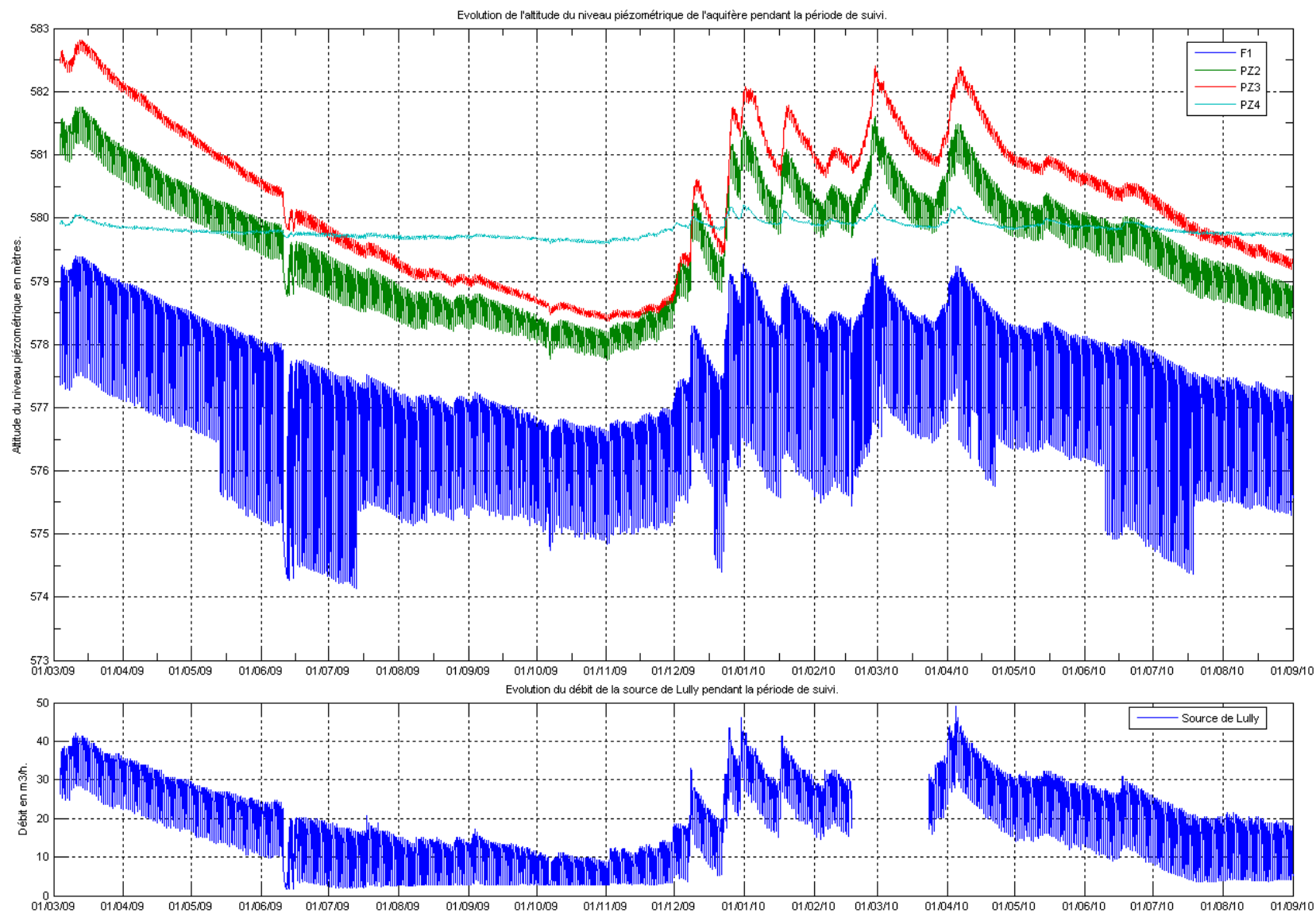
Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 8-5 Suivi piézométrique. Evolution de l'altitude du niveau piézométrique de l'aquifère des Contamines pendant la période de suivi. Relation niveaux piézométriques, précipitations.



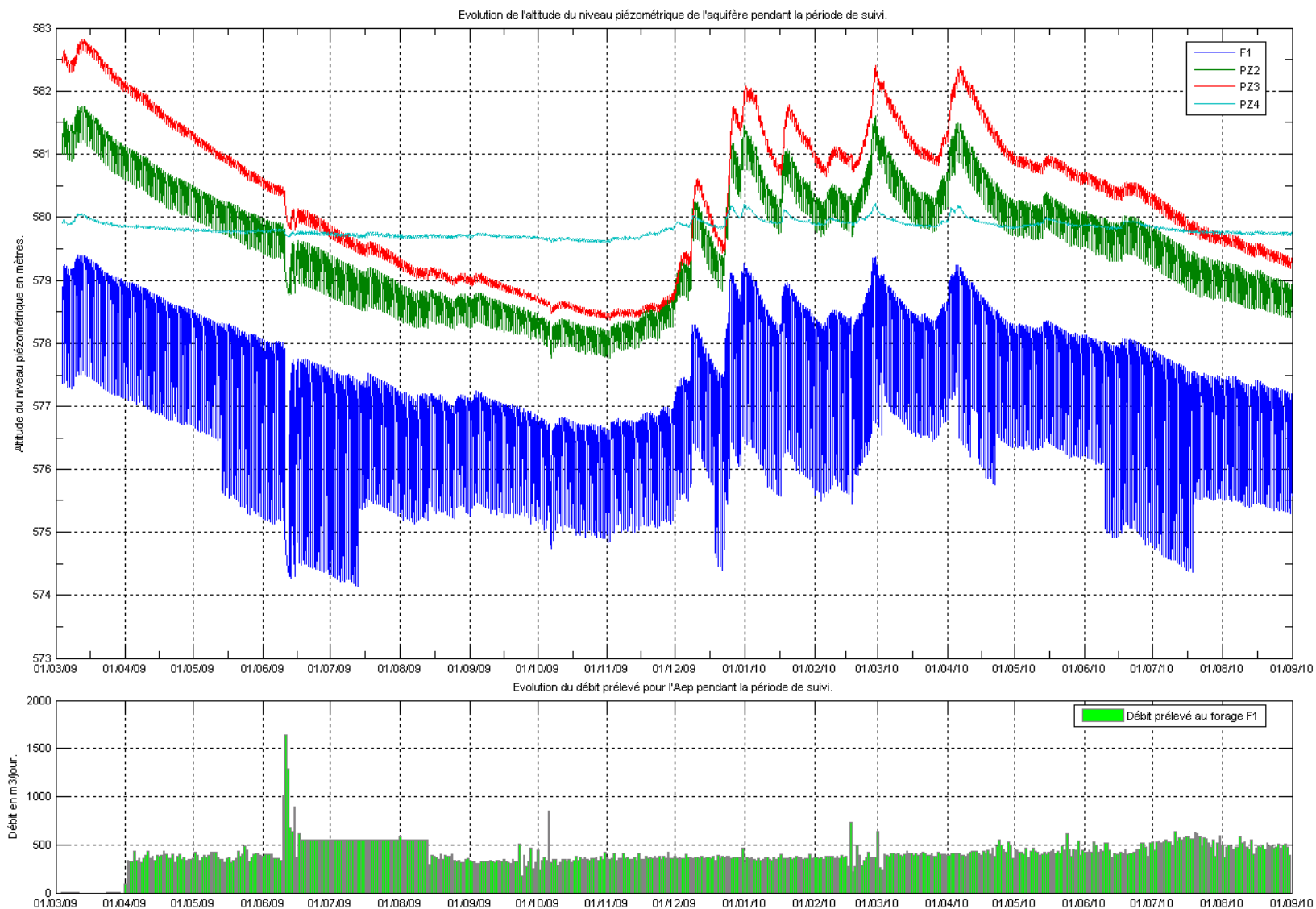
Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 8-6 Suivi piézométrique. Evolution de l'altitude du niveau piézométrique de l'aquifère des Contamines pendant la période de suivi. Relation niveaux piézométriques, débit de la source de Lully.



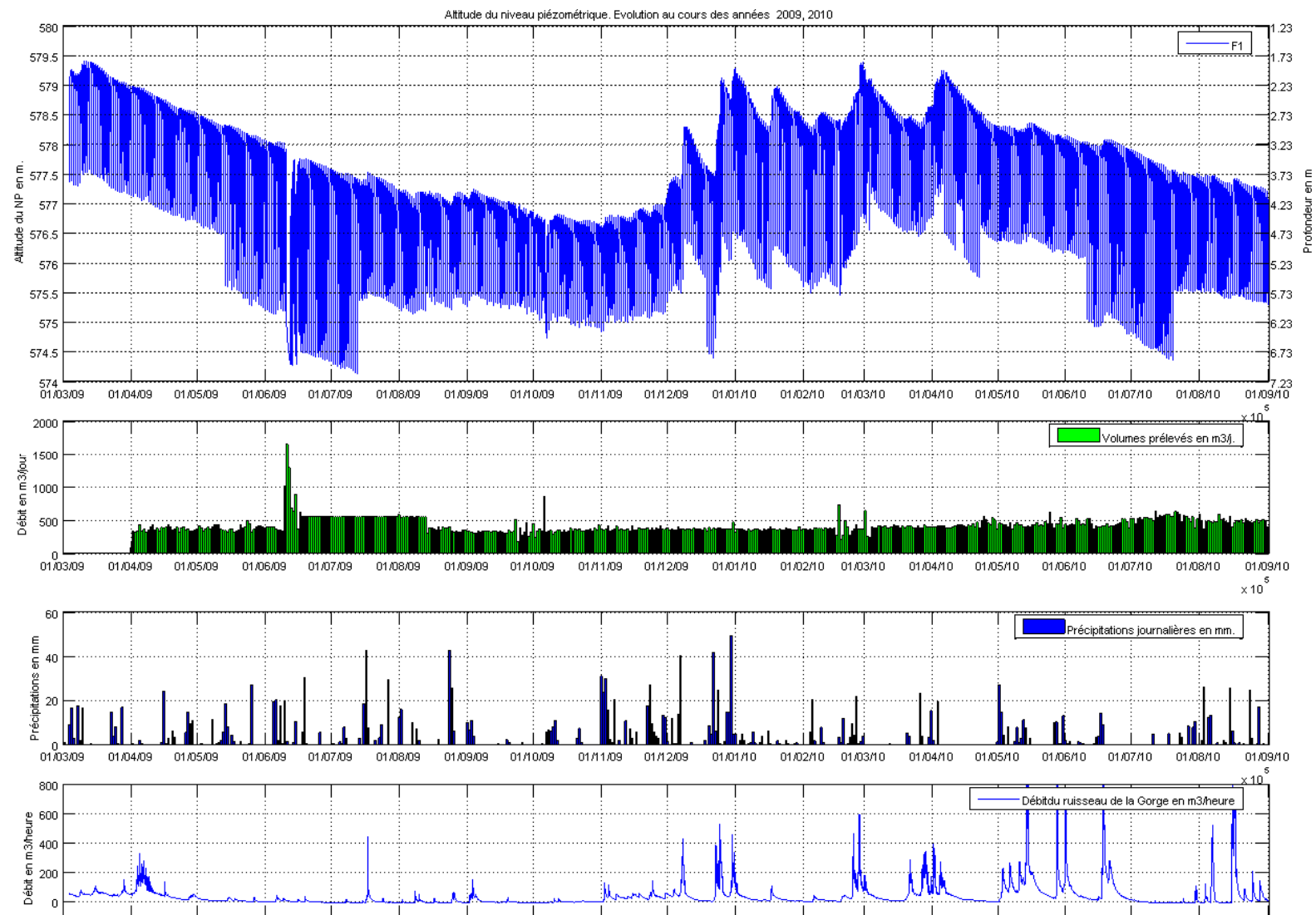
Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 8-7 Suivi piézométrique. Evolution de l'altitude du niveau piézométrique de l'aquifère des Contamines pendant la période de suivi. Relation niveaux piézométriques, débits d'exhaure de la station de pompage.



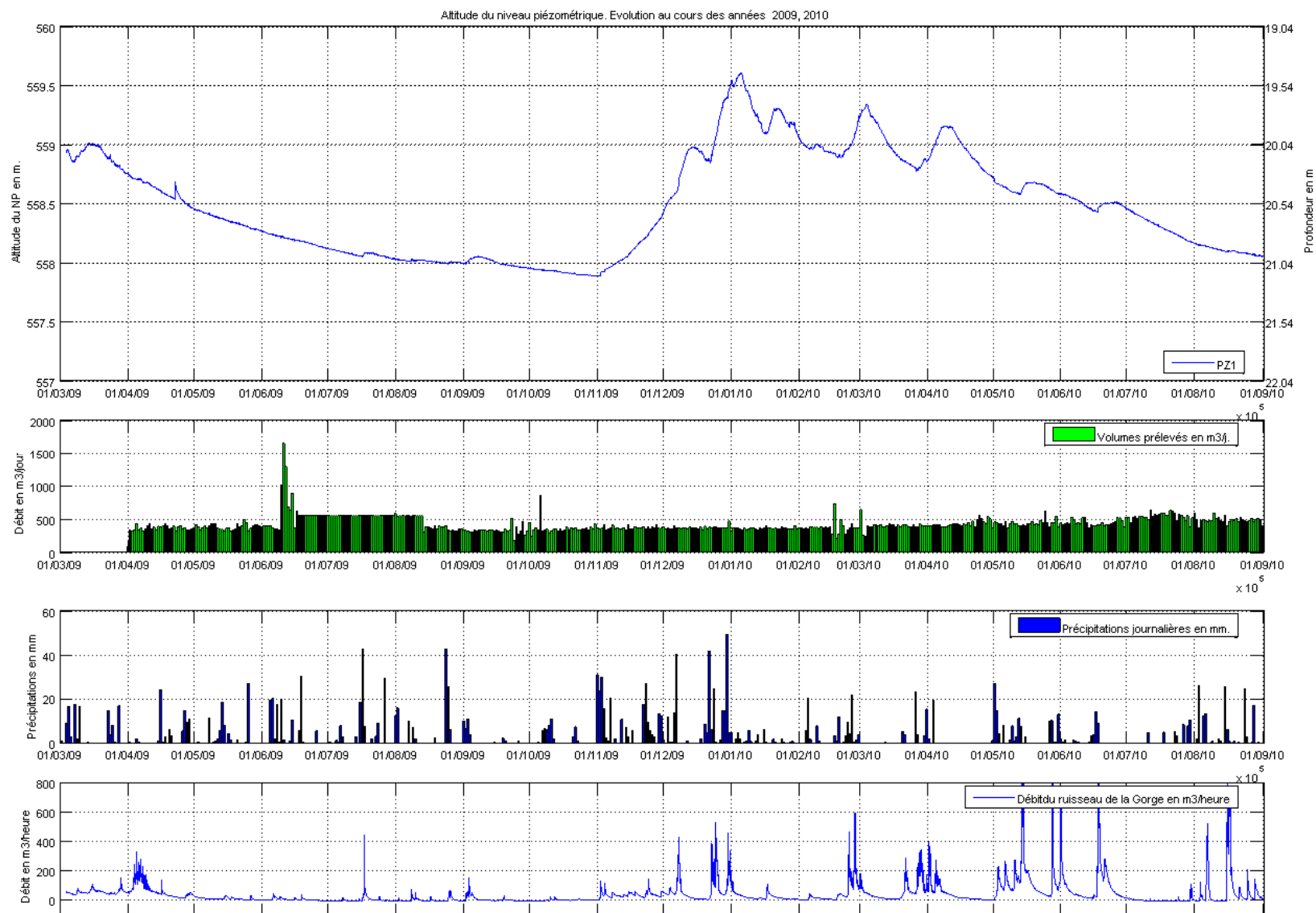
Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 8-8 Suivi piézométrique. Evolution de l'altitude du niveau piézométrique de l'aquifère des Contamines pendant la période de suivi. Forage n°1. Relation niveaux piézométriques, prélèvements, précipitations, débit des cours d'eau.



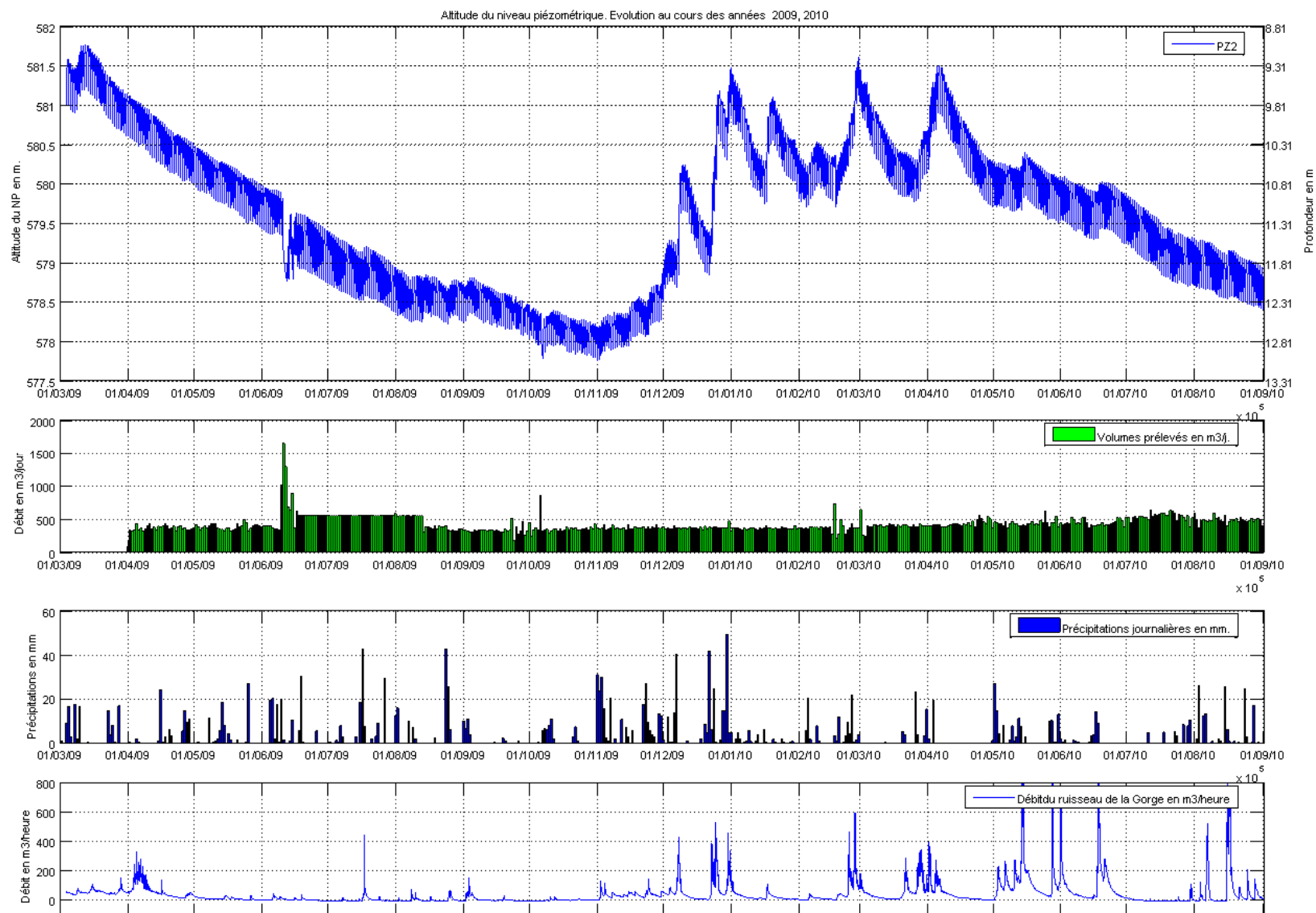
Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 8-9 Suivi piézométrique. Evolution de l'altitude du niveau piézométrique de l'aquifère des Contamines pendant la période de suivi. Piézomètre n°1. Relation niveaux piézométriques, prélèvements, précipitations, débit des cours d'eau.



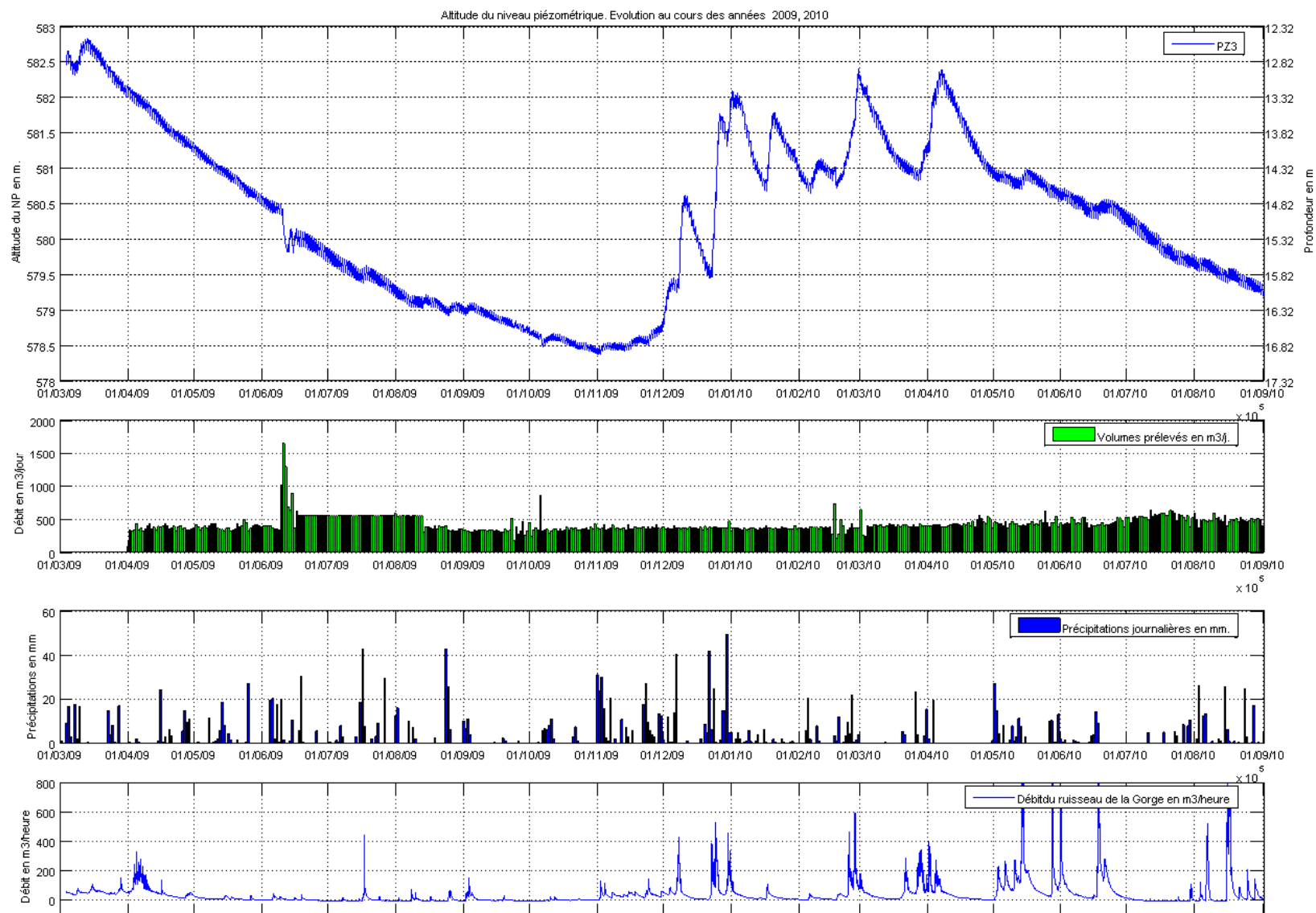
Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 8-10 Suivi piézométrique. Evolution de l'altitude du niveau piézométrique de l'aquifère des Contamines pendant la période de suivi. Piézomètre n°2. Relation niveaux piézométriques, prélèvements, précipitations, débit des cours d'eau.



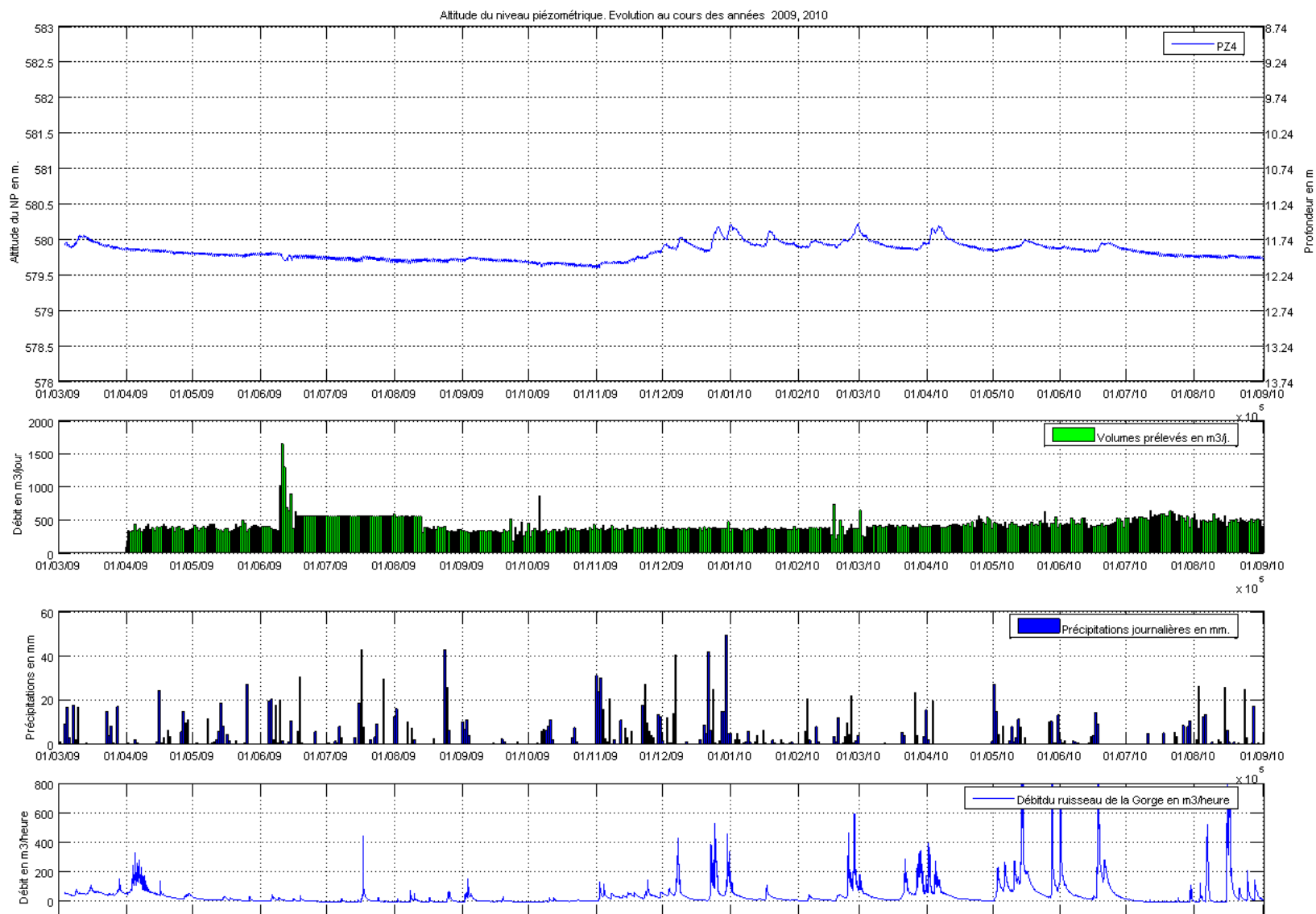
Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 8-11 Suivi piézométrique. Evolution de l'altitude du niveau piézométrique de l'aquifère des Contamines pendant la période de suivi. Piézomètre n°3. Relation niveaux piézométriques, prélèvements, précipitations, débit des cours d'eau.



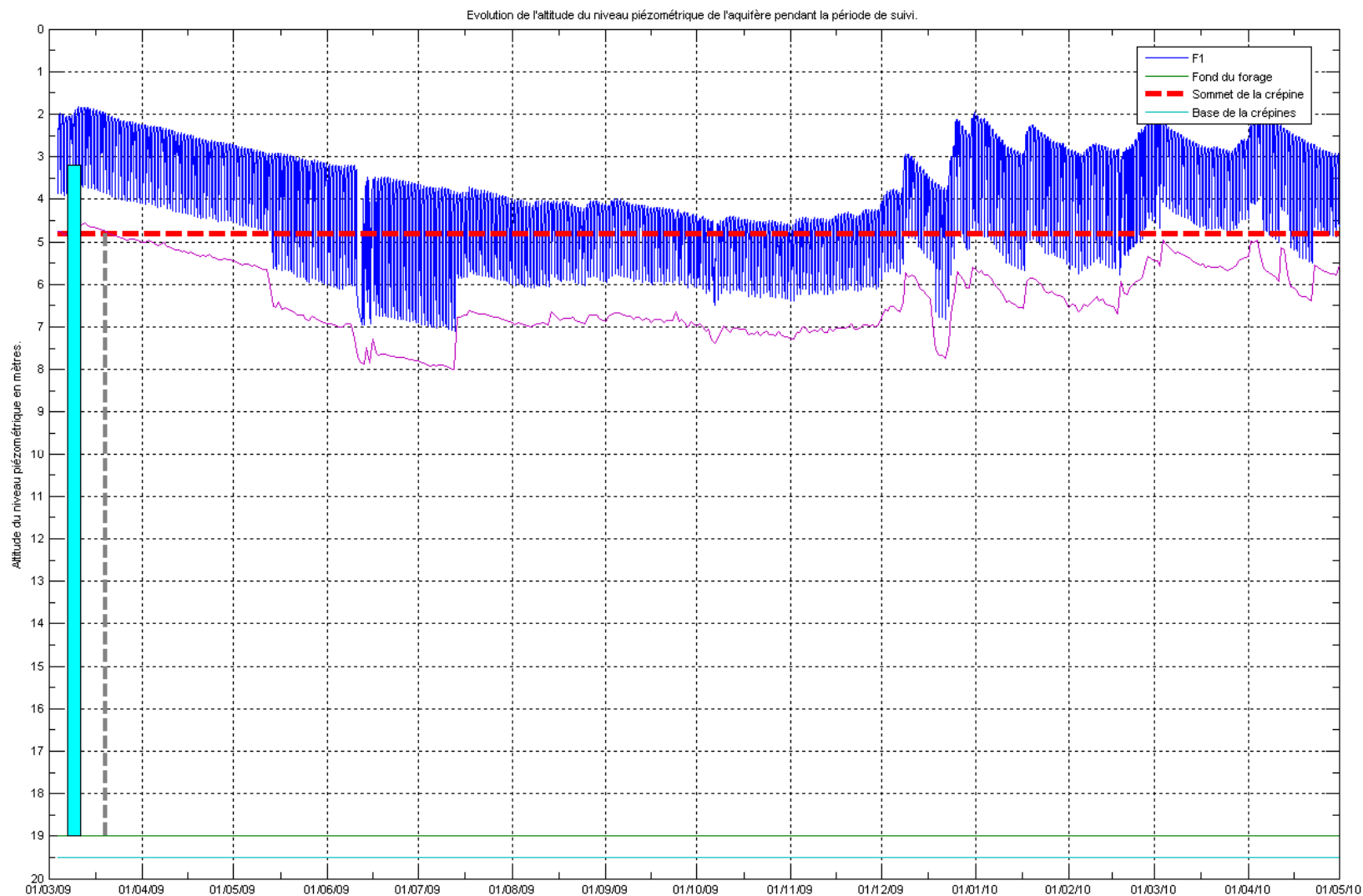
Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 8-12 Suivi piézométrique. Evolution de l'altitude du niveau piézométrique de l'aquifère des Contamines pendant la période de suivi. Piézomètre n°4. Relation niveaux piézométriques, prélèvements, précipitations, débit des cours d'eau.



Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy. Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 8-13 Illustration de l'évolution de l'épaisseur des terrains saturés en eau au cours de la période de mesures.



8.1.2.2 Analyse des variations saisonnières.

Les graphes piézométriques illustrent le caractère saisonnier de l'évolution du niveau piézométrique, en relation avec les précipitations :

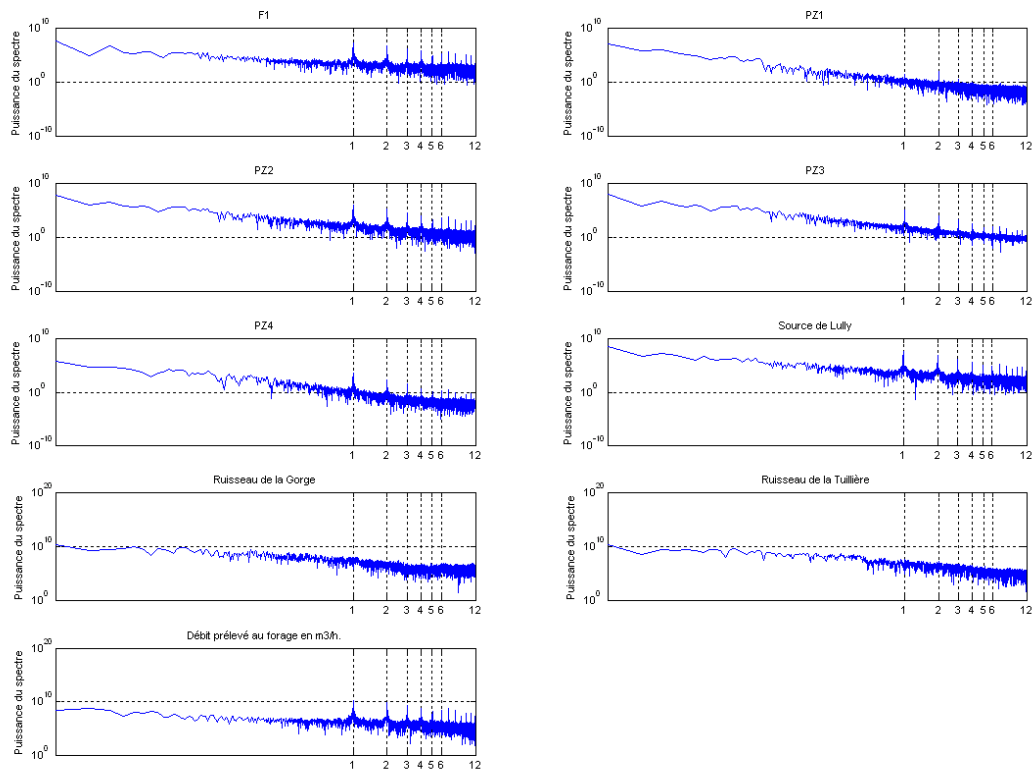
- recharge importante de l'aquifère au début de l'année 2008 suite aux épisodes pluvieux du début de l'année 2009 ;
- tarissement de l'aquifère à partir de la mi-mars 2009 jusqu'au début du mois de novembre 2009 en l'absence de précipitations abondantes ;
- recharge de l'aquifère au début du mois de novembre 2009 suite à d'importantes précipitations ;
- cycle de recharge, décharge de l'aquifère au cours de l'hiver 2009 et de début du printemps 2010, sous l'influence des précipitations et de la fonte des neiges ;
- tarissement de l'aquifère à partir de 10 avril 2010, jusqu'au début du mois de septembre 2010, fin de la période d'observation. Cette phase de tarissement est affectée par deux petits épisodes de recharge à la mi-mai et à la mi-juillet sous l'influence des précipitations. Bien que relativement abondantes, l'influence des précipitations sur le recharge de l'aquifère restent faibles.

L'autocorrélation des observations fait clairement ressortir la périodicité annuelle des valeurs relevées. Les périodicités saisonnières naturellement attendues ne sont pas perceptibles dans les enregistrements effectués.

Une saisonnalité semestrielle est observée au puits des Contamines, liée à la saisonnalité des prélèvements effectués.

Les principales fréquences constituant les piézogrammes sont présentées sur la Figure 8-14. PZ2, PZ3, PZ4, et la source de Lully présentent un spectrogramme identique avec une fréquence quotidienne et biquotidienne dominante, liée aux prélèvements réguliers effectués par le Syndicat. Ces fréquences ne sont pas perceptibles sur PZ1, les ruisseaux de la Gorge et de la Tuilière.

Pour les fréquences inférieures à la journée, la fréquence semestrielle domine le spectre du puits des Contamines, des piézomètres associés et des cours d'eau. Cette fréquence correspond à la périodicité du régime des précipitations.

Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.**Figure 8-14 Suivi piézométrique. Analyse de la saisonnalité des variations du niveau piézométrique. Spectre des fréquences constituant les piézogrammes relevés. Fréquences supérieures à 1 fois / jour. Puits F1.****8.1.2.3 Analyse des relations entre les variations observées sur chaque ouvrage.**

Les relations des variations observées sur chaque ouvrage sont analysées à partir :

- de la matrice de corrélation ;
- d'une corrélation croisée permettant d'apprécier les temps de décalage des réponses de l'aquifère à une impulsion au droit de chaque ouvrage.
- d'une analyse en composantes principales.

Matrice de corrélation.

La matrice de corrélation calculée à partir des valeurs horaires relevées est présentée dans le tableau suivant. Les valeurs surlignées traduisent une forte relation entre les fluctuations observées au droit des ouvrages.

On remarque :

- une corrélation très forte entre les ouvrages Pz2 et Pz3 ; corrélation perçue sur les graphes altitude du niveau piézométrique = f (temps) ;
- une corrélation inverse forte entre les débits de la source de Lully et les autres ouvrages ;
- une corrélation forte entre le piézomètre n°1 et les autres ouvrages. Bien que n'étant pas en relation directe avec l'aquifère des Contamines, le piézomètre n°1 subit les mêmes influences météorologiques que les autres forages. Cette réaction simultanée, mais amortie, aux facteurs météorologiques expliquent cette forte relation.
- l'absence de corrélation significative entre les fluctuations de l'aquifère et la variation de débit des cours d'eau ;

	F1	PZ1	PZ2	PZ3	PZ4	Source de Lully	Ruisseau de la Gorge	Ruisseau de la Tuilière	Débit prélevé au forage
F1	1.00	0.58	0.77	0.67	0.60	-0.90	-0.16	-0.29	0.73
PZ1		1.00	0.86	0.83	0.92	-0.80	-0.18	-0.45	0.07
PZ2			1.00	0.98	0.85	-0.84	-0.20	-0.42	0.22
PZ3				1.00	0.80	-0.87	-0.18	-0.38	0.09
PZ4					1.00	-0.82	-0.27	-0.58	0.09
Source de Lully						1.00	0.25	0.45	-0.46
Ruisseau de la Gorge							1.00	0.66	-0.02
Ruisseau de la Tuilière								1.00	-0.02
Débit prélevé au forage									1.00

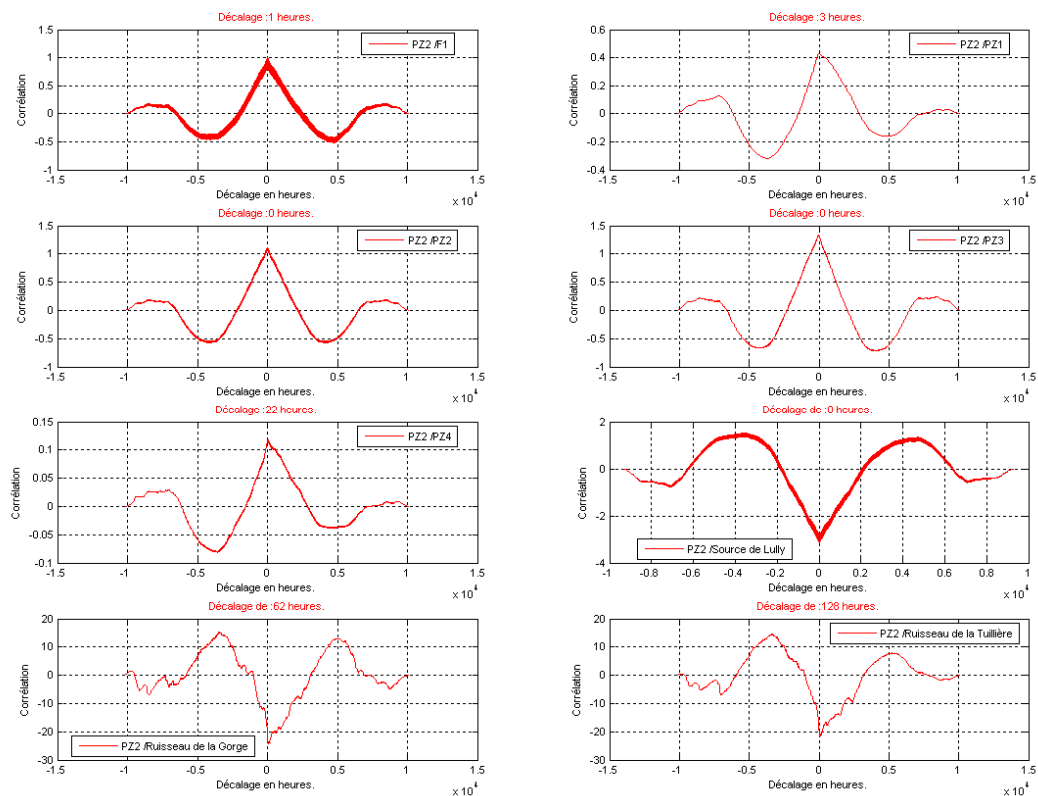
Corrélogrammes.

La figure présente les corrélogrammes des fluctuations horaires du niveau piézométrique observées sur chaque forage et de valeurs horaires des débits relevés sur les ruisseaux. A titre d'exemple, la figure présente les résultats obtenus pour le piézomètre n°2.

Les valeurs obtenues pour les autres forages sont retranscrites dans le tableau suivant.

Un corrélogramme permet de préciser, pour des valeurs qui caractérisent une réaction à un même phénomène, le décalage temporel moyen qu'il existe entre chaque point d'observation.

	F1	PZ1	PZ2	PZ3	PZ4	Source de Lully	Ruisseau de la Gorge	Ruisseau de la Tuilière
F1	0 heure	-2 heures	1 heure	3 heures	3 heures	0 heure	-50 heures	-53 heures
PZ1		0 heure	-2 heures	- 27 heures	68 heures	-1 heure	161 heures	144 heures
PZ2			0 heure	0 heure	22 heures	0 heure	62 heures	128 heures
PZ3				0 heure	48 heures	26 heures	157 heures	151 heures
PZ4					0 heures	2 heures	38 heures	29 heures
Source de Lully						0 heure	12 heures	6 heures
Ruisseau de la Gorge							0 heure	0 heure
Ruisseau de la Tuilière								0 heure

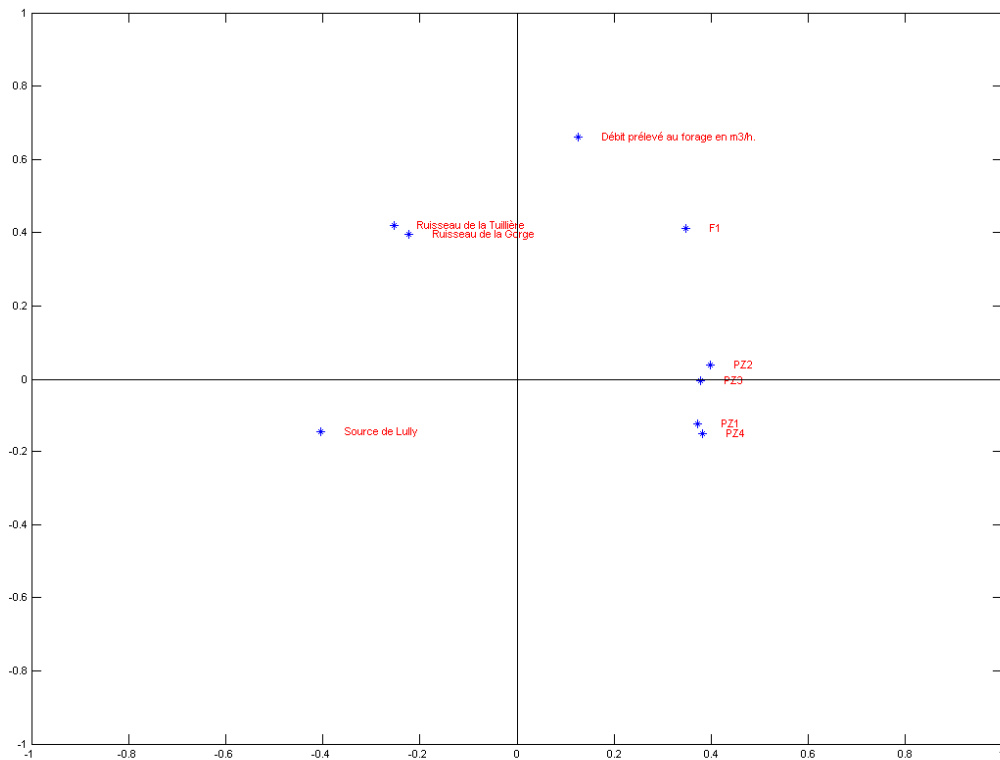
Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.**Figure 8-15 Suivi piézométrique. Corrélogramme des valeurs horaires observées. Piézomètre n°2.****Corrélations des valeurs horaires.**

Ces relations sont également analysées par le biais d'une analyse en composante principale (Figure 8-16).

La proximité des points traduit un degré de relation élevé. Les piézomètres Pz2 et Pz3 apparaissent fortement liés ainsi que les piézomètres Pz1 et Pz4 et les ruisseaux de la Tuilière et de la Gorge.

Le débit des ruisseaux de la Gorge et de la Tuilière s'opposent aux variations du niveau piézométrique observées aux PZ1 et PZ4. Cette opposition traduit le temps de réaction de l'aquifère localisé dans des terrains peu perméables. Le niveau piézométrique s'élève alors que la crue des cours d'eau est achevée.

Le débit de la source de Lully s'oppose naturellement au débit prélevé au forage F1.

Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.**Figure 8-16 Suivi piézométrique. Analyse des relations entre les ouvrages. Analyse en composantes principales des valeurs.**

8.2 BILAN DES PRELEVEMENTS EFFECTUES A LA STATION DE POMPAGE ET DES DEBIT ECOULES A LA SOURCE DE FESSY PENDANT LA PERIODE DE MESURES.

Le tableau suivant présente les principaux paramètres statistiques décrivant les volumes journaliers pompés pendant la période de suivi, aux puits des Contamines et les volumes journaliers écoulés à la source de Fessy.

Le débit moyen journalier prélevé aux puits des Contamines est compris entre une valeur minimale de 176 m³/jour et maximale de 1 642 m³/jour ; la valeur moyenne est de 425 m³/jour correspondant à l'alimentation en eau potable de 2 360 personnes sur la base de 130 litres/jour/personne avec un rendement du réseau de distribution de 70 %. Le volume global prélevé pendant la période de suivi est de 235 000 (du 01/03/09 au 08/09/10).

Le débit de la source de Fessy est compris entre une valeur minimale de 18 m³/jour et maximale de 1 000 m³/jour ; la valeur moyenne est de 494 m³/jour correspondant à l'alimentation en eau potable de 2 400 personnes. Le volume global écoulé pendant la période de suivi est de 210 000 m³.

Les relations entre le débit prélevé au puits des Contamines et le débit de la source de Lully sont fortes : la source de Lully étant l'émergence naturelle de l'aquifère des Contamines.

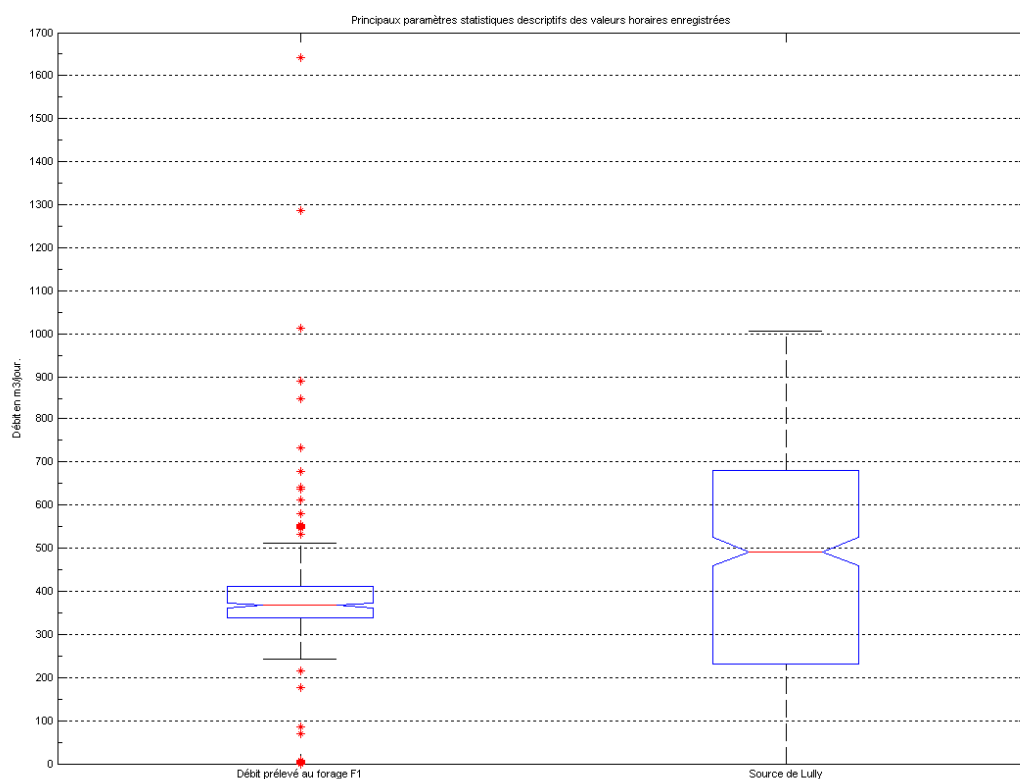
Principaux paramètres statistiques descriptifs des volumes prélevés à la station des Iles. Mesures de position et de dispersion.

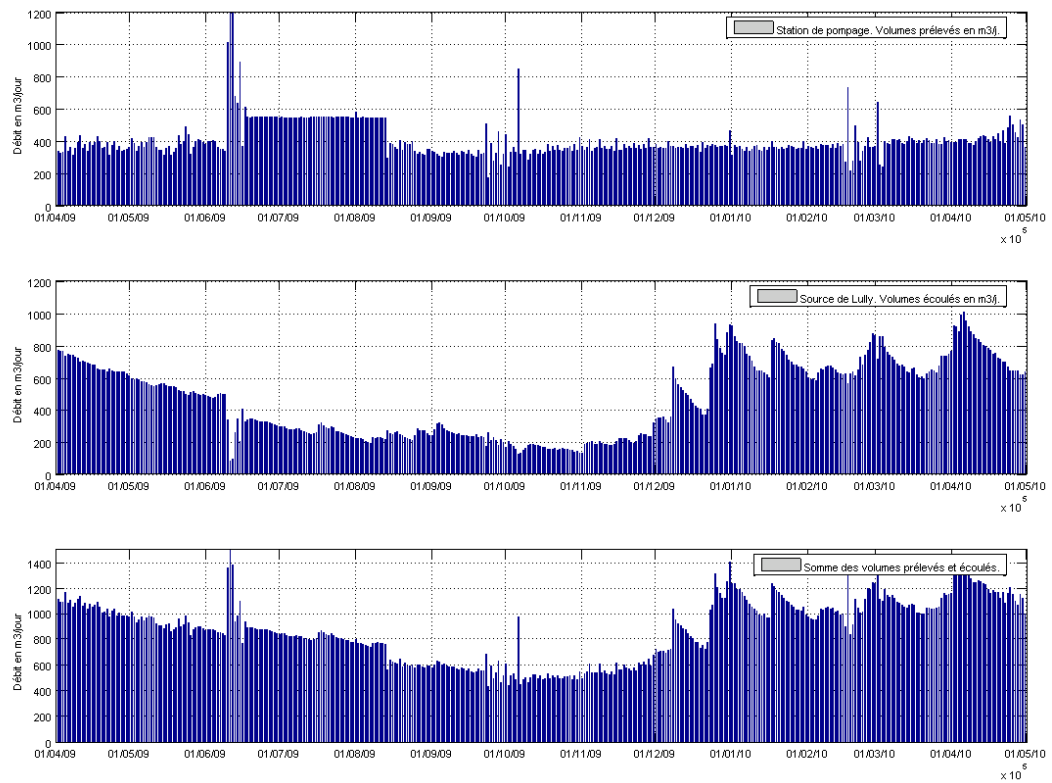
Valeurs exprimées en m3/jour.	Station de pompage des Contamines	Source de Lully
Moyenne	426	468

Valeurs exprimées en m3/jour.	Station de pompage des Contamines	Source de Lully
Médiane	396	490
Ecart type	112	235
Minimum	176	18
Maximum	1 642	1 006
Espace interquartile	119	419
Premier décile	337	187
Dernier décile	549	767

Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 8-17 Débit exploité au puits des Contamines et débit écoulé à la source de Lully pendant la période de suivi. Principaux paramètres statistiques. Débits exprimés en m3/jour.



Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.**Figure 8-18** Débit exploité au puits des Iles. Evolution du débit journalier pendant la période de suivi.

Régie
Départementale d'
Assistance



POMPAGE D'ESSAI. PRESENTATION ET INTERPRETATION.

9. POMPAGE D'ESSAI. PRESENTATION ET INTERPRETATION.

Un essai de pompage longue durée a été réalisé sur le puits n°1 entre le 10 juin à 12h00 et le 12 juin 2009 14h00, soit une durée de 50 heures.

L'essai n'a pu être prolongé faute de pouvoir assurer de façon satisfaisante pendant cette phase l'alimentation en eau potable de la collectivité.

9.1.1 Caractéristiques du pompage.

- durée : 50 heures entre le 10 juin 2 009 à 12h00 et le 12 juin 2 009 à 14h00 ;
- type de pompage : pompage continu au débit de moyen de 69 m3/h ;
- volumes extraits : 3 450 m3 ;
- distance au puits de pompage du piézomètre Pz2 : 100 mètres ;
- distance au puits de pompage du piézomètre Pz3 : 205 mètres.

9.1.2 Résultats de l'essai de nappe.

Les Figure 9-1 à 8-8 présentent l'évolution du rabattement au forage F1, aux piézomètres n°2, n°3 et n°4 pendant le pompage d'essai ainsi que l'ajustement de cette évolution au modèle de Theis.

Cette évolution apparaît correctement décrite par le modèle de Theis. Ce modèle décrit, dans un milieu considéré comme homogène et infini, l'évolution du rabattement par l'équation logarithmique suivante :

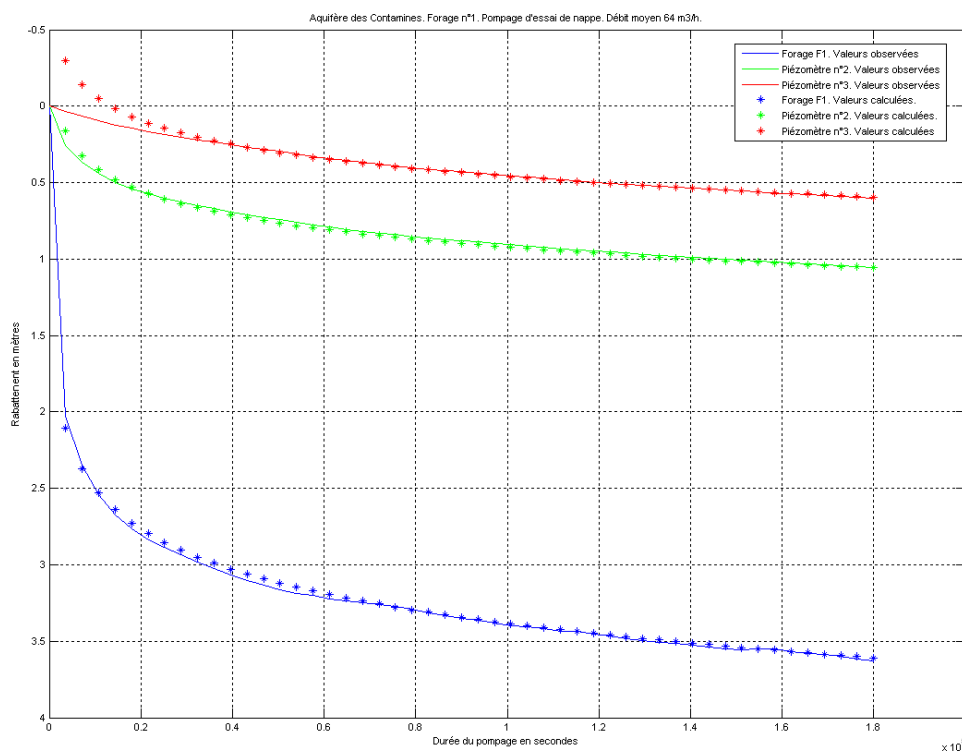
$$S = 0,183 \cdot Q / T \cdot \text{Log}(2,25 \cdot T \cdot t / R^2 \cdot S)$$

ou S = rabattement exprimé en mètres, Q = débit exprimé en m3/s, T = transmissivité exprimée en m2/s, R = distance a rayon du puits exprimée en mètre et S = coefficient d'emmagasinement (sans unité).

	Puits	Piézomètre n°2	Piézomètre n°3	Piézomètre n°4
Transmissivité	5.02 E-3 m2/s	6.73 E-3 m2/s	6.08 E-3 m2/s	4.22 E-2 m2/s
Coefficient d'emmagasinement	1.29	2.9 E-3	5.89 E-3	8.82 E-2
Perméabilité	3.35 E-4 m/s	4.49 E-4 m/s	4.06 E-4 m/s	2,82 E-3 m/s

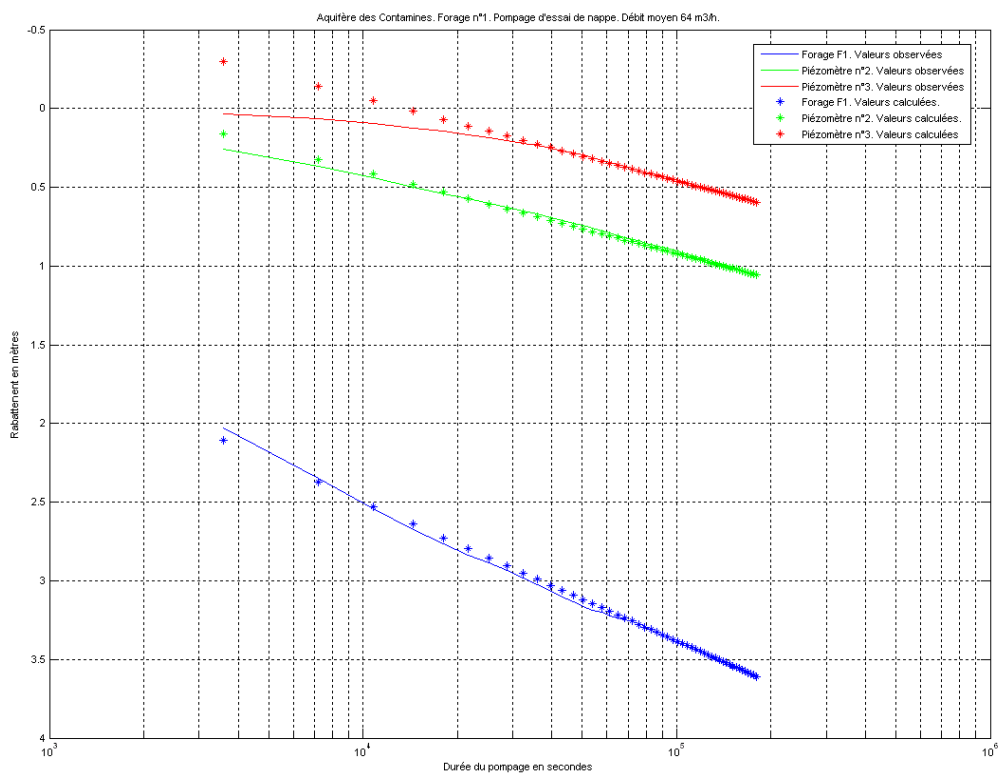
Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 9-1 Interprétation du pompage d'essai de nappe. Courbe Rabattement = F(durée du pompage).



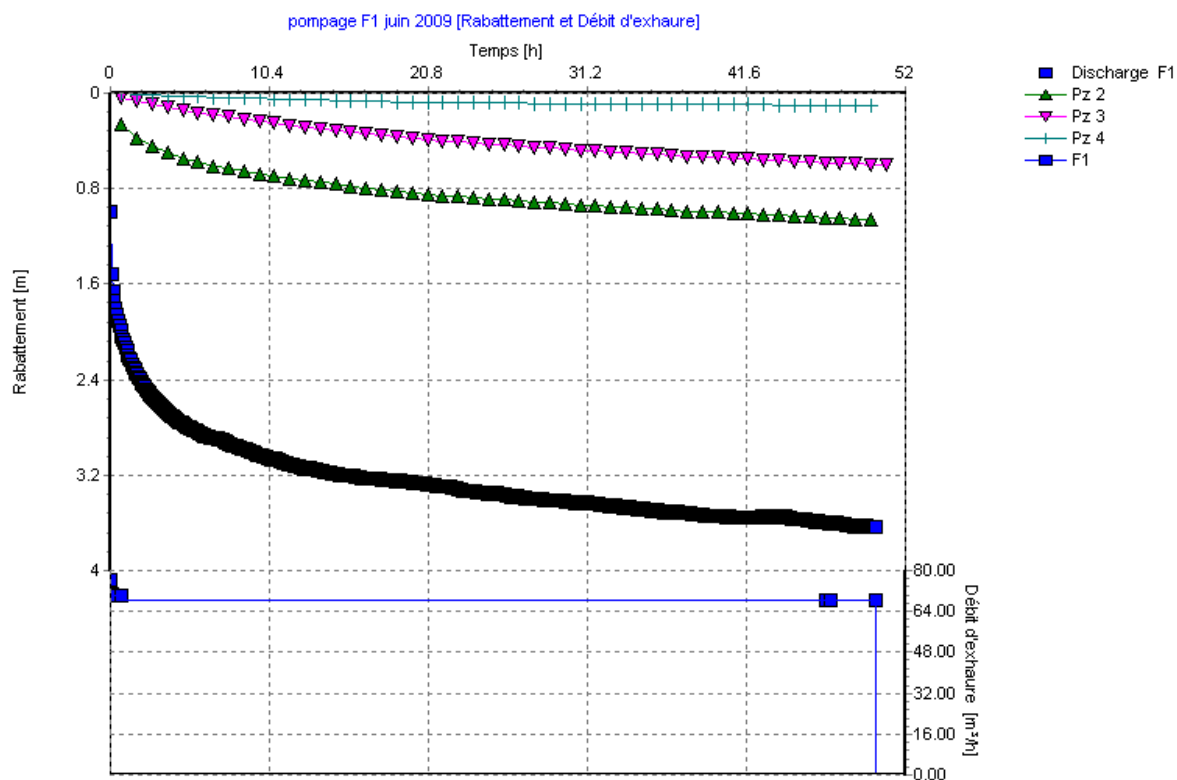
Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 9-2 Interprétation du pompage d'essai de nappe. Courbe Rabattement = F(log(durée du pompage)).



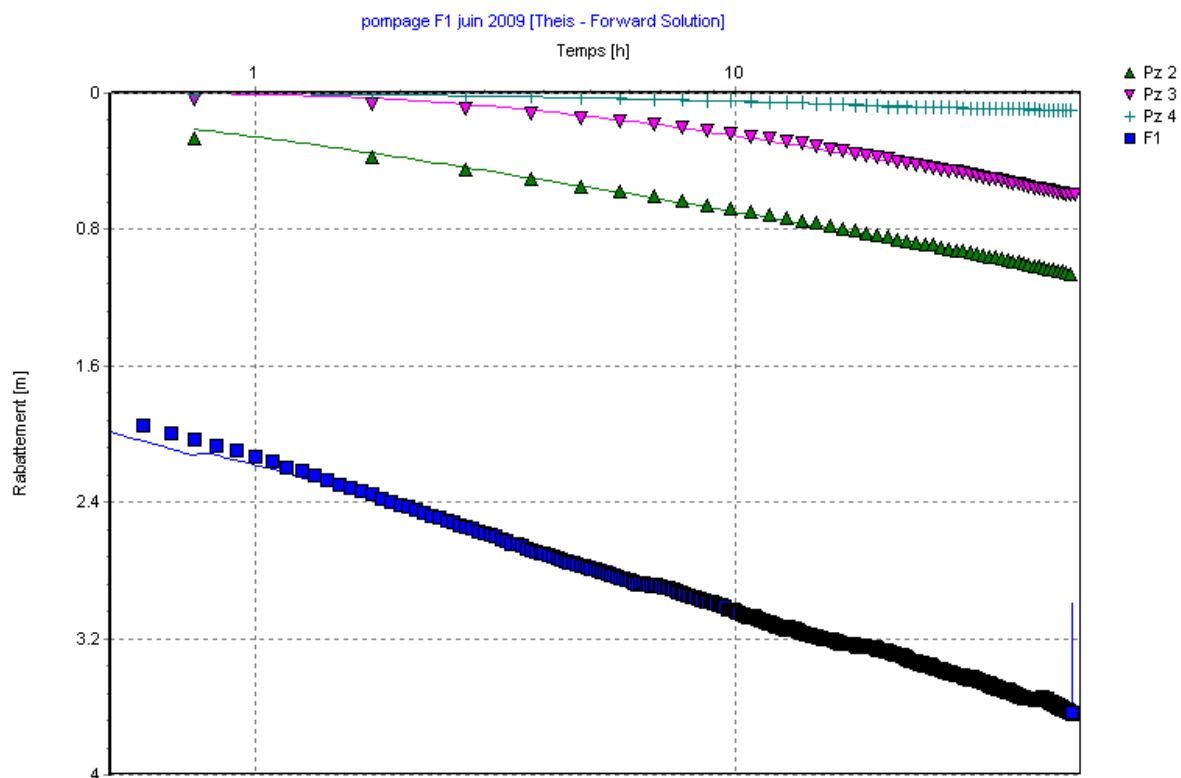
Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 9-3 Interprétation du pompage d'essai de nappe. Courbe Rabattement = F(durée du pompage et du débit).



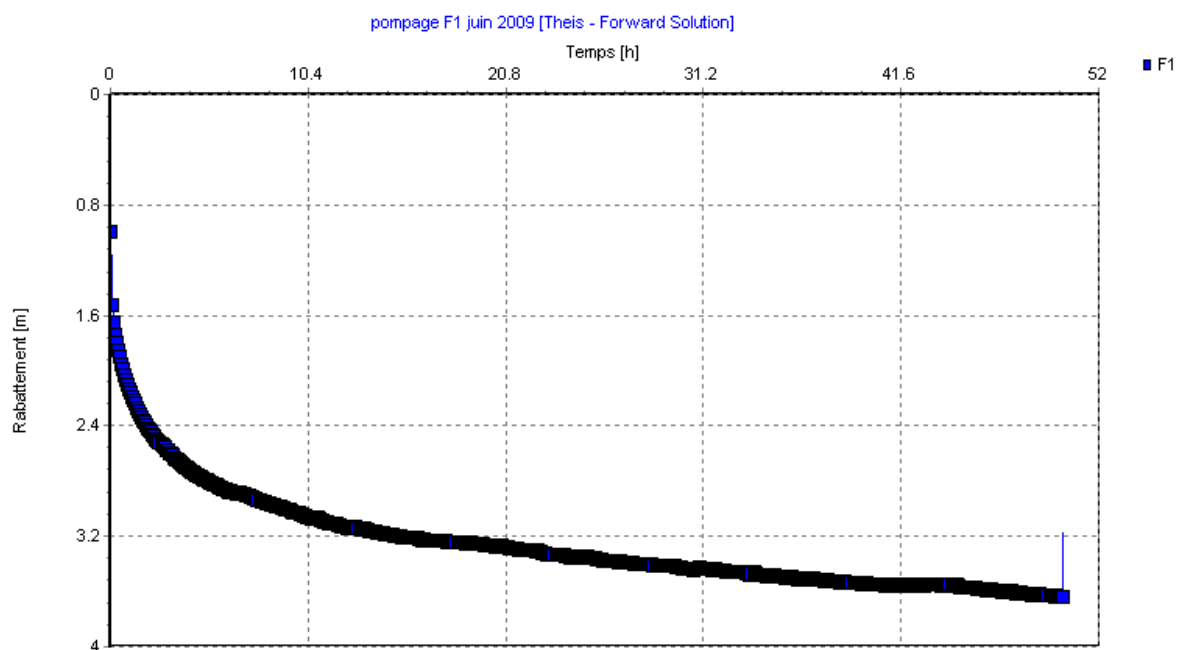
Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 9-4 Interprétation du pompage d'essai de nappe. Courbe Rabattement = F(durée du pompage et du débit). Ajustement des observations à l'équation de Theis.



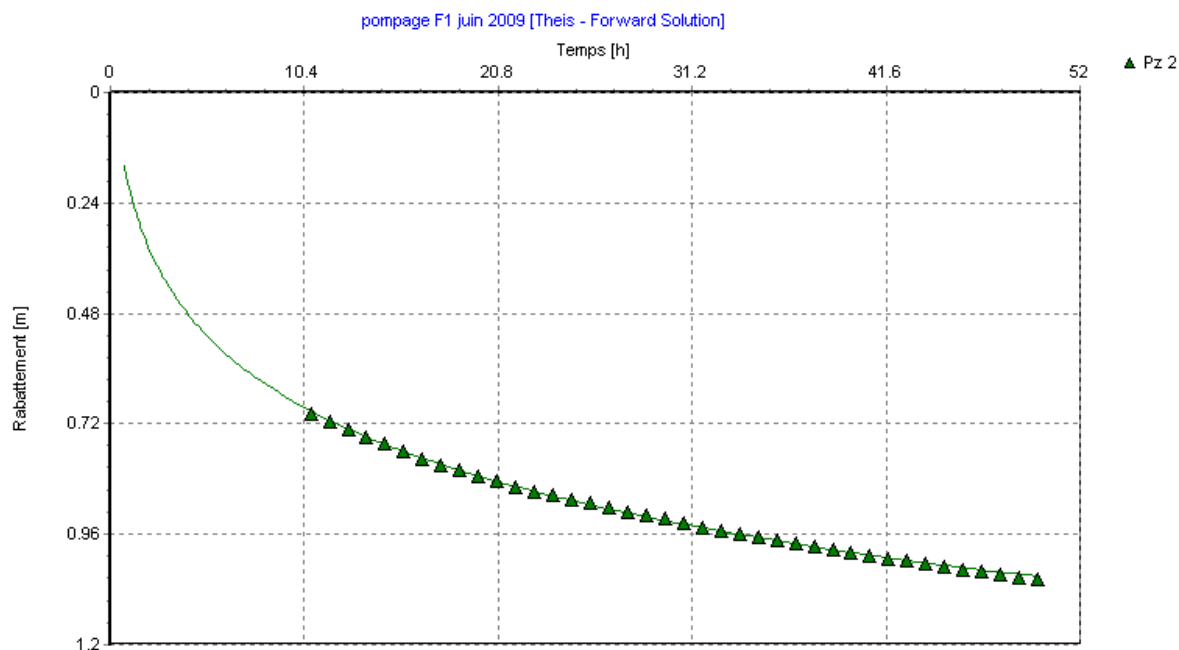
Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 9-5 Interprétation du pompage d'essai de nappe. Forage F1. Courbe Rabattement = F(durée du pompage et du débit). Ajustement des observations à l'équation de Theis.

Transmissivity: $5.02\text{E-}3 \text{ m}^2/\text{s}$ Storativity: $1.29\text{E}+0$ Conductivity: $3.35\text{E-}4 \text{ m/s}$

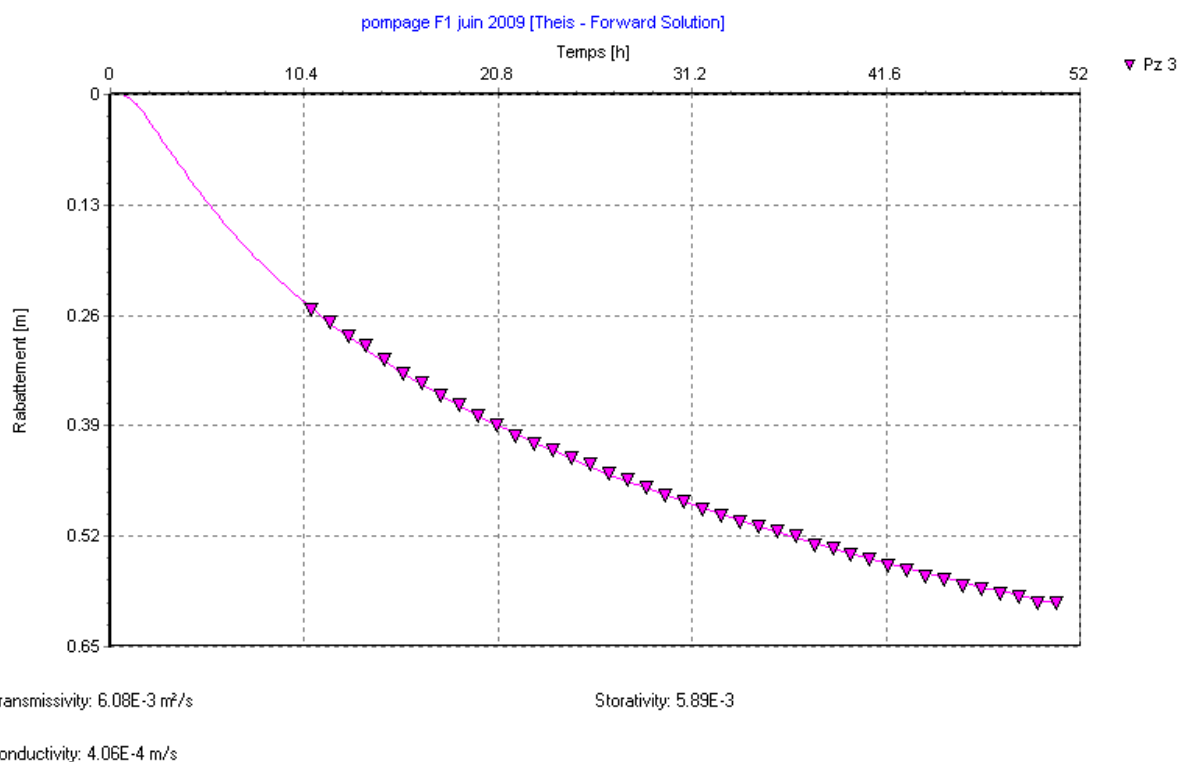
Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 9-6 Interprétation du pompage d'essai de nappe. PZ2. Courbe Rabattement = F(durée du pompage et du débit). Ajustement des observations à l'équation de Theis.

Transmissivity: $6.73\text{E-}3 \text{ m}^2/\text{s}$ Storativity: $2.92\text{E-}3$ Conductivity: $4.49\text{E-}4 \text{ m/s}$

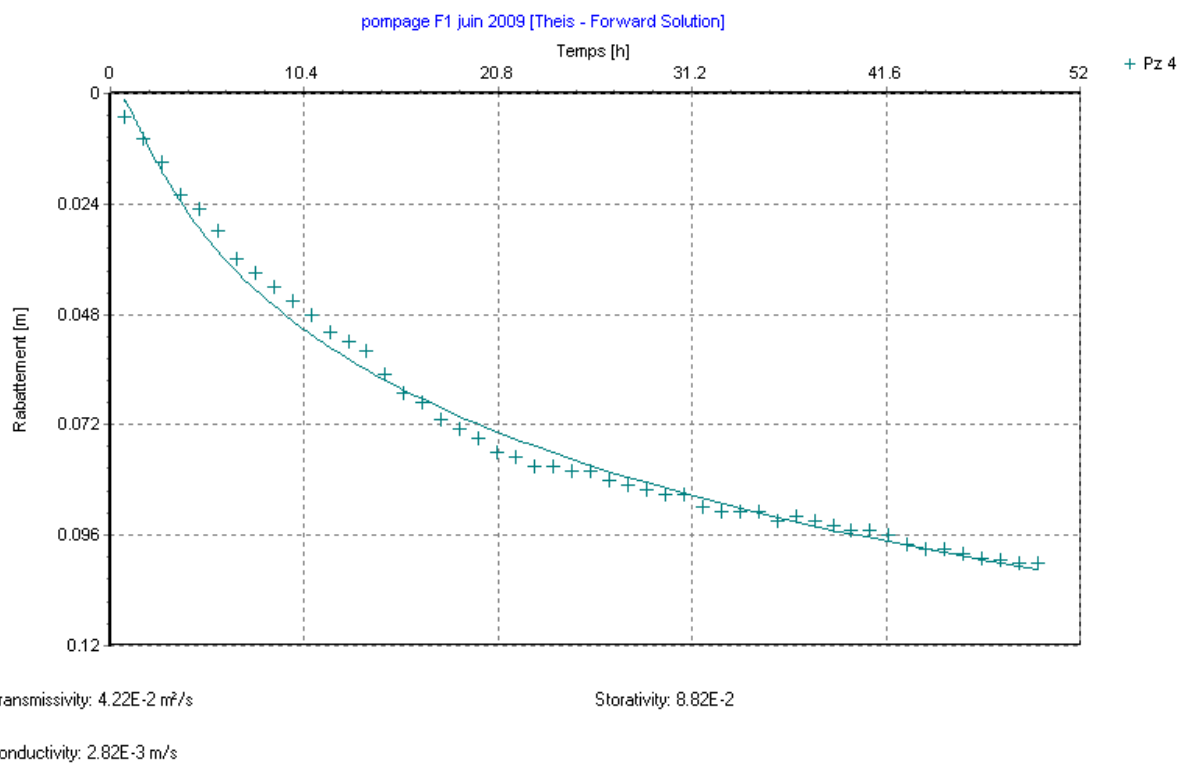
Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 9-7 Interprétation du pompage d'essai de nappe. PZ3. Courbe Rabattement = F(durée du pompage et du débit). Ajustement des observations à l'équation de Theis.



Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 9-8 Interprétation du pompage d'essai de nappe. PZ4. Courbe Rabattement = F(durée du pompage et du débit). Ajustement des observations à l'équation de Theis.



Régie
Départementale d'
Assistance



TRAÇAGES DES EAUX DE L'AQUIFÈRE.

Deux campagnes de traçages ont été réalisées :

- Un premier traçage de type radial convergeant avec injection du traceur dans le piézomètre n°2 et surveillance des points de restitution potentielle (forages d'exploitation et la source de Lully) ;
- Un second traçage conventionnel, cherchant à caractériser les relations entre le ruisseau de la Gorge et les forages d'exploitation avec injection du traceur dans le ruisseau de la Gorge et surveillance des points de restitution potentielle (forages d'exploitation, source de Lully, ruisseau de la Gorge au droit de la source de Lully).

Ce paragraphe présente les caractéristiques de ces deux campagnes, les observations faites et leurs interprétations.

10. TRAÇAGE N°1. TRAÇAGE RADIAL CONVERGEANT.

10.1.1 Conditions de l'injection :

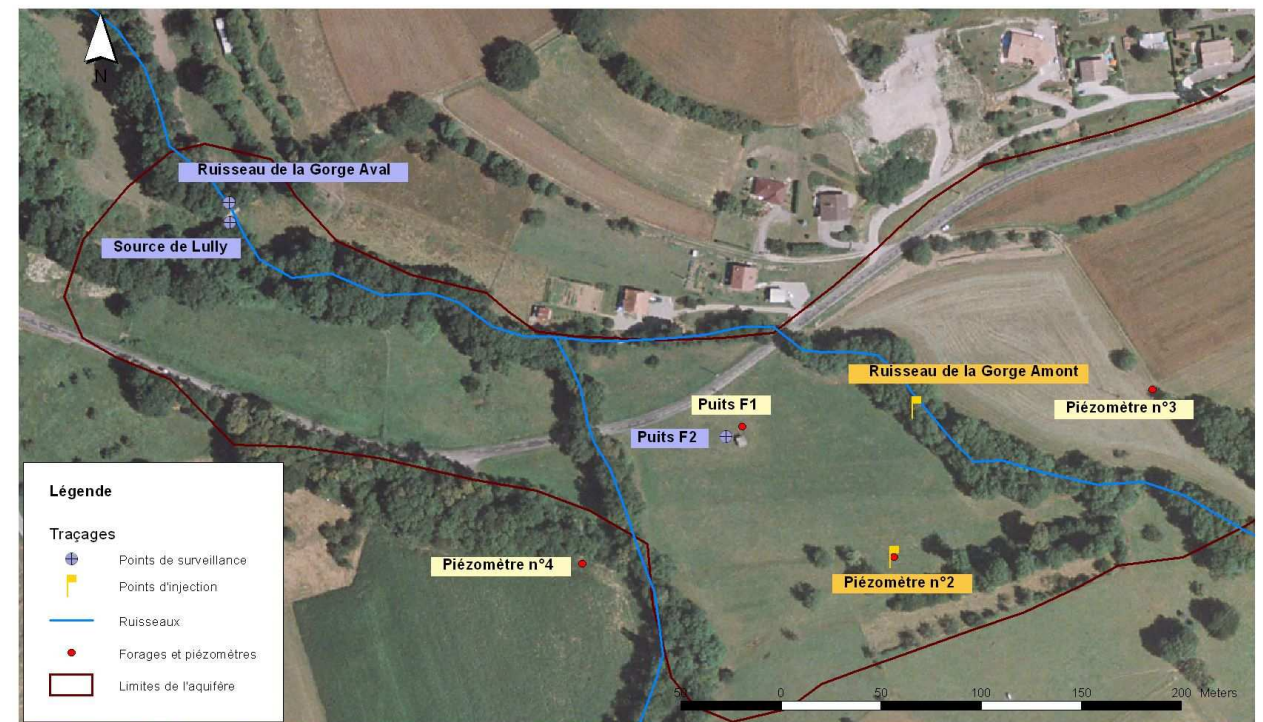
- Injection dans le piézomètre n°2 ;
- Distance puits F2 / piézomètre : 101 m ;
- Produit injecté : Iodure de Sodium (NaI) ;
- Quantité injectée : 10 Kg de NaI, soit 8,47 Kg de iodure.
- Date de l'injection : 23 septembre 2009 à 17 h 00 ;
- Injection réalisée par dissolution du sel de NaI dans environ 100 L d'eau initialement prélevée au réseau. La solution de NaI est ensuite déversée dans le tubage du piézomètre par sa tête ;
- 150 L d'eau complémentaires ont été ensuite déversés dans le piézomètre pour « pousser » le traceur.

10.1.2 Conditions de pompage et de prélèvements :

- La station de pompage a conservé son régime de fonctionnement habituel pendant toute la durée de la migration du traceur. Seul le puits F2 a été utilisé ;
- Pendant les 100 jours de surveillance du traçage, le débit moyen prélevé au puits F2 a été de 364 m³/jour (représentant 5,2 h de pompage par nuit) ;
- Deux points de surveillance et de prélèvement d'eau ont été installés :
- Sur le puits F2, avec préleveur automatique ;
- Sur la source de Lully, par prélèvements ponctuels ;
- les analyses ont été réalisées par un laboratoire agréé.

Symasol. SIEA de Fessy-Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 10-1 Opérations de traçage de la nappe. Localisation des points d'injection et de surveillance.



10.1.3 Courbes de restitution et résultats :

Les courbes de restitution du traceur font toutes deux apparaître un pic de concentration en iodure. Il est cependant nettement plus intense pour la source de Lully. Le taux de restitution est faible (16% correspondant à la somme des concentrations relevées au forage et à la source de Lully) après 100 jours de surveillance.

Ces observations mettent en évidence que :

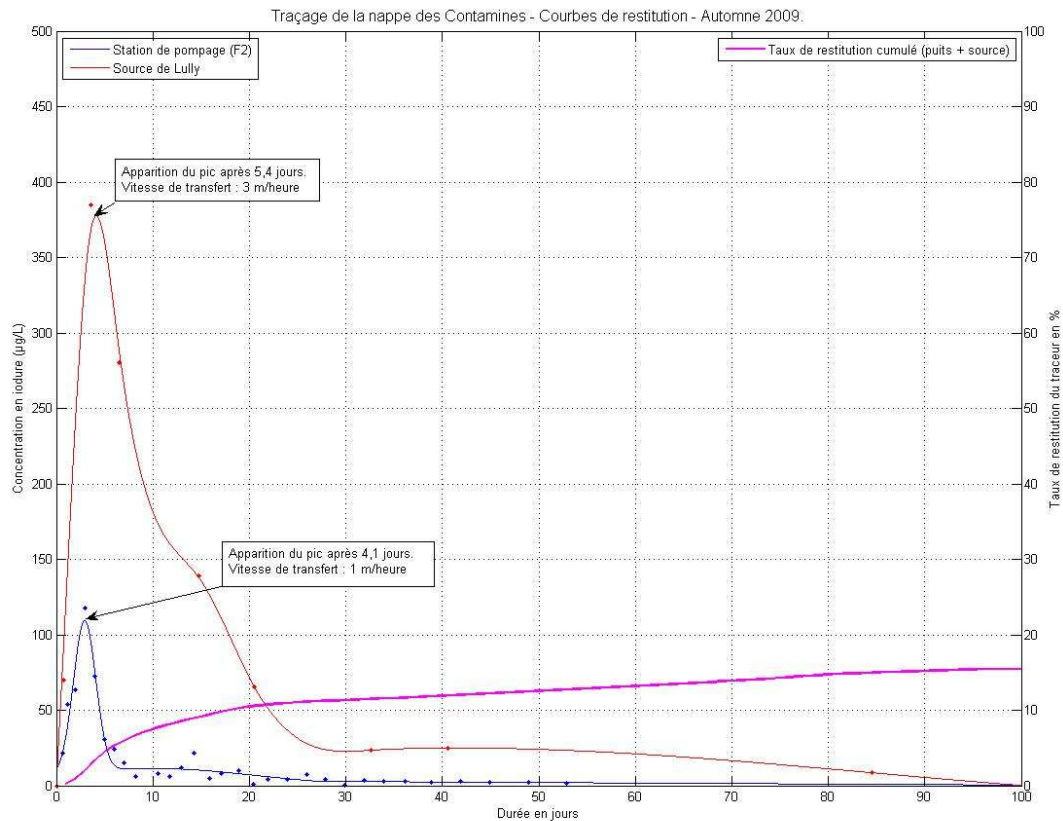
- Le traceur a évité, partiellement, le cône d'influence du puits F2 ;
- ce faible taux de restitution (16 %) est dû au drainage de la nappe par le ruisseau de la Gorge : un volume important sort ainsi du système sans avoir été mesuré. La Source de Lully et le drainage de la nappe par le ruisseau de la Gorge ont un comportement hydrologique semblable. Le débit drainé par le ruisseau de la Gorge étant en moyenne trois fois supérieur au débit de la source de Lully, le taux de restitution avoisine 55%.

A la source, le pic de concentration (370 µg/l) est observé 5,4 jours après l'injection, soit une vitesse de transfert de 3 m/heure (perméabilité résultante : $8,3 \text{ E-4 m/s}$).

Au forage, le pic de concentration (110 µg/l) est observé 4,1 jours après l'injection, soit une vitesse de transfert de 1 m/heure (perméabilité résultante : $6,21 \text{ E-5 m/s}$).

La restitution est de type unimodale, caractéristique d'un milieu homogène.

Symasol. SIEA de Fessy-Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 10-2 Traçage à l'ion iodure. 1^{er} traçage avec injection dans le piézomètre n°2.

11. TRAÇAGE N°2. TRAÇAGE DES EAUX DU RUISSEAU DE LA GORGE.

11.1.1 Conditions de l'injection :

- Injection directe dans le lit du ruisseau de la Gorge, dans sa partie amont sujette aux infiltrations ;
- Distance puits F2 / point d'injection : 98 m ;
- Produit injecté : Iodure de Sodium (NaI) ;
- Quantité injectée : 10 Kg de NaI, soit 8,47 Kg de iodure.
- Date de l'injection : 26 juillet 2010 à 15 h 30 ;
- Injection réalisée par le biais d'une gouille d'infiltration du ruisseau de la Gorge. Pour que tout le traceur puisse s'infiltrer, le flux du ruisseau a été détourné sur 10 m au droit du point d'injection. Il était de l'ordre de 0,7 L/s. Le traceur s'est infiltré progressivement vers la nappe pendant 3 h, avant que ne soit rétabli le flux normal du ruisseau. Environ 20 % du volume du traceur n'a pas eu le temps de s'infiltrer et a été emporté par le ruisseau ;

11.1.2 Conditions de pompage et de prélèvements :

- La station de pompage a conservé son régime de fonctionnement habituel pendant toute la durée de la migration du traceur. Seul le puits F2 a été utilisé ;

- Pendant les 45 jours de surveillance du traçage, le débit moyen prélevé au puits F2 a été de 489 m³/jour (représentant 7 h de pompage par nuit) ;
- Trois points de surveillance et de prélèvement d'eau ont été installés :
 - Sur le puits F2, avec préleveur automatique ;
 - Sur la source de Lully, avec préleveur automatique ;
 - Sur le ruisseau de la Gorge à l'aval de la zone de drainage, mais à l'amont du lieu de déversement de la source de Lully, avec préleveur automatique ;
- Les analyses ont été réalisées en fin de campagne par le laboratoire SGS Multilab. 26 échantillons du puits F2, 12 prélevés à la source et 12 prélevés dans le ruisseau de la Gorge ont été dosés en iode ;

11.1.3 Courbes de restitution et résultats :

L'évolution de la concentration aux points surveillés est présentée sur la Figure 11-1.

Il existe une relation franche entre les eaux du ruisseau de la Gorge qui s'infiltrent dans l'aquifère et les eaux captée aux forages des Contamines et à la source de Lully. Sur les 42 % de la masse du traceur restitués :

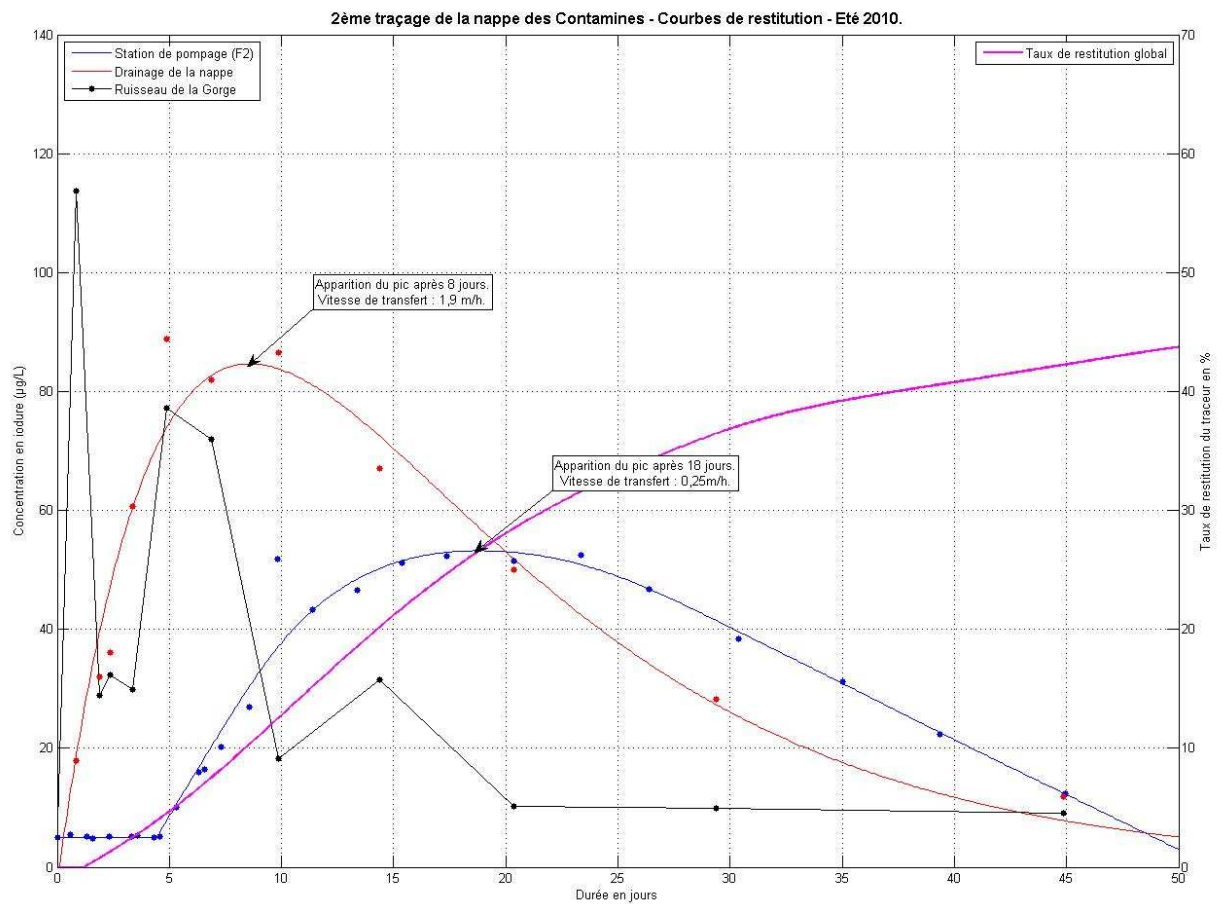
- 8% du traceur injecté dans les eaux du ruisseau ont été drainé vers le forage d'exploitation ;
- 12 % vers la source de Lully ;
- le solde vers le flux drainé par le ruisseau de la Gorge à l'aval de la station de pompage.

La courbe de restitution au puits F2 fait apparaître une quantité de traceur intercepté plus importante que lors du premier traçage (trois fois supérieure). Dans cette expérience, le point d'injection est situé dans la zone d'appel du puits. Une confirmation en est donnée par la carte des isochrones (Figure 15-4). Le maximum de concentration est atteint après 18 jours, avec un temps de latence initial de 5 jours. Ces délais peuvent s'expliquer par le passage du traceur dans la zone non saturée de l'aquifère entre le lit du ruisseau et le toit de l'aquifère.

Les concentrations en iode retrouvées dans le ruisseau de la Gorge sont dues au flux qu'il sous-tire à la nappe par drainage. Cependant ce flux est dilué par le flux « superficiel » du ruisseau qui est fortement lié aux conditions pluviométriques. La courbe initiale doit donc être modulée en fonction du débit réel du ruisseau de la Gorge au moment de chacun des prélèvements. Un tel calcul permet d'obtenir la concentration en iode du flux drainé seul.

Par cette approche, alors que le panache n'est pas encore complètement passé, et sans prendre en compte la quantité de traceur perdue à l'injection (environ 20%), le taux de restitution est proche de 45 %.

Symasol. SIEA de Fessy-Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 11-1 Traçage à l'ion iodure. 2^{ème} traçage avec injection dans le ruisseau de la Gorge.

Régie
Départementale d'
Assistance



BILAN HYDROLOGIQUE DU BASSIN VERSANT DE L'AQUIFERE.

12. BILAN HYDROLOGIQUE DU BASSIN VERSANT DE L'AQUIFERE.

Le bilan hydrologique du bassin versant de l'aquifère des Contamines peut être schématisé par la relation suivante ;

- Volumes des précipitations efficaces = volumes ruisselés + volume prélevés + volume mis en réserve.

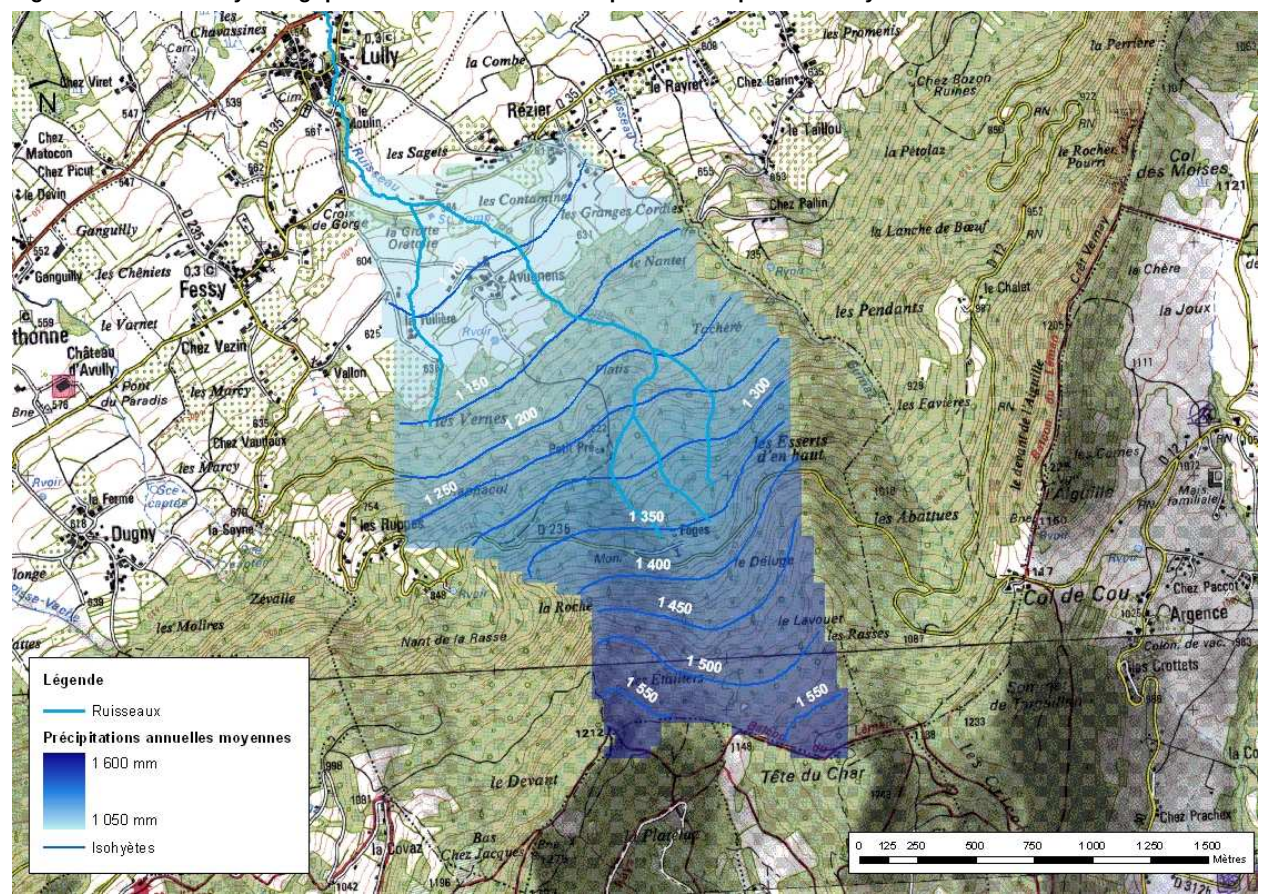
Le bilan proposé ci-après prend en compte :

- les précipitations moyennes annuelles pondérées par l'altitude du bassin versant discrétisé par maille de 50 * 50 mètres selon la relation : Précipitations = $0.812 * \text{Altitude} + 594$;
- la température moyenne annuelle pondérée par l'altitude du bassin versant discrétisé par maille de 50 * 50 mètres selon la relation : Température = $+ 0.7 \text{ °C} / 100 \text{ mètres}$;
- l'évapotranspiration calculée sur le même principe selon la relation : Evapotranspiration = $\text{Précipitations moyenne annuelle} / \text{racine } (0.9 + P^2/L^2)$ (formule de Turc : avec $L = 300 + 25T + 0.05T^3$).

Les figures suivantes présentent la répartition spatiale des valeurs prises en compte.

Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 12-1 Bilan hydrologique du bassin versant de l'aquifère. Précipitations moyennes annuelles.



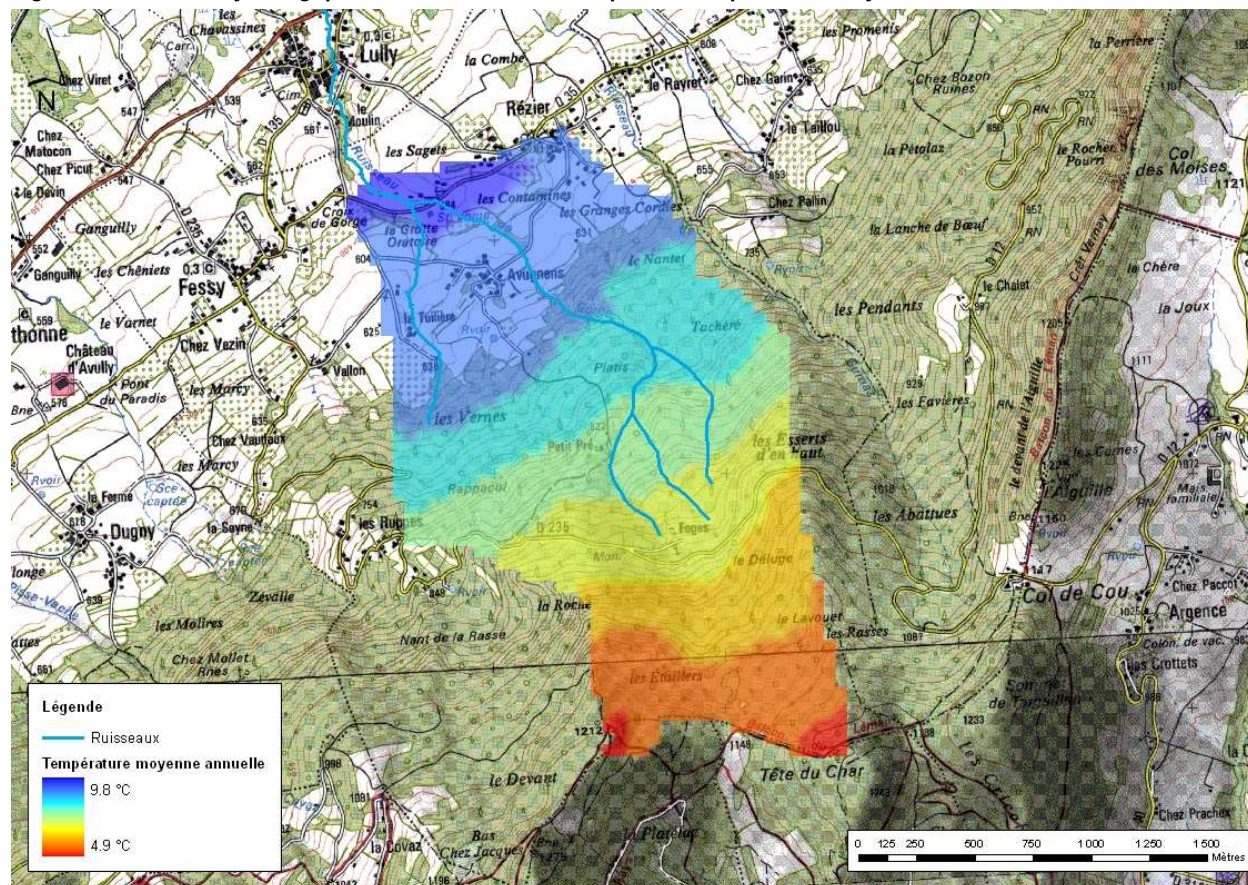
Statistique des volumes moyens précipités annuellement sur chaque mailles de 50 * 50 mètres.

- superficie totale : 353 hectares
- précipitations minimales : 2 646 m3/an ;

- précipitations maximales : 3 984 m³/an ;
- valeur la plus commune : 1 338 m³/an ;
- valeur moyenne : 3 182 m³/an ;
- Ecart type : 375 m³/an ;
- Volume total moyen annuel précipité sur le bassin versant : 4 500 000 m³.

Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

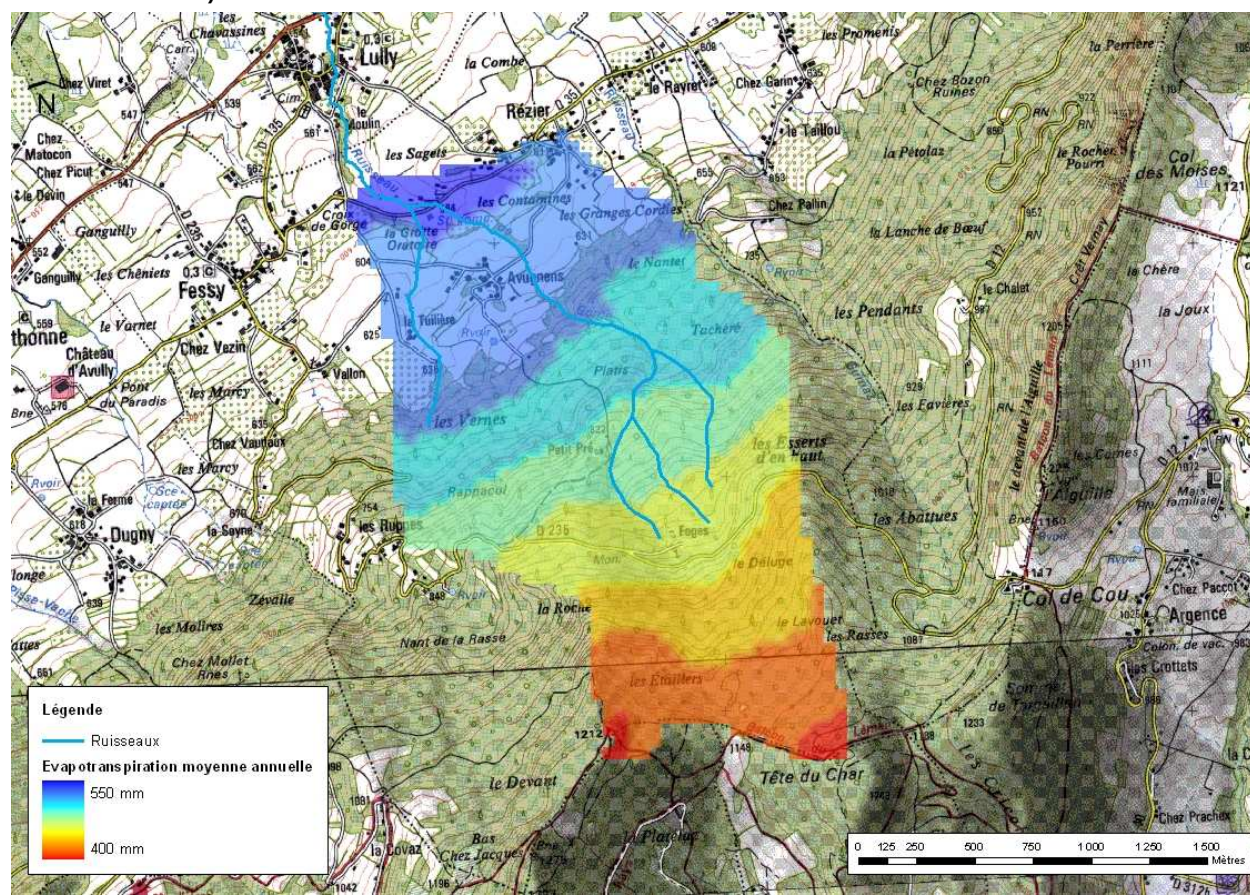
Figure 12-2 Bilan hydrologique du bassin versant de l'aquifère. Températures moyennes annuelles.



Température moyenne obtenue sur la base d'un gradient moyen de - 0,7°C / 100 m.

Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 12-3 Bilan hydrologique du bassin versant de l'aquifère. Evapotranspiration moyenne annuelle. (Formule de Turc).

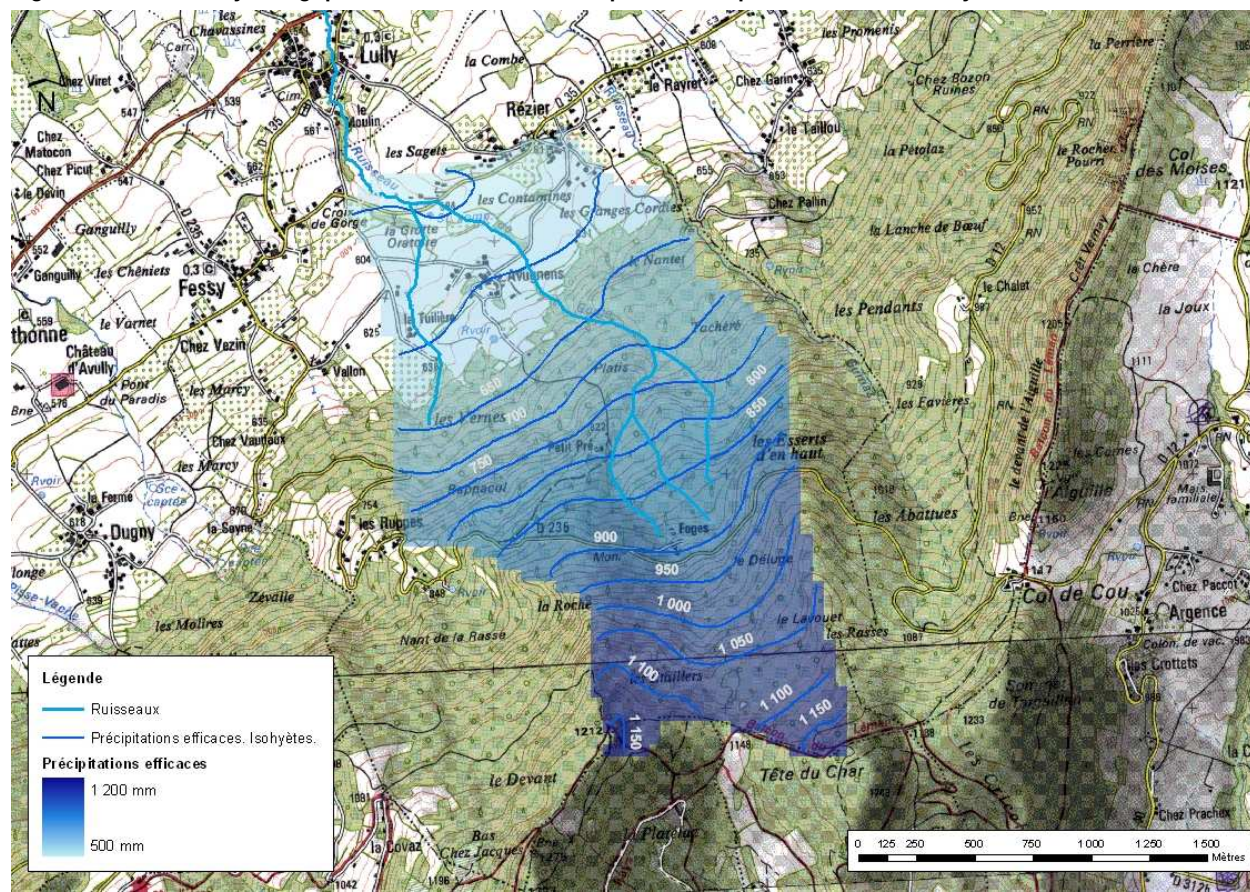


Evapotranspiration moyenne annuelle calculée à partir de la formule de Turc : $E = P / \text{racine}(0.9 + P^2/L^2)$ avec :

- E = évapotranspiration réelle en mm ;
- P = pluviométrie annuelle en mm ;
- T = température moyenne annuelle en °C.
- $L = 300 + 25 T + 0.05 T^3$.

Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 12-4 Bilan hydrologique du bassin versant de l'aquifère. Précipitations efficaces moyennes annuelles en mm.



Statistique des volumes moyens efficaces annuels sur chaque maille de 50 * 50 mètres.

- superficie totale : 353 hectares
- précipitations minimales : 1 339 m3/an ;
- précipitations maximales : 2 946 m3/an ;
- valeur la plus commune : 1 600 m3/an ;
- valeur moyenne : 1 979 m3/an ;
- Ecart type : 445 m3/an ;
- Volume annuel total: 2 600 000 m3.

12.1 RESULTATS DU BILAN HYDROLOGIQUE.

Précipitations (pour une moyenne inter-annuelle de 940 mm) :	915 mm	
Précipitations efficaces sur le bassin versant (353 ha) :	2 600 000 m ³	82,4 l/s
Déstockage de l'aquifère (Ecart entre les volumes présents au 15/04/10 et au 15/04/09) :	0 m ³	0 l/s
Volume extrait :	149 500 m ³	4,7 l/s
Volume écoulé à la source :	172 400 m ³	5,5 l/s
Volume écoulé dans le ruisseau de la Tuilière :	659 000 m ³	20,9 l/s
Volume écoulé dans le ruisseau de la Gorge :	1 254 000 m ³	39,8 l/s
Volume infiltré du ruisseau de la Gorge sur sa partie amont :	180 000 m ³	5,7 l/s
Volume drainé par le ruisseau de la Gorge sur sa partie aval :	440 000 m ³	14 l/s

Régie
Départementale d'
Assistance



CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DE L'AQUIFERE.

13. CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DE L'AQUIFERE.

Une campagne de prélèvements physico-chimiques a été réalisée, sur tous les ouvrages donnant accès à l'aquifère, ainsi que sur les cours d'eau, le 22/04/2009.

Les résultats sont consignés dans les paragraphes suivants :

- les eaux de l'aquifère sont minéralisées, dures, bicarbonatées, calciques, sulfatées, magnésiennes, chlorurées et sodiques. Les concentrations observées restent inférieures aux seuils et limites de qualité définis pour l'alimentation en eau potable ;
- les eaux des ruisseaux de la Gorge et de la Tuilière présentent un faciès légèrement différent, liée à l'absence de parcours souterrains des eaux. La concentration en magnésium est nettement plus faible que celles des eaux de l'aquifère ;
- la concentration en nitrates, dans les eaux de la nappe, n'est pas très élevée (~8 mg/l). Mais observée, dans les ouvrages localisés dans les zones où l'activité agricole est la plus importante, elle témoigne de l'impact chronique de l'activité agricole ;

La physico-chimie des eaux reflète l'influence de deux facteurs :

- le milieu naturel : eau à dominante bicarbonatée, calcique, sulfatée et magnésienne liée à l'environnement géologique du bassin versant de l'aquifère ;
- l'activité humaine : avec la concentration en nitrates et en chlorures des eaux de l'aquifère. La couverture argilo-graveleuse de l'aquifère n'est pas parfaitement étanche ; elle permet l'infiltration lente des contaminations chroniques liées à l'activité anthropique.

13.1 PRESENTATION DES RESULTATS PAR PARAMETRES.

13.1.1 pH

Lieu prélèvement		Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Puits des Contamines	Source de Lully	Ruisseau de la Gorge	Ruisseau de la Tuilière	Ruisseau de Rézier
22/04/09	Unité pH	6.95	7.0	7.0	7.05			8.25	8.20	7.7

Les eaux souterraines présentent un pH neutre. Les eaux de surface sont basiques ($-pH > 8$) liée à l'activité humaine et naturelle. Les valeurs de pH observées, comprises entre 7 et 8.25 sont conformes au référence de qualité définies par le Code de la Santé Publique.

13.1.2 Conductivité.

Lieu prélèvement		Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Puits des Contamines	Source de Lully	Ruisseau de la Gorge	Ruisseau de la Tuilière	Ruisseau de Rézier

22/04/09	µs/cm	647	658	748	516		665	374	427	559
----------	-------	-----	-----	-----	-----	--	-----	-----	-----	-----

Les eaux de la l'aquifère des Contamines avec des valeurs de conductivité comprises entre 658 et 748 µs/cm présentent une minéralisation importante. La minéralisation des eaux des cours d'eau est peu accentuée à moyenne.

13.1.3 Dureté totale

Lieu prélèvement		Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Puits des Contamines	Source de Lully	Ruisseau de la Gorge	Ruisseau de la Tuilière	Ruisseau de Rézier
22/04/09	°F	32.9	33.0	40.2	30.0	37.4	37.8	19	21.2	30.6

Les eaux de l'aquifère des Contamines sont dures.

13.1.4 Titre alcalimétrique complet.

Lieu prélèvement		Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Puits des Contamines	Source de Lully	Ruisseau de la Gorge	Ruisseau de la Tuilière	Ruisseau de Rézier
22/04/09	°F	112	31.2	33.8	57.0	32.4	31.6	17.6	20.1	28.7

L'alcalinité des eaux de l'aquifère des Contamines est conformes à la dureté observée. L'alcalinité des eaux provenant de PZ1 et PZ4 (forages recoupant des moraines argilo-graveleuses) est très forte, probablement liée à des temps de séjour importants des eaux dans les terrains aquifères.

13.1.5 Hydrogénocarbonates.

Lieu prélèvement		Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Puits des Contamines	Source de Lully	Ruisseau de la Gorge	Ruisseau de la Tuilière	Ruisseau de Rézier
22/04/09	mg/l	1 366	379	412	695	395	321	215	245	350

La concentration en hydrogénocarbonates des eaux de l'aquifère des Contamines est voisine de 400 mg/l. Elle est relativement importante. Cette concentration s'élève dans les eaux des aquifères peu transmissifs (PZ1 et PZ4) pour atteindre 1,3 g au forage PZ1.

13.1.6 Calcium.

Lieu prélèvement		Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Puits des Contamines	Source de Lully	Ruisseau de la Gorge	Ruisseau de la Tuilière	Ruisseau de Rézier
22/04/09	mg/l	481	105	119	228	121	119	69.2	83.4	114

La concentration en calcium des eaux de l'aquifère des Contamines est voisine de 120 mg/l. Cette concentration s'élève dans les eaux des aquifères peu transmissifs (PZ1 et PZ4) pour atteindre 481 mg au forage PZ1.

13.1.7 Magnésium.

Lieu prélèvement		Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Puits des Contamines	Source de Lully	Ruisseau de la Gorge	Ruisseau de la Tuilière	Ruisseau de Rézier
22/04/09	mg/l	57.5	20.4	26.3	18.6	20.5	14.7	4.1	4.5	7.5

La concentration en magnésium des eaux de l'aquifère des Contamines est voisine de 20 mg/l. Cette concentration est relativement élevée et traduit des temps de séjour des eaux prolongés, dans les terrains aquifères. La concentration est également élevée au PZ1 et paradoxalement basse au PZ4.

13.1.8 Sodium.

Lieu prélèvement		Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Puits des Contamines	Source de Lully	Ruisseau de la Gorge	Ruisseau de la Tuilière	Ruisseau de Rézier
22/04/09	mg/l	17.2	12.3	7.5	6.6	7.0	8.7	6.3	7.2	2.4

13.1.9 Potassium.

Lieu prélèvement		Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Puits des Contamines	Source de Lully	Ruisseau de la Gorge	Ruisseau de la Tuilière	Ruisseau de Rézier
22/04/09	mg/l	2.9	2.2	2.7	3.7	3.5	2.0	0.93	0.95	0.75

13.1.10 Sulfates.

Lieu prélèvement		Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Puits des Contamines	Source de Lully	Ruisseau de la Gorge	Ruisseau de la Tuilière	Ruisseau de Rézier
22/04/09	mg/l	20.4	35.8	63.9	12.4	43.2	29.4	11.6	12.6	10.4

La concentration en sulfates des eaux de l'aquifère des Contamines est voisine de 40 mg/l avec des différences assez forte entre le PZ2 et le PZ3 (respectivement 35.8 mg/l et 63.9 mg/l). Ces sulfates matérialisent l'influence des venues d'eau souterraines en provenance du versant, alimentant l'aquifère.

13.1.11 Chlorures.

Lieu prélèvement		Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Puits des Contamines	Source de Lully	Ruisseau de la Gorge	Ruisseau de la Tuilière	Ruisseau de Rézier
---------------------	--	-----	-----	-----	-----	-------------------------	--------------------	----------------------------	-------------------------------	-----------------------

22/04/09	mg/l	14.5	10.3	12.5	9.37	10.1	10.1	10.4	10.4	1.77
----------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

13.1.12 Nitrates.

Lieu prélèvement		Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Puits des Contamines	Source de Lully	Ruisseau de la Gorge	Ruisseau de la Tuilière	Ruisseau de Rézier
22/04/09	mg/l	4.25	4.61	8.42	1.86	7.31	4.74	<1	1.37	2.39

La concentration en nitrates est la plus élevée dans les eaux de l'aquifères des Contamines (8,42 mg/l). Cette concentration reste néanmoins faible. Elle traduit l'impact de l'activité agricole sur la qualité des eaux souterraines. Bien que protégées par des terrains de couverture argilo-graveleuses, les eaux de l'aquifère des Contamines restent vulnérables à des contaminations chroniques potentielles.

13.1.13 Silice

Lieu prélèvement		Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Puits des Contamines	Source de Lully	Ruisseau de la Gorge	Ruisseau de la Tuilière	Ruisseau de Rézier
22/04/09	mg/l	8.95	8.2	7.3	6.7	7.2	7.15	4.5	4.5	6.5

13.1.14 Ammonium.

Lieu prélèvement		Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Puits des Contamines	Source de Lully	Ruisseau de la Gorge	Ruisseau de la Tuilière	Ruisseau de Rézier
22/04/09	mg/l	< 0.06	< 0.06	< 0.06	< 0.06	< 0.06	< 0.06	< 0.06	< 0.06	< 0.06

13.1.15 Fer total.

Lieu prélèvement		Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Puits des Contamines	Source de Lully	Ruisseau de la Gorge	Ruisseau de la Tuilière	Ruisseau de Rézier
22/04/09	mg/l	33.8	0.057	<0.02	23.7	<0.02	<0.02	0.024	0.058	0.065

La concentration en fer est normalement élevée dans les forages présentant une faible transmissivité. Elle est inférieure au seuil de détection dans les eaux de l'aquifère des Contamines.

13.1.16 Manganèse

Lieu prélèvement		Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Puits des Contamines	Source de Lully	Ruisseau de la Gorge	Ruisseau de la Tuilière	Ruisseau de Rézier
------------------	--	-----	-----	-----	-----	----------------------	-----------------	----------------------	-------------------------	--------------------

22/04/09	mg/l	2.5			0.96	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
----------	------	-----	--	--	------	--------	--------	--------	--------	--------

Comme pour le fer, la concentration en manganèse est normalement élevée dans les forages présentant une faible transmissivité (milieu réducteur). Elle est inférieure au seuil de détection dans les eaux de l'aquifère des Contamines et les eaux des cours d'eau.

Les faciès physico-chimiques observés sont les suivants :

- Pz1 : eau bicarbonatée calcique, magnésienne, sulfatées, sodique et chlorurée. Eau fortement minéralisée et moyennement dure ;
- Pz2 : eau bicarbonatée, calcique, sulfatée, magnésienne, sodique et chlorurée, Eau fortement minéralisée et dure ;
- Pz3 : eau de bicarbonatée, calcique, sulfatée, magnésienne, chlorurée et sodique Eau fortement minéralisée et dure ;
- Forage des Contamines : eau bicarbonatée, calcique, sulfatée, magnésienne, chlorurée et sodique. Eau minéralisée et dure ;
- Source de Lully : eau bicarbonatée, calcique, sulfatée, magnésienne, chlorurée et sodique. Eau fortement minéralisée et dure ;
- Pz4 : eau bicarbonatée, calcique, magnésienne, sulfatées, chlorurée, sodique, Eau minéralisée et dure ;
- Ruisseau de la Gorge : eau bicarbonatée calcique, sulfatée, chlorurée, sodique et magnésienne. Eau minéralisée et moyennement dure ;
- Ruisseau de la Tuilière : eau bicarbonatée calcique, sulfatée, chlorurée, sodique et magnésienne. Eau minéralisée et moyennement dure ;
- Ruisseau de la Rézier : eau bicarbonatée calcique, magnésienne, sodique et chlorurée. Eau minéralisée et moyennement dure.

Les eaux de l'aquifère des Contamines présentent le même faciès physico-chimiques : les eaux sont bicarbonatées, calciques, sulfatées, magnésiennes, chlorurées et sodiques. Elles sont fortement minéralisées et dures.

Les faciès présentés par les autres points analysés sont conformes à l'origine des eaux et à l'origine des éléments observés :

- pour le piézomètre n°1, la concentration en magnésium est supérieure à la concentration en sulfates, la concentration en fer et manganèse est supérieure au seuil de détection. L'ensemble de ces paramètres est caractéristiques d'un milieu confiné, dans lequel les eaux circulent lentement ;
- pour les ruisseaux, la concentration en sulfates est supérieure à la concentration en magnésium. Les sulfates sont beaucoup plus solubles dans l'eau que le magnésium.
- La concentration en nitrate la plus élevée est logiquement observée au droit du piézomètre n°3, dans le secteur où la culture est la plus aisée.

13.2 OXYGENE 18 ET DEUTERIUM.

Un dosage de l'O18 et du deutérium a été réalisé sur les eaux de l'aquifère des Contamines prélevées régulièrement au cours du cycle hydrologique et des eaux précipitées au Col de Cou entre mars 2009 et décembre 2009.

Les concentrations relevées exprimées en delta pour mille sont résumées dans le tableau suivant.

La concentration en O18 des eaux de l'aquifère des Contamines reste stable, au cours du cycle hydrologique, comprise entre -10.7 et -11 ‰ VSMO M.

L'altitude du bassin versant moyen d'alimentation de l'aquifère, indiqué par le résultat de ces analyses (1 100 mètres) correspond à l'altitude des sommets des versants qui entourent l'aquifère. Les valeurs relevées sont cohérentes avec les valeurs moyennes observées au col de Cou.

Nom		Mars 2009	Août 2009	Septembre 2009	Octobre 2009	Décembre 2009
Puits des Contamines	d18O ‰ VSMOW	-11.0	-11.0	-10.7	-10.7	-11.0
	d2H ‰ VSMOW	-75	-69	-70	-70	-71
Station de pompage	d18O ‰ VSMOW					-7.9
	d2H ‰ VSMOW					-55
Col de Cou	d18O ‰ VSMOW	-17.5	-11.7	-11.9	-11.9	-12.1
	d2H ‰ VSMOW	-113	-66	-66	-73	-65

Régie
Départementale d'
Assistance



MODELISATION DU COMPORTEMENT DE L'AQUIFERE.

14. MODELISATION DU COMPORTEMENT DE L'AQUIFERE.

Ce paragraphe présente les informations retenues pour élaborer le modèle numérique. Ce modèle permettra de synthétiser les informations collectées et une fois validé, de préciser le volume de la ressource exploitable, les conditions d'exploitation et de protection optimales.

Les points d'observations permettant de caractériser le comportement hydrodynamique de l'aquifère et la géométrie des écoulements étant peu nombreux, le modèle a été construit en privilégiant volontairement les solutions et les hypothèses permettant de retenir une description homogène et des caractéristiques hydrodynamiques isotropes.

14.1 OBSERVATIONS ET FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DU SYSTEME

La période de mesures d'un an et demi, contenant un cycle hydrologique complet (tarissement estival, recharges automnale, puis nivale au printemps) a permis d'appréhender de manière assez fine le fonctionnement hydrologique du système. Cette période contient également l'intégralité de la période de tarissement sévère de l'été et l'automne 2009, qui a débouché sur un étiage exceptionnel à la fin du mois d'octobre 2009.

L'interaction entre les deux ruisseaux (ruisseaux de la Gorge et de la Tuilière) qui coulent sur le domaine d'étude, la nappe et la source de Lully est dorénavant bien connue, tant qualitativement que quantitativement.

14.1.1 Infiltration du ruisseau de la Gorge

Lors des périodes de basses eaux, il a été observé une infiltration du ruisseau de la Gorge sur sa partie amont (confirmé par les jaugeages ponctuels). Cette zone d'alimentation s'étend depuis l'amont du ruisseau de la Gorge, à son entrée sur le domaine d'étude, jusqu'à approximativement son passage sous la route RD35.

Sur tout ce linéaire, le ruisseau de la Gorge s'écoule à une altitude supérieure à celle du niveau piézométrique de la nappe. Les volumes infiltrés transitent donc par la zone non saturée pour rejoindre et alimenter la nappe des Contamines. Sur cette portion, le cours d'eau est donc indépendant du comportement de la nappe, au-dessus de laquelle il coule. La part du débit du ruisseau de la Gorge s'infiltrant peut être estimée à une valeur moyenne de 20 %, se réduisant en période de crue et s'accroissant avec le tarissement du cours d'eau.

Au cours du tarissement exceptionnel de l'automne 2009, le faible débit arrivant à l'amont du ruisseau de la Gorge (0,74 l/s) se perdait à 80 % en infiltration lors du jaugeage du 5 octobre 2009 (0,12 l/s résiduels s'écoulaient au droit de la station limnimétrique).

Par ailleurs, pendant les périodes chaudes de l'été 2009, le débit du ruisseau de la Gorge est même devenu parfois nul. Au phénomène d'infiltration vers la nappe, se rajoutait celui de l'évapotranspiration. Certains jours du mois de juillet 2009, en période diurne, le ruisseau de la Gorge à la station limnimétrique s'asséchait, puis retrouvait un petit débit au cours de la nuit.

14.1.2 Exutoire de la nappe

La nappe des Contamines possède deux exutoires :

- la source de Lully ;
- le ruisseau de la Gorge lui-même.

Ce ruisseau a en effet une action drainante sur la nappe à partir de sa confluence avec le ruisseau de la Tuilière.

En période de faible débit, des émergences diffuses sont observées directement dans le lit du cours d'eau, à partir de la confluence avec la Tuilière puis ponctuellement vers l'aval.

Ces deux exutoires ont un fonctionnement similaire vis-à-vis de la nappe : ils agissent comme un drain, et leur débit est fonction du niveau piézométrique de la nappe.

14.1.3 Station de pompage

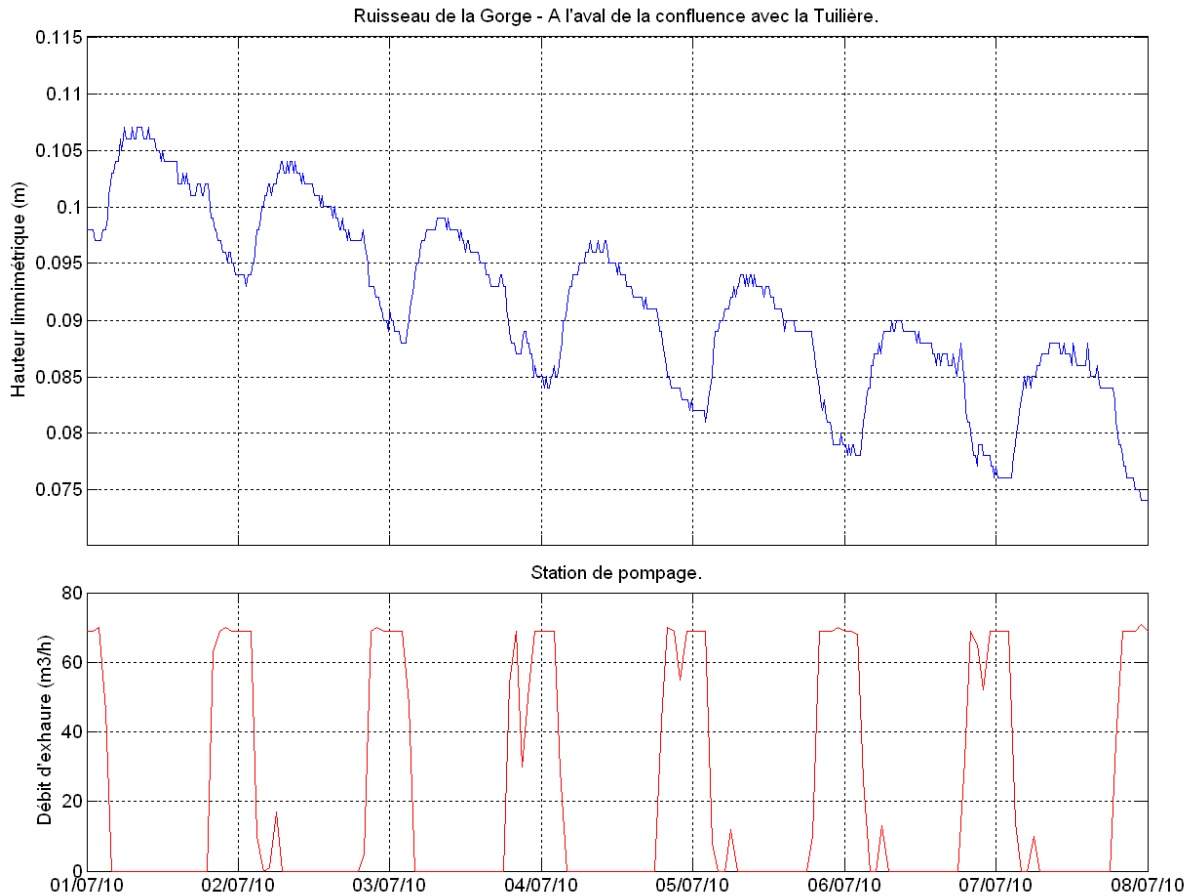
La station de pompage a un impact direct sur le niveau piézométrique de la nappe et donc indirectement sur le débit de ses deux exutoires. Pendant les pompages journaliers pour l'AEP (très réguliers tout au long de la campagne de mesures) de 5 à 7 heures par jour, le débit de la source de Lully se trouve aussitôt affecté. En général, 5 à 7 h de pompage font baisser le débit de la source de 3 à 4 l/s.

Au cours du pompage d'essai de juin 2009, 48 heures de pompage à 70 m³/h avaient fait passer le débit de la source de 6,7 l/s à 0,5 l/s.

De la même façon, les volumes de la nappe drainés par le ruisseau de la Gorge, sont réduits pendant que la station de pompage est en fonctionnement. Ainsi lorsque le débit de transit dans le ruisseau de la Gorge est réduit, c'est-à-dire lorsque la part du débit de drainage est importante (en période d'étiage), la variation résultante sur le débit global du ruisseau de la Gorge est observable. La figure suivante montre le couplage entre le débit d'exhaure de la station et le niveau du ruisseau de la Gorge à l'aval de la confluence avec la Tuilière.

14.1.4 Ruisseau de la Tuilière

D'après les mesures ponctuelles réalisées, le ruisseau de la Tuilière ne s'infiltre pas comme celui de la Gorge. Son niveau est également supérieur à celui de la nappe ; il n'est donc pas en interaction avec l'aquifère. Il coule sur le domaine d'étude et ajoute son débit à celui du ruisseau de la Gorge à partir de la confluence.

Symasol. SIEA de Fessy-Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.**Figure 14-1** Corrélation entre le ruisseau de la Gorge à l'aval de la confluence avec la Tuilière, et le débit d'exhaure de la station.**14.1.5 Jaugeages ponctuels des débits des cours d'eau**

Six campagnes complètes de mesures ponctuelles des débits des ruisseaux et différents émissaires ont été réalisées tout au long de la campagne de mesures. Les ruisseaux de la Tuilière et surtout de la Gorge ont été jaugés sur plusieurs sections avec un vélocimètre électromagnétique au cours de chacune de ces campagnes, réparties en périodes de hautes et basses eaux.

Ces mesures ponctuelles permettent dans un premier temps de tarer les sections de mesure des deux stations limnimétriques sur chacun des cours d'eau, afin de connaître le débit en continu en ces deux points.

Ces mesures différentielles (plusieurs sections du même cours d'eau) permettent ensuite de calculer les flux d'infiltration et de drainage, pour quantifier les flux entrant et sortant de la nappe.

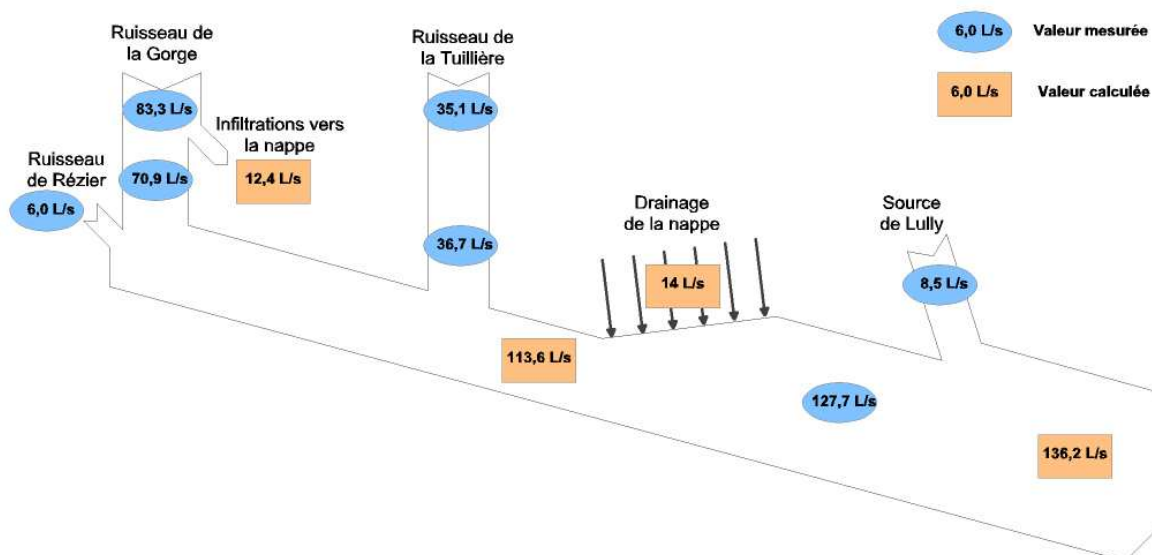
Sont présentés dans le tableau suivant, les débits mesurés lors de chaque campagne, pour des débits du ruisseau de la Gorge décroissants.

Les Figure 14-2 à Figure 14-6 permettent de visualiser les bilans des flux pour une campagne donnée.

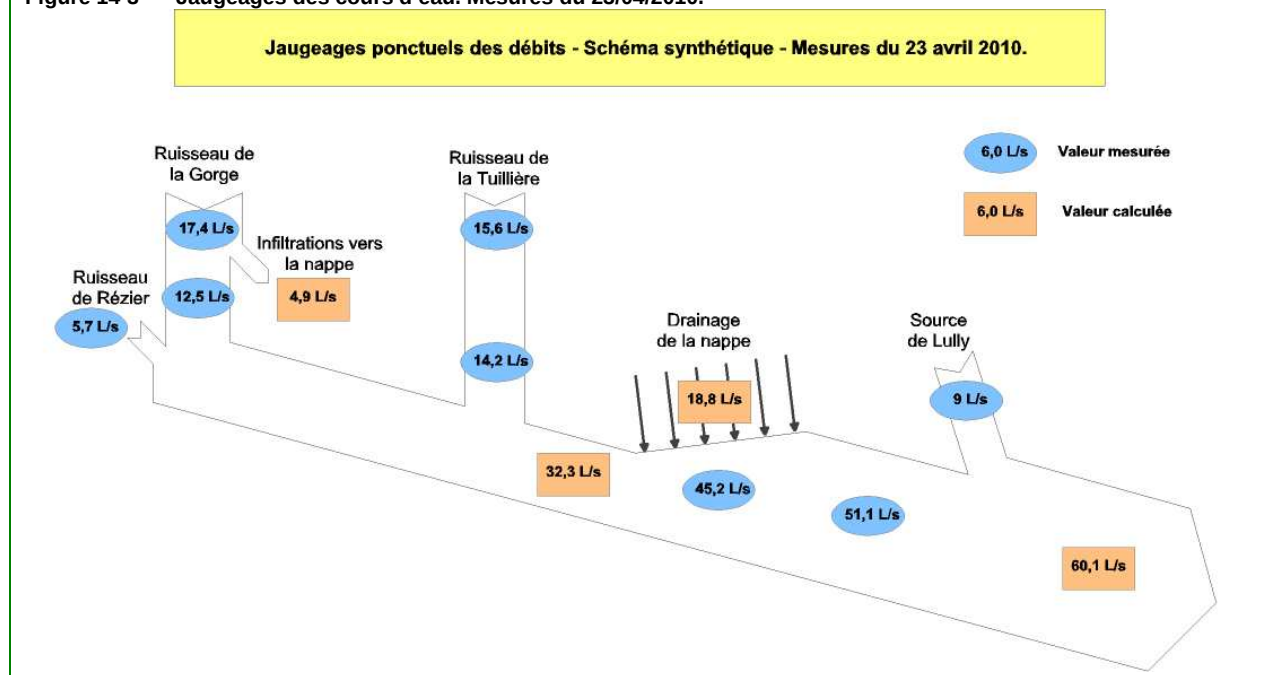
Section de jaugeage (l/s)	24/03/10	14/04/10	23/04/10	30/08/10	09/09/10	27/07/10	05/10/09
Ruisseau de la Gorge – Amont	83,3	26.8	17.4	/	3.0	1.8	0.74
Ruisseau de la Gorge – Station Limni	70.9	26.0	12.5	6.5	2.7	1.6	0.12
Infiltrations vers la nappe	12.4	0.8	4.9	/	0.3	0.2	0.62
Ruisseau de Rézier + buse	6.0	9.0	5.7	0.3	0.29	0.36	0
Ruisseau de la Tuillière – Amont	35.1	25.2	14.2	2.5	1.5	0.88	0.25
Ruisseau de la Tuillière – Aval	36.7	29.0	15.6	/	/	/	0.08
Ruisseau de la Gorge – Confluence	113.6	64.1	32.3	9.3	4.8	2.8	0.19
Ruisseau de la Gorge – Intermédiaire	/	69.3	45.2	/	/	8.0	/
Ruisseau de la Gorge – Au droit de la source de Lully	127.7	78.0	51.1	21.5	16.4	14.2	9
Drainage de la nappe par le ruisseau de la Gorge	14.0	13.9	18.8	12.2	11.6	11.4	8.8
Source de Lully	8.5	10.5	9.0	4.3	4.0	5.4	2.6
Ruisseau de la Gorge – Aval	136.2	88.5	60.1	25.8	20.4	19.6	11.6
						Valeur mesurée	Valeur calculée

Symasol. SIEA de Fessy-Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.
Figure 14-2 Jaugeages des cours d'eau. Mesures du 24/03/2010.

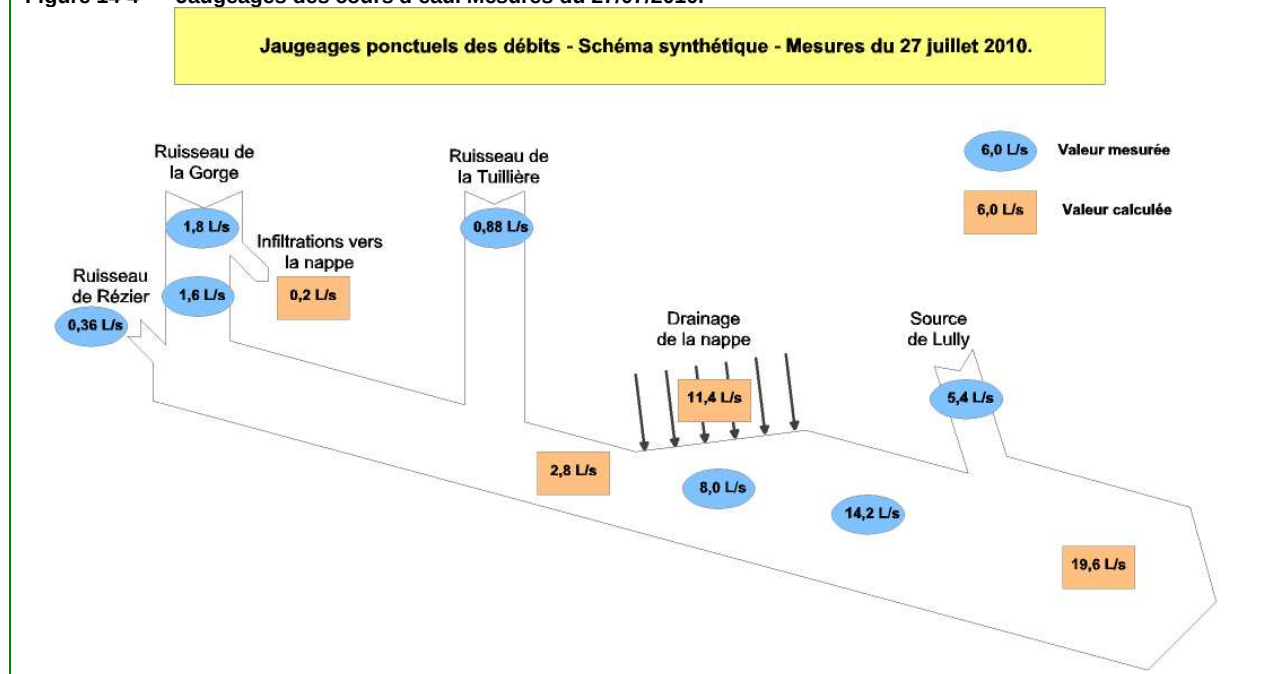
Jaugeages ponctuels des débits - Schéma synthétique - Mesures du 24 mars 2010.



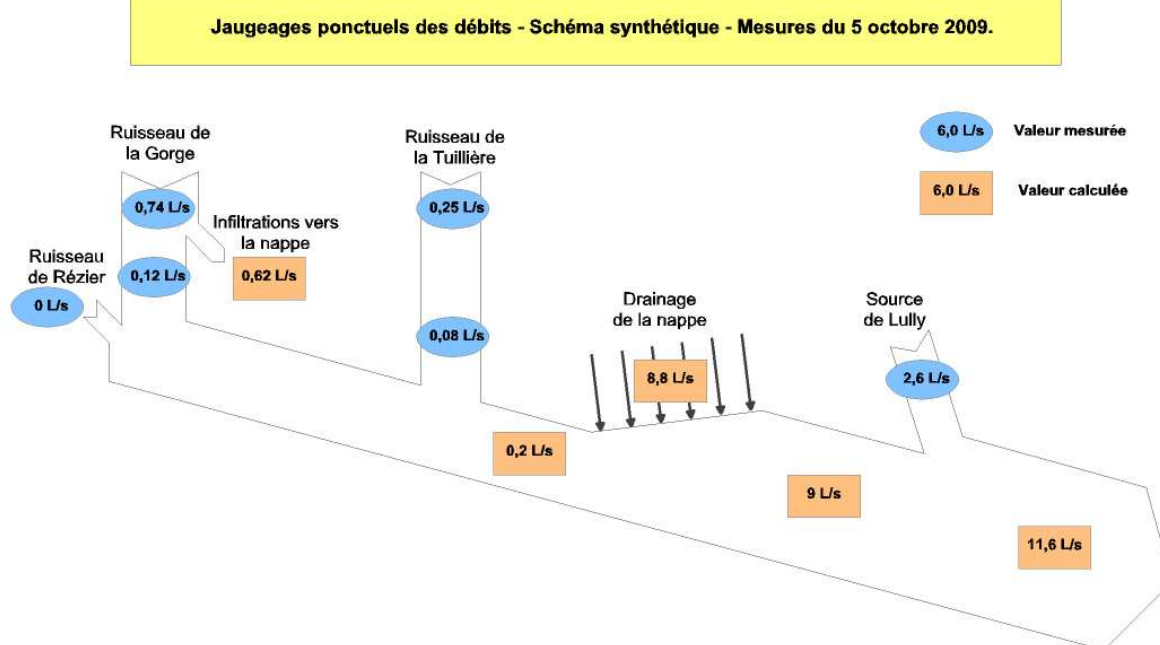
Symasol. SIEA de Fessy-Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.
Figure 14-3 Jaugeages des cours d'eau. Mesures du 23/04/2010.



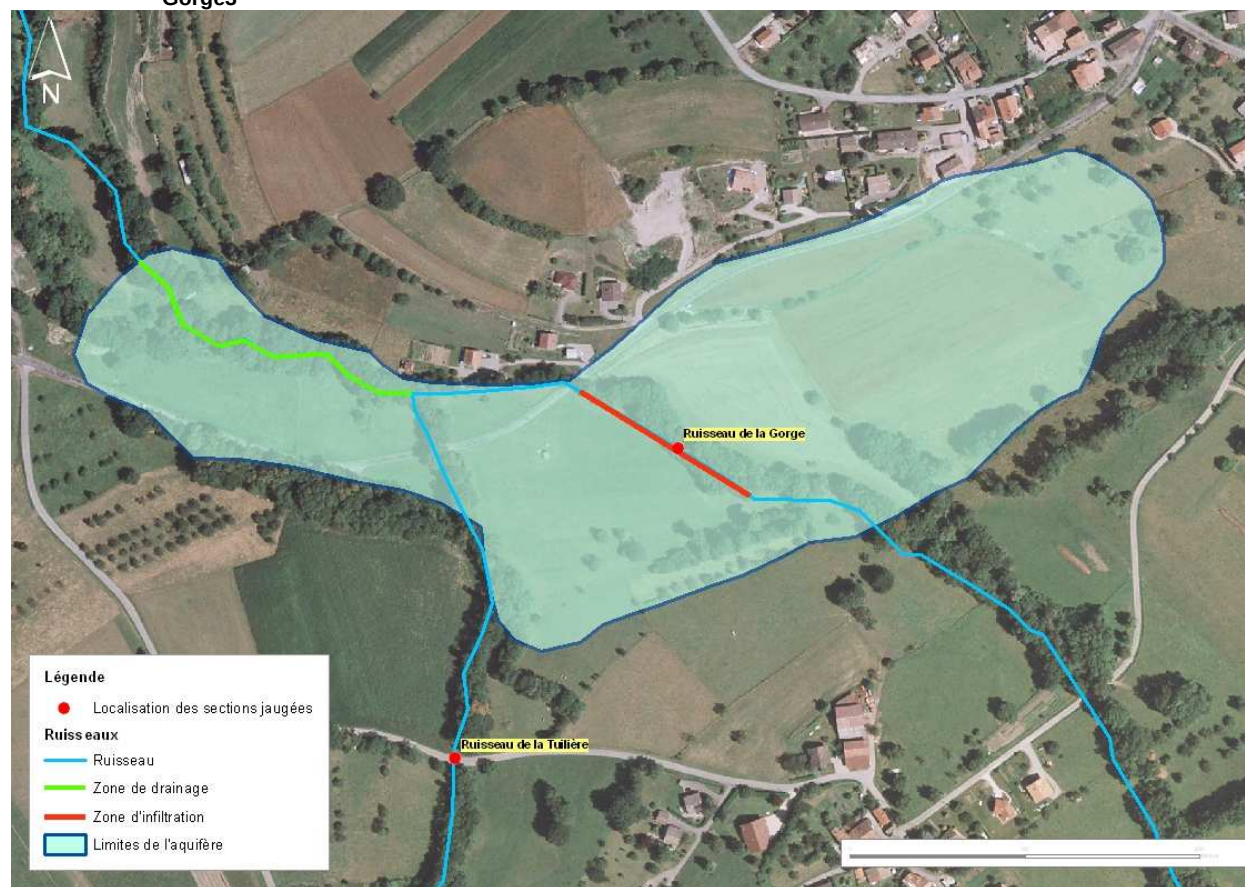
Symasol. SIEA de Fessy-Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.
Figure 14-4 Jaugeages des cours d'eau. Mesures du 27/07/2010.



Symasol. SIEA de Fessy-Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.
Figure 14-5 Jaugeages des cours d'eau. Mesures du 05/10/2009.



Symasol. SIEA de Fessy-Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.
Figure 14-6 Carte de localisation des sections jaugeées et des portions d'infiltration et de drainage du ruisseau de la Gorge3



14.2 CONCEPTION DU MODELE.

Le modèle est construit en prenant en compte les éléments suivants :

14.2.1 Nombre de couches et type de nappe.

Les coupes lithologiques relevées lors de l'exécution des forages, les sondages géophysiques et l'extension assez réduite de l'aquifère permettent de considérer l'aquifère comme un aquifère monocouche, de caractéristiques uniformes et à écoulement libre.

14.2.2 Alimentation de l'aquifère.

Les observations réalisées au cours de la période d'étude (mesures piézométriques, mesures ponctuelles de débit) ont permis de mettre en évidence les relations du ruisseau de la Gorge avec la nappe. Ce ruisseau s'infiltre dans la partie amont de la zone aquifère, puis il draine la nappe dans sa partie aval, à partir de la confluence avec le ruisseau de la Tuilière. L'alimentation de la nappe par le ruisseau de la Gorge est complétée par des apports de versant, dans la partie sud-est de la zone d'étude. L'ensemble de ces apports sont issus des eaux précipitées sur le bassin versant qui s'étend jusqu'à la tête du Char.

La superficie du bassin versant drainé par l'aquifère et les précipitations annuelles observées sur le bassin versant sont compatibles avec les flux transitant.

14.2.3 Homogénéité des terrains aquifères.

A partir des données lithologiques relevées dans les forages, on peut considérer que la nappe est contenue globalement dans des sables grossiers et graviers roulés (de 2 à 25 mm de diamètre). Leurs caractéristiques ont été évaluées par le pompage d'essai effectué sur le puits F1. Les valeurs ajustées dans le modèle sont les suivantes :

- perméabilité : $4,5.10^{-4}$ m/s ;
- porosité de drainage : 0,17
- coefficient d'emmagasinement spécifique : 1.10^{-3} m⁻¹

Leur épaisseur varie entre 0 et 40 mètres.

L'épaisseur de la partie noyée varie entre 0 et 30 mètres.

14.2.4 Conditions aux limites.

Les conditions aux limites définies dans le modèle sont uniquement des conditions de flux. Sont définis dans le modèle, les volumes journaliers :

- extraits à la station de pompage ;
- apportés par le versant et les infiltrations du ruisseau de la Gorge qui sont fonction de son débit.

Le modèle calcule les volumes qui sont soutirés à la nappe par une condition aux limites de type drain, à l'aval du système. Le volume écoulé par ce drain est fonction du niveau piézométrique calculé dans la nappe. Il représente pour le modèle à la fois le débit de la source de Lully et le débit drainé par le ruisseau de la Gorge sur sa partie aval.

Sur l'ensemble du domaine, le niveau de l'aquifère varie librement : la géométrie du mur constitue un vaste réservoir naturel dont les apports se font au sud-est par le versant et le ruisseau de la Gorge, et dont les émissaires sont la source de Lully et une partie du flux du ruisseau de la Gorge à l'aval.

14.2.5 Mur de l'aquifère.

La géométrie du mur de l'aquifère est définie par interpolation des observations ponctuelles faites : coupes lithologiques et sondages géophysiques. L'extension de la zone aquifère s'en trouve bien délimitée. La profondeur maximale relevée est d'une quarantaine de mètres à proximité du Pz 3.

Le mur de l'aquifère des Contamines est constitué directement par le substratum (grès de la nappe des Voiron) ou par des moraines argilo-graveleuses supportées par les terrains du substratum.

14.2.6 Outils de simulation.

Le logiciel retenu pour répondre aux objectifs de l'étude est Visual Modflow. Ce logiciel est un des outils les plus utilisés pour réaliser ce type de simulation.

Ce logiciel est adapté au contexte de l'étude. Il permet de prendre en compte :

- l'ensemble du système aquifère et des écoulements qui s'y produisent ;
- une représentation précise de la géologie de la zone d'étude ;
- les interactions entre les eaux souterraines et les eaux de surface ;
- le transport de particules au sein de l'aquifère.

14.3 PHASE DE CALCUL.

Le calcul est basé sur une discrétisation de la zone à modéliser en mailles carrées de 5 mètres de côté. L'extension complète est comprise dans un rectangle de 820 m de long et 440 mètres de large. Dans ce rectangle, la zone potentiellement aquifère représente une surface de 12,4 ha, modélisés par 4 945 mailles carrées de 5 mètres de côté.

14.4 CALAGE DU MODELE.

Le calage du modèle a été réalisé en régime transitoire sur l'ensemble de la période disponible (du 15 mars 2009 au 8 septembre 2010, 543 jours). Cette période prend en compte le tarissement et l'étiage très sévère de l'automne 2009, la période de recharge qui a suivi, la période de fonte de neige au printemps 2010, puis de nouveau la période de tarissement estival de 2010.

Le calage a donc été optimisé au mieux à la fois sur les périodes de basses eaux et de hautes eaux.

Le calage est jugé satisfaisant lorsque les variations calculées se superposent au mieux avec les valeurs mesurées. Les résultats de ce calage sont présentés dans le tableau suivant et sur les Figure 14-7 à Figure 14-12.

Les paramètres hydrodynamiques retenus permettent de reproduire de façon satisfaisante le synchronisme et l'amplitude des variations, et ceci sans imposer de conditions aux limites de niveau. Seuls les débits d'exhaure de la station et les apports amont en relation avec le débit du ruisseau de la Gorge, sont imposés.

Les paramètres de ce calage sont donc jugés satisfaisants :

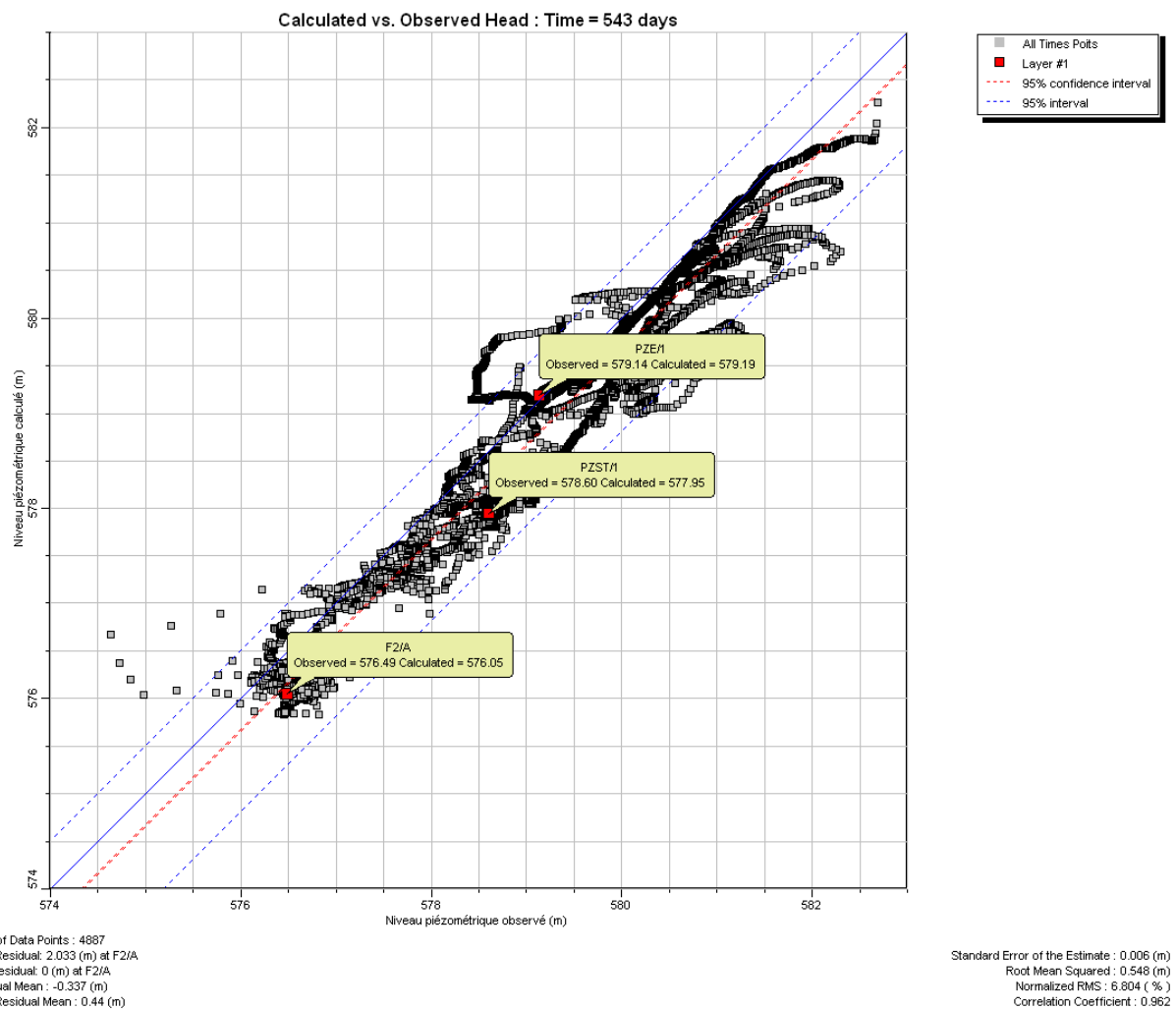
- les grandes lignes des variations piézométriques annuelles et pluriannuelles sont correctement simulées, en particulier l'amplitude du tarissement ;
- le modèle réagit avec un bon synchronisme à des recharges brusques ;
- le modèle calcule les débits qui sortent à l'aval (drainage du ruisseau + source de Lully). Ils suivent bien la même évolution que les débits mesurés à la source de Lully seuls (Figure 14-11).

Synthèse des paramètres permettant d'estimer la précision du calage :

Point d'observation	Nombre de points	Erreur résiduelle max	Erreur résiduelle min	Moyenne des erreurs résiduelles	Abs de la moyenne résiduelle	Erreur standard de l'estimation	Ecart quadratique moyen	RMS normalisée	Coefficient de corrélation
Piézomètre 3	1629	-1.60 m	0.00 m	-0.10 m	0.34 m	0.011 m	0.464 m	10.9 %	0.938
Piézomètre 2	1629	-1.70 m	-0.00 m	-0.64 m	0.64 m	0.008 m	0.717 m	20.6 %	0.933
Puits F2	1629	2.03 m	0.00 m	-0.27 m	0.33 m	0.008 m	0.413 m	9.6 %	0.923

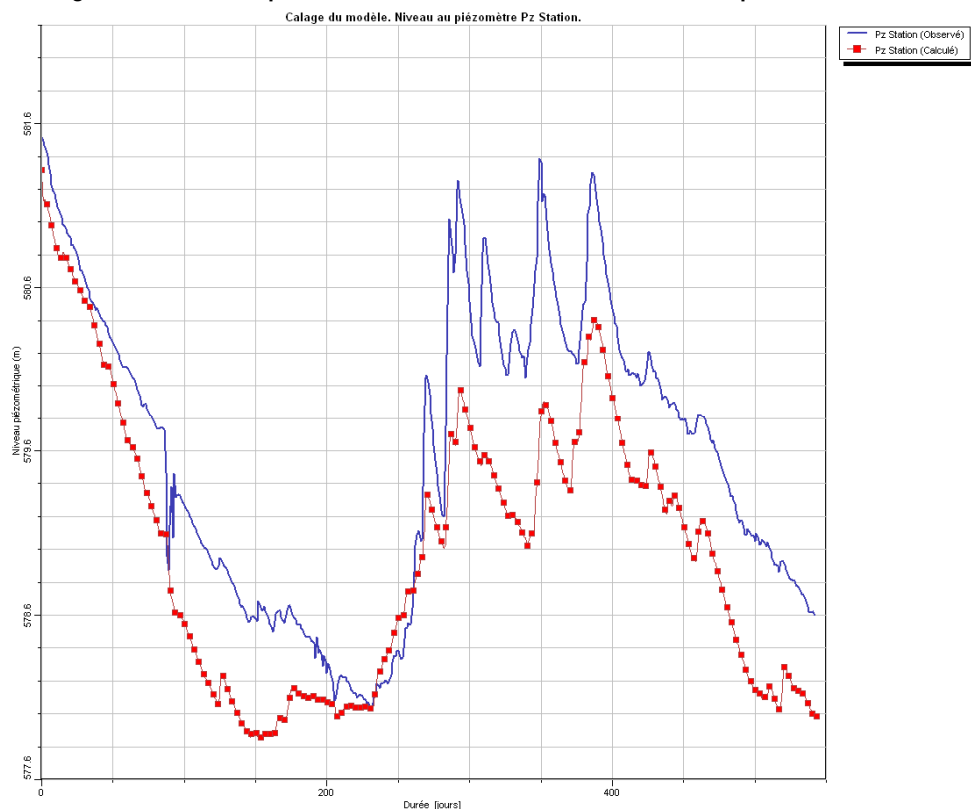
Symasol. SIEA de Fessy-Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 14-7 Présentation des principaux paramètres permettant d'apprécier le calage du modèle. Ensemble des écarts entre valeur observée et calculée pour les trois points d'observation.



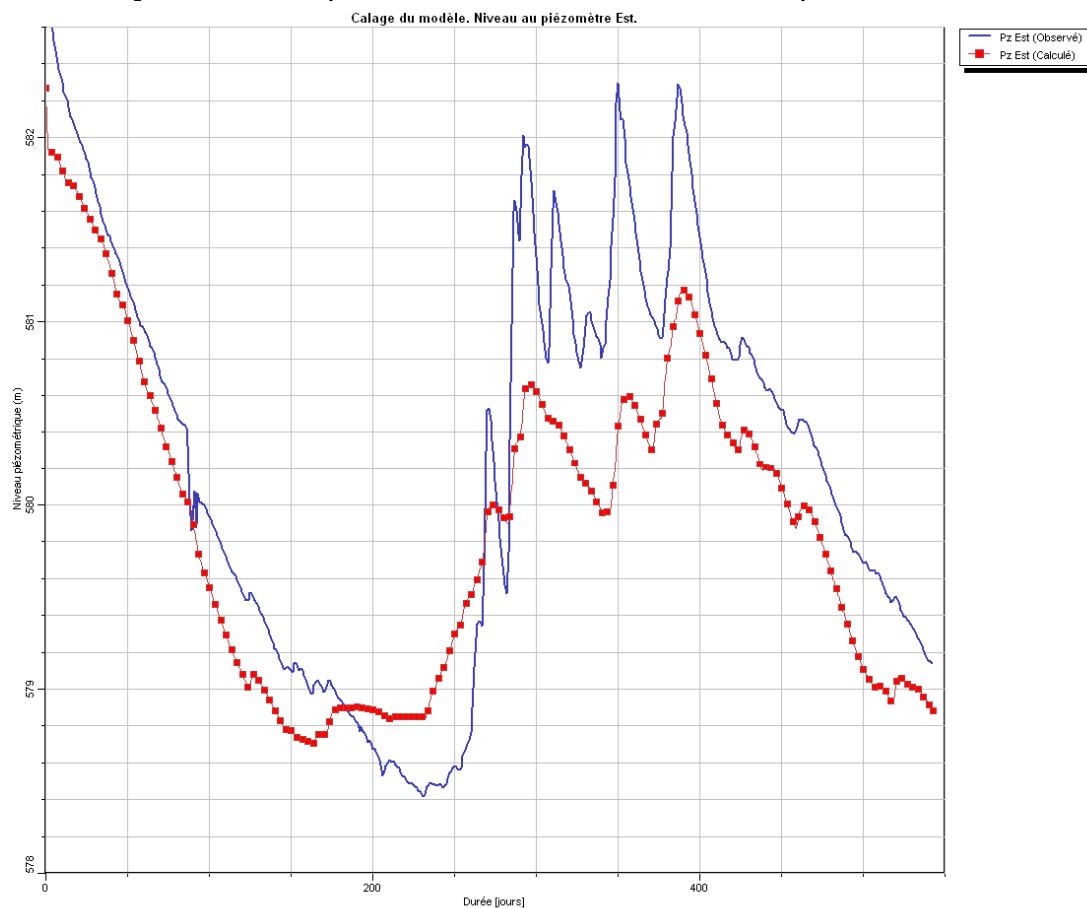
Symasol. SIEA de Fessy-Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 14-8 Calage du modèle. Comparaison entre valeurs calculées et observées pour le Piézomètre 2.



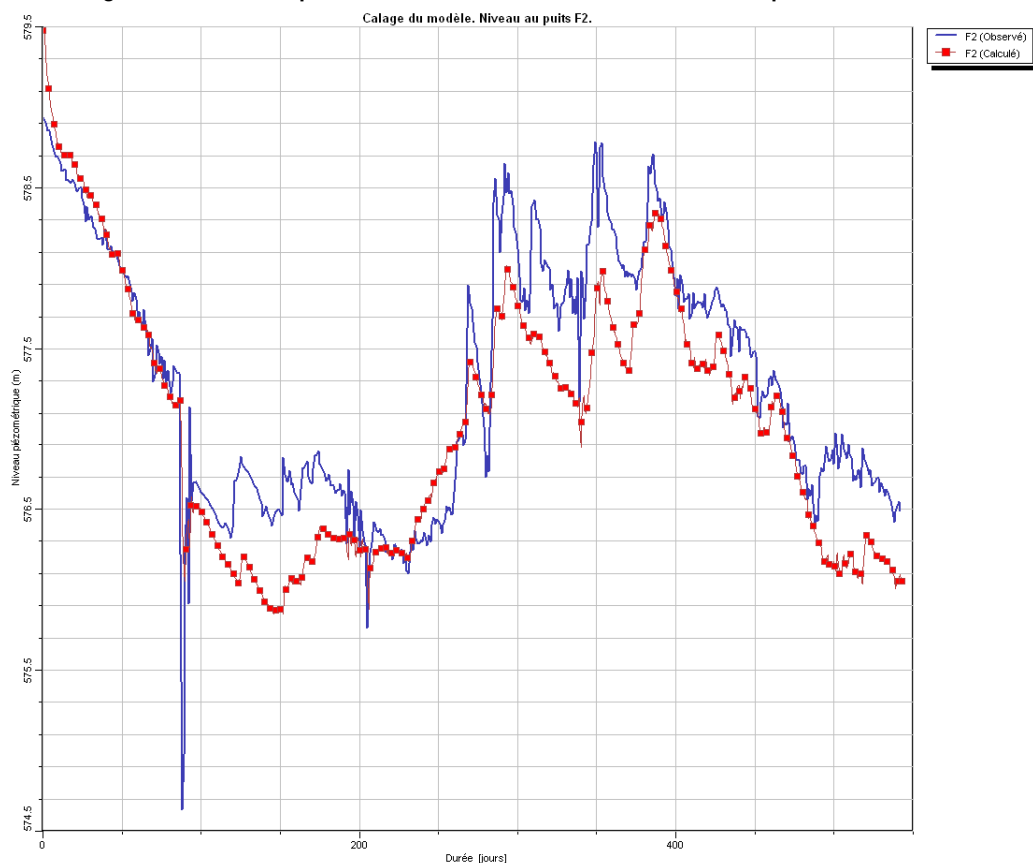
Symasol. SIEA de Fessy-Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 14-9 Calage du modèle. Comparaison entre valeurs calculées et observées pour le Piézomètre 3.



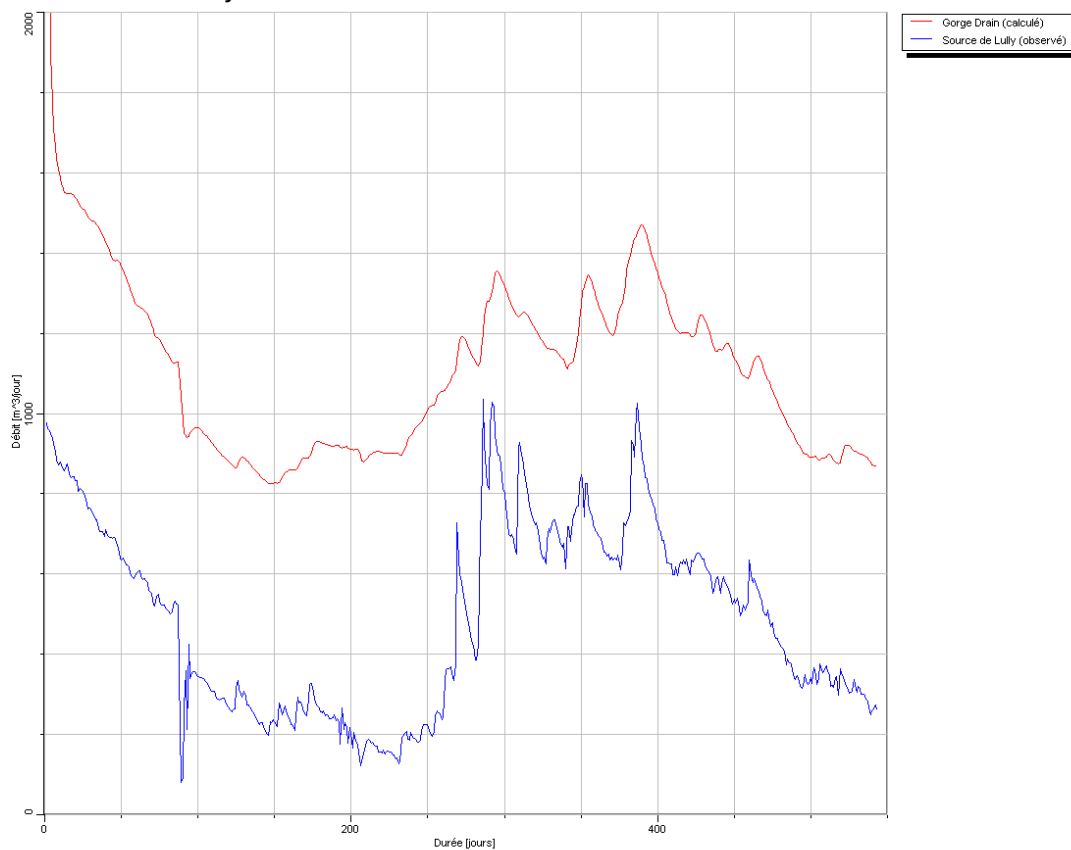
Symasol. SIEA de Fessy-Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

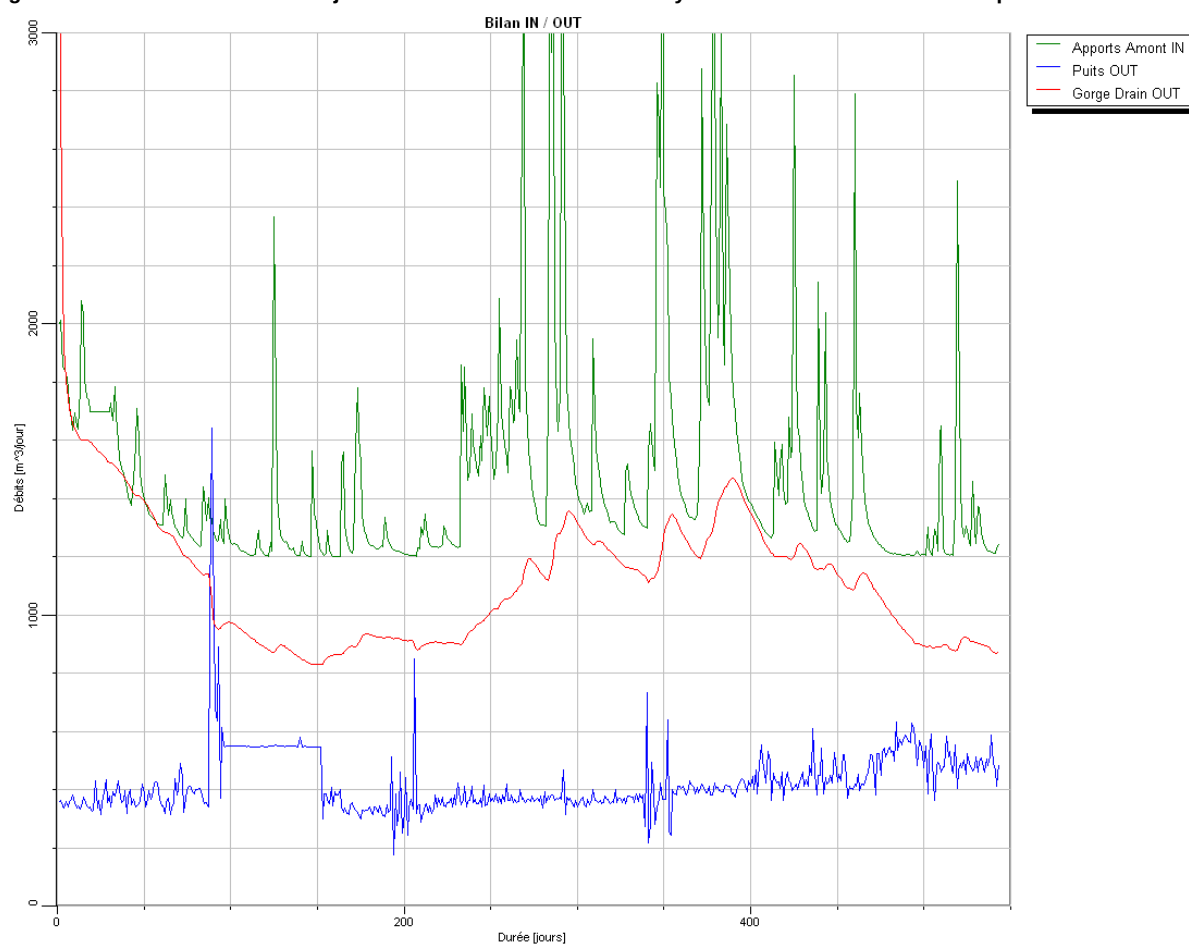
Figure 14-10 Calage du modèle. Comparaison entre valeurs calculées et observées pour le Puits n°2.



Symasol. SIEA de Fessy-Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

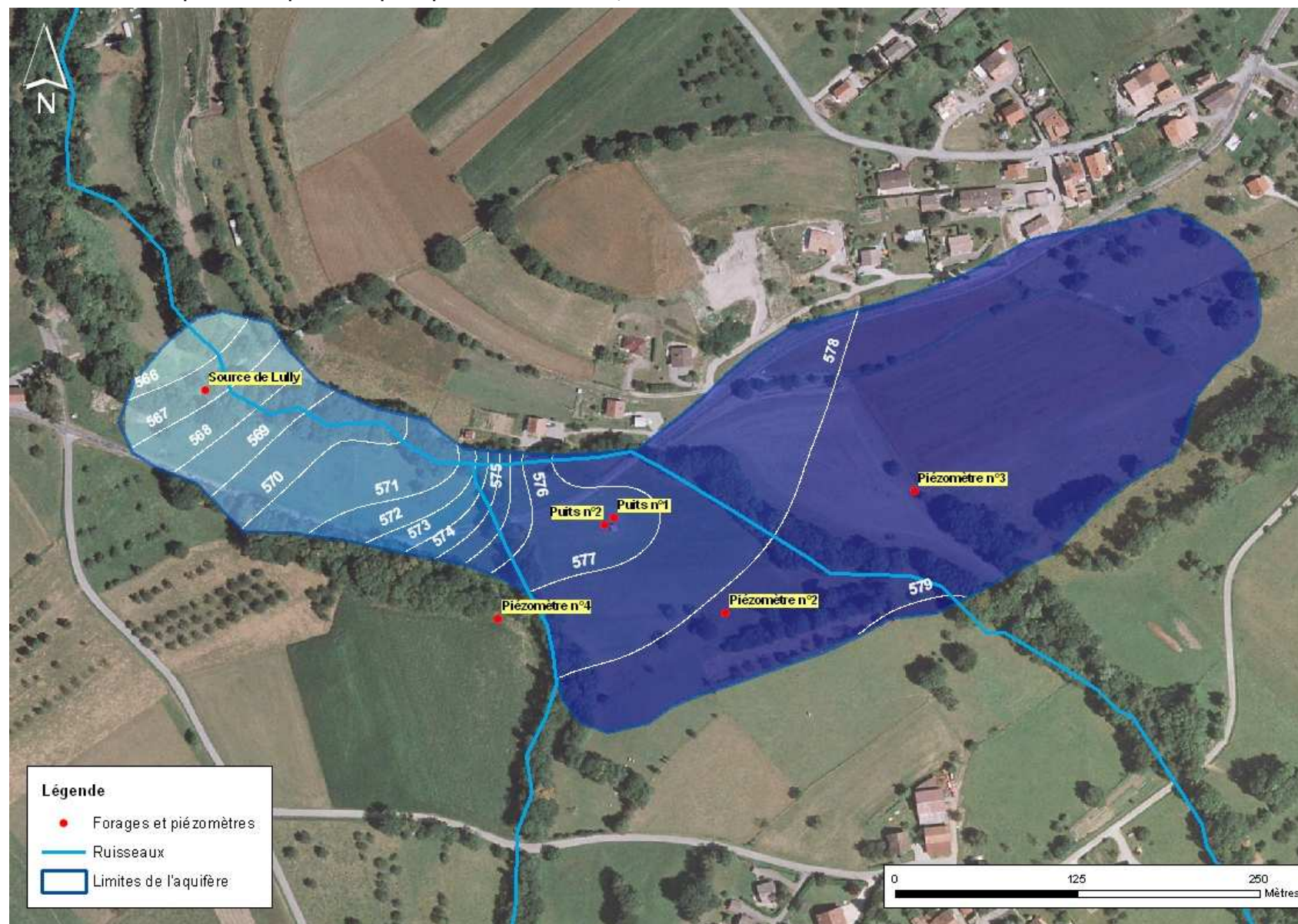
Figure 14-11 Calage du modèle. Comparaison entre les volumes drainés à l'aval du modèle et les volumes observés à la source de Lully.



Symasol. SIEA de Fessy-Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.**Figure 14-12 Ensemble des flux journaliers entrant et sortant du système durant l'ensemble de la période d'étude.**

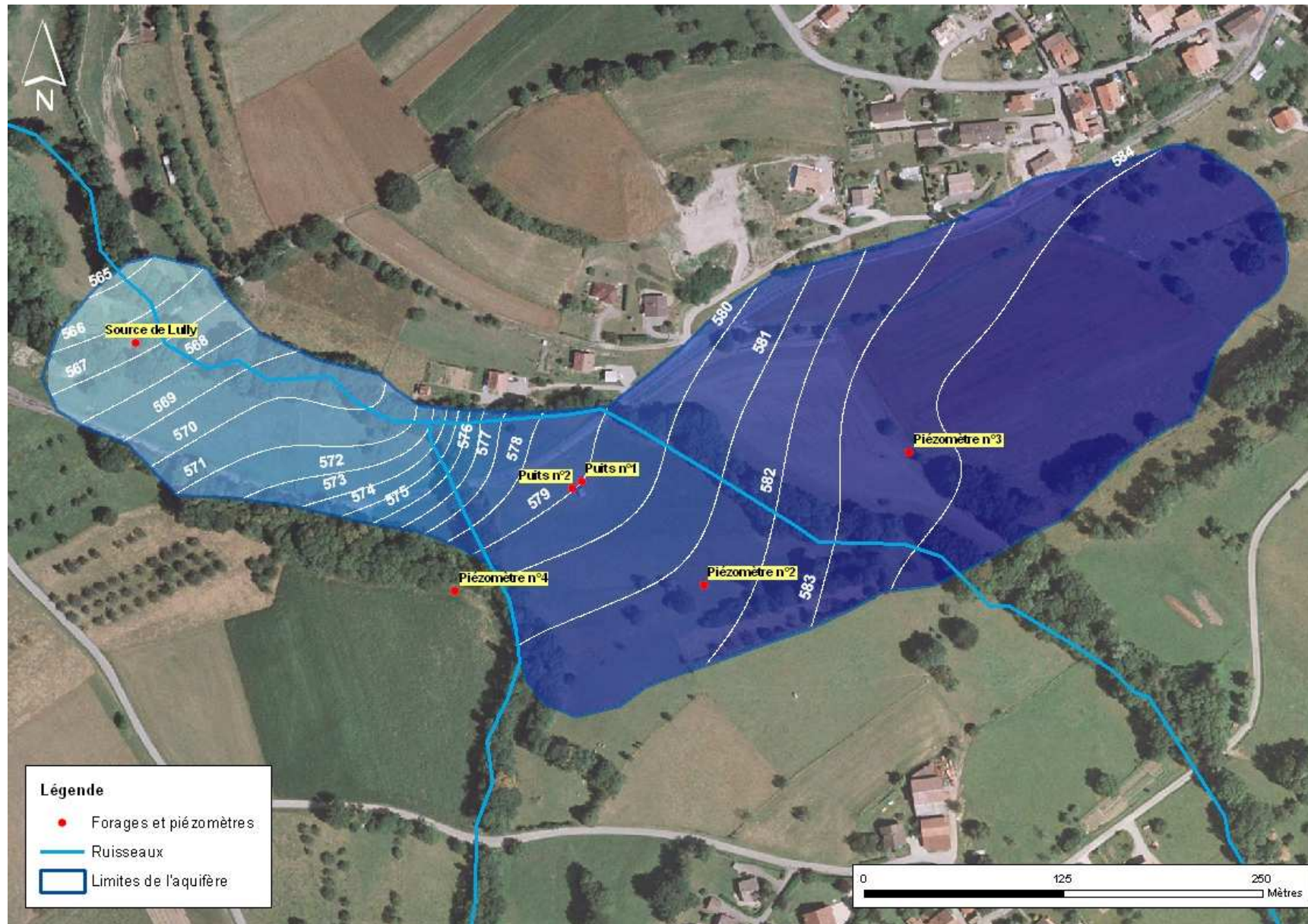
Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 14-13 Structure de l'aquifère. Carte piézométrique en période de basses eaux, le 29/10/2009 à 21 heures.



Symasol. Syndicat des Eaux de Fessy Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 14-14 Structure de l'aquifère. Carte piézométrique en période de hautes eaux, le 01/01/2010 à 14 heures.



15. EXPLOITATION DU MODELE.

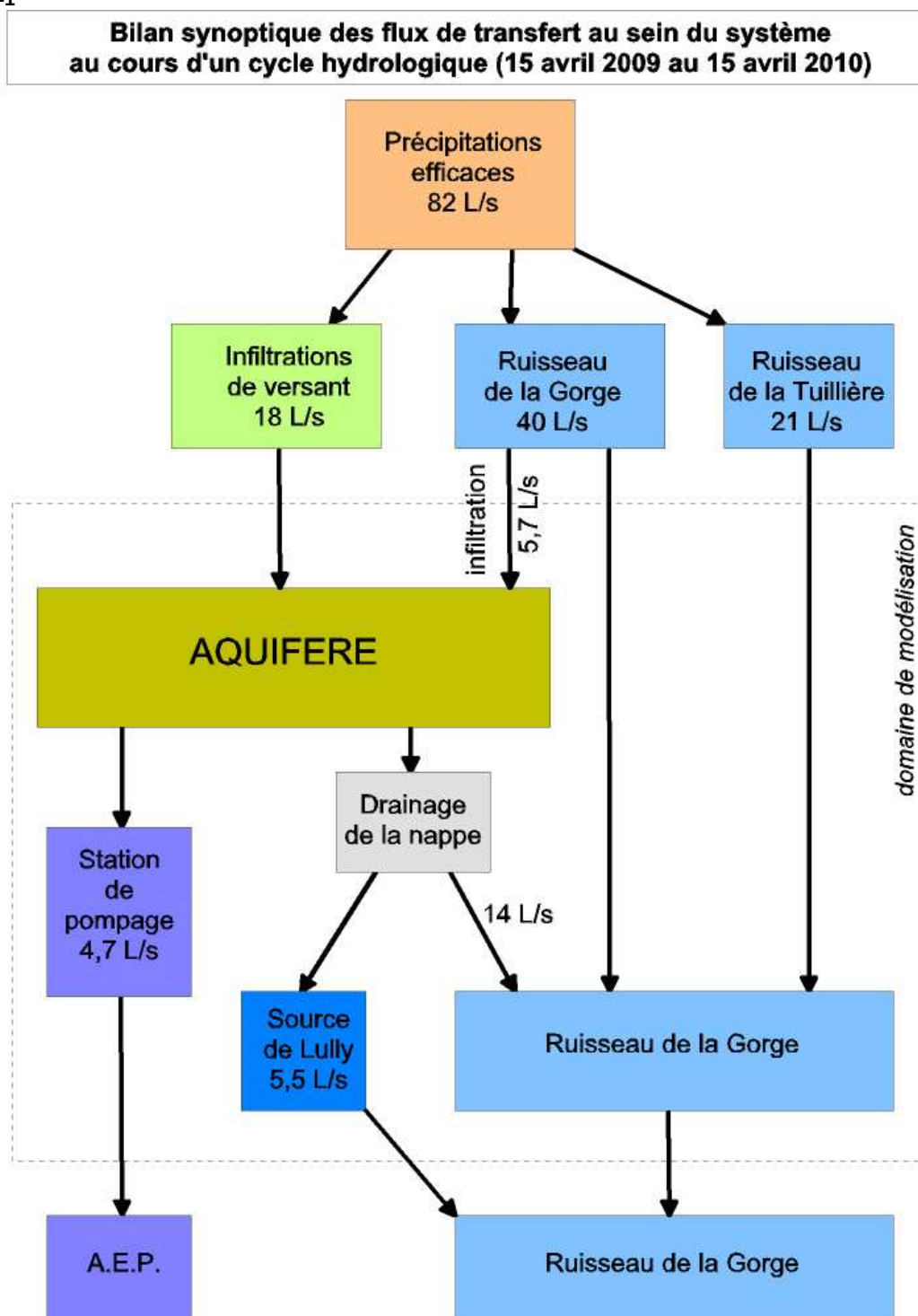
L'exploitation du modèle porte sur deux thèmes :

- la ressource exploitable dans l'aquifère des Contamines et l'impact de ces prélèvements sur le débit du ruisseau de la Gorge à l'aval de la station de pompage ;
- les conditions de protection de la ressource (définition de la géométrie des lignes isochrones).

15.1 BILAN SUR UN CYCLE HYDROLOGIQUE (DU 15/04/09 AU 15/04/10)

Volume extrait :	149 500 m ³	4,7 l/s
Volume écoulé à la source :	172 400 m ³	5,5 l/s
Volume écoulé dans le ruisseau de la Tuilière :	659 000 m ³	20,9 l/s
Volume écoulé dans le ruisseau de la Gorge :	1 254 000 m ³	39,8 l/s
Précipitations (pour une moyenne inter-annuelle de 940 mm) :	915 mm	
Précipitations efficaces sur le bassin versant (353 ha) :	2 600 000 m ³	82,4 l/s
Déstockage de l'aquifère (Ecart entre les volumes présents au 15/04/10 et au 15/04/09) :	0 m ³	0 l/s
Volume infiltré du ruisseau de la Gorge sur sa partie amont :	180 000 m ³	5,7 l/s
Volume drainé par le ruisseau de la Gorge sur sa partie aval :	440 000 m ³	14 l/s

Symasol. SIEA de Fessy-Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.
Figure 15-1



15.2 BILAN ENTRE UNE PERIODE DE HAUTES-EAUX (15/03/09) ET UNE PERIODE D'ETIAGE (31/10/09)

Volume extrait :	98 300 m ³	4,9 L/s
Volume écoulé à la source :	95 800 m ³	4,8 L/s
Volume écoulé dans le ruisseau de la Tuilière :	194 000 m ³	9,7 L/s
Volume écoulé dans le ruisseau de la Gorge :	470 000 m ³	23,5 L/s
Précipitations (déficit de 30% par rapport à la normale sur cette période) :	442 mm	
Précipitations efficaces sur le bassin versant (353 ha) :	1 000 000 m ³	50,1 L/s
Déstockage de l'aquifère (Ecart entre les volumes présents au 31/10/09 et au 15/03/09) :	45 000 m ³	2,2 L/s
Volume infiltré du ruisseau de la Gorge sur sa partie amont :	84 000 m ³	5,7 L/s
Volume drainé par le ruisseau de la Gorge sur sa partie aval :	240 000 m ³	12 L/s

15.3 VOLUMES THEORIQUES EXPLOITABLES

Sur l'ensemble d'un cycle hydrologique, le volume global transitant dans l'aquifère est proche de 750 000 m³, soit environ 2 000 m³/jour ou 24 l/s.

C'est le volume annuel théoriquement exploitable. Il impliquerait alors que sur l'ensemble du cycle hydrologique, les émergences naturelles de l'aquifère (la source de Lully et la part du ruisseau de la Gorge qui est drainé à la nappe) soient asséchées. Tout le flux serait extrait par les ouvrages de prélèvements.

Les deux puits actuels F1 et F2, chacun équipé d'une pompe de 70 m³/h et fonctionnant alternativement, prélèveraient 1 680 m³/jour et fonctionnant de façon alternée mais 24h/24. Il faudrait donc 30 heures de fonctionnement par jour répartis sur ces deux puits pour atteindre les 2 000 m³/jour théoriquement exploitables.

D'après le pompage d'essai de 48 h effectué en juin 2009, l'ouvrage testé connaîtrait un rabattement extrapolé de 6 m après une année de pompage à 70 m³/h (les ouvrages actuels sont profonds de 21 m et crépinés à partir de 7 m). En répartissant le prélèvement sur les deux puits existants, le volume de 2 000 m³ est théoriquement exploitable à partir de la station actuelle.

Dans une telle hypothèse, le placement optimum d'un ouvrage pour l'exploitation de la ressource serait légèrement à l'ouest du Pz 3.

L'impact sur le ruisseau de la Gorge est cependant non négligeable. Le volume global extrait au ruisseau par un tel pompage représente déjà 30% du volume total écoulé par le ruisseau sur l'ensemble d'un cycle hydrologique. Mais c'est dans les périodes d'étiage que l'impact serait beaucoup plus conséquent :

Lors de l'étiage 2009, le flux entrant à l'amont du système dans les deux cours d'eau réunis ne dépasse pas 1 l/s. Pourtant, à l'aval de la confluence le débit du ruisseau de la Gorge est largement soutenu par le flux drainé (8,8 l/s) et le débit de la source de Lully (2,6 l/s). A l'aval du système, le ruisseau de la Gorge conserve un débit de 11,6 l/s, qui est son débit d'étiage. Si la nappe ne contribuait plus au soutien du débit, on retrouverait moins de 1 l/s à l'aval (voire 0,2 L/s en enlevant le débit infiltré à l'amont).

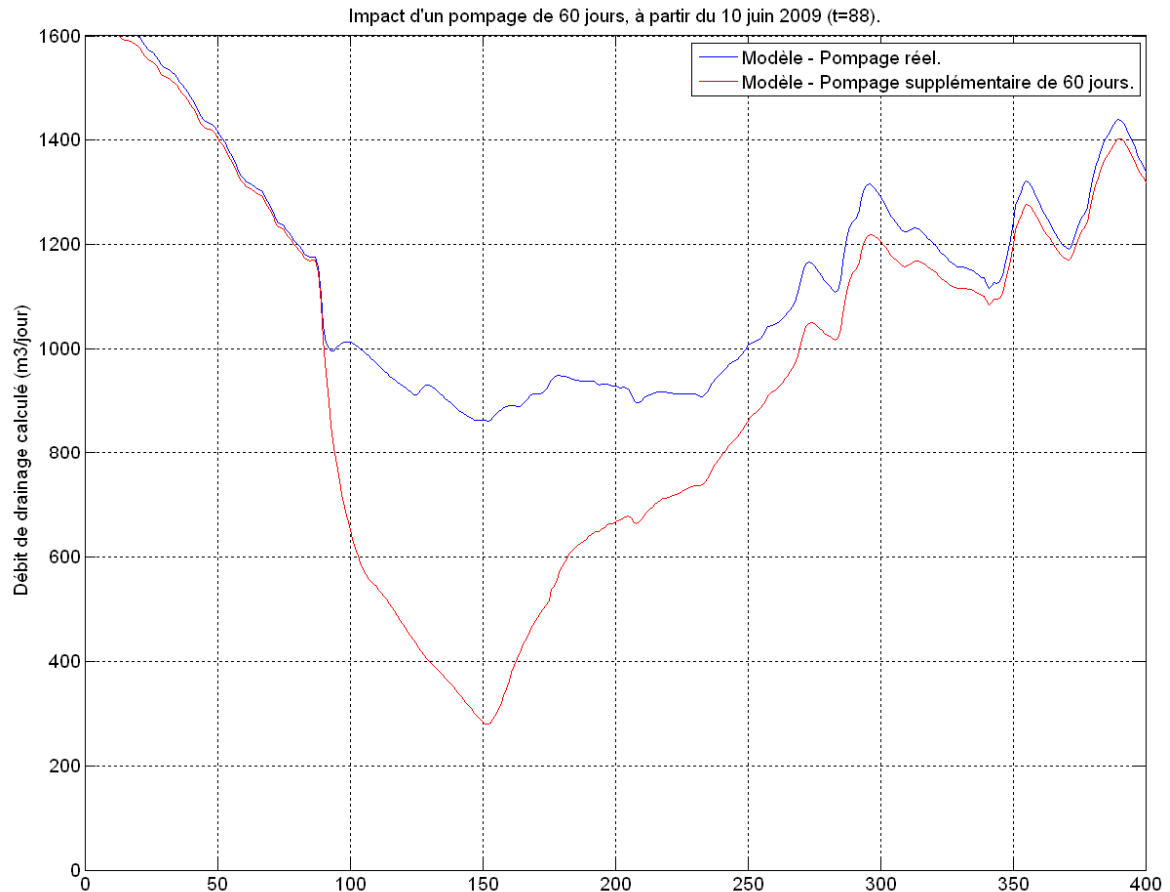
La Figure 15-2 montre l'impact d'un prélèvement prolongé de 60 jours sur le débit drainé à l'aval du système (source + drainage du ruisseau). Le prélèvement est simulé comme poursuivant le pompage

d'essai de 48 h du 10/06/09 jusqu'au 10/08/09. Le résultat est comparé à la situation réelle simulé par le modèle.

Après 60 jours de pompage, le flux de drainage est inférieur à 300 m³/j quand il était en situation réelle autour de 850 m³/j.

Symasol. SIEA de Fessy-Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 15-2 Simulation d'un pompage de 60 jours (de t=88 à t=148). Evolution du flux total drainé à l'aval du système.



15.4 HYPOTHESES DE PRELEVEMENTS

Sur les 750 000 m³ transitant dans l'aquifère, 150 000 ont été prélevés pour l'AEP au cours du dernier cycle hydrologique. Même en supposant à moyen terme un doublement de la population du SIEA de Fessy-Lully, et donc un doublement des prélèvements pour l'alimentation en eau potable (hypothèse haute), le volume global disponible ne serait pas le facteur limitant.

L'impact des prélèvements sur le débit du ruisseau de la Gorge nécessite cependant une gestion des prélèvements en période de basses eaux.

L'étiage sévère de 2009 laisse apparaître les flux suivants :

Flux amont des cours d'eau :	1 l/s
Flux minimum observé sur le ruisseau de la Gorge avant les apports de drainage :	0,2 l/s

Flux drainés apportés par la nappe (dont source) :	11,4 l/s
Flux prélevé à la station de pompage :	4,2 l/s

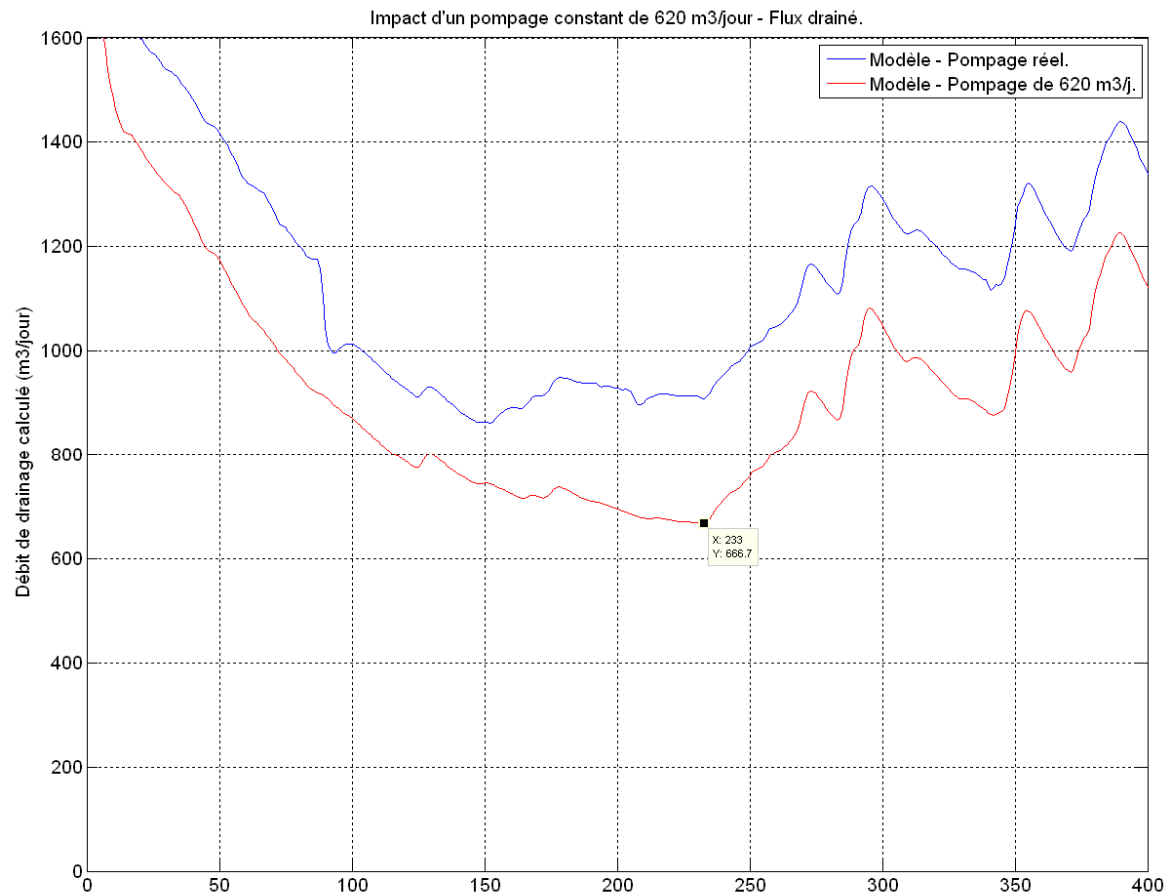
En période d'étiage sévère, la quasi totalité du flux du ruisseau de la Gorge est apporté par la nappe. En octobre 2009, les 4,2 l/s prélevés représentaient 27 % du flux de 15,6 l/s qui devraient théoriquement transiter dans le cours d'eau s'il n'y avait pas de prélèvement AEP.

S'il est admis comme raisonnable de prélever un débit qui aurait pour conséquence de réduire de 50 % le débit d'étiage du cours d'eau, alors ce sont 7,8 l/s qui sont raisonnablement exploitables (670 m³/jour).

La Figure 15-3 suivante donne l'évolution du débit drainé (source + ruisseau), si le prélèvement avait été de 620 m³/jour sur toute la durée de la campagne de mesures. On atteint un flux de drainage minimal simulé en octobre 2009 de 667 m³/jour soit 7,7 l/s (très proche de la moitié du débit d'étiage du ruisseau de la Gorge).

Symasol. SIEA de Fessy-Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 15-3 Simulation d'un pompage constant de 650 m³/jour. Evolution du flux total drainé à l'aval du système.



Ce débit de 620 m³/jour apparaît donc comme le prélèvement à ne pas dépasser si l'on ne veut pas réduire de plus de moitié le débit d'étiage du ruisseau de la Gorge à l'aval du système.

Ce débit maximal de 620 m³/jour représente :

- une hausse de 65 % des prélèvements de 2009 (375 m³/jour) ;

- une hausse de 41 % des prélèvements de 2010 r(440 m3/jour) ;
- une hausse de 29 % des prélèvements depuis le 1^{er} mai 2010 (480 m3/jour).

En conséquence :

- l'exploitation de l'intégralité de la ressource en période de basses eaux (1 300 m3/jour) conduit au tarissement du ruisseau de la Gorge ;
- l'exploitation raisonnée de l'aquifère en période de basses eaux, avec un maintien de 50 % du débit d'étiage observé en 2009, permet un prélèvement de 670 m3/jour ;
- l'exploitation de la ressource, au débit de 670 m3/jour correspond, à une hausse comprise entre 30 et 65 % des prélèvements effectués entre 2009 et 2010.

15.5 PROTECTION DE LA RESSOURCE. DEFINITION DE LA GEOMETRIE DES LIGNES ISOCHRONES.

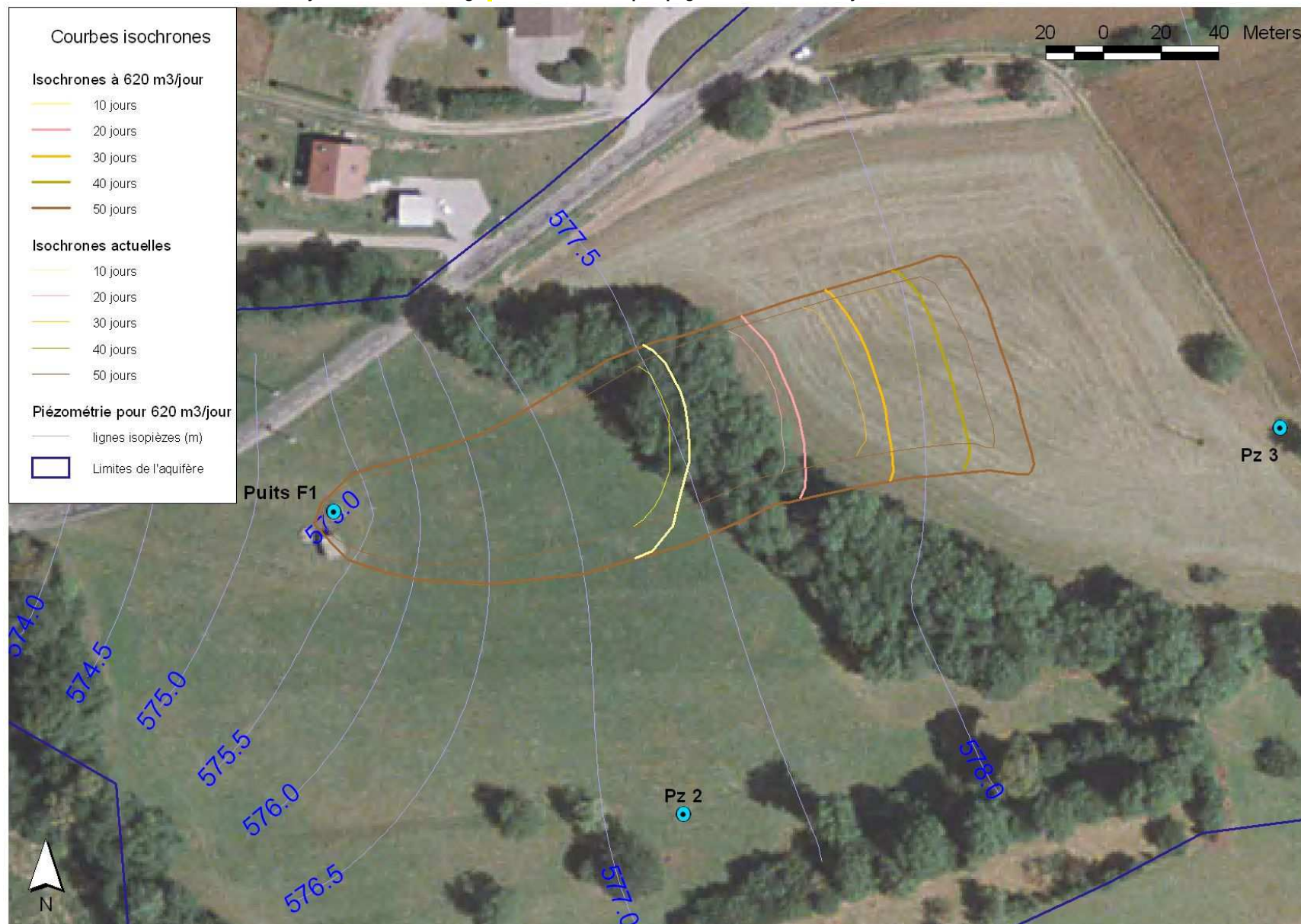
La protection des eaux, exploitées à partir de forages implantés dans des aquifère alluviaux et utilisés pour l'alimentation en eau potable, est classiquement définie à partir des temps de transit de l'eau vers les ouvrages : 10 jours pour les limites du périmètre de protection immédiate ; 50 jours pour les limites du périmètre de protection rapprochée.

L'exploitation du modèle numérique permet de visualiser la géométrie et la position de ces lignes isochrones (Figure 15-4).

La zone alimentant les forages d'exploitation s'étend vers le l'est, en direction du hameau de Rézier et selon l'axe de la combe. Elle s'étend sur une longueur de 160 mètres environ en direction de PZ3 et sur une largeur de 110 mètres environ perpendiculairement à l'axe du vallon. L'isochrone 10 jours est localisée à la hauteur du ruisseau de la Gorge, l'isochrone 50 jours à mi-chemin entre le ruisseau de la Gorge et le PZ3.

Symasol. SIEA de Fessy-Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 15-4 Courbes isochrones de 10 à 50 jours. Période d'étéage. Situation avec un pompage continu de 620 m³/jour et situation actuelle.



Symasol. SIEA de Fessy-Lully. Etude de l'aquifère des Contamines.

Figure 15-5 Lignes de courants et vecteurs vitesse. Période d'été. Situation avec un pompage continu de 620 m³/jour.

