

Caractérisation de la ressource en eau souterraine sur le site de la mine de Claray à Sion Les Mines

**Création de piézomètres profonds et réalisation d'un pompage de longue
durée**

RAPPORT FINAL

Caractérisation de la ressource en eau souterraine sur le site de la mine de Claray à Sion Les Mines

Rapport final

VERSION	DESCRIPTION	ÉTABLI(E) PAR	APPROUVÉ(E) PAR	DATE
V3	Intégration des remarques de la Maitrise d’Ouvrage	GGR	BCA	05/05/2022
V2	Intégration des remarques de la Maitrise d’Ouvrage	GGR	BCA	24/03/2022
V1		GGR	BCA	28/02/2022
V0		GGR / CTI	BCA	10/02/2022
ARTELIA Saint Herblain – TEL : 02 28 25 28 34				

SOMMAIRE

1.	OBJECTIFS DE LA MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE	9
2.	ORGANISATION DE L'ÉTUDE ET DOCUMENTS REMIS.....	10
3.	CONTEXTE DE L'ÉTUDE	11
3.1.	Contexte géologique	11
3.2.	Ancienne mine de Claray	12
3.3.	Contexte hydrogéologique	14
3.3.1.	Forage de reconnaissance SR1	14
3.3.2.	Test de pompage longue durée en 2020.....	15
3.3.3.	Points d'eau recensés autour du forage SR1.....	16
3.4.	Contexte hydrologique	18
4.	DIAGNOSTIC ENVIRONNEMENTAL DE L'ANCIENNE DÉCHARGE COMMUNALE ET DE L'ANCIENNE CARRIÈRE.....	20
4.1.	Localisation des sources potentielles de pollution	20
4.2.	Investigations réalisées dans le cadre du diagnostic environnemental.....	21
4.3.	Conclusions du diagnostic environnemental.....	23
4.3.1.1.	Analyses de sols.....	23
4.3.1.2.	Analyses de l'eau	23
4.3.1.3.	Analyses des gaz du sol	23
4.3.1.4.	Conclusions sur le diagnostic environnemental.....	23
4.4.	Plan de gestion de l'ancienne décharge et de l'ancienne carrière	23
5.	CRÉATION DE PIÉZOMÈTRES DE SURVEILLANCE DES EAUX SOUTERRAINES	25
5.1.	Piézomètres superficiels.....	25
5.2.	Piézomètres profonds	25
5.2.1.	Caractéristiques des piézomètres	25
5.2.2.	Tests de productivité	28
6.	DÉROULEMENT DU POMPAGE LONGUE DURÉE	29
6.1.	Unité de pompage.....	29

Rapport final

CARACTERISATION DE LA RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE SUR LE SITE DE LA MINE DE CLARAY A SION LES MINES

6.2.	Période de pompage	29
6.3.	Unité de traitement temporaire des eaux pompées	30
6.3.1.	Dispositif mis en place	30
6.3.2.	Suivi des teneurs en fer	33
6.4.	Rejet des eaux pompées.....	35
6.5.	Exploitation des forages agricoles pendant l'essai de pompage	37
7.	PROTOCOLE DE SURVEILLANCE DES EAUX SOUTERRAINES ..	38
7.1.	Suivi des niveaux d'eau	38
7.1.1.	Mesures manuelles	38
7.1.2.	Mesures automatiques.....	40
7.1.3.	Nivellement topographique.....	40
7.2.	Suivi de la qualité de l'eau	41
7.2.1.	Ouvrages surveillés	41
7.2.2.	Paramètres chimiques contrôlés.....	42
8.	INTERPRÉTATION DES DONNÉES ACQUISES PENDANT L'ESSAI	44
8.1.	Evolution pluviométrique	44
8.2.	Evolution des chroniques piézométriques	45
8.2.1.	Mesures manuelles du niveau de nappe	45
8.2.2.	Evolution piézométrique de la nappe profonde des grès	47
8.2.3.	Evolution piézométrique de la nappe profonde au droit des forages agricoles.....	48
8.2.3.1.	Forage agricole Fa2	48
8.2.3.2.	Forage agricole Fa5	50
8.2.4.	Evolution piézométrique de la nappe superficielle au droit de l'ancienne décharge	51
8.3.	Evolution du niveau d'eau dans l'étang de Limèle	53
8.4.	Cartes piézométriques et carte de rabattement	54
8.4.1.	Avant le démarrage du pompage	54
8.4.2.	Avant l'arrêt temporaire du pompage.....	55
8.4.3.	Avant l'arrêt définitif du pompage.....	56
8.4.4.	Carte de rabattement avant l'arrêt définitif du pompage	57
8.5.	Interprétation des caractéristiques de l'aquifère des grès	58

8.5.1. Exploitation des données à l'aide du logiciel OUAIP	58
8.6. Définition de la zone d'alimentation du forage SR1	62
8.7. Evolution de la qualité des eaux pompées.....	64
8.7.1. Paramètres in-situ	64
8.7.2. Teneurs en fer et en manganèse	65
8.7.3. Ions majeurs.....	67
8.7.4. Analyses complètes.....	68
8.7.5. Paramètres en lien avec l'ancienne décharge.....	70
8.7.5.1. Métaux	70
8.7.5.2. Hydrocarbures C5-C40	73
8.7.5.3. HAP.....	73
8.7.5.4. COHV	73
8.7.5.5. PCB	73
8.7.5.6. Phtalates	73
8.7.6. Dioxines et furanes.....	74
8.7.6.1. Evolution dans la nappe profonde.....	74
8.7.6.2. Evolution dans la nappe superficielle	76
9. CONCLUSIONS ET PRÉCONISATIONS SUR L'EXPLOITATION DE LA RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE	78
9.1. Rappel du contexte	78
9.2. Faisabilité de l'exploitation de la nappe	79
9.3. Suivi de la qualité de la ressource.....	81
9.4. Préconisation vis-à-vis de l'ancienne décharge	81
9.5. Traitement de l'eau pompée	82
ANNEXES	83
1- Inventaire des points d'accès à la nappe (janv. 2021).....	83
2- Coupes géologiques des piézomètres profonds et superficiels	83
3- Tests de productivité des piézomètres profonds (Nov. 2021)	83
4- Plans de l'Unité de traitement (Aquassys)	83
5- Fiches de prélèvement	83
6- Analyses des eaux.....	83

TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques des piézomètres profonds créés	27
Tableau 2 : Rabattements mesurés dans les piézomètres profonds lors des tests de productivité	28
Tableau 3 : Teneurs en fer total en amont et en aval de l'unité de traitement du fer	34
Tableau 4 : Coordonnées GPS des points de surveillance	41
Tableau 5 : Synthèse des paramètres analysés selon le type d'analyse	42
Tableau 6 : Planning des campagnes piézométriques et de prélèvements d'eau	43
Tableau 7 : Cotes piézométriques (m NGF) des niveaux de nappe mesurés manuellement sur l'ensemble du réseau de surveillance et rabattements déduits	46
Tableau 8 : Profondeurs de la nappe et rabattements calculés pour les piézomètres profonds	48
Tableau 9 : Profondeurs de la nappe superficielle et rabattements calculés	52
Tableau 10 : Détermination des paramètres hydrodynamiques à partir des mesures piézométriques	59
Tableau 11 : Comparaison des teneurs en fer / manganèse particulaires et dissoutes dans le forage SR1	66
Tableau 12 : Evolution des concentrations en métaux totaux dans la nappe profonde et superficielle	72
Tableau 13 : Evolution des teneurs en dioxines et furanes dans les piézomètres profonds	75
Tableau 14 : Evolution des teneurs en dioxines et furanes dans les piézomètres superficiels	77

FIGURES

Figure 1 : Localisation du forage de reconnaissance SR1 et de l'ancienne décharge communale .	9
Figure 2 : Contexte géologique de l'étude (extrait carte 50 000 ^{ème} BRGM)	11
Figure 3 : stratigraphie dans le secteur d'étude des grès armoricains (Clercx, 1970)	12
Figure 4 : Plan de la mine de Claray (d'après rapport DDAF, 1992)	12
Figure 5 : Coupe géologique et technique du forage SR1 (Antéa, 2020)	15
Figure 6 : Restitution graphique des niveaux suivis pendant le pompage test de SR1 en janvier - février 2020 (ANTEA, 2020)	16
Figure 7 : Inventaire des points d'accès à la nappe des grès ordoviciens autour du forage SR1 .	17
Figure 8 : Plan topographique du bassin versant au droit de la zone d'étude	18
Figure 9 : Photos de l'étang de Limèle en amont du barrage (Artelia, décembre 2020)	19
Figure 10 : Sources de pollution au droit de l'ancienne décharge et de l'ancienne carrière	21
Figure 11: Localisation des investigations réalisées dans le cadre du diagnostic environnemental de l'ancienne décharge et de l'ancienne carrière	22
Figure 12 : Atelier de foration de l'entreprise Aquassys.....	26
Figure 13 : Localisation des piézomètres profonds	27
Figure 14 : Dispositif de pompage dans le forage SR1	29
Figure 15 : Chronique du débit pompé dans le forage SR1	30
Figure 16 : Photos prises lors de la création de l'unité temporaire de traitement de l'eau pompée	32
Figure 17 : Unité temporaire de traitement du fer des eaux pompées après plusieurs mois de pompage	33
Figure 18 : Localisation du point de rejet des eaux pompées et de l'unité de traitement temporaire	36
Figure 19 : Photos du rejet des eaux pompées en aval de l'étang de Limèle	37
Figure 20 : Surveillance des eaux souterraines pendant le pompage de longue durée	39
Figure 21 : Illustrations de la surveillance mise en place	40
Figure 22 : Pluies journalières à la station Nantes Aéroport Bouguenais (données Météociel) ..	44
Figure 23 : Pluies mensuelles à la station Nantes Aéroport Bouguenais et comparaison aux normales mensuelles	45
Figure 24 : Evolution des niveaux piézométriques enregistrés dans la nappe profonde	48
Figure 25 : Evolution de la piézométrie dans le forage Fa2 situé à 550 m des anciennes galeries minières	49
Figure 26 : Suivi de la profondeur de la nappe au droit des forges agricoles Fa1 et Fa2.....	50
Figure 27 : Evolution de la piézométrie au droit du forage agricole Fa5.....	51
Figure 28 : Evolution de la piézométrie dans les piézomètres superficiels à proximité de l'ancienne décharge	52
Figure 29 : Suivi automatique du niveau d'eau dans Pz1 à partir du 07 décembre 2021	53
Figure 30 : comparaison de l'évolution de la cote de l'étang de Limèle, du forage SR1 et du piézomètre Pp5	54
Figure 31 : Carte piézométrique du 28 juin 2021 en régime statique avant le démarrage du pompage	55
Figure 32 : Carte piézométrique du 04 octobre 2021 avant l'arrêt temporaire de pompage	56
Figure 33 : Carte piézométrique du 06 décembre 2021 avant l'arrêt définitif du pompage.....	57
Figure 34 : Carte de rabattement à la fin du pompage de longue durée	58
Figure 35 : Ajustement de la solution de Theis en semi-log dans le forage SR1	60
Figure 36 : Ajustement de la solution de Theis en semi-log dans le piézomètre Pp1	60

Figure 37 : Ajustement de la solution de Theis en semi-log dans le piézomètre Pp2	61
Figure 38 : Ajustement de la solution de Theis en semi-log dans le piézomètre Pp3	61
Figure 39 : Ajustement de la solution de Theis en semi-log dans le piézomètre Pp5	62
Figure 40 : Aire d'alimentation du captage SR1 sur fond IGN	63
Figure 41 : Aire d'alimentation du forage SR1 sur fond géologique	63
Figure 42 : Suivi en continu de la conductivité et de la température dans le piézomètre profond Pp2.....	64
Figure 43 : Evolution des paramètres in-situ dans les piézomètres profonds et superficiels	65
Figure 44 : Evolution des teneurs en fer total	66
Figure 45 : Evolution pendant le pompage des teneurs en nitrates, sulfates et fer total dans le forage SR1	67
Figure 46 : Evolution des teneurs en chlorures, sulfates et nitrates dans les piézomètres profonds et superficiels.....	68
Figure 47 : Evolution du rabattement du niveau de la nappe en semi-log dans le forage SR1 pendant l'essai de pompage.....	79
Figure 48 : Aire d'alimentation du forage SR1 à 60 m ³ /h.....	80

1. OBJECTIFS DE LA MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE

Le syndicat départemental Atlantic'Eau envisage d'exploiter une nouvelle ressource en eau souterraine, pour l'alimentation en eau potable, sur la commune de Sion les Mines au Nord du département Loire Atlantique.

Un forage de reconnaissance SR1, recoupant à 86 mètres de profondeur une ancienne galerie d'extraction minière, aujourd'hui ennoyée, a été créé et testé par pompage au cours de l'année 2020 (figure 1). Le pompage mené pendant 1 mois à 60 m³/h a donné des résultats encourageants avec une stabilisation du niveau d'eau à 13 m de profondeur. Ces premiers résultats devaient donc être consolidés par des investigations plus poussées pour valider la mise en exploitation définitive du site. C'est pourquoi, le syndicat a souhaité dans le cadre de travaux spécifiques :

- Valider la productivité de la ressource souterraine en période d'étiage grâce à un pompage continu sur une durée de 6 mois,
- Définir l'aire d'alimentation hydrogéologique de cette ressource en eau souterraine,
- Préciser la vulnérabilité de la ressource souterraine vis-à-vis d'une ancienne décharge communale identifiée à moins de 200 mètres du forage (figure 2),
- Préciser l'évolution de la qualité de l'eau pompée sur le long terme, notamment les teneurs en fer / manganèse et les risques de pollution en lien avec l'ancienne décharge,
- Evaluer l'incidence du pompage sur les autres utilisateurs de la ressource et les eaux superficielles, en particulier les échanges hydrauliques avec l'étang de Limèle.

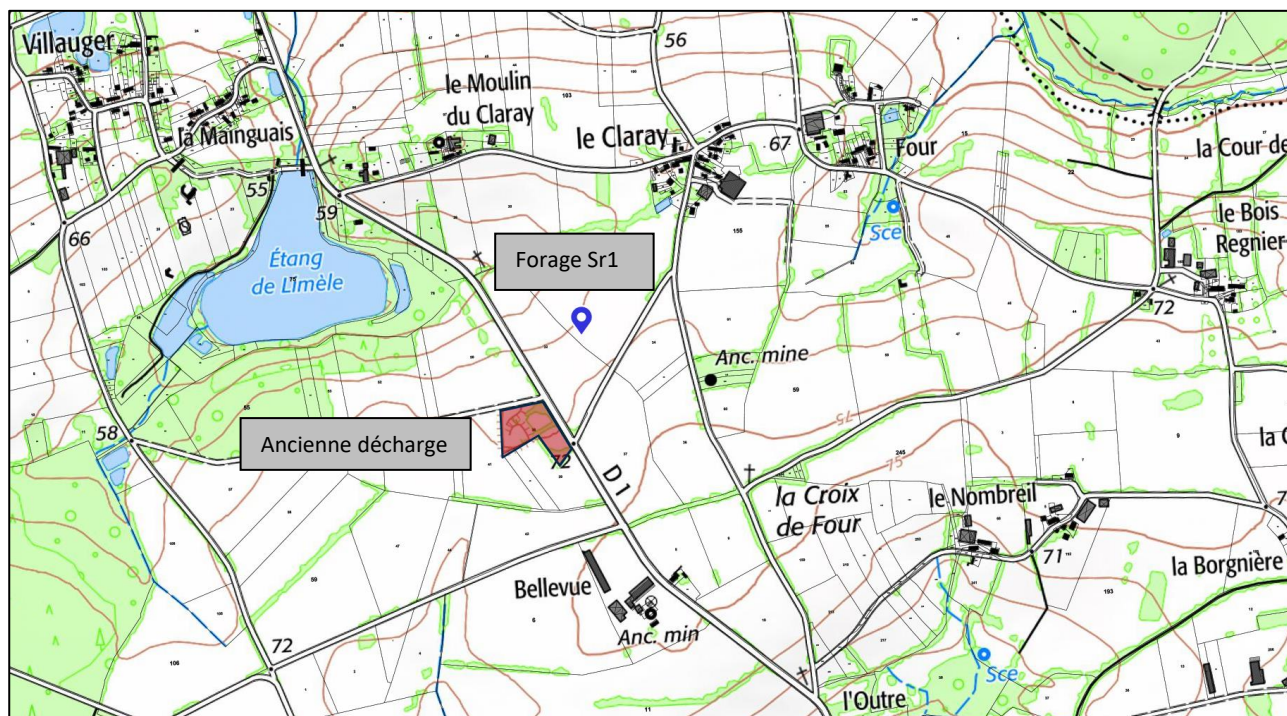


Figure 1 : Localisation du forage de reconnaissance SR1 et de l'ancienne décharge communale

2. ORGANISATION DE L'ETUDE ET DOCUMENTS REMIS

L'étude a démarrée au mois de décembre 2020 et s'est organisée selon les étapes suivantes :

- Etape 1 (déc. 2020 à fév. 2021) : La réalisation du diagnostic environnemental et l'établissement du plan de gestion de l'ancienne décharge communale vis-à-vis de la ressource en eau souterraine. Cette étape a fait l'objet d'un rapport spécifique ARTELIA dont la version finale a été envoyée le 24/09/2021 (version 2) ;
- Etape 2 (fév. à mars 2021) : un projet de création de piézomètres profonds et de réalisation d'un pompage de longue durée a été rédigé et a fait l'objet de la remise d'un rapport ARTELIA en juillet 2021 (version 2) ;
- Etape 3 (mars 2021 à déc. 2021) : ARTELIA a mené les missions de Maitrise d'Œuvre pour la réalisation des piézomètres profonds et la supervision du pompage d'essai de longue durée dans le forage SR1 ;
- En complément, ARTELIA a rédigé des dossiers réglementaires pour ces travaux :
 - Réalisation de piézomètres profonds et rejet des eaux pompées sur la commune de Sion les Mines, lieu-dit le Claray - Dossier de déclaration préalable aux travaux au titre du Code de l'environnement (version 1 - mars 2021)
 - Réalisation de piézomètres profonds et rejet des eaux pompées sur la commune de Sion les Mines, lieu-dit le Claray – Note de fin de travaux de création des piézomètres profonds (version 1 - septembre 2021)
- ARTELIA a aussi effectué plusieurs missions d'investigations de terrain et d'ingénierie pendant les travaux :
 - Le suivi hydrogéologique des travaux de piézomètres ;
 - La réalisation de tests de productivité dans les 5 piézomètres profonds créés. Une note présentant l'interprétation de ces essais et intitulée 'Note de fin de travaux de création des piézomètres profonds' a été remise en novembre 2021 ;
 - Le suivi des niveaux d'eau et des prélèvements d'eau pendant le pompage de longue durée. Une note intermédiaire intitulée 'Pompage longue durée sur la commune de Sion les Mines, lieu-dit le Claray – note intermédiaire après 2 mois de pompage' a été remis en septembre 2021.

Le présent document constitue le rapport final de synthèse des investigations réalisées depuis le démarrage de l'étude ainsi que l'interprétation des mesures acquises pendant l'essai de pompage de longue durée.

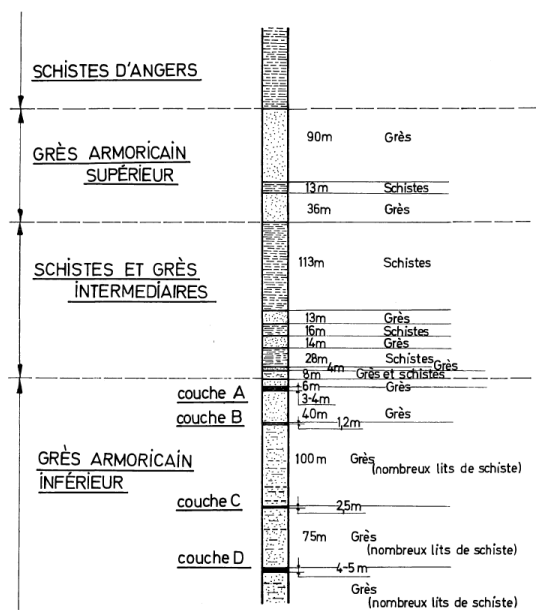


Fig. 1. — Stratigraphie du grès armoricain à Limele et à La Serpaudais.

Figure 3 : stratigraphie dans le secteur d'étude des grès armoricains (Clercx, 1970)

3.2. ANCIENNE MINE DE CLARAY

L'exploitation de la mine de Claray a démarré en 1962 et s'est achevée en 1966. D'après les plans disponibles, l'extension des galeries est présentée sur la Figure 4.



Figure 4 : Plan de la mine de Claray (d'après rapport DDAF, 1992)

Les aménagements souterrains mis en œuvre pour l'exploitation ont consisté à la création :

- d'une descenderie de 377.55 m selon une pente de 15° avec une profondeur maximale atteinte de 98 m. son diamètre est de 3.5 m (section de 8 m²). La galerie a été bétonnée sur une longueur de 71.5 m ;
- d'un montage parallèle sur une longueur de 220 m avec un diamètre de 2.5 m (section 6 m²) et accessible grâce à un puits de 14 à 15 m de fond ;
- d'un ensemble de galeries d'extraction ;
- d'un pompage permanent pour permettre l'avancement de l'extraction. Les débits évoqués dans les archives sont compris entre 60 m³/h en début d'exploitation en 1963 jusqu'à 180 m³/h en 1966 (DDAF, 1992).

Le volume théorique des galeries a été estimé à 8 500 m³. Ces galeries sont aujourd'hui entièrement ennoyées et, d'un point de vue hydrogéologique, sont assimilables à un réseau de fractures très denses et localisées permettant de mobiliser plus facilement les eaux souterraines.

3.3. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

3.3.1. Forage de reconnaissance SR1

Le sondage de reconnaissance SR1 a été réalisé en 2019. Le forage capte l'aquifère des grès ordoviciens qui est défini comme un aquifère de socle où les eaux souterraines circulent plus ou moins facilement en fonction de la fracturation du milieu. L'écoulement souterrain est caractérisé selon deux niveaux superposés et connectés : les altérites en surface et la roche fissurée sous-jacente. Ces deux niveaux sont interdépendants mais n'ont pas les mêmes caractéristiques hydrodynamiques : la roche altérée est plutôt argileuse et capacitive alors que l'horizon fissuré inférieur est le plus transmissif.

La coupe technique et géologique du forage SR1 est présentée sur la Figure 5. Les formations géologiques traversées ont été :

- 0 à 8 m : niveau d'altération à matrice argileuse
- 8 à 48 m : niveau d'altération avec une 1^{ère} arrivée d'eau constatée à 44 m de profondeur ;
- 48 à 64 m : niveau de schistes ardoisiers avec une arrivée d'eau de 4.2 m³/h à 54 m de profondeur (contact schiste dur) ;
- 64 à 82 m : niveau de grès durs
- 82 à 86 m : galerie de la mine avec un débit en fin de foration mesuré de 360 à 420 m³/h après réalésage.

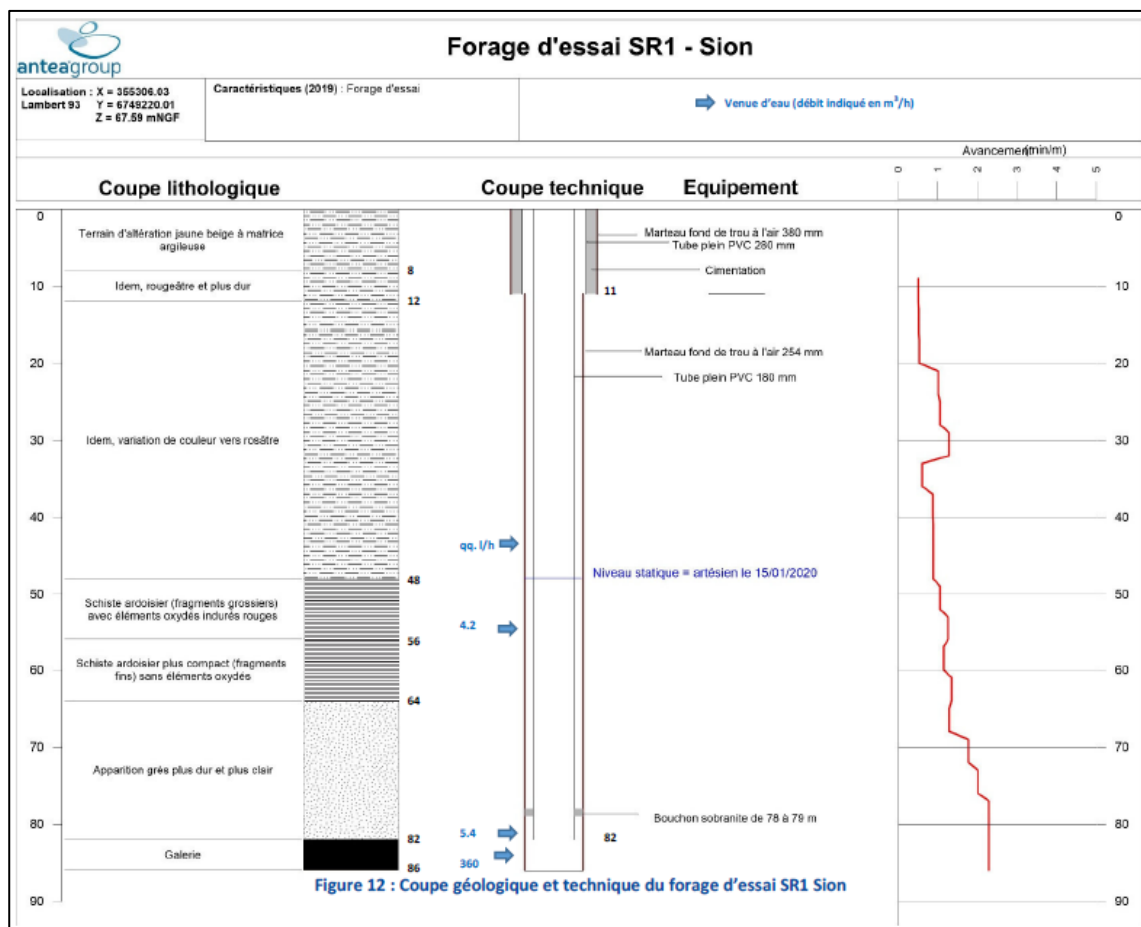


Figure 5 : Coupe géologique et technique du forage SR1 (Antéa, 2020)

3.3.2. Test de pompage longue durée en 2020

Un test de pompage a été réalisé entre janvier et février 2020 dans le forage SR1 pour préciser les capacités de production de l'aquifère des grès. Le débit de pompage a été fixé à 60 m³/h.

Pendant l'essai, le niveau piézométrique est stabilisé rapidement après 1 à 2 semaines de pompage (Figure 6).

Les mesures obtenues ont permis de déterminer les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère (rapport ANTEA) :

- Transmissivité comprise entre 2.1 et 2.7 10⁻³ m²/s, soit des valeurs relativement élevées ;
- Coefficient d'emménagement compris entre 3.5.10⁻⁴ et 1.10⁻², typique d'un aquifère captif ;
- Effet de capacité dû aux dénoyement partiel du volume des galeries a été fixé entre 3 117 et 5 385 m³ (volume inférieur au volume total estimé des galeries).

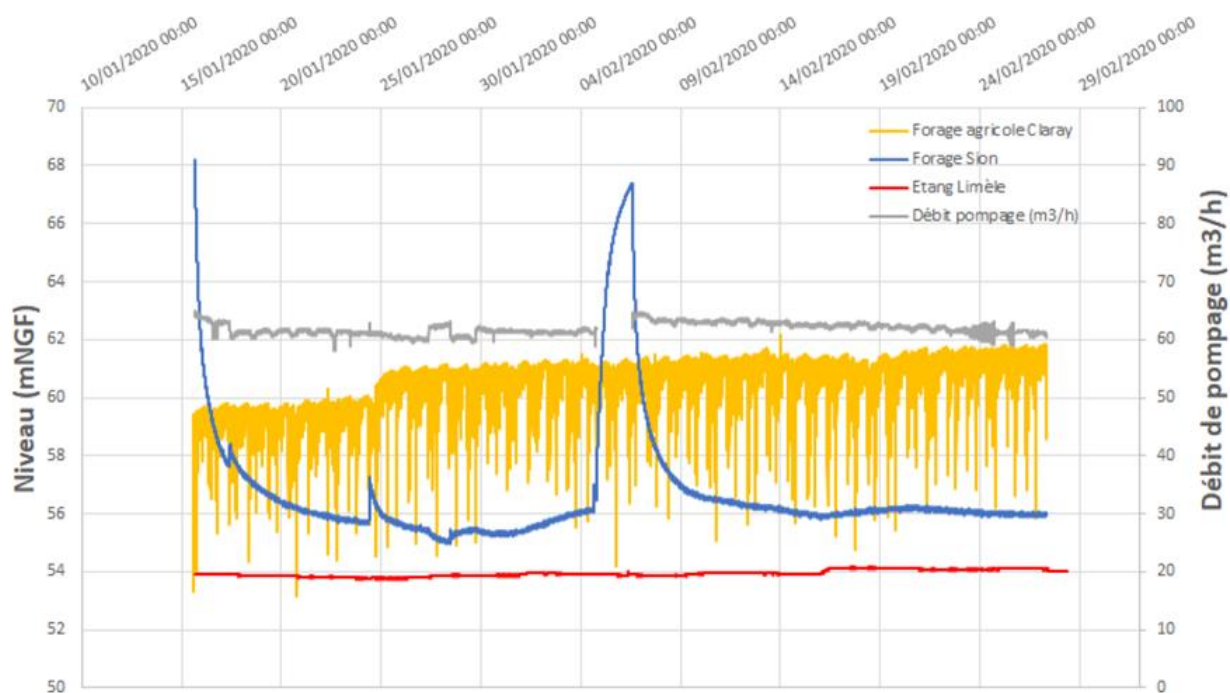


Figure 6 : Restitution graphique des niveaux suivis pendant le pompage test de SR1 en janvier - février 2020 (ANTEA, 2020)

3.3.3. Points d'eau recensés autour du forage SR1

Un inventaire des points d'accès à la nappe a été réalisé dans un rayon de 1.5 km autour du forage SR1. Ainsi, 18 ouvrages ont été recensés autour de l'ancienne mine :

- 13 puits anciens à gros diamètre (1 000 à 1 400 mm) et de profondeur comprise entre 3.5 et 16.7 m, captant la frange supérieure altérée de l'aquifère des grès ;
- 5 forages profonds de diamètre 90 à 110 mm et de profondeur comprise entre 60 et 117 m, captant les niveaux fracturés de l'aquifère des grès.

La localisation des points est présentée sur fond géologique et en fonction de leur profondeur sur la Figure 7.

Le tableau de l'annexe 1 récapitule les informations recensées pour chaque point d'eau.

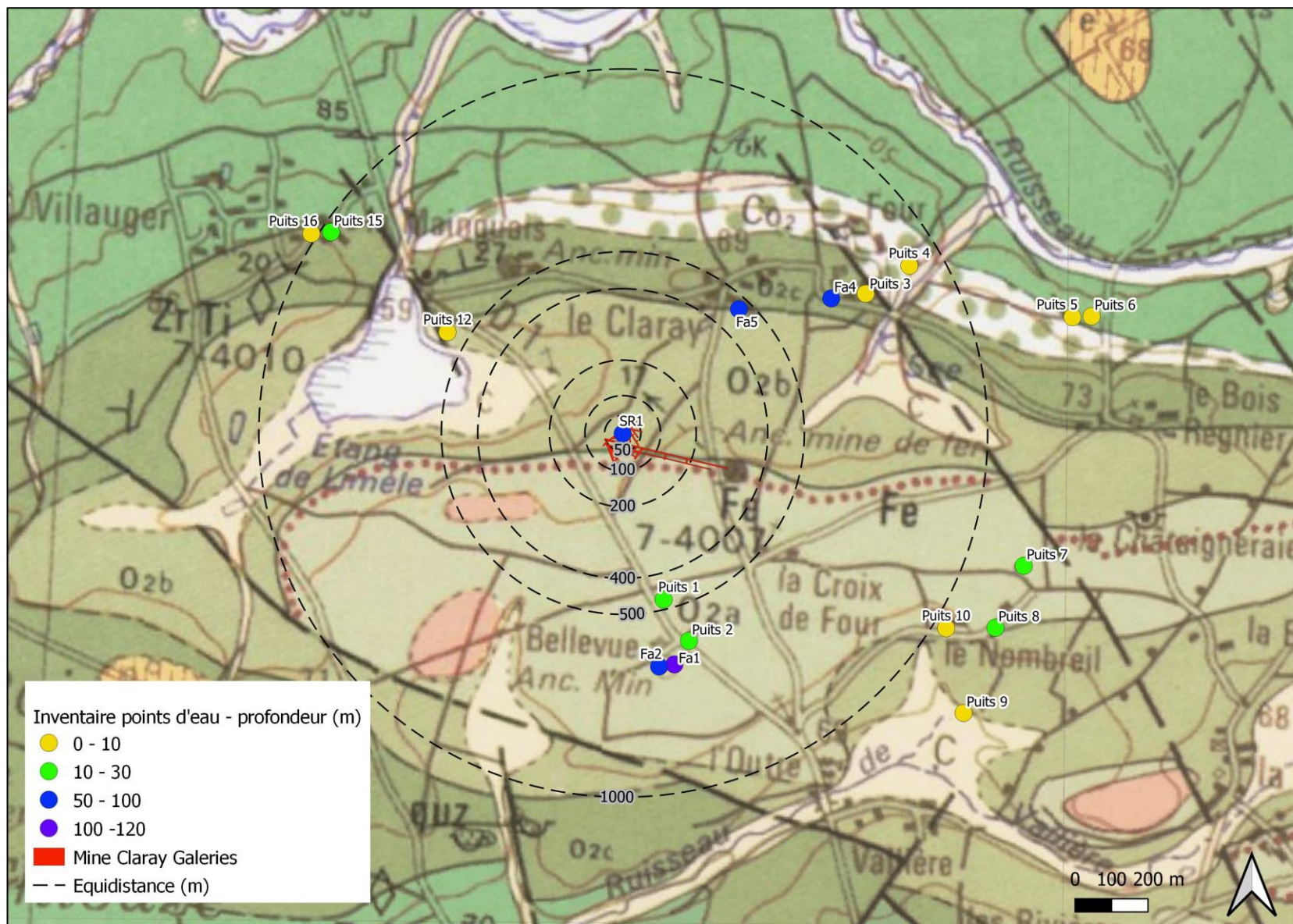


Figure 7 : Inventaire des points d'accès à la nappe des grès ordoviciens autour du forage SR1

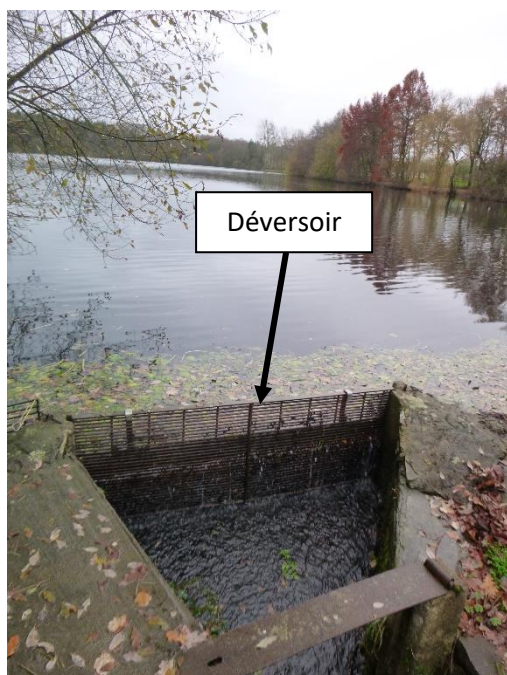


Figure 9 : Photos de l'étang de Limèle en amont du barrage (Artelia, décembre 2020)

4. DIAGNOSTIC ENVIRONNEMENTAL DE L'ANCIENNE DECHARGE COMMUNALE ET DE L'ANCIENNE CARRIERE

Les éléments présentés ci-dessous sont extraits du diagnostic environnemental de l'ancienne décharge et de l'ancienne carrière réalisé de décembre 2020 à janvier 2021 : « Diagnostic environnemental et plan de gestion d'une décharge - Sion-les-Mines (44) – ARTELIA, 24/09/2021 ».

Les informations détaillées de ce diagnostic sont présentées dans un rapport spécifique remis à Atlantic'Eau.

4.1. LOCALISATION DES SOURCES POTENTIELLES DE POLLUTION

Dans le cadre de l'étude historique de l'ancienne décharge et de l'ancienne carrière proche du forage SR1, les sources potentielles de pollution des milieux sols, air et eau ont été recherchées. Celles-ci sont synthétisées sur la Figure 10.

L'étude historique a permis de mettre en évidence :

- Au droit de l'ancienne décharge communale :
 - Sur la moitié nord de la parcelle, la présence d'une décharge brute à partir des années 1970 jusqu'à 1998 comportant principalement des déchets ménagers. Ensuite, cette décharge a été transformée en déchetterie jusqu'en 2004. Le dépôt d'ordures ménagères est aujourd'hui toujours présent mais la déchetterie n'existe plus. Les services techniques de la mairie utilisent toujours le lieu pour le dépôt de déchets verts ;
 - Sur la moitié sud de la parcelle, la présence d'un dépôt minier et des dépôts de curage de fossés à partir de 1971 jusqu'en 1998 environ. Cet espace est aujourd'hui occupé pour le stockage de graviers et le dépôt de curage de fossé par la mairie;
- Sur la parcelle voisine au nord de l'ancienne décharge communale :
 - L'existence d'une ancienne carrière jusqu'en 1952, rapidement remblayée du fait de la mauvaise qualité de la roche extraite pour la construction du village. La zone a été remaniée jusqu'en 1981 avec des traces de remblaiement visibles d'origine inconnue. Ensuite des parcelles agricoles ont été exploitées, le site est aujourd'hui utilisé comme pâture pour des chevaux.



Figure 10 : Sources de pollution au droit de l'ancienne décharge et de l'ancienne carrière

4.2. INVESTIGATIONS REALISEES DANS LE CADRE DU DIAGNOSTIC ENVIRONNEMENTAL

Les investigations réalisées par ARTELIA entre les 13 et 21 janvier 2021 ont consisté en la réalisation de 14 sondages de sols à la pelle mécanique, 4 piézomètres, 2 cannes gaz dans le massif de déchets, 22 analyses de sols, 6 analyses d'eaux souterraines au droit des piézomètres et des résurgences d'eaux souterraines en aval des sources potentielles de pollution et 2 analyses d'eau en fonds de fouilles.

La localisation des investigations est précisée sur la Figure 11.



Figure 11: Localisation des investigations réalisées dans le cadre du diagnostic environnemental de l'ancienne décharge et de l'ancienne carrière

4.3. CONCLUSIONS DU DIAGNOSTIC ENVIRONNEMENTAL

4.3.1.1. Analyses de sols

Les analyses chimiques réalisées sur les échantillons de sols ont confirmé les observations de terrain et mis en évidence des impacts dans les horizons de déchets (notamment en dioxines/furanes en lien avec la pratique de brûlages réguliers des déchets et en métaux lourds). Toutefois, il a été constaté que ces impacts ne migraient pas en profondeur.

En effet, les teneurs observées dans les argiles sous-jacentes au massif de déchets ne présentent aucun impact, cet horizon naturel crée une barrière naturelle à l'infiltration des composés chimiques polluants.

4.3.1.2. Analyses de l'eau

Les eaux souterraines au droit de la décharge et en aval hydraulique ne présentent pas d'impact significatif à l'exception de teneurs en fer et manganèse en Pz1 et Pz4 proches de la limite de qualité des eaux destinées à la consommation humaine (arrêté du 11/01/2007), et supérieures pour les eaux prélevées au droit des résurgences de sources. Ces paramètres sont cependant associés au contexte géologique local.

Les concentrations mises en évidence, ou non détectées, par le laboratoire permettent de conclure en l'absence d'impact de l'ancienne décharge communale et de l'ancienne carrière sur la ressource en eau en l'état actuel (régime statique).

4.3.1.3. Analyses des gaz du sol

Les analyses chimiques sur les gaz du sol dans le massif de déchets ont mis en évidence l'absence d'impact significatif dans ce milieu (absence de méthane et d'H₂S notamment), mais les faibles détections en HC C5-C10, toluène et xylènes permettent de confirmer la présence d'un mécanisme de dégazage depuis le massif de déchets vers l'air ambiant.

4.3.1.4. Conclusions sur le diagnostic environnemental

Le schéma conceptuel indique l'absence de risques sanitaires pour un usage similaire des sites et pour la création d'un captage d'alimentation en eau potable en aval hydraulique de l'ancienne décharge communale et de l'ancienne carrière en l'état actuel des milieux.

Sachant que ce diagnostic a été réalisé en l'absence de pompage de SR1, ces conclusions doivent être confirmées en période de pompage actif projeté de la nappe (pompage d'essai puis exploitation du captage AEP en aval hydraulique de l'ancienne décharge communale et de l'ancienne carrière). En effet, étant donné la proximité du captage SR1, le cône d'appel intégrera ces deux zones de stockages de déchets et pourrait faciliter une migration des polluants du massif de déchets vers la nappe.

4.4. PLAN DE GESTION DE L'ANCIENNE DECHARGE ET DE L'ANCIENNE CARRIERE

Suite au diagnostic environnemental, des mesures de gestion du massif de déchet ont été étudiées par ARTELIA avec pour objectif de mettre en œuvre des solutions de gestion qui devront permettre une exploitation de la ressource en eau souterraine dans des conditions économiques acceptables.

L'ensemble des éléments sont détaillés dans le rapport (8777219_44_ATLANTIC EAU_Sion les Mines_Diag-PG_R1V1).

A l'issue de cette analyse, ARTELIA a donc formulé les recommandations suivantes :

- Réaliser des campagnes de surveillance de la qualité des eaux souterraines pendant les études en amont des demandes d'autorisation d'exploiter un captage AEP (suivis analytiques en régime de pompage). Le cas échéant, maintenir une surveillance pendant l'exploitation du captage AEP, dont la fréquence et les paramètres à contrôler pourront être définis ultérieurement ;
- Réaliser une seconde campagne d'analyse des gaz du sol dans le massif de déchets lors d'une période plus propice au dégazage (temps sec, amplitude journalière importante de températures) ;
- Mettre en œuvre des mesures de gestion du massif de déchets pour s'affranchir durablement du risque de contamination des milieux naturels et permettre de préserver la qualité de la ressource en eau.

Dans le cadre de l'essai de pompage de longue durée programmé au cours de l'été 2021, il n'est donc pas préconisé de travaux de mise en sécurité de l'ancienne décharge et de l'ancienne carrière.

En revanche, un programme spécifique de surveillance de la qualité de l'eau devra être mené pendant toute la durée de l'essai pour s'assurer de l'absence de migration de certains éléments depuis le massif de déchets vers les eaux souterraines en raison de la modification des gradients d'écoulement souterrains.

Il sera en particulier recherché, dans les piézomètres de contrôle, les éléments suivants :

- '- Les 12 métaux lourds,
- '- Les hydrocarbures C5-C40,
- '- Les BTEX,
- '- Les HAP,
- '- Les dioxines et furanes,
- '- Les ions majeurs,
- '- Le Fer et le Manganèse.

5. CREATION DE PIEZOMETRES DE SURVEILLANCE DES EAUX SOUTERRAINES

5.1. PIEZOMETRES SUPERFICIELS

Comme présenté dans le paragraphe précédent, 4 piézomètres superficiels ont été réalisés le 13 et 14 janvier 21 dans le cadre du diagnostic de l'ancienne décharge. Ces ouvrages ont été intégrés au réseau de surveillance de la nappe lors du pompage longue durée pour surveiller les écoulements souterrains superficiels au droit de la décharge.

Ces piézomètres ont été équipés selon le principe suivant :

- diamètre 52-63 mm PEHD crépinés,
- massif filtrant, bouchon d'argile, cimentation, bouchon de fond
- tube métallique cadénassé avec margelle de propreté.

Les piézomètres Pz1, Pz3 et Pz4 ont été forés jusqu'à 15 m de profondeur et ont été crépinés entre 7 et 15 m.

Le piézomètre Pz2, en aval hydraulique supposé de la décharge, a été foré jusqu'à 5 m de profondeur et a été crépiné entre 2 et 5 m. Cet ouvrage est moins profond afin de capter d'éventuels écoulements de subsurface sous la décharge.

D'un point de vue géologique, les piézomètres ont recoupés les formations suivantes :

- Pz1 à Pz3 : grès superficiels altérés et oxydés avec matrice argileuse jusqu'à 8 m de profondeur ;
- Pz4 : pélites gris-foncé jusqu'à 9 m de profondeur ;
- Pz1 à Pz4 : grès inférieur gris-clair avec traces d'oxydation où des arrivées ont été reconnues lors de la foration.

Les coupes géologiques et techniques des piézomètres sont présentées en annexe 2.

5.2. PIEZOMETRES PROFONDS

5.2.1. Caractéristiques des piézomètres

Cinq piézomètres profonds ont été créés entre le 25 mai et le 20 juillet 2021 (Figure 12). Tous les piézomètres captent la nappe des grès ordoviciens. Ils ont été implantés autour des anciennes galeries pour ainsi surveiller le comportement de la nappe profonde (horizon fracturé des grès) et préciser l'aire d'alimentation du captage SR1 pendant le pompage de longue durée (Figure 13).

Tous les piézomètres, Pp1 à Pp5, ont été équipés de la manière suivante :

- Colonne captante en tubage PVC 80-90 mm crépiné au-delà de 23 m de profondeur jusqu'au fond des ouvrages ;
- Bouchon d'argile expansive sur ombrelle de cimentation d'une épaisseur d'environ 1 à 2 mètres ;
- Cimentation annulaire supérieure jusqu'au terrain naturel (hauteur minimale de 19 m) ;

- Capot hors-sol avec cadenas et margelle de propreté de 3 m².

Pour les piézomètres Pp1 à Pp4, les horizons géologiques suivants ont pu être observés :

- Niveau de grès altérés plus ou moins oxydés dans une matrice limono-argileuse avec quelques niveaux de schistes d'environ 30m d'épaisseur (ce niveau correspond à la formation captée par les piézomètres superficiels) ;
- Niveau inférieur avec alternance de grès gris à rouge et de niveaux schisteux.

Pour le piézomètre Pp5, un épais niveau de schistes noirs a été observé jusqu'à 69m de profondeur. Situé plus en périphérie de l'anticlinal de Chateaubriand, cette série peut être reconnue comme le membre silto-gréseux intermédiaire (2b).

Leurs coupes géologiques et techniques sont présentées en annexe 2.



Figure 12 : Atelier de foration de l'entreprise Aquassys



Figure 13 : Localisation des piézomètres profonds

Tableau 1 : Caractéristiques des piézomètres profonds créés

Piézomètre	X L93 – CC47	Y	Z repère (IGN69 m NGF)	Repère	Profondeur (m)	Niveau eau ¹ (m/repère)	Distance aux galeries (m)
Pp1	1 355 313.632	6293766.499	72.62	margelle	79	7.32	10
Pp2	1 354 980.725	6293731.937	68.45	margelle	60	3.28	50
Pp3	1 355 235.652	6293944.824	69.43	margelle	75	6.1	160
Pp4	1 354 965.540	6293795.930	66.26	margelle	84	1.49	40
Pp5	1 354 925.747	6294026.387	59.26	margelle	78	Artésien	220

¹ Mesures du niveau d'eau effectuées le 21 juin 2021

5.2.2. Tests de productivité

Des tests de pompage ont été réalisés dans ces piézomètres du 17 au 23 juin 2021 pour évaluer la transmissivité de l'aquifère. Ces essais ont été réalisés par le bureau d'étude Géo Hydro Investigations.

Le déroulement de chaque test a été organisé comme suit :

- Sonde d'enregistrement du niveau d'eau installée dans le piézomètre et mesures manuelles de contrôle,
- 3 heures de pompage à débit continu ou arrêt du pompage si stabilisation après 30 minutes,
- 1 heure de suivi du niveau piézométrique après arrêt du pompage ou jusqu'au retour du niveau statique.

L'interprétation des mesures a permis de définir :

- Des débits spécifiques compris entre 0.1 m³/h/m (Pp2) et 0.82 m³/h/m (Pp3).
- Des valeurs de transmissivité déduites graphiquement entre 7 10⁻⁵ et 1.2 10⁻⁴ m²/s.

Ces valeurs sont nettement inférieures (facteur 10 à 100) à celles déduites lors de l'essai de pompage longue durée mené en décembre 2020 et semblent donc peu représentatives de la productivité de cet aquifère discontinu.

Tableau 2 : Rabattements mesurés dans les piézomètres profonds lors des tests de productivité

Piézomètre	Débit testé	Niveau statique	Niveau dynamique	Rabattement	Débit spécifique	Transmissivité	E _{mouillée} (crépines)	Perméabilité
	(m ³ /h)	(m NGF)	(m NGF)	(m)	(m ³ /h/m)	(m ² /s)	(m)	(m/s)
Pp1	3.17	7.33	26.97	19.64	0.16	3.30E-05	46.8	7.E-07
Pp2	1.04	3.37	14.22	10.85	0.10	5.70E-05	35.6	2.E-06
Pp3	5.4	6.2	12.75	6.55	0.82	1.20E-04	48	3.E-06
Pp4	0.98	1.46	10.62	9.16	0.11	1.20E-04	53.5	2.E-06
Pp5	6.48	0.1	15.5	15.4	0.42	7.00E-05	48	1.E-06

L'interprétation des tests de productivité est détaillée dans la note spécifique remise au mois de novembre 2021 et présentée en annexe 3.

6. DEROULEMENT DU POMPAGE LONGUE DUREE

6.1. UNITE DE POMPAGE

La pompe immergée a été installée dans le forage SR1 entre 58 et 60 m de profondeur, soit plus de 50 m sous le niveau statique de la nappe (Figure 14).

Le forage SR1 recoupe la galerie minière à 82 m de profondeur.

Le débit de pompage a été fixé avec la Maitrise d'Ouvrage à 60 m³/h.

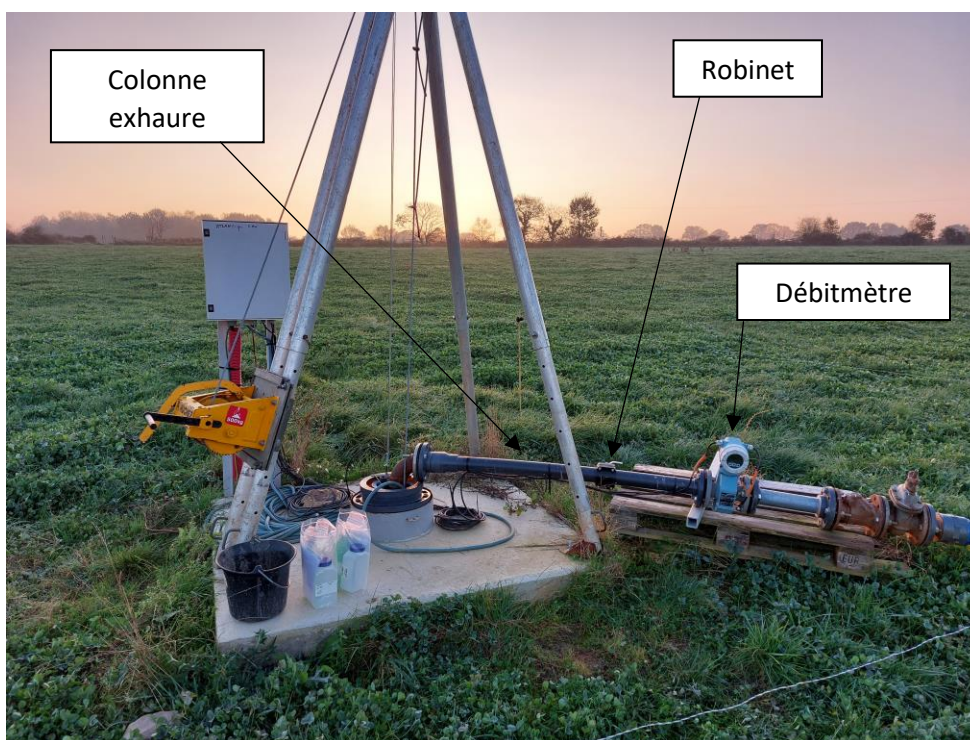


Figure 14 : Dispositif de pompage dans le forage SR1

6.2. PERIODE DE POMPAGE

Le pompage a démarré le 28 juin 2021 à 10 heures et a été arrêté le 8 décembre 2021 à 10 heures. L'essai a donc été mené pendant 163 jours en période de basses eaux où la recharge efficace de l'aquifère profond est négligeable.

L'arrêt du pompage a été décidé en concertation avec la Maitrise d'Ouvrage suite à la détection de dioxines et furanes dans plusieurs échantillons d'eau prélevés aux mois d'octobre et novembre 2021. Ces éléments chimiques étant en lien avec l'ancienne décharge, la poursuite du pompage en période hivernale, où les eaux de pluies percolent à travers le massif de déchets, aurait pu faciliter le transfert vers l'aquifère profond fissuré de ces dioxines / furanes.

Le débit moyen pompé a été de 60.5 m³/h. La chronique des débits enregistrés est présentée sur la Figure 15.

Le volume pompé a été de 222 543 m³ d'après l'index volumétrique du débitmètre. Pour un volume estimé des anciennes galeries à 8 500 m³, le volume a été renouvelé 26 fois pendant le pompage.

Pendant l'essai, plusieurs arrêts de la pompe ont été effectués pour des opérations de maintenance, en raison de coupures électriques ou après concertation avec la Maitrise d'Ouvrage :

- 30 juin de 8h à 11h30
- 6 juillet de 9h40 à 12h
- 22 juillet de 12h à 12h30
- 07 septembre de 10h06 à 10h13
- 8 octobre de 16h à 16h43
- 12 octobre de 3h22 à 3h31 / 10h47 à 10h57 / 14h33 à 14h43
- 14 octobre de 2h21 à 2h31 / 6h13 à 6h22
- **22 octobre à 10h au 29 octobre à 9 heures (arrêt volontaire du pompage pendant 7 jours pour un test de remontée à l'étiage)**
- Plusieurs arrêts de pompe d'une durée de l'ordre de 10 mn au mois de novembre 2021 en raison d'un problème sur la pompe de relevage de l'unité de traitement

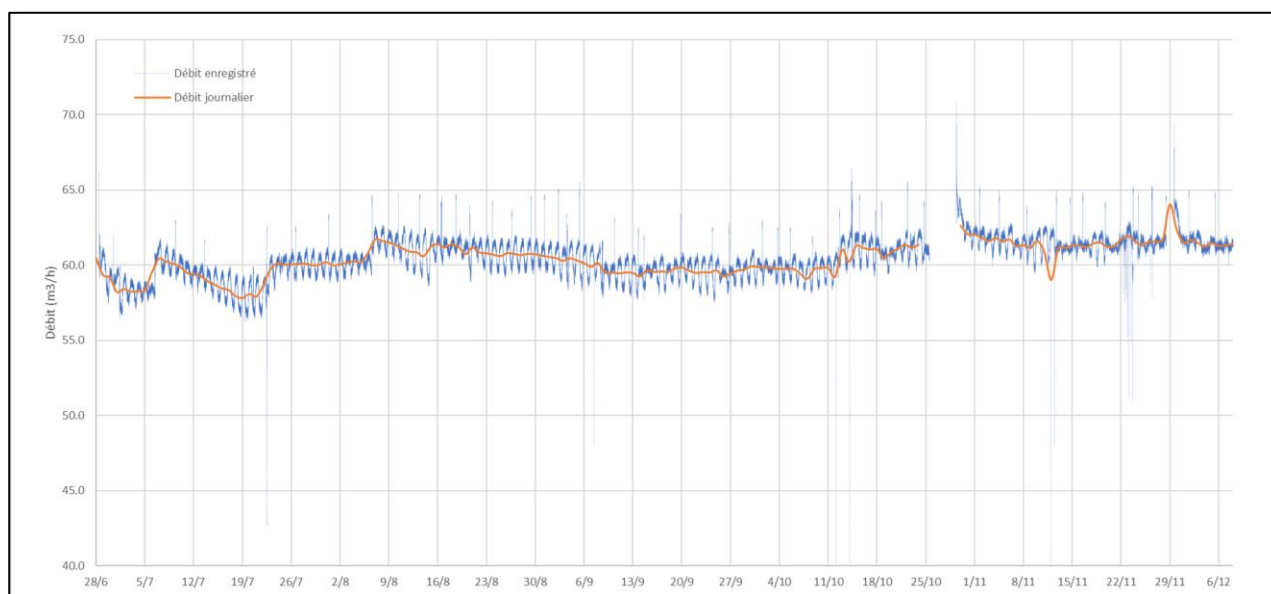


Figure 15 : Chronique du débit pompé dans le forage SR1

6.3. UNITE DE TRAITEMENT TEMPORAIRE DES EAUX POMPEES

6.3.1. Dispositif mis en place

En raison des concentrations élevées en fer et en manganèse attendues dans les eaux pompées, un dispositif temporaire d'oxygénation et de récupération du fer oxydé a été mis en place. Ce dispositif de traitement est basé sur le principe suivant :

- L'acheminement des eaux pompées depuis le forage SR1 vers un bassin de filtration d'une surface de 25m² et d'une profondeur de 1.45 m composé (Figure 16) :

Rapport final

CARACTERISATION DE LA RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE SUR LE SITE DE LA MINE DE CLARAY A SION LES MINES

- D'un géotextile anti-poinçonnant et une bâche étanche d'épaisseur 1 mm sur toute la surface du bassin terrassé ;
- D'une couche de magno-dol permettant de remonter le pH de l'eau et de faciliter la précipitation du fer dissous (épaisseur de 20 cm, gravier calcaro-magnésien anguleux de granulométrie 2,0-4,5 mm) ;
- D'une couche de filtration de sable de filtration (épaisseur de 35 cm, sable siliceux roulé de granulométrie de 1-2 mm) ;
- D'une couche de graviers collecteurs (épaisseur de 40 cm, gravier siliceux de granulométrie 4-8 mm).
- D'un réseau d'alimentation et d'évacuation de l'eau :
 - Râteau d'alimentation à la surface de la couche de Magno-Dol : 9 lignes de 4 ml (36 mètres linéaires au total) de tubage PVC de 125 mm de diamètre, avec trous de 20 mm de diamètres orientés vers le haut,
 - Râteau de drainage en fond (au sein de la couche de gravier collecteur) : 10 lignes de 3 ml (30 mètres linéaires au total) de tubage PVC de type forage de diamètre 125 mm à crépine industrielle (crépines de type fentes, de 2 mm d'ouverture),
 - Des poires de contrôle du niveau d'eau dans le bassin-filtre conditionnant le fonctionnement de la pompe dans le forage et de la pompe de refoulement en sortie de filtre afin de maintenir le niveau d'eau dans le bassin filtre entre 0 et 50 cm au-dessus de la couche de Magno-Dol. Ceci, de façon à garder le massif filtrant saturé en eau et éviter le débordement du bassin-filtre.
- La création de 2 bassins de décantation d'une surface respective de 25 m² et 35 m² et d'une profondeur de 1.15 m qui ont été utilisés lors des opérations de contre-lavage menées sur le bassin de filtration ;
- Un système de refoulement de l'eau en aval du bassin composé d'une pompe de 60 m³/h et d'une canalisation jusqu'au point de rejet situé à une distance de 900 m.

Pour le maintien de l'efficacité du traitement, des opérations régulières de contre-lavage du bassin de filtration ont été réalisées 2 à 3 fois par semaine pour évacuer les nodules de fer oxydé dans le massif filtrant.

Il était attendu de l'unité de traitement un abattement minimum des teneurs en fer total de 60%.

Ce dispositif de traitement du fer a été réalisé par l'entreprise AQUASSYS (Figure 16). L'entreprise était aussi en charge de sa maintenance.

Les plans de l'unité de traitement remis par l'entreprise sont présentés en annexe 4.



Figure 16 : Photos prises lors de la création de l'unité temporaire de traitement de l'eau pompée

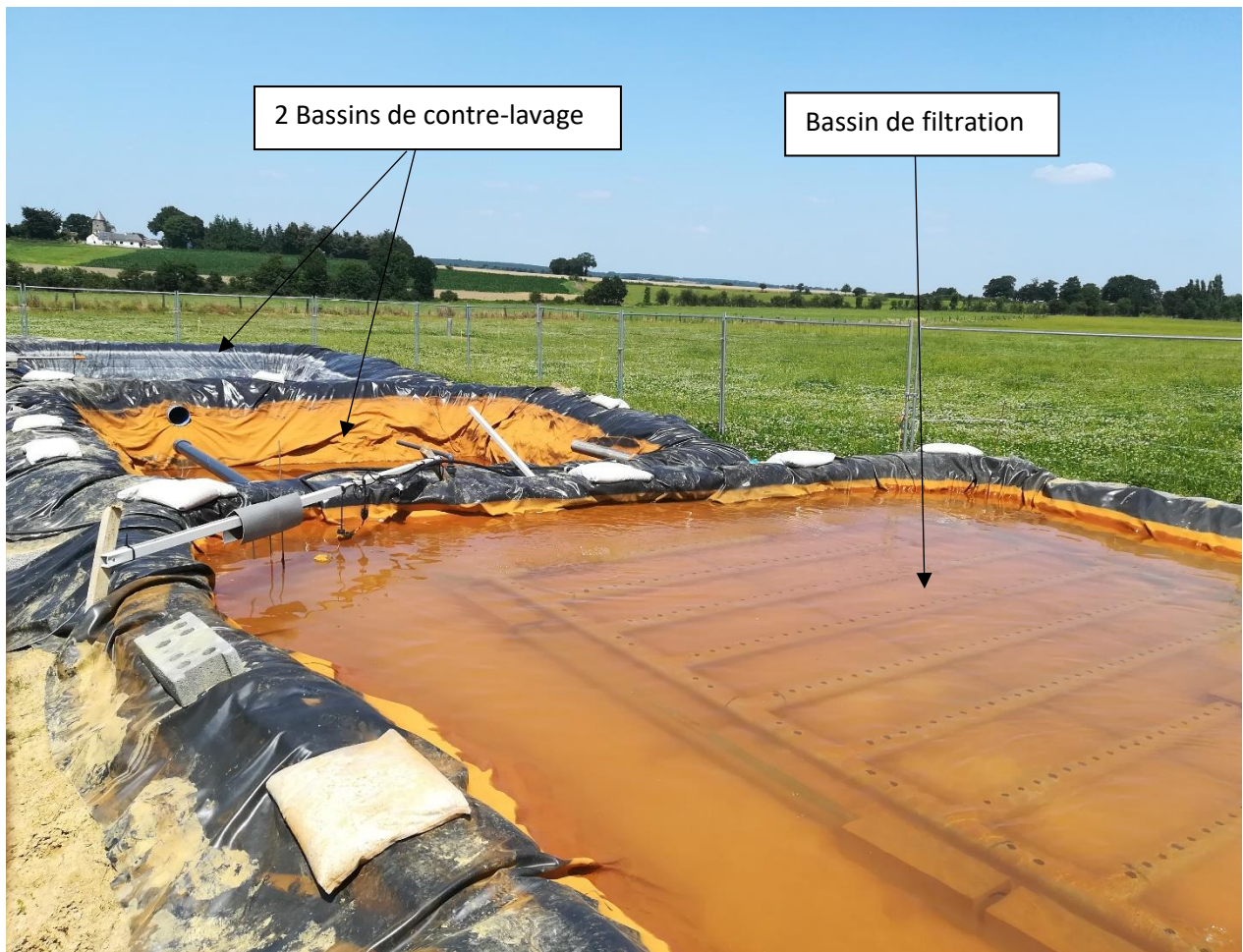


Figure 17 : Unité temporaire de traitement du fer des eaux pompées après plusieurs mois de pompage

6.3.2. Suivi des teneurs en fer

Un protocole de surveillance de l'efficacité du traitement a été mis en place pendant toute la durée du pompage :

- Auto-contrôle des teneurs en fer sur le site par l'entreprise à l'aide d'un mini-photomètre de terrain ;
- Suivi analytique en laboratoire des teneurs en fer dissous et totaux de l'eau pompée et de l'eau traitée.

Le tableau ci-dessous présente les teneurs en fer mesurées sur le terrain et en laboratoire en amont et en aval de l'unité de traitement. Hormis une valeur au cours de l'été 2021, le taux d'abattement a toujours été nettement supérieur au seuil minimal fixé à 60%.

Tableau 3 : Teneurs en fer total en amont et en aval de l'unité de traitement du fer

Date	FORAGE SR1	Unité de traitement	Abattement	Remarque	Opérateur
	mg/l	mg/l			
29/06/2021	0.5	0.039	92%	Laboratoire	Eurofins
29/06/2021	0.45	0	100%	mini-photomètre	Aquassys
01/07/2021	1.01	0	100%	mini-photomètre	Aquassys
01/07/2021	1.05	0.08	92%	colorimètre Hach DR890	Atlantic'Eau
06/07/2021	1.28	0.09	93%	mini-photomètre	Aquassys
09/07/2021	2.22	0	100%	mini-photomètre	Aquassys
13/07/2021	2.41	0.1	96%	mini-photomètre	Aquassys
19/07/2021	2.27	0.33	85%	mini-photomètre	Aquassys
23/07/2021	2.32	0.16	93%	mini-photomètre	Aquassys
28/07/2021	3.01	0.1	97%	colorimètre Hach DR890	Atlantic'Eau
28/07/2021	2.65	0.38	86%	mini-photomètre	Aquassys
04/08/2021	3	0.14	95%	Laboratoire	Eurofins
04/08/2021	2.78	0.46	83%	mini-photomètre	Aquassys
11/08/2021	2.96	0.92	69%	mini-photomètre	Aquassys
16/08/2021	3.45	1.15	67%	mini-photomètre	Aquassys
20/08/2021	3.53	1.48	58%	mini-photomètre	Aquassys
26/08/2021	3.27	0.14	96%	mini-photomètre	Aquassys
01/09/2021	2.6	0.038	99%	Laboratoire	Eurofins
03/09/2021	2.75	0.27	90%	mini-photomètre	Aquassys
08/09/2021	2.89	0.33	89%	mini-photomètre	Aquassys
14/09/2021	3.09	0.49	84%	mini-photomètre	Aquassys
24/09/2021	3.07	0.3	90%	mini-photomètre	Aquassys
01/10/2021	3.23	0.31	90%	mini-photomètre	Aquassys
04/10/2021	3.1	0.57	82%	Laboratoire	Eurofins
05/10/2021	3.73	0.44	88%	mini-photomètre	Aquassys
14/10/2021	3.04	0.42	86%	mini-photomètre	Aquassys
18/10/2021	2.88	0.36	88%	mini-photomètre	Aquassys
25/10/2021	2.92	0.54	82%	mini-photomètre	Aquassys
29/10/2021	2.85	0.38	87%	mini-photomètre	Aquassys
04/11/2021	2.76	0.22	92%	mini-photomètre	Aquassys
10/11/2021	2.73	0.35	87%	mini-photomètre	Aquassys
16/11/2021	2.7	0.59	78%	mini-photomètre	Aquassys
23/11/2021	1.74	0.33	81%	mini-photomètre	Aquassys
03/12/2021	2.61	0.12	95%	mini-photomètre	Aquassys
08/12/2021	2.45	0.21	91%	mini-photomètre	Aquassys

Dans le cadre du contrôle de la qualité des eaux rejetées au milieu, des prélèvements ont aussi été réalisés dans le ruisseau en aval du point de rejet pour analyser les teneurs en fer.

La localisation des 3 points de prélèvements est précisée ci-dessous. Ces analyses ont mis en évidence les concentrations naturellement élevées en fer total des eaux se déversant depuis l'étang (Aval 1) tandis qu'en aval du rejet celles-ci sont nettement plus basses en raison de la dilution avec les eaux traitées du pompage (Aval 2 et Aval 3).

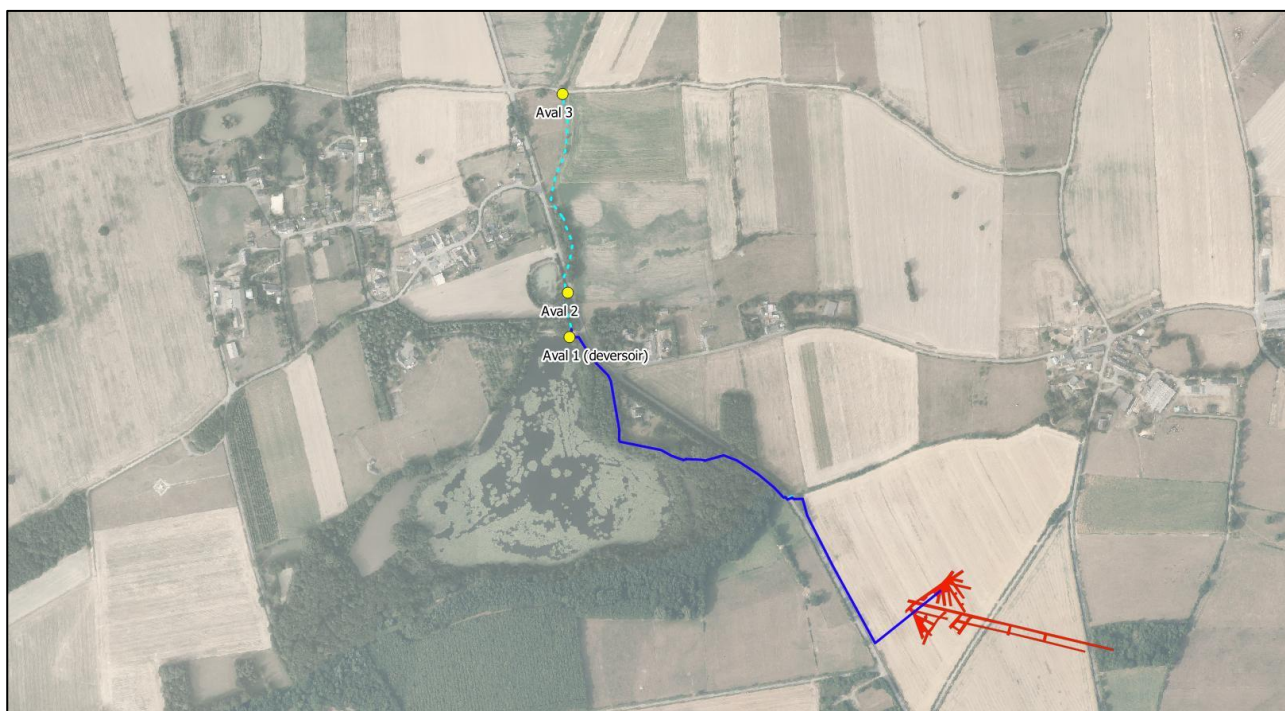


Figure 18 : Localisation des prélèvements d'eau dans le ruisseau

Tableau 4 : Teneurs en fer et manganèse dans le ruisseau

Aval 1 (Étang Limèle)									
Date	Cond	pH	Température	Cond. Labo	MES	Fer filtré terrain	Fer	Mn filtré terrain	Mn
	µs/cm		°C	µs/cm	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
02/09/2021	223	6.74	18.1	193	19	3500	4900	550	580
05/10/2021	221	6.64	16.2	184	10	2600	2900	120	120
03/11/2021	217	6.09	14	187	7	3800	4200	250	270
07/12/2021				193	10		3200		140
Aval 2 _ Pont RD (étang Limèle + eau de pompage)									
Date	Cond	pH	Température	Cond. Labo	MES	Fer filtré terrain	Fer	Mn filtré terrain	Mn
	µs/cm		°C	µs/cm	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
01/09/2021	225	5.7	15.6	208	<2	120	330	120	140
03/11/2021	216	6.28	13.9	207	<2	200	280	230	240
07/12/2021				196	<2		690		180
Aval 3 _ Pont Chemin (étang Limèle + eau de pompage)									
Date	Cond	pH	Température	Cond. Labo	MES	Fer filtré terrain	Fer	Mn filtré terrain	Mn
	µs/cm		°C	µs/cm	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
01/09/2021	229	5.83	16.1	231	36	74	90	44	420

6.4. REJET DES EAUX POMPEES

Le rejet des eaux pompées a été fixé à 870 m en aval du forage (Figure 19). Ce point de rejet est localisé en aval du déversoir de l'étang de Limèle (Figure 20). Cette distance permet ainsi de s'affranchir d'un possible recyclage des eaux rejetées entre l'étang et l'ancienne mine.

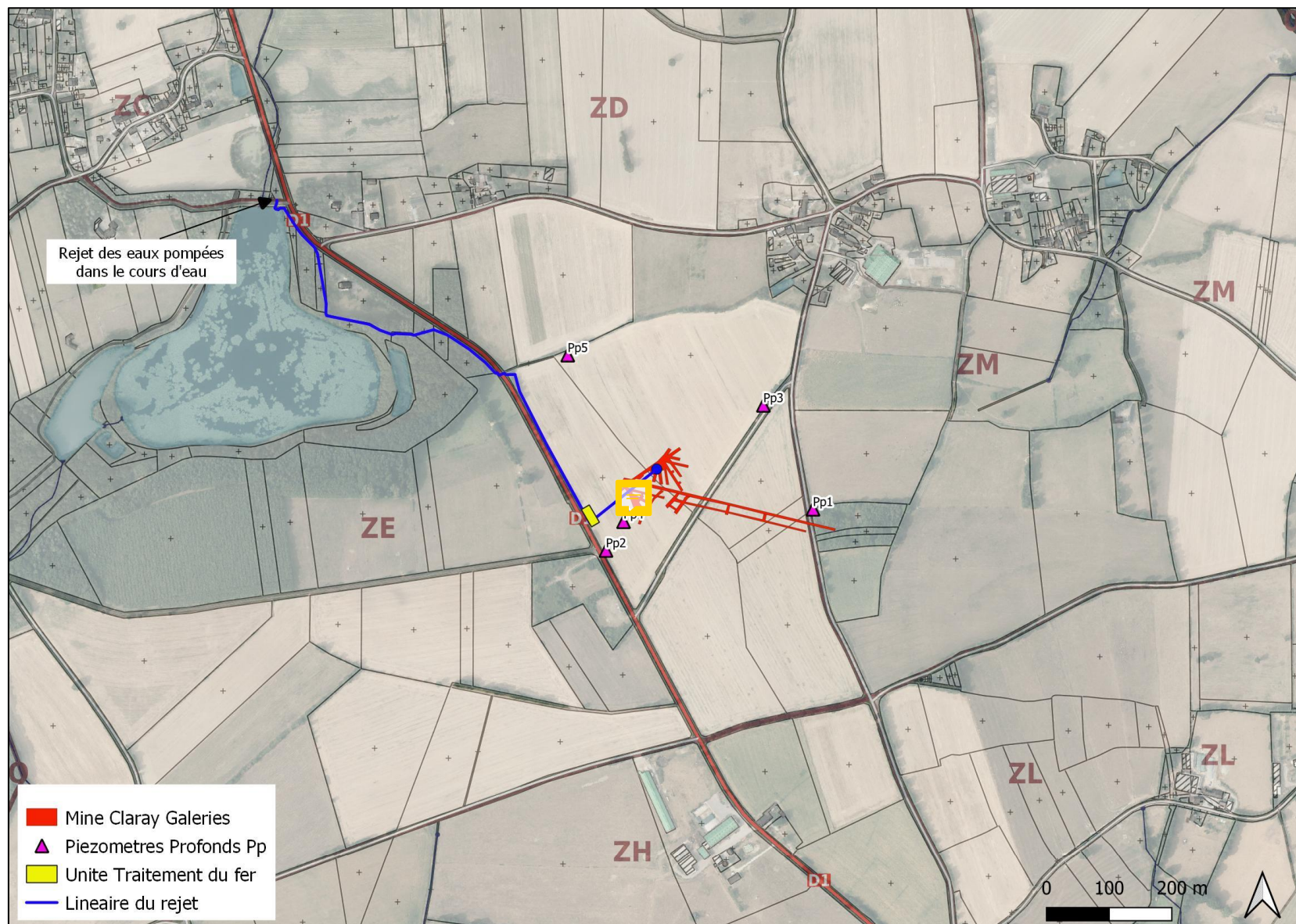


Figure 19 : Localisation du point de rejet des eaux pompées et de l'unité de traitement temporaire



Figure 20 : Photos du rejet des eaux pompées en aval de l'étang de Limèle

6.5. EXPLOITATION DES FORAGES AGRICOLES PENDANT L'ESSAI DE POMPAGE

Pendant l'essai de pompage, les prélèvements d'eau dans les forages agricoles les plus proches (Fa2 et Fa5) ont été maintenus.

Les forages agricoles étant tous situés au-delà de 450 m du forage SR1, il a été considéré que les arrêts / reprises des pompages dans ces ouvrages ne devraient pas perturber l'essai de pompage. Cela a été vérifié lors du pompage longue durée.

7. PROTOCOLE DE SURVEILLANCE DES EAUX SOUTERRAINES

7.1. SUIVI DES NIVEAUX D'EAU

7.1.1. Mesures manuelles

La carte ci-dessous spécifie les points d'accès à la nappe qui ont été surveillés manuellement pendant l'essai (Figure 21) :

- Le forage de reconnaissance SR1
- Les 5 piézomètres profonds
- Les 4 piézomètres superficiels à proximité de l'ancienne décharge
- 4 puits privés : puits 1 / puits 3 / puits 8 / puits 15
- 2 forages agricoles (Fa2 et Fa5)
- L'étang de Limèle où une échelle limnimétrique a été installée pour une lecture visuelle du niveau d'eau



Figure 21 : Surveillance des eaux souterraines pendant le pompage de longue durée

7.1.2. Mesures automatiques

Huit sondes d'enregistrement automatique ont aussi été installées du 28 juin au 16 décembre 2021 pour obtenir un suivi à un pas de temps fin des niveaux d'eau (Figure 22) :

- Dans le forage SR1 : sonde de suivi du niveau avec système de télétransmission permettant ainsi une alerte rapide en cas d'arrêt de la pompe ou de rabattement trop important du niveau d'eau ;
- Dans le piézomètre profond PP2 : sonde de suivi du niveau et de la conductivité pour surveiller finement l'évolution de la qualité entre la décharge et le pompage ;
- Dans les piézomètres profonds Pp1, Pp3 et Pp5 : sondes de niveau ;
- Dans l'étang de Limèle : sonde de niveau ;
- Dans les forages Fa5 et Fa2 : sondes de niveau²

Le pas de temps d'enregistrement a été fixé au pas de temps horaire.

Une sonde barométrique a été aussi installée à proximité du forage SR1 pour compenser les mesures de pression enregistrées dans chaque ouvrage.

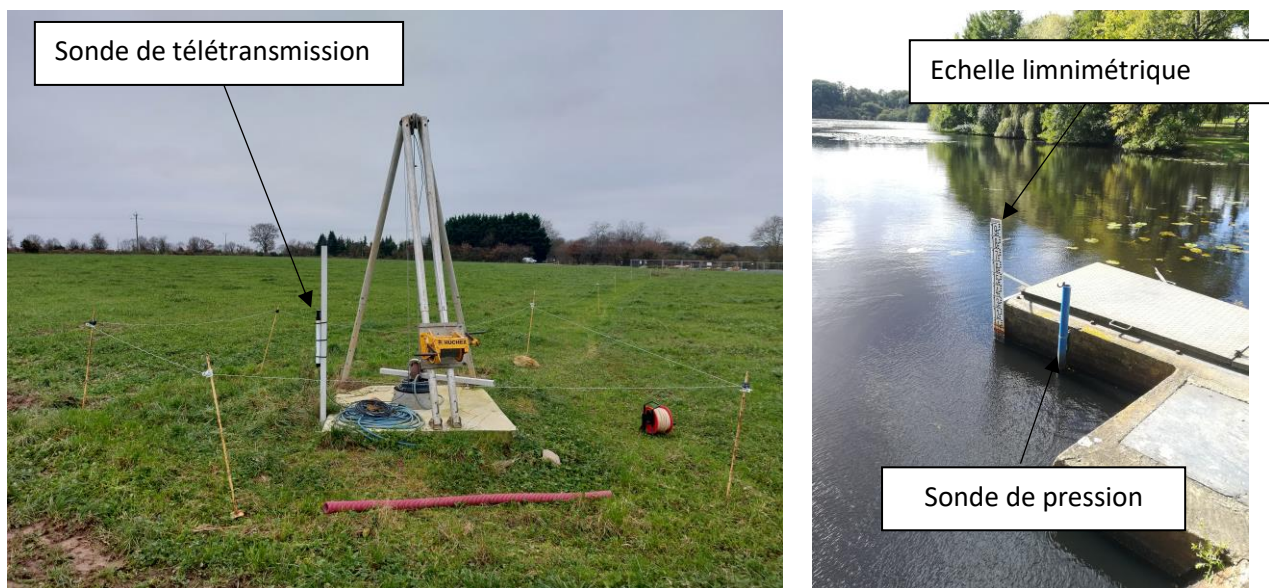


Figure 22 : Illustrations de la surveillance mise en place

7.1.3. Nivellement topographique

Tous les points de surveillance ont fait l'objet par ARTELIA d'un nivellement précis par GPS au mois d'août 2021.

Les coordonnées XYZ sont présentées dans le tableau ci-dessous.

² Les sondes de niveau installées dans les 2 forages de petit diamètre équipés de pompe ont été temporairement bloquées dans l'ouvrage compliquant l'interprétation des données acquises durant cette période.

Tableau 5 : Coordonnées GPS des points de surveillance

Nom	X (L93 - CC47)	Y	margelle	sol	capot acier	Remarques
SR1	1355062.193	6293840.865	67.752	67.502	68.002	
PP1	1355313.632	6293766.499	72.618	72.478	73.508	
PP2	1354980.725	6293731.937	68.454	68.344	69.314	
PP3	1355235.652	6293944.824	69.433	69.353	70.233	
PP4	1354965.54	6293795.93	66.264	66.154	67.184	
PP5	1354925.747	6294026.387	59.26	59.13		02/09 : capot acier abaissé -0.35m/margelle
Pz1	1354901.219	6293700.018	68.313	68.223	68.513	
Pz2	1354867.073	6293695.06	68.99	68.69	69.15	
Pz3	1354988.025	6293649.872	71.316	71.006	71.496	
Pz4	1354885.905	6293845.154	64.432	64.262	64.652	
Fa2	1355157.86	6293199.974	77.313	77.143	77.543	
Fa5	1355380.516	6294180.293	69.812	69.882	69.812	
Puits 1	1355172.619	6293377.112	76.646	76.296	-	
Puits 8	1355951.948	6293299.965	69.027	68.727	-	
Puits 3	1355724.968	6294225.721	62.406	62.106	-	
Puits 15	1354256.814	6294396.596	57.818	57.368	-	
Etang de Limèle - Echelle limnimétrique	1354424.157	6294257.534		54.624	-	Repère échelle = 1.36
aval1	1354453.153	6294268.223		55.076	-	Repère ht du pont (pas de signal au pt de prélèvement)
aval2	1354445.428	6294351.76		52.417	-	
aval3	1354448.032	6294668.391		42.38	-	

7.2. SUIVI DE LA QUALITE DE L'EAU

7.2.1. Ouvrages surveillés

Dix campagnes de prélèvement d'eau ont été réalisées aux dates suivantes :

- 29 juin 2021 (1 jour de pompage)
- 05 juillet (7 jours de pompage)
- 12 juillet (14 jours de pompage)
- 22 juillet (24 jours de pompage)
- 03 et 04 aout (36 jours de pompage)
- 01 et 02 septembre puis le 06 septembre (uniquement pour le fer et le manganèse suite à un problème de flaconnage) (65 jours de pompage)
- 04 et 05 octobre (98 jours de pompage)
- 03 novembre (128 jours de pompage)
- 23 novembre (uniquement dioxines et furanes) (148 jours de pompage)
- 06 et 07 décembre 2021 (161 jours de pompage)

Tous ces campagnes ont été effectuées par ARTELIA. Les fiches de chaque campagne sont présentées en annexe 5.

Pour l'analyse des métaux, le protocole de prélèvement a été modifié à partir du mois d'aout 2021. Il a été décidé de filtrer systématiquement sur le terrain les échantillons d'eau pour limiter la précipitation du fer dissous dans le flacon.

7.2.2. Paramètres chimiques contrôlés

Les paramètres à analyser ont été listés avec le Maître d'Ouvrage sur la base des conclusions du diagnostic de l'ancienne décharge et des objectifs d'exploitation de la ressource en eau souterraine pour l'alimentation en eau potable.

Quatre types d'analyse en laboratoire ont alors été définis (Tableau 7).

Toutes les analyses ont été réalisées par le laboratoire Eurofins.

Deux analyses complètes ont été effectuées dans le forage SR1 le 4 octobre et le 07 décembre 2021. Ces deux prélèvements ont été réalisés par le laboratoire Eurofins :

- L'analyse complète du 04 octobre : les critères analysés ont été définis suivant l'arrêté du 20/06/2007 relatif à la constitution du dossier de la demande d'autorisation d'utilisation d'eau destinée à la consommation humaine ainsi que la liste des micropolluants et autres pesticides à analyser en Loire atlantique ;
- L'analyse complète du 07 décembre : la liste des critères a été complétée avec la recherche de 400 substances supplémentaires (pesticides, médicaments, substances vétérinaires et virus).

Tableau 6 : Synthèse des paramètres analysés selon le type d'analyse

	Analyse simple	Analyse aval du traitement	Analyse ruisseau	Analyse intermédiaire	Dioxine furane
Conductivité	x	x	x	x	
pH	x	x	x	x	
Température	x	x	x	x	
Oxygène dissous	x	x	x	x	
Turbidité	x	x	x	x	
Fer total et fer dissous	x	x	x	x	
Manganèse total et manganèse dissous	x	x	x	x	
chlorures	x			x	
nitrate	x			x	
sulfates	x			x	
ammonium				x	
Dioxines furanes					x
Antimoine (Sb)				x	
Arsenic (As)				x	
Baryum (Ba)				x	
Cadmium (Cd)				x	
Cuivre (Cu)				x	
Mercure (Hg)				x	
Molybdène (Mo)				x	
Nickel (Ni)				x	
Plomb (Pb)				x	
Sélénium (Se)				x	
Zinc (Zn)				x	
Hydrocarbures C10 – C40				x	
BTEX	x			x	
HAP	x			x	
COHV	x			x	
PCB	x			x	

Le programme des analyses réalisées est synthétisé dans le Tableau 7 en distinguant l'ouvrage surveillé et la date de la campagne de prélèvement.

Tableau 7 : Planning des campagnes piézométriques et de prélèvements d'eau

	POMPAGE du 28 juin au 08 décembre 2021																							
	30-juin	5-juil.	12-juil.	22-juil.	3-août					1-sept.					4-oct.				3-nov.		23-nov.		6-déc.	
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24
Dép. suivi niveau - mesures manuelles	1				1					1					1				1				1	1
Dép. suivi qualité - prélèvements	1	1	1	1	1					1					1				1		1		1	
CAMPAGNES de PRELEVEMENT D'EAU																								
SR1	1	1	1	1	1					1					1				1				1	
PP1	1														1								1	
PP2 (axe ancienne décharge)	1		1		1					1					1				1				1	
PP3	1														1								1	
PP4 (axe ancienne décharge)	1				1					1					1								1	
PP5	1														1								1	
Pz1 (aval de la décharge)			1		1					1					1				1				1	
Pz2																							1	
Pz3 (aval de la décharge)					1					1					1				1				1	
Pz4					1										1				1				1	
Rejet - aval traitement	1				1					1					1				1				1	
Fossé										3					1				2				2	
Analyses dioxines et furanes																								
SR1	1														1				1		1		1	
PP2 (axe ancienne décharge)																			1		1		1	
PP4 (axe ancienne décharge)																					1		1	
Pz1 (aval de la décharge)	1														1				1		1		1	
Pz3 (aval de la décharge)	1														1				1		1		1	
PZ4	1														1				1		1		1	
PP3																					1			
PP5																					1			
Aval traitement																					1		1	
Analyse simple																								
Analyse aval du traitement																								
Analyse ruisseau																								
Analyse intermédiaire																								
Analyse dioxines / furanes																								
Analyse complète																								

8. INTERPRETATION DES DONNEES ACQUISES PENDANT L'ESSAI

8.1. EVOLUTION PLUVIOMETRIQUE

Les données pluviométriques journalières ont été récupérées pour la station météorologique de Nantes Aéroport Bouguenais sur la période de juin à décembre 2021 (Figure 23). Sur cette période, les hauteurs cumulées des pluies ont été de 463.8 mm où un épisode très intense a été enregistré le 02 octobre avec plus de 90 mm de précipitation.

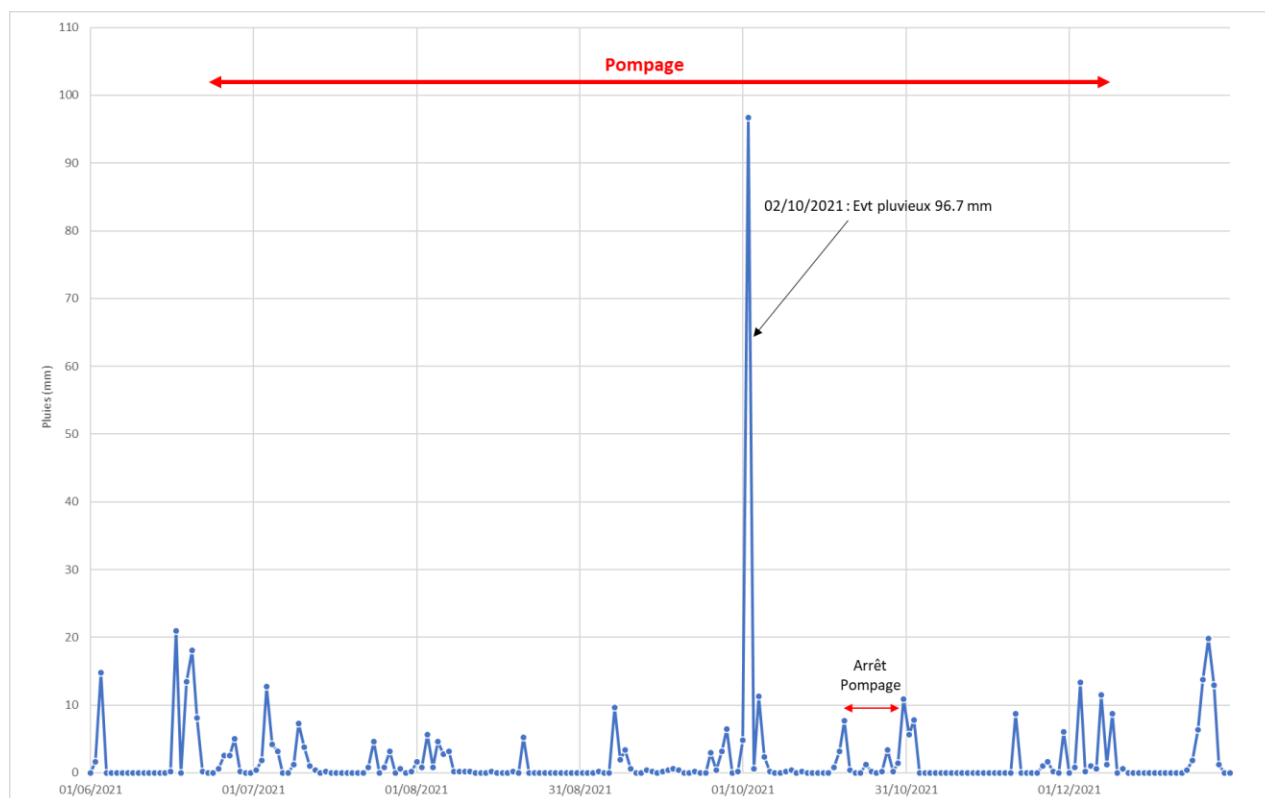


Figure 23 : Pluies journalières à la station Nantes Aéroport Bouguenais (données Météociel)

Les pluies mensuelles ont été comparées aux normales mensuelles de la station (Figure 24). L'essai de pompage a été réalisé au cours d'une période estivale relativement proche des normales de saison hormis :

- Le mois de juin qui est excédentaire : la majorité des pluies a été enregistrée avant le démarrage du pompage le 28 juin.
- Le mois d'octobre, particulièrement excédentaire, en raison des précipitations intenses du 2 octobre. Si on soustrait cet événement pluvieux alors les pluies mensuelles sont nettement déficitaires avec seulement 49.7 mm (53% de la normale).
- Le mois de novembre, période où la recharge des aquifères est censée redémarrer, qui a été très déficitaire en 2021 (34% de la normale).

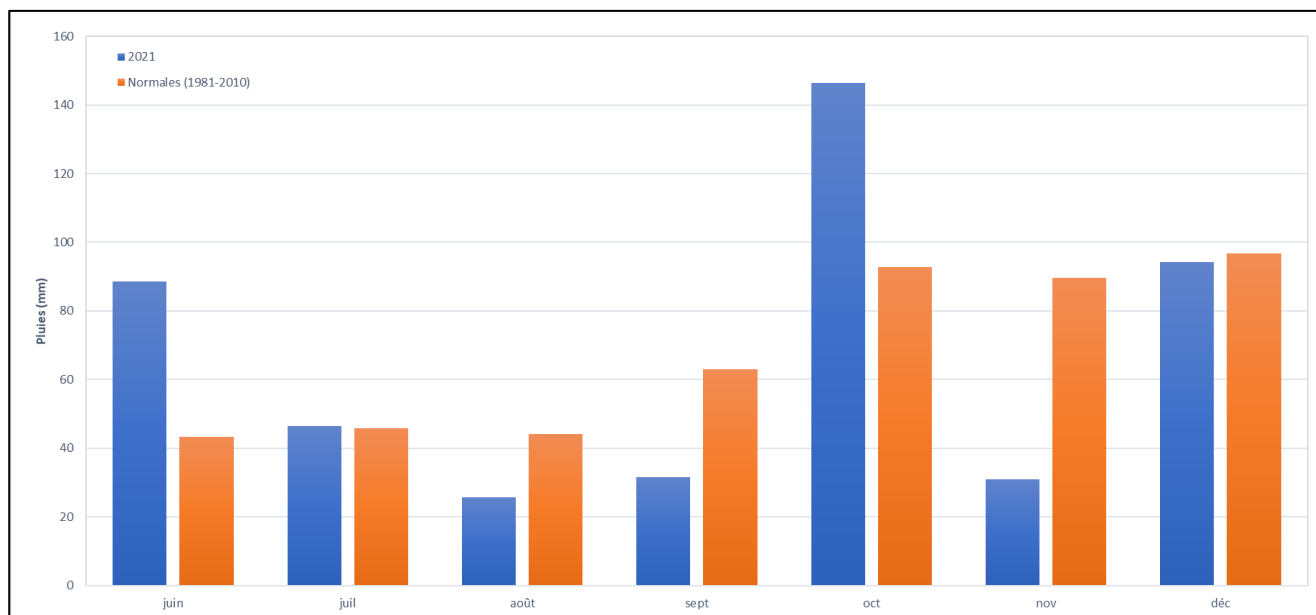


Figure 24 : Pluies mensuelles à la station Nantes Aéroport Bouguenais et comparaison aux normales mensuelles

8.2. EVOLUTION DES CHRONIQUES PIEZOMETRIQUES

8.2.1. Mesures manuelles du niveau de nappe

Les niveaux de nappe mesurés manuellement sont présentés dans le Tableau 8.

Les niveaux piézométriques les plus bas ont été mesurés pour la majorité des ouvrages profonds (SR1, Pp1 à Pp3) juste avant l'arrêt du pompage le 06 décembre 2021. Les rabattements maximums mesurés sont alors compris entre 4,4 m (Pp5) et 20 m (SR1).

Les piézomètres superficiels Pz1, Pz3 et Pz4 ont enregistré des rabattements maximums de la nappe compris entre 6,3 et 10,1 m aux mois de novembre et décembre. Le piézomètre Pz2 a, quant à lui, peu réagit au pompage et enregistre une baisse piézométrique maximale de 3,4 m au mois de septembre, seulement 2 mois après le démarrage de l'essai.

Les niveaux mesurés ponctuellement dans les 2 forages agricoles sont peu représentatifs d'un niveau statique de la nappe, les pompes d'exploitation étant démarrées plusieurs fois par jours.

Les niveaux mesurés dans les puits éloignés du forage et captant la frange supérieure de l'aquifère des grès (zone d'altération) ont enregistré un faible rabattement, voir une stabilisation piézométrique (puits 15) pendant la durée de l'essai. Ces ouvrages n'ont donc pas, ou peu, été influencés par le pompage d'autant qu'ils ont aussi été soumis à la vidange naturelle de la nappe.

Tableau 8 : Cotes piézométriques (m NGF) des niveaux de nappe mesurés manuellement sur l'ensemble du réseau de surveillance et rabattements déduits

COTES PIEZOMETRIQUES (m NGF)										
Nom	28/06/2021 Avant pompage	30/07/2021	01/09/2021	04/10/2021	22/10/2021 Avant arrêt	29/10/2021 Avant redémarrage	03/11/2021	23/11/2021	06/12/2021 Avant arrêt	16/12/2021 9 jours après arrêt
SR1	65.44	50.54	48.30	46.95	46.09	58.44	46.74		45.45	59.19
PP1	65.60	55.85	53.49	51.85	51.11		51.83		50.36	58.96
PP2	65.74	59.44	57.26	56.22	54.97		55.60	54.45	54.04	58.26
PP3	63.69	57.15	55.36	54.22			54.24	53.46	53.04	57.83
PP4	65.54	56.10	53.79	50.39	51.80	58.38	52.41	52.25	51.11	59.26
PP5	ART	56.48	55.95	55.49	55.21	59.40	55.26	55.00	55.36	56.85
Pz1	66.62	64.16	62.50	62.21	61.16	61.20	61.79	60.34	60.74	62.60
Pz2	67.16	65.18	63.80	66.05	64.51	64.11	66.37		66.57	65.22
Pz3	67.50	63.43	60.87	59.05	58.43	59.70	58.75	57.84	57.42	60.99
Pz4	62.87	58.97	56.79	55.55	55.11	56.34	55.75	54.71	54.75	57.59
Fa2	65.11	64.04	60.65	60.73			59.86		59.59	61.73
Fa5	59.15	59.09	57.24				58.38		57.86	58.77
Puits 1	68.01	66.92	65.99	64.62			64.43		64.30	65.03
Puits 8	61.29	59.27	58.17	58.15			57.93		58.05	57.79
Puits 3	59.63	59.23	57.77	58.76			58.78		58.81	58.73
Puits 15	51.32	51.50	51.13	52.22			51.92		51.97	51.75
RABATTEMENTS (m)										
Nom	28/06/2021	30/07/2021	01/09/2021	04/10/2021	22/10/2021	29/10/2021	03/11/2021	23/11/2021	06/12/2021	16/12/2021
SR1		14.90	17.14	18.49	19.35	7.00	18.70		19.99	6.25
PP1		9.75	12.11	13.75	14.49		13.77		15.24	6.64
PP2		6.31	8.48	9.52	10.77		10.14	11.29	11.70	7.48
PP3		6.54	8.33	9.47			9.45	10.23	10.65	5.86
PP4		9.44	11.76	15.16	13.74	7.16	13.13	13.29	14.43	6.28
PP5										
Pz1		2.46	4.12	4.41	5.46	5.42	4.83	6.28	5.88	4.02
Pz2		1.98	3.36	1.11	2.65	3.05	0.79		0.59	1.94
Pz3		4.07	6.63	8.45	9.07	7.80	8.75	9.66	10.08	6.51
Pz4		3.91	6.08	7.32			7.12	8.16	8.12	5.28
Fa2		1.07	4.46	4.38			5.25		5.52	3.38
Fa5		-0.06	1.91				0.77		1.29	0.38
Puits 1		1.09	2.02	3.39			3.58		3.71	2.98
Puits 8		2.02	3.12	3.14			3.36		3.24	3.50
Puits 3		0.40	1.86	0.87			0.85		0.82	0.90
Puits 15		-0.18	0.19	-0.90			-0.60		-0.65	-0.43
Remontée de la nappe / niveau de référence										

Rapport final

CARACTERISATION DE LA RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE SUR LE SITE DE LA MINE DE CLARAY A SION LES MINES

8.2.2. Evolution piézométrique de la nappe profonde des grès

Les chroniques piézométriques du forage SR1 et des 5 piézomètres profonds sont montrées sur la Figure 25 et les rabattements déduits sont présentés dans le Tableau 9.

La remontée piézométrique dans le forage SR1 a été complétée jusqu'au 10 janvier 2022 grâce à l'installation d'une sonde de niveau par Atlantic'Eau.

Les enregistrements piézométriques mettent en évidence :

- La baisse continue du niveau de nappe dans le forage SR1 pendant le pompage, avec un rabattement total de 20 m, et l'absence de stabilisation de la piézométrie ;
- L'évolution de la remontée dans le forage SR1 jusqu'au 10 janvier met en évidence un changement de pente après le 27 janvier qui peut être dû à la recharge pluviométrique après plusieurs jours de pluie.
- Le comportement homologue à celui du forage pour tous les piézomètres profonds, seules les amplitudes diffèrent :
 - Le rabattement important dans le piézomètre Pz1 (15.24 m) en raison de la proximité de l'entrée de la descenderie de l'ancienne mine à environ 10 m ;
 - Les rabattements supérieurs à 10 m dans les 2 piézomètres situés entre l'ancienne décharge et le forage (Pp2 et Pp4) ;
 - Le faible rabattement, de seulement 4 m, dans le piézomètre Pp5 (axe de faible réalimentation de l'aquifère) ;
- La remontée immédiate du niveau d'eau dans tous les ouvrages lors de l'arrêt du pompage (réaction par pression, signe d'un aquifère captif) ;
- Après 9 jours d'arrêt de pompage, les niveaux piézométriques sont remontés rapidement dans les piézomètres. Le rabattement résiduel est inférieur à 50% par rapport au niveau initial (synonyme d'une bonne réalimentation de l'aquifère), seul le piézomètre Pp5 réagit plus lentement.

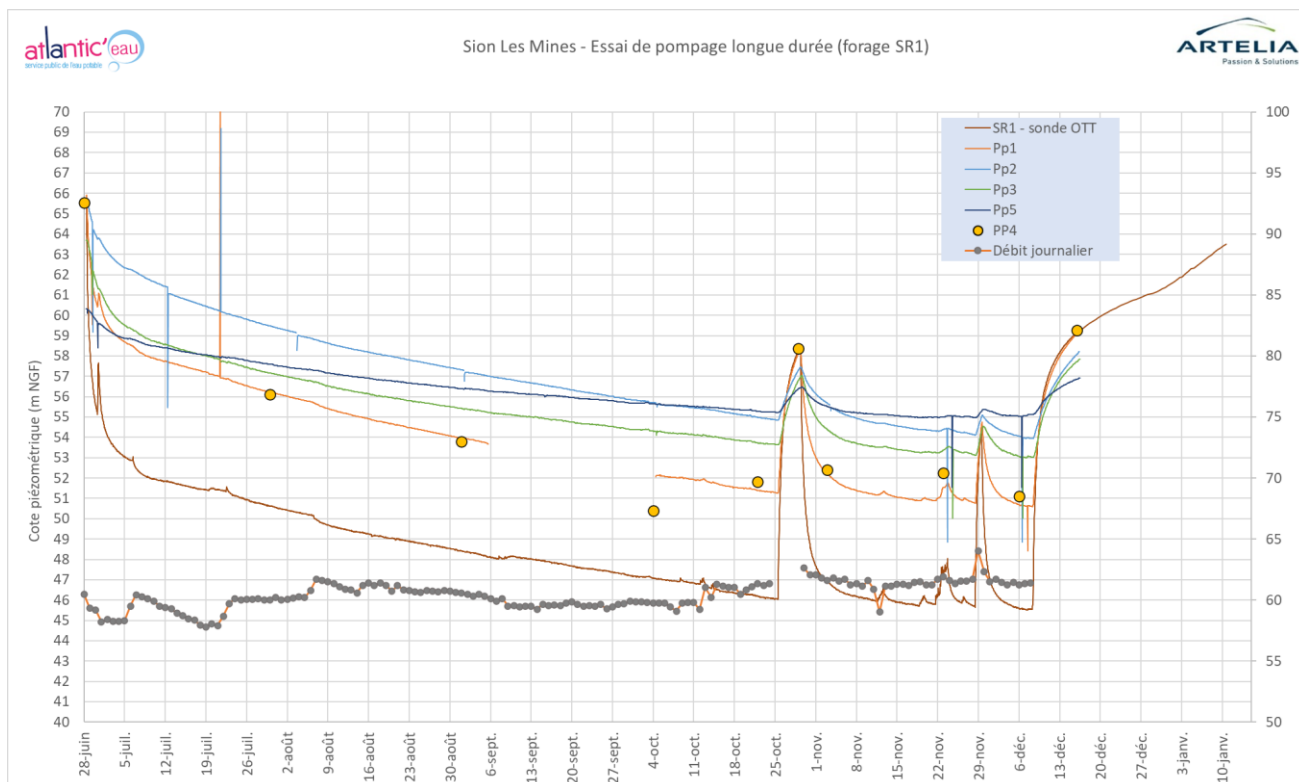


Figure 25 : Evolution des niveaux piézométriques enregistrés dans la nappe profonde

Tableau 9 : Profondeurs de la nappe et rabattements calculés pour les piézomètres profonds

Nom	Prof. nappe avant pompage 28/06/2021 (m / ht tube)	Prof. nappe avant arrêt pompage 06-07/12/2021 (m / ht tube)	Rab. avant arrêt du pompage (m)	Prof. nappe après 9 jours d'arrêt (m / ht tube)	
SR1	2.61	22.60	19.99	8.86	69%
PP1	7.58	22.82	15.24	14.22	56%
PP2	3.44	15.14	11.70	10.92	<36%
PP3	6.36	17.01	10.65	12.22	45%
PP4	1.64	16.04	14.40	7.92	56%
PP5	Artésien	4.04	> 4.04	2.55	37%

8.2.3. Evolution piézométrique de la nappe profonde au droit des forages agricoles

8.2.3.1. Forage agricole Fa2

Le forage agricole Fa2 (Mr Gautier) est situé à 550 m au Sud de l'entrée de l'ancienne mine. Sa profondeur est de 87 m et il est équipé d'une pompe installée à 67 m de profondeur.

La figure ci-dessous présente la chronique piézométrique enregistrée dans l'ouvrage. Les mesures manuelles dans le puits 1, situé entre le forage agricole et le forage SR1, sont aussi figurées.

La chronique du forage agricole montre clairement les marches / arrêts plusieurs fois par jours de la pompe d'exploitation pour les besoins en eau du site agricole (rabattements ponctuels de l'ordre de 2 à 5 m).

Une baisse piézométrique régulière de l'ordre de 7 m est observée sur la période de pompage pouvant s'expliquer en partie par la vidange naturelle de l'aquifère en période estivale.

Les cotes piézométriques dans le puits 1 (profondeur de 17 m) sont toujours plus élevées que celles du forage agricole. Le forage agricole n'est donc pas *a priori* au droit du cône de rabattement induit par le pompage de SR1.

Cependant, les enregistrements piézométriques au droit de Fa2 indiquent une petite remontée rapide du niveau d'eau (~1 mètre) juste après les arrêts du pompage de SR1 (octobre et décembre 2021) qui suggèrent alors une connexion hydraulique entre les 2 forages (un réseau de fractures profondes interconnectées).

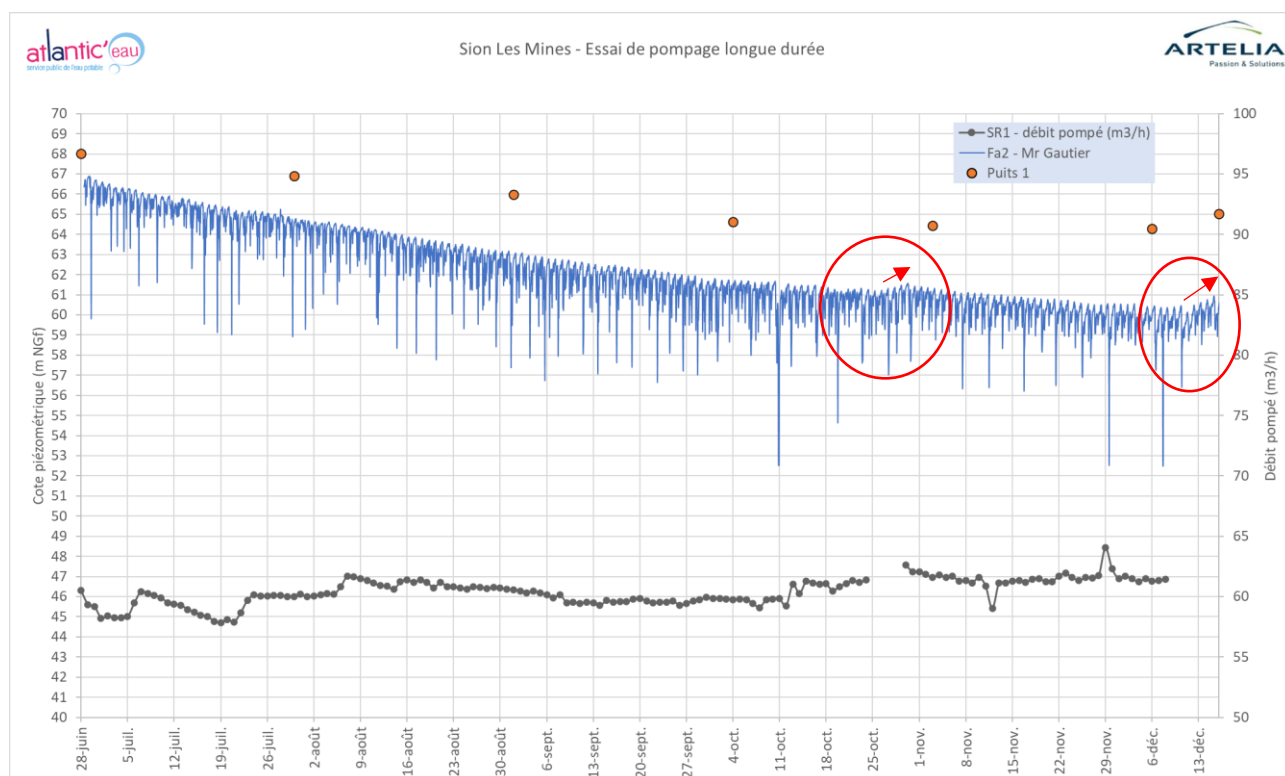


Figure 26 : Evolution de la piézométrie dans le forage Fa2 situé à 550 m des anciennes galeries minières

Une sonde de suivi automatique du niveau d'eau a été installée le 07 décembre 2021 par Atlantic'Eau dans le forage Fa1, appartenant à Mr Gautier et situé à proximité immédiate du forage Fa2 (Figure 27).

Après l'arrêt du pompage de SR1, les courbes de la remontée de la nappe au droit de SR1 et Fa2 sont similaires après le 27 décembre 2021 sous l'influence de la recharge pluviométrique.

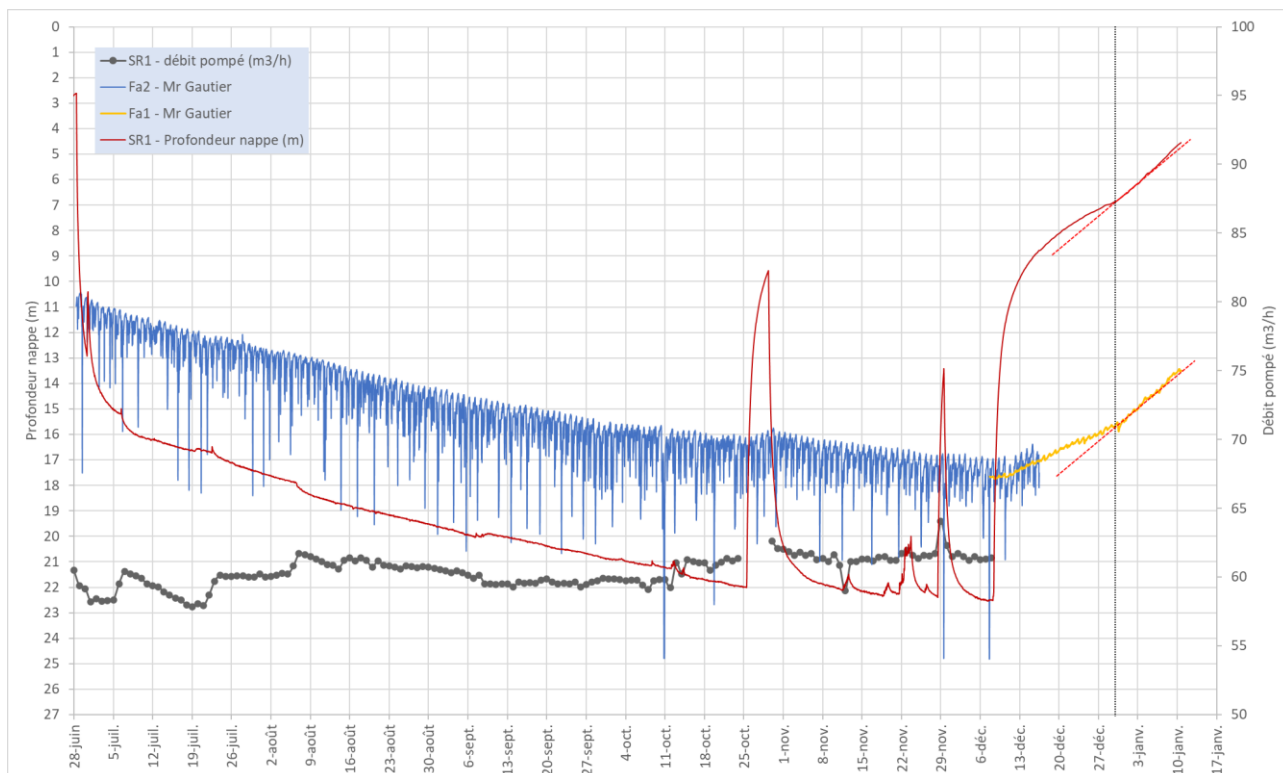


Figure 27 : Suivi de la profondeur de la nappe au droit des forges agricoles Fa1 et Fa2.

8.2.3.2. Forage agricole Fa5

Le forage agricole Fa5 (Mr Souty) est situé à 410 m au Nord des galeries de l'ancienne mine. La profondeur du forage est estimée d'après le propriétaire entre 60 et 70 m.

En raison d'un blocage de la sonde d'enregistrement installée dans le forage, l'évolution piézométrique dans cet ouvrage est à exploiter avec précaution. Les données acquises aux mois de septembre et d'octobre ne sont pas représentatives du comportement naturel de la nappe.

Il peut cependant être noté que lors de l'arrêt du pompage de SR1 au mois de décembre, il n'a pas été observé de remontée piézométrique dans le forage agricole. Cet ouvrage ne semble donc pas influencé par le pompage dans le forage SR1.

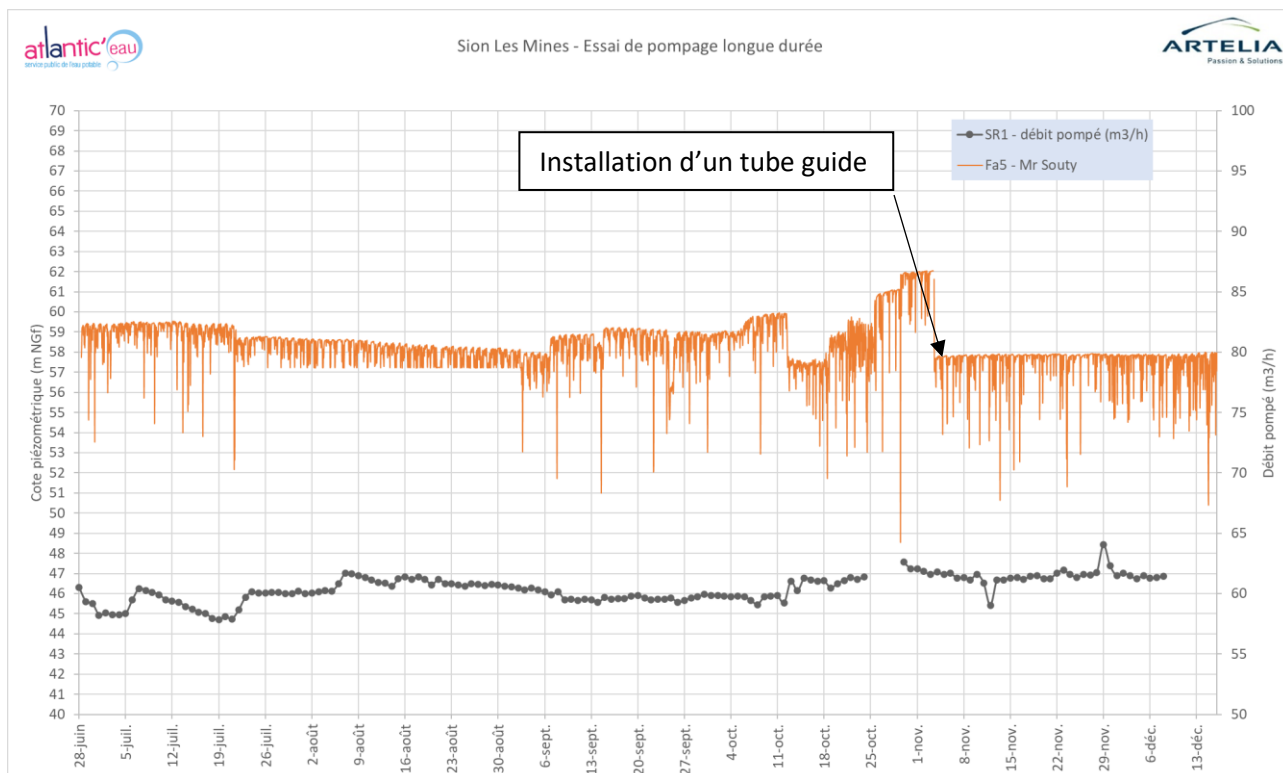


Figure 28 : Evolution de la piézométrie au droit du forage agricole Fa5

8.2.4. Evolution piézométrique de la nappe superficielle au droit de l'ancienne décharge

Les chroniques piézométriques dans les piézomètres superficiels au droit de l'ancienne décharge sont présentées sur la Figure 29 et les rabattements calculés dans le Tableau 10. L'évolution piézométrique dans ces piézomètres montre :

- Pour les piézomètres Pz1, Pz3 et Pz4 (profondeur 15 m) :
 - Une baisse piézométrique qui est continue jusqu'au mois de novembre suivie par une remontée plus marquée pour Pz4 et Pz3 après l'arrêt du pompage.
 - Pour le piézomètre Pz1, une remontée (<1m) a été observée au mois de novembre pendant le pompage. Cette remontée ponctuelle, observée aussi dans Pz2, peut s'expliquer par une recharge diffuse après 4 jours de pluies consécutives, totalisant 25.7 mm, juste avant la mesure de niveau.
 - Pendant l'arrêt temporaire du pompage du 22 au 29 octobre, on observe une remontée piézométrique de l'ordre du mètre pour Pz4 et Pz3 tandis que le niveau d'eau dans Pz1 est stabilisé.

Ces mesures montrent donc que les deux piézomètres les plus proches du pompage, Pz4 et Pz3, sont donc influencés par le pompage dans les anciennes galeries tandis que son incidence est moins marquée au droit de Pz1.

- Pour le piézomètre superficiel Pz2 (profondeur 5 m) :
 - Une remontée piézométrique le 04/10 qui peut être provoquée par les fortes précipitations du 02/10 (97 mm) ;
 - Une remontée piézométrique après plusieurs jours de pluies au début du mois de novembre ;
 - L'absence de réaction piézométrique lors de l'arrêt temporaire et de l'arrêt définitif du pompage.

Il semble donc que ce piézomètre de faible profondeur ne soit pas influencé par le pompage au droit des galeries profondes.

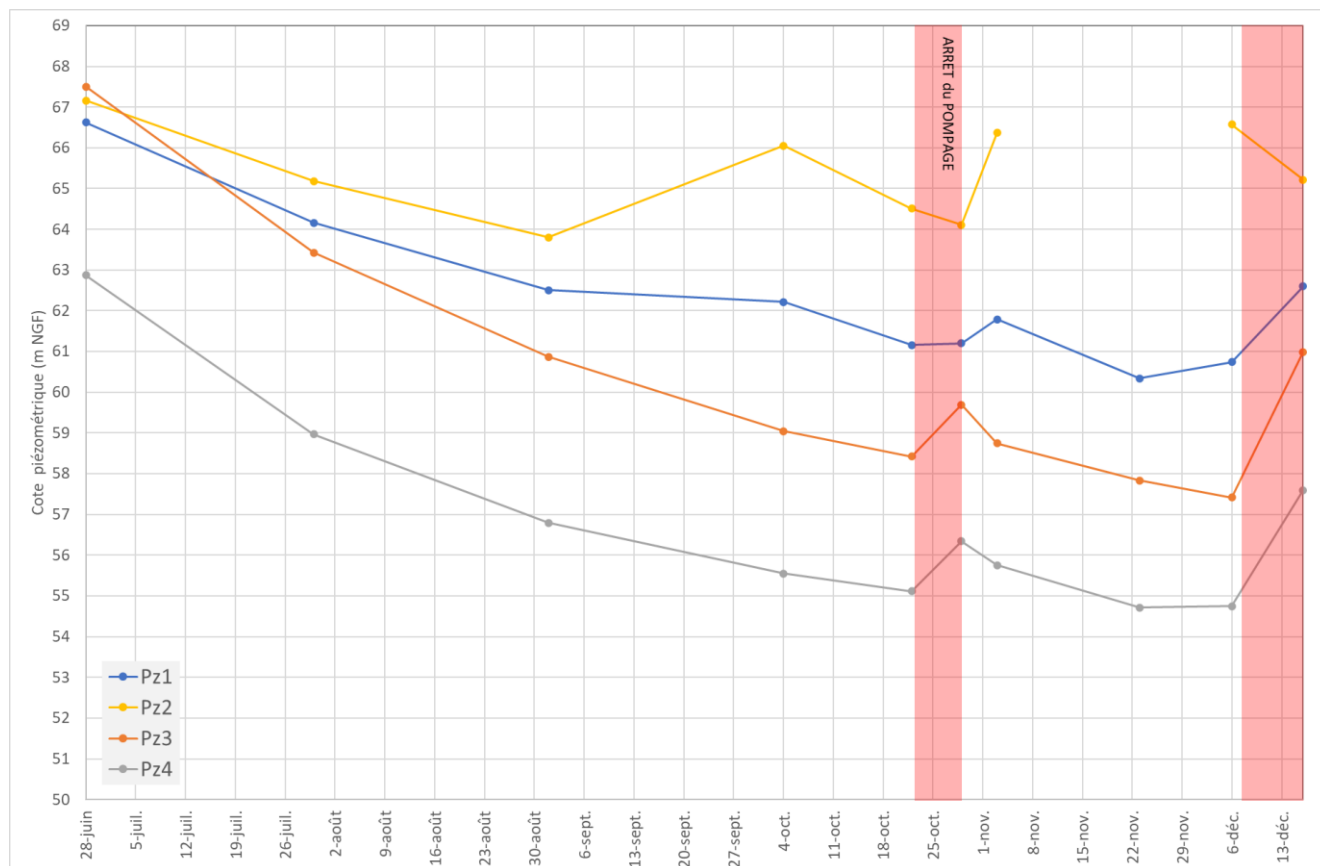


Figure 29 : Evolution de la piézométrie dans les piézomètres superficiels à proximité de l'ancienne décharge

Tableau 10 : Profondeurs de la nappe superficielle et rabattements calculés

Nom	Prof. nappe avant pompage 28/06/2021 (m / ht tube)	Prof. nappe avant arrêt pompage 06-07/12/2021 (m / ht tube)	Rab. avant arrêt du pompage (m)	Prof. nappe après 9 jours d'arrêt (m / ht tube)	
Pz1	1.89	1.77	5.88	5.91	31.6%
Pz2	1.99	2.58	0.59	3.93	-
Pz3	4.00	14.08	10.08	10.51	35.4%
Pz4	1.78	9.90	8.12	7.06	35%

Une sonde automatique du niveau d'eau a été installée le 07 décembre dans le piézomètre Pz1. A la date du 10 janvier 2022, le niveau de la nappe est remonté de plus de 5 mètres en 1 mois (Figure 30). La chronique met aussi en évidence une nette corrélation entre les phases de remontées piézométriques avec les précipitations enregistrées sur cette période.

En raison des pluies observées entre le 07 et 09 décembre (~20 mm), il est difficile d'apprécier quelle est l'incidence sur ce piézomètre de l'arrêt du pompage le 08 décembre.

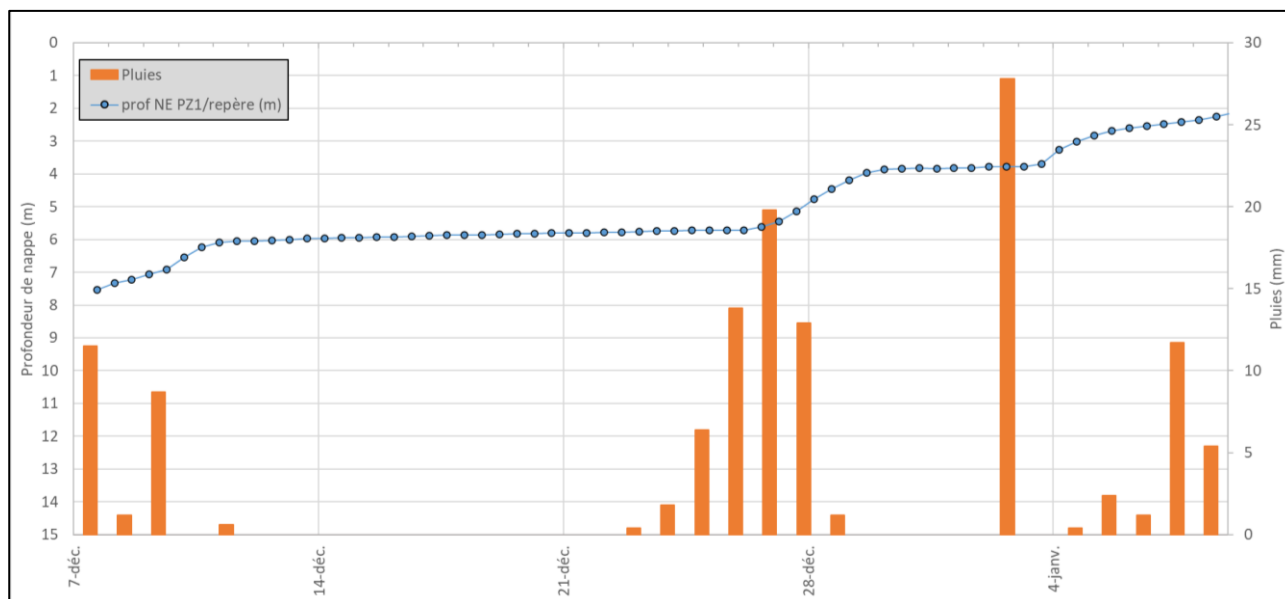


Figure 30 : Suivi automatique du niveau d'eau dans Pz1 à partir du 07 décembre 2021

8.3. EVOLUTION DU NIVEAU D'EAU DANS L'ÉTANG DE LIMELE

La chronique du niveau d'eau dans l'étang est présentée sur la Figure 31.

Le niveau de l'étang reste stable pendant toute la durée du pompage avec une cote altimétrique proche de 54 m NGF. Cette stabilité est imposée par le déversoir situé en aval de l'étang. Il n'est pas mis en évidence une incidence du pompage sur l'étang (baisse d'alimentation ou phénomène de drainance au droit de l'étang).

D'autre part, la comparaison des cotes de l'étang avec celles du piézomètre profond Pp5, le plus proche, indique que le niveau de la nappe est toujours situé au-dessus de la cote de l'étang. Le cône d'alimentation du forage SR1 n'intercepte pas le plan d'eau.



Figure 31 : comparaison de l'évolution de la cote de l'étang de Limèle, du forage SR1 et du piézomètre Pp5

8.4. CARTES PIEZOMETRIQUES ET CARTE DE RABATTEMENT

8.4.1. Avant le démarrage du pompage

La carte piézométrique a été établie à partir des mesures de niveau d'eau effectuées le 28 juin 2021 avant le début du pompage.

Les cotes piézométriques sont comprises entre 59 et 68 m NGF.

Au droit des galeries, l'écoulement naturel de la nappe est orienté du Sud vers le Nord en corrélation avec le bassin versant topographique de la rivière Aron.

Une crête piézométrique à 68 m NGF est observée entre le forage SR1 et le forage agricole Fa2 situé plus au Sud.

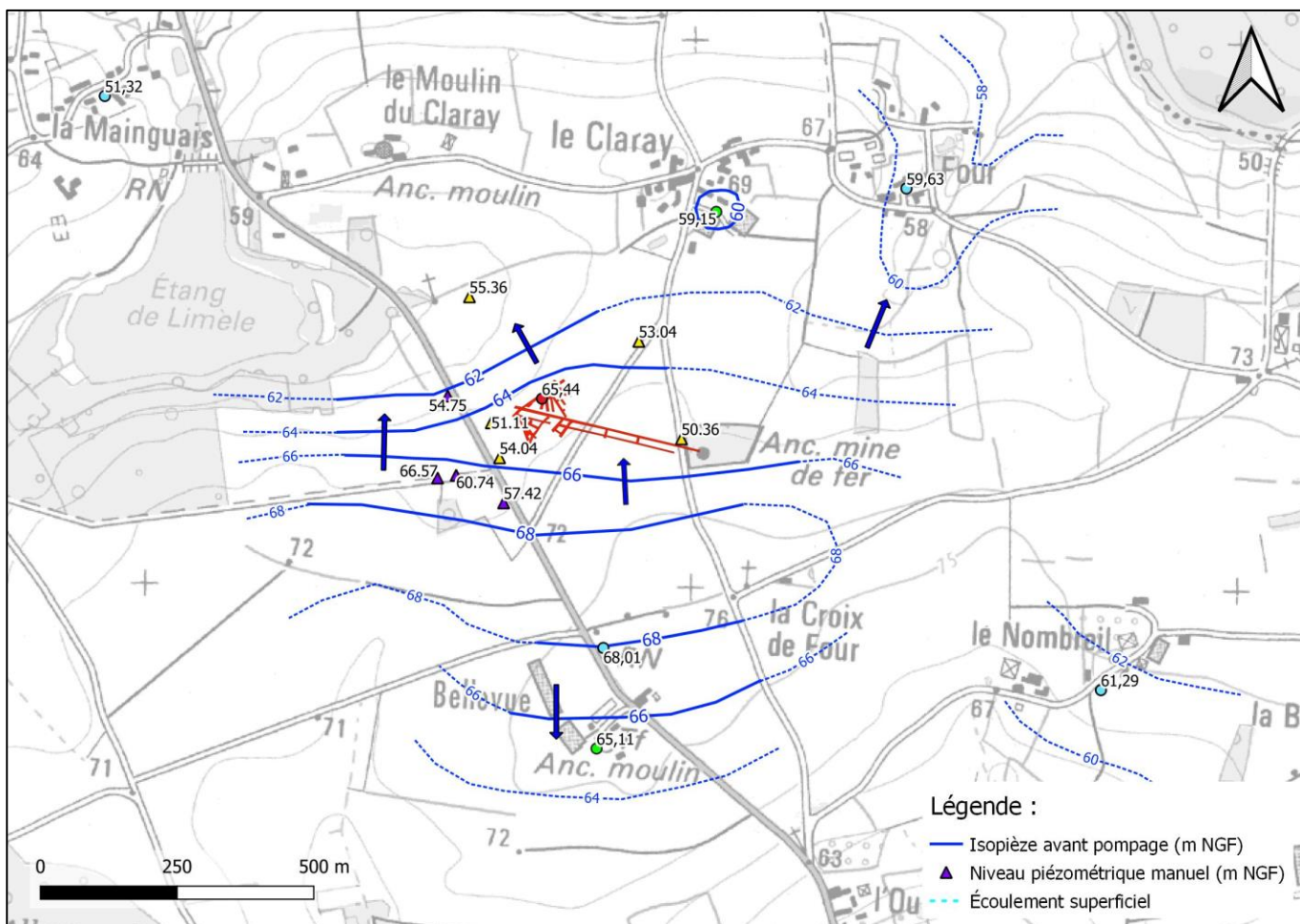


Figure 32 : Carte piézométrique du 28 juin 2021 en régime statique avant le démarrage du pompage

8.4.2. Avant l'arrêt temporaire du pompage

Une carte piézométrique a été réalisée avant l'arrêt temporaire du pompage le 22 octobre 2021.

Les niveaux piézométriques sont compris entre 46,9 (SR1) et 66,0 m NGF (Pz2).

Le cône de rabattement induit par le pompage SR1 est étiré selon l'axe d'aménagement de la descenderie de l'ancienne mine avec une cote piézométrique de 50 m NGF.

Une crête piézométrique de 64 m NGF est toujours figurée entre les anciennes galeries et le forage agricole Fa2 situé au Sud.

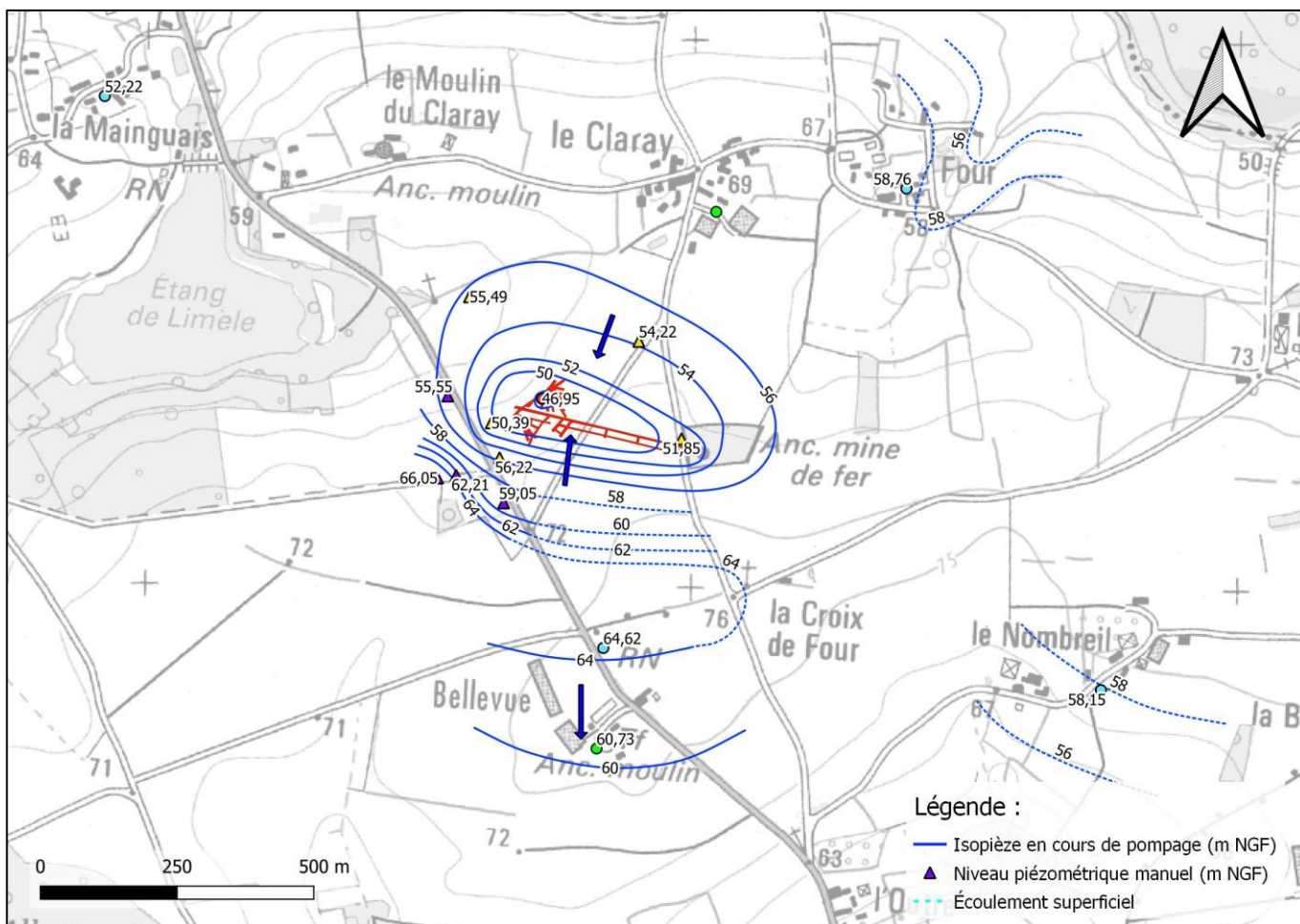


Figure 33 : Carte piézométrique du 04 octobre 2021 avant l'arrêt temporaire de pompage

8.4.3. Avant l'arrêt définitif du pompage

La carte piézométrique a été réalisée pour la date du 06 décembre, date à laquelle une mesure manuelle de niveau a été réalisée dans tous les ouvrages de surveillance avant l'arrêt définitif du pompage le 08 décembre 2021.

La cote piézométrique au droit du pompage est alors de 45.45 m NGF et l'axe d'écoulement privilégié est toujours observé selon une direction NO-SE, parallèle à l'axe de la descenderie des anciennes galeries minières.

Un fort gradient est marqué entre les galeries et l'ancienne décharge qui peut correspondre à une limite étanche ou une zone de perméabilité plus faible.

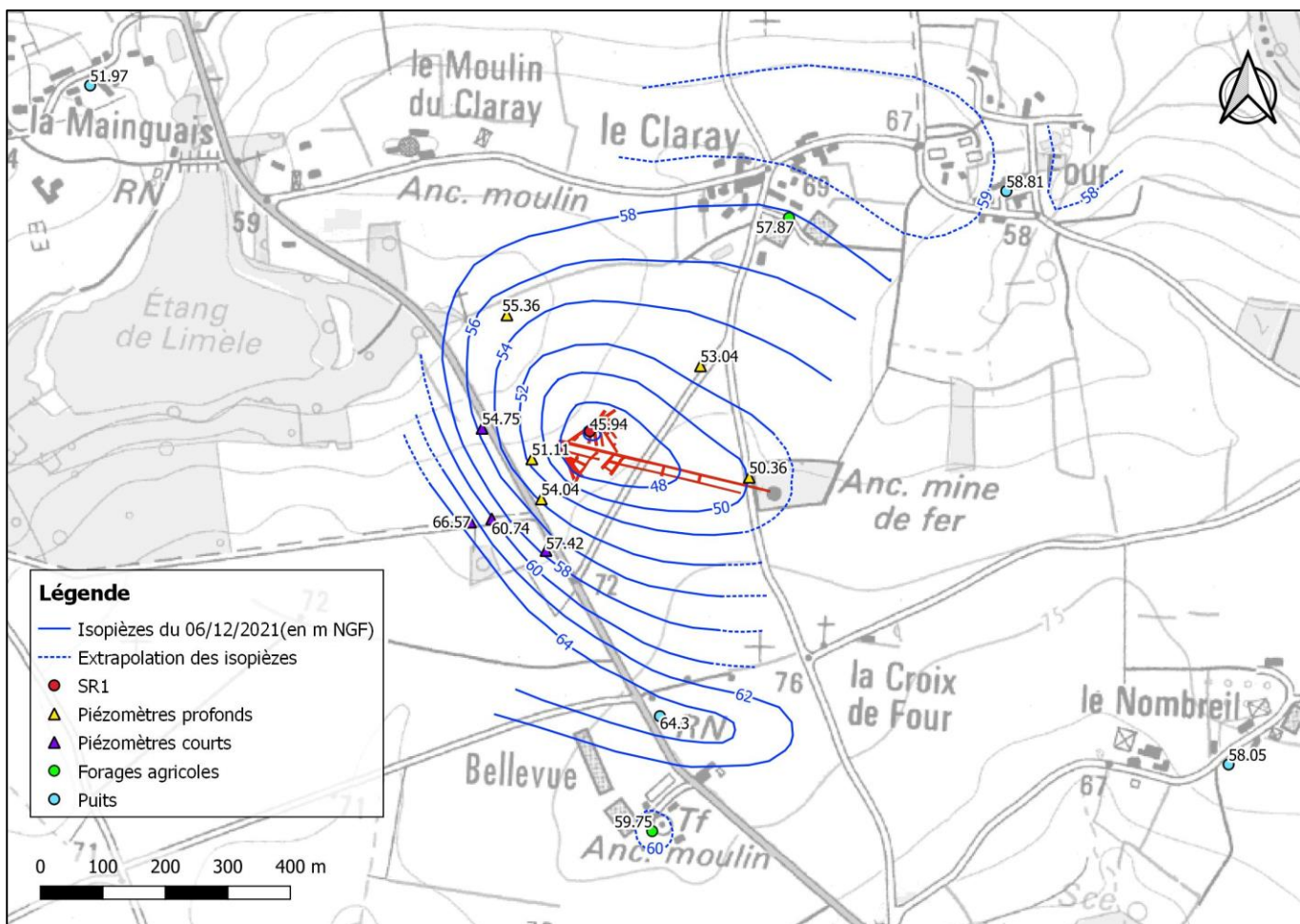


Figure 34 : Carte piézométrique du 06 décembre 2021 avant l'arrêt définitif du pompage

8.4.4. Carte de rabattement avant l'arrêt définitif du pompage

Une carte de rabattement a été dessinée entre la piézométrie initiale et la piézométrie avant l'arrêt définitif du pompage.

Le rabattement maximum est alors de 20 mètres au droit des galeries.

Au droit de l'ancienne décharge, le rabattement est compris entre 10.08 m, pour le piézomètre Pz3 le plus proche du pompage et 0.6 m pour le piézomètre court Pz2 qui n'est a priori pas influencé par le pompage.

Le rabattement mesuré est l'effet combiné du pompage au droit de SR1 ainsi que la vidange naturelle de la nappe à cette période de l'année. En effet, un suivi de la profondeur de la nappe, effectuée par Atlantic'eau, dans un puits de Bellevue sur la période de janvier 2020 à juillet 2020 a montré que la vidange naturelle de la nappe est de l'ordre de 7 m en tête de bassin versant.

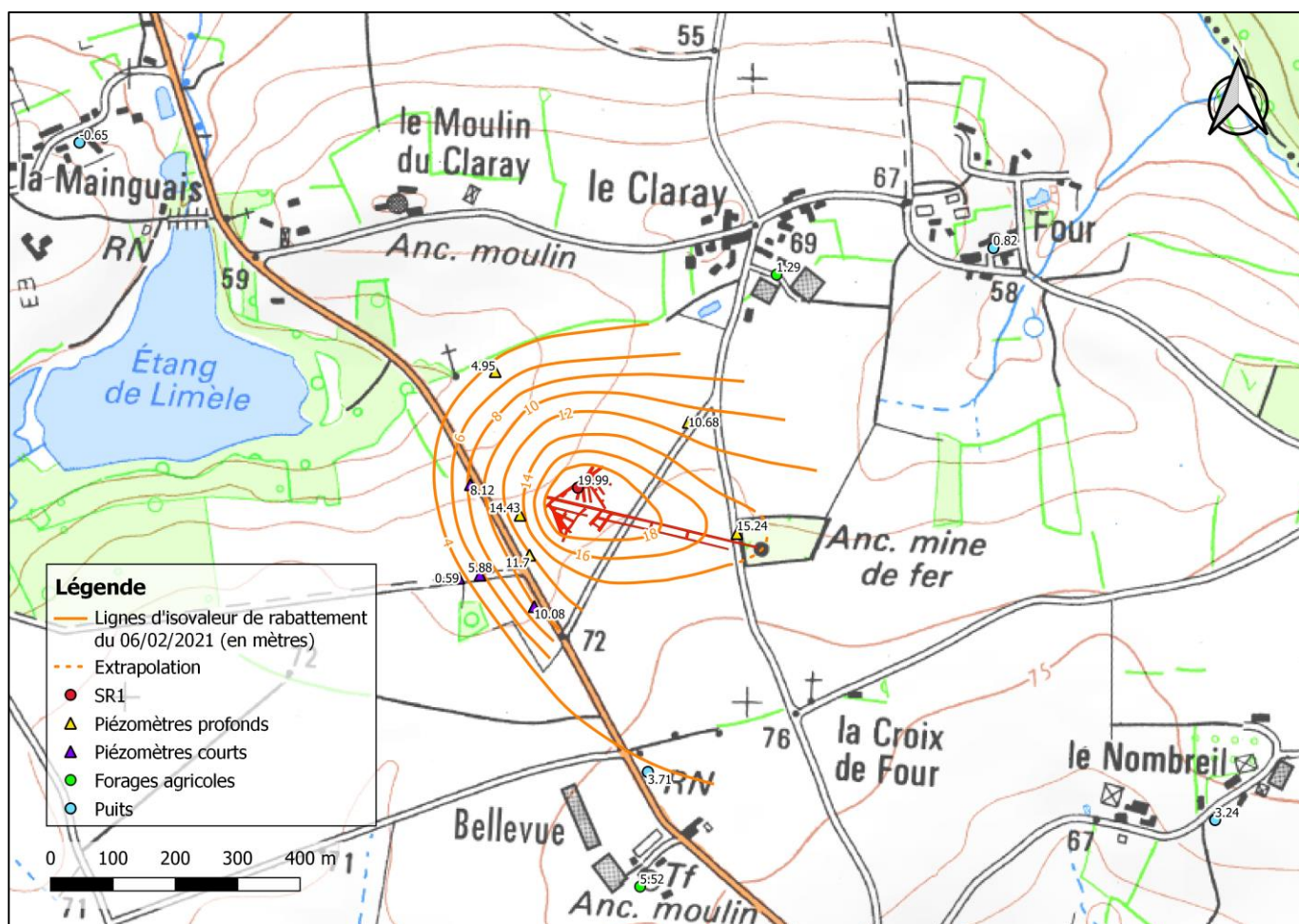


Figure 35 : Carte de rabattement à la fin du pompage de longue durée

8.5. INTERPRETATION DES CARACTERISTIQUES DE L'AQUIFERE DES GRES

8.5.1. Exploitation des données à l'aide du logiciel OUAIP

Les données piézométriques ont été exploitées à l'aide du logiciel OUAIP, développé par le BRGM, pour déterminer les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère de grès.

Les courbes d'interprétation en semi-log sont présentées pour SR1 / Pp1 / Pp2 / Pp3 / Pp5 (Figure 36 à Figure 40).

Le meilleur ajustement des courbes pour tous les piézomètres est obtenu avec la solution de Theis qui simule une nappe captive en milieu homogène de dimension infinie et d'épaisseur constante. Les autres solutions testées (Gringarten-Witherpsoon / nappe avec fracture verticale et Hantush / nappe semi-captive), bien que plus proches des conditions réelles d'écoulement au sein de cet aquifère discontinu, n'ont pas permis un aussi bon calage des courbes.

La remontée piézométrique est sous-estimée pour l'ensemble des points. Ce décalage peut s'expliquer par la recharge pluviométrique de la nappe des grès qui n'est pas prise en considération lors de ces calculs analytiques.

Pour reproduire les changements de pente mises en évidence pour l'ensemble des chroniques, il a été nécessaire d'appliquer deux limites étanches. Il s'agit donc d'un aquifère compartimenté et limité spatialement.

Un effet de capacité a aussi été appliqué sur la courbe de SR1 pour améliorer le calage au début du pompage. Cela doit correspondre au volume dénoyé pendant le pompage de la descenderie et de la galerie d'entrée.

Les paramètres hydrodynamiques déduits (transmissivité et coefficient d'emménagement) sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

- Les valeurs de transmissivité sont comprises entre $7.5 \cdot 10^{-4}$ et $4 \cdot 10^{-3}$ m²/s
- Les valeurs de coefficient d'emménagement sont comprises entre $1.6 \cdot 10^{-3}$ et $1 \cdot 10^{-2}$

Ces valeurs sont cohérentes avec celles déduites lors de l'essai de pompage effectué en décembre 2020 :

- Transmissivité comprise entre 2.1 et $2.7 \cdot 10^{-3}$ m²/s
- Coefficient d'emménagement compris entre $3.5 \cdot 10^{-4}$ et $1 \cdot 10^{-2}$

La 1^{ère} limite étanche pourrait être positionnée au Nord du pompage SR1 en bordure de l'anticlinal. En effet, le forage agricole de Mr Souty situé dans ce secteur à plus 450 m du pompage n'a pas réagi lors du pompage.

La 2^{ème} limite étanche pourrait correspondre à la bordure Nord-Ouest de l'Anticlinal au-delà du piézomètre profond Pp5 et vers l'étang de Limèle³.

Tableau 11 : Détermination des paramètres hydrodynamiques à partir des mesures piézométriques

Ouvrage	Solution analytique	Rayon Effet de capacité (m)	Distance Limite étanche 1 (m)	Distance Limite étanche 2 (m)	Transmissivité (m ² /s)	Coefficient d'emménagement
SR1	Theis	6	470	720	0.0017	0.0055
PP1	Theis		470	720	0.0015	0.0049
PP2	Theis		470	720	0.0038	0.0016
PP3	Theis		470	720	0.00075	0.014
PP5	Theis		470	720	0.004	0.007

³ Le logiciel OUAIP n'intègre pas la position relative de l'ensemble des piézomètres par rapport au pompage. Cette limite technique ne permet donc pas de déterminer la position précise des limites étanches nécessaires au calage des courbes simulées. Cette précision pourrait être traitée lors d'un traitement des données avec d'autres logiciels d'interprétation des essais de pompage (ex. Aqtesolv).

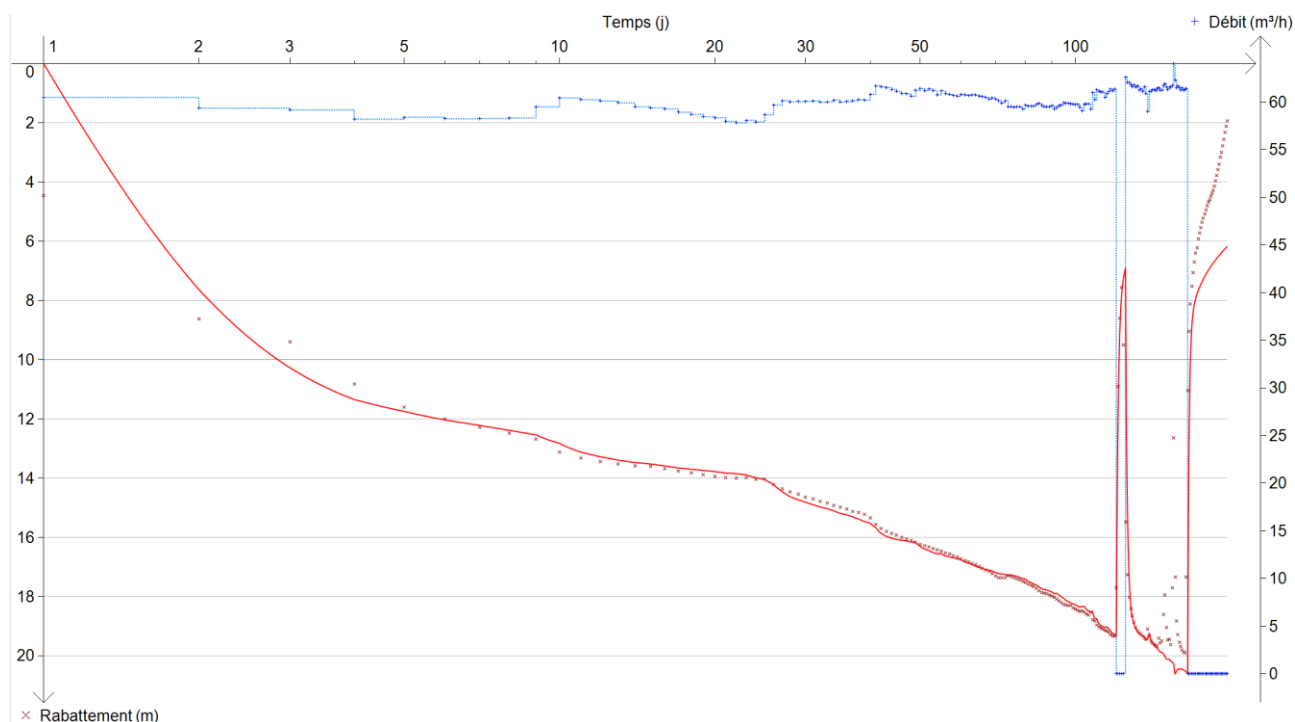


Figure 36 : Ajustement de la solution de Theis en semi-log dans le forage SR1

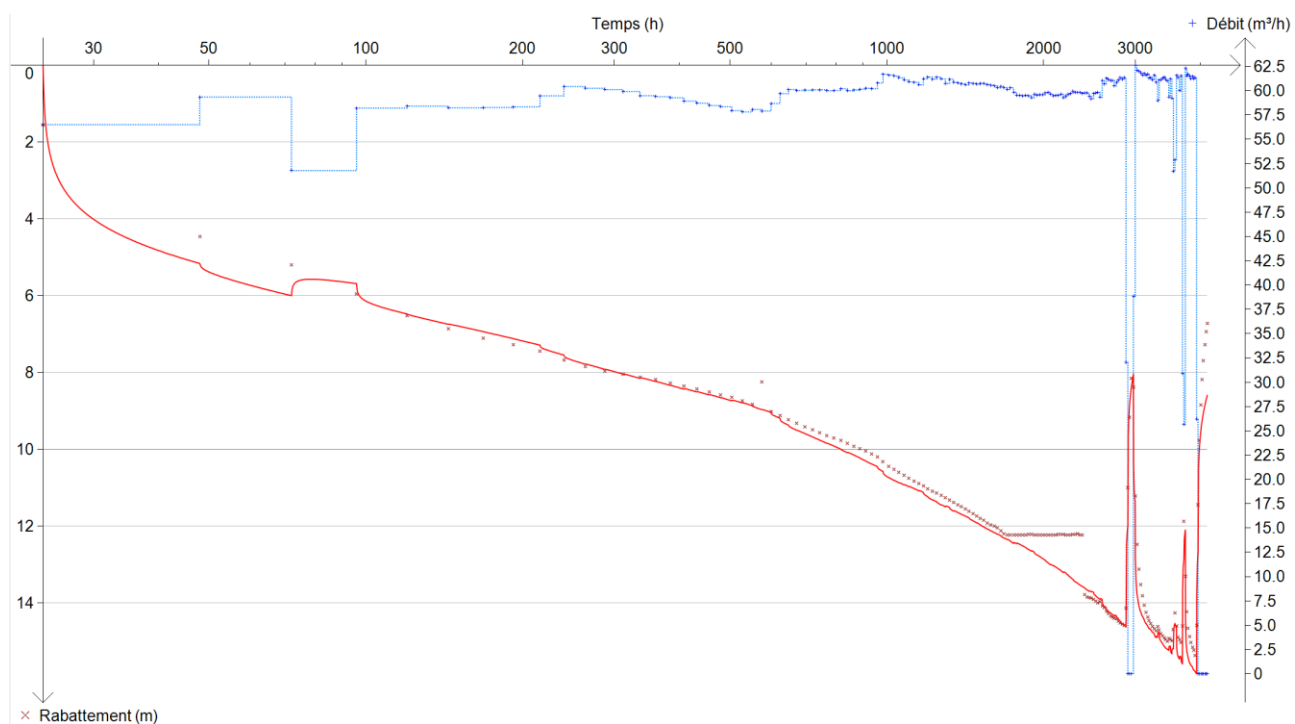


Figure 37 : Ajustement de la solution de Theis en semi-log dans le piézomètre Pp1

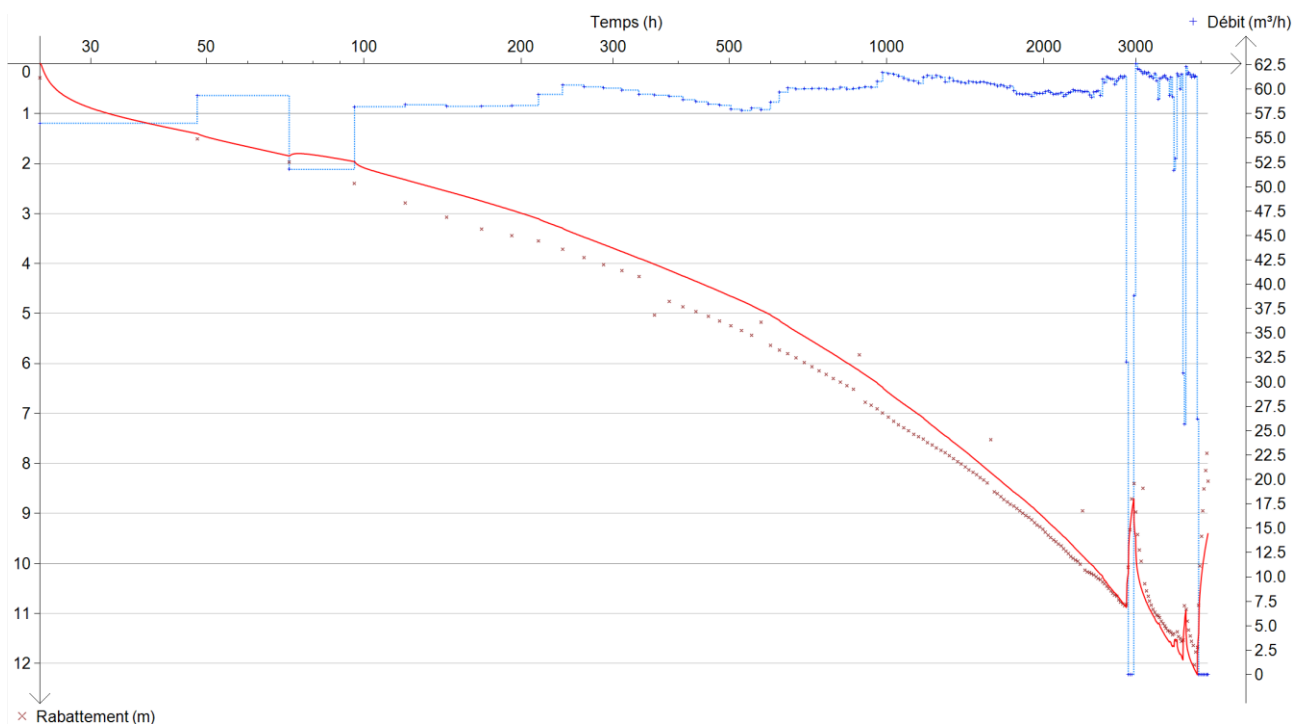


Figure 38 : Ajustement de la solution de Theis en semi-log dans le piézomètre Pp2



Figure 39 : Ajustement de la solution de Theis en semi-log dans le piézomètre Pp3

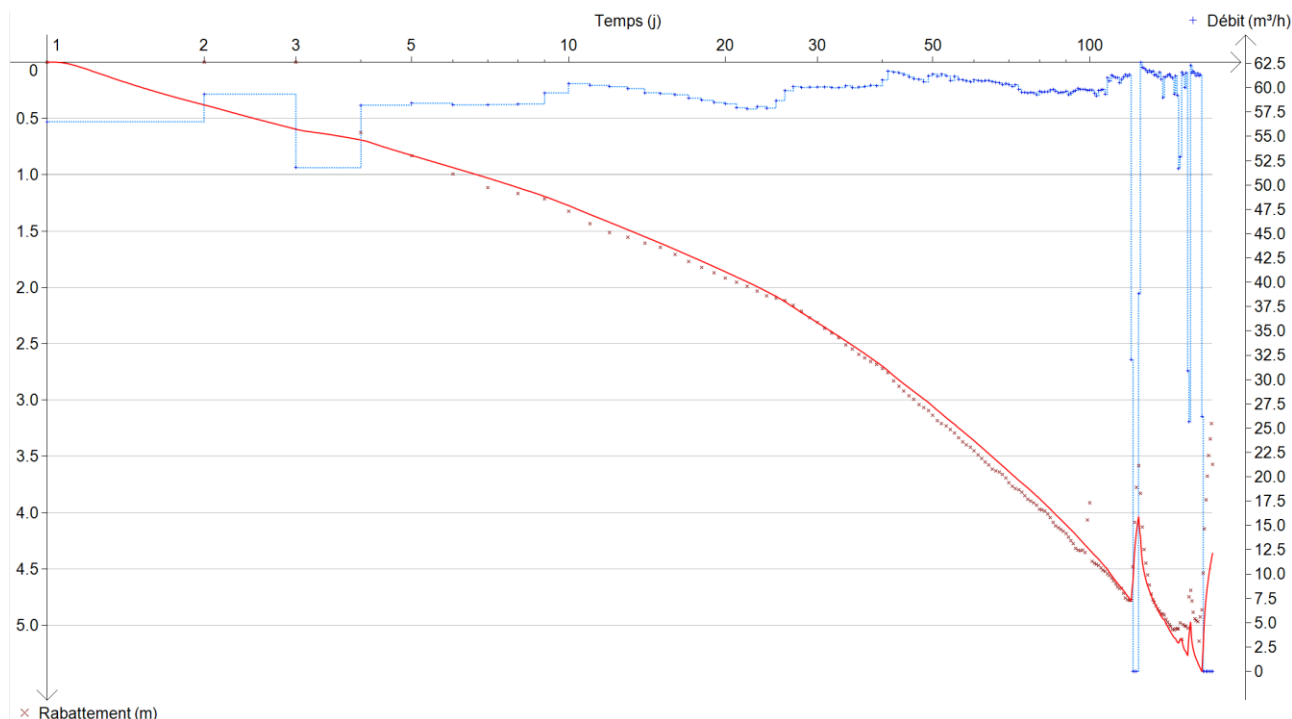


Figure 40 : Ajustement de la solution de Theis en semi-log dans le piézomètre Pp5

8.6. DEFINITION DE LA ZONE D'ALIMENTATION DU FORAGE SR1

La zone d'appel d'un forage est définie comme la surface de la nappe qui correspond aux écoulements d'eau souterraine qui aboutiront au forage.

En milieu fracturé, cette détermination est plus difficile à déterminer en raison du caractère discontinu du réservoir aquifère (réseaux de fractures).

La zone d'alimentation de SR1 après 12 mois de pompage à 60 m³/h englobe alors le couloir privilégié de circulation de l'eau au droit des anciennes galeries et s'étend sur une distance de plus de 2 km en amont du forage (Figure 41 et Figure 42). Cette aire d'alimentation atteint une surface de plus de 5 km² et dépasse largement les limites du bassin versant topographique. Pour le débit recherché, cette superficie est aussi déduite si on considère que 70% des pluies efficaces, estimées à 150 mm/an sur la région, s'infiltrent vers la nappe.

L'aire d'alimentation du forage englobe alors principalement le cœur de la structure anticlinale où affleurent les grès ordoviciens. Cet axe de déformation de la formation ordovicienne doit *a priori* être marqué par des failles en ouverture, facilitant alors l'écoulement des eaux souterraines.

Plusieurs sources alimentant le ruisseau de Vallière, s'écoulant au Sud de la zone d'étude, sont alors intégrées à l'aire d'alimentation et pourraient donc être impactées sur le long terme par le pompage au sein de la nappe.

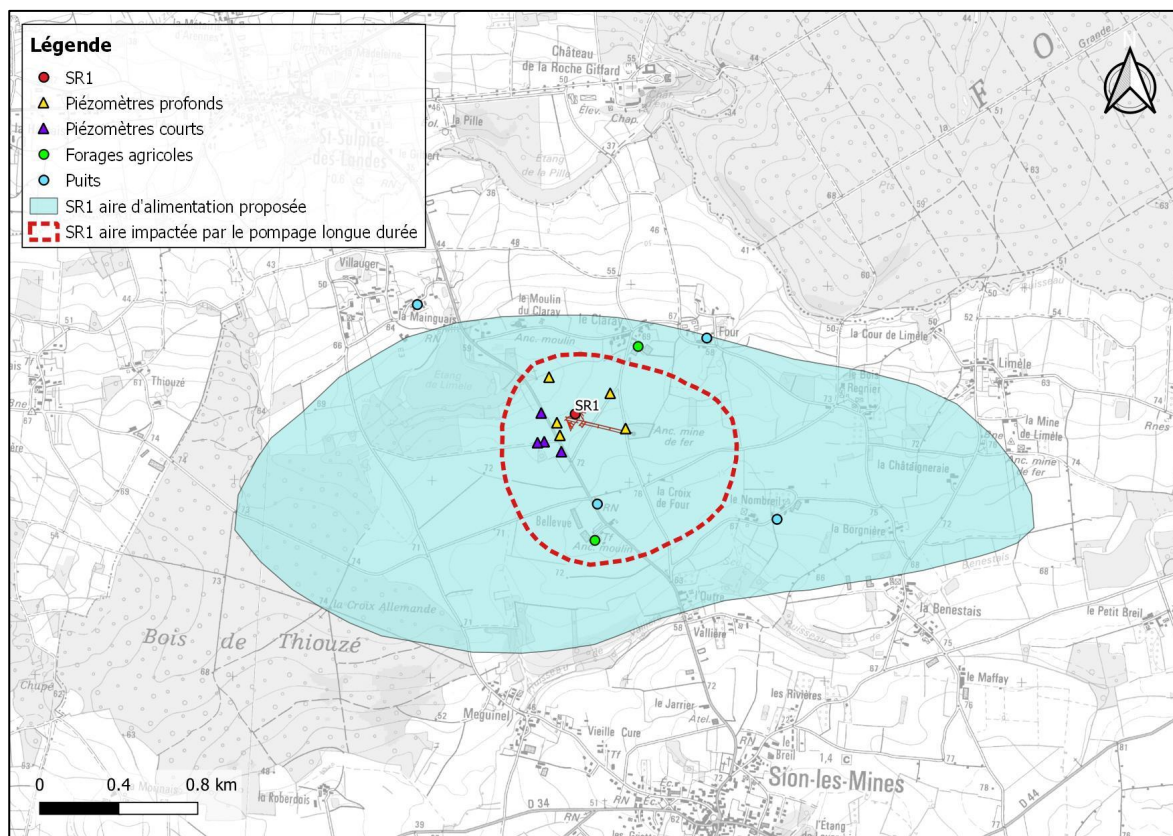


Figure 41 : Aire d'alimentation du captage SR1 sur fond IGN

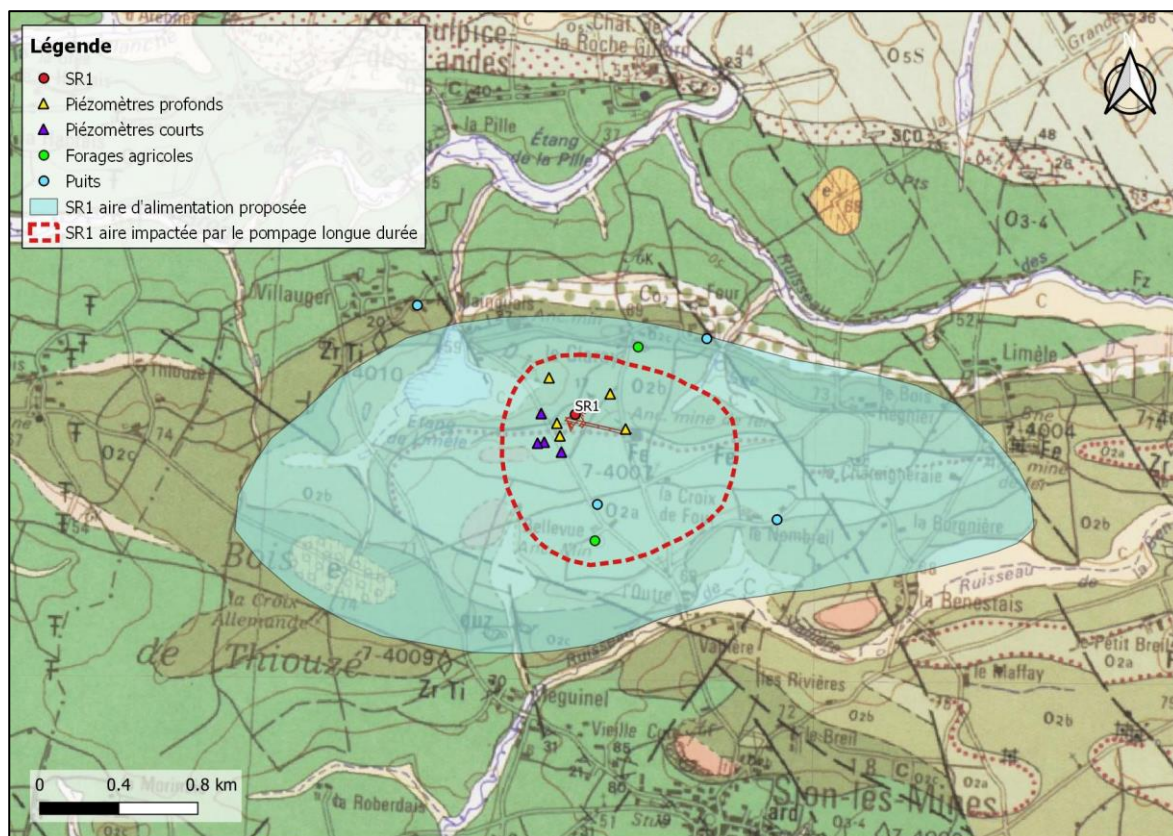


Figure 42 : Aire d'alimentation du forage SR1 sur fond géologique

8.7. EVOLUTION DE LA QUALITE DES EAUX POMPEES

8.7.1. Paramètres in-situ

L'évolution des paramètres in-situ (conductivité, pH et température) pour les piézomètres superficiels et profonds sont présentées sur la Figure 44.

L'évolution des paramètres in-situ met en évidence :

- Dans le forage SR1, une stabilité de la conductivité qui a varié entre 145 et 191 $\mu\text{s.cm}^{-1}$;
- Dans les piézomètres profonds, les conductivités sont comprises entre 129 et 210 $\mu\text{s.cm}^{-1}$. Une valeur plus élevée a été mesurée ponctuellement dans le piézomètre Pp4 à 342 $\mu\text{s.cm}^{-1}$.
- Dans les piézomètres superficiels, les valeurs sont comprises entre 122 et 319 $\mu\text{s.cm}^{-1}$ et légèrement plus élevées dans les piézomètres superficiels Pz1 et Pz4 ;
- Une homogénéité de la température de l'eau entre 12 et 15°C ;
- Des valeurs de pH homogènes et plutôt acides comprises entre 5 et 7.1, typiques des aquifères de socle ;
- Des teneurs en oxygènes dissous des eaux souterraines comprises entre 1.07 et 3.37 mg/l, soit un milieu faiblement oxygéné. Aucune distinction n'est mise en évidence entre les piézomètres courts et profonds.

Concernant le piézomètre profond Pp2 situé entre l'ancienne décharge et le pompage, le suivi en continu de la conductivité ne met pas en évidence une augmentation de la conductivité au cours du pompage. L'écoulement des eaux de subsurfaces plus minéralisées au droit de l'ancienne décharge n'est donc pas constaté (Figure 43).

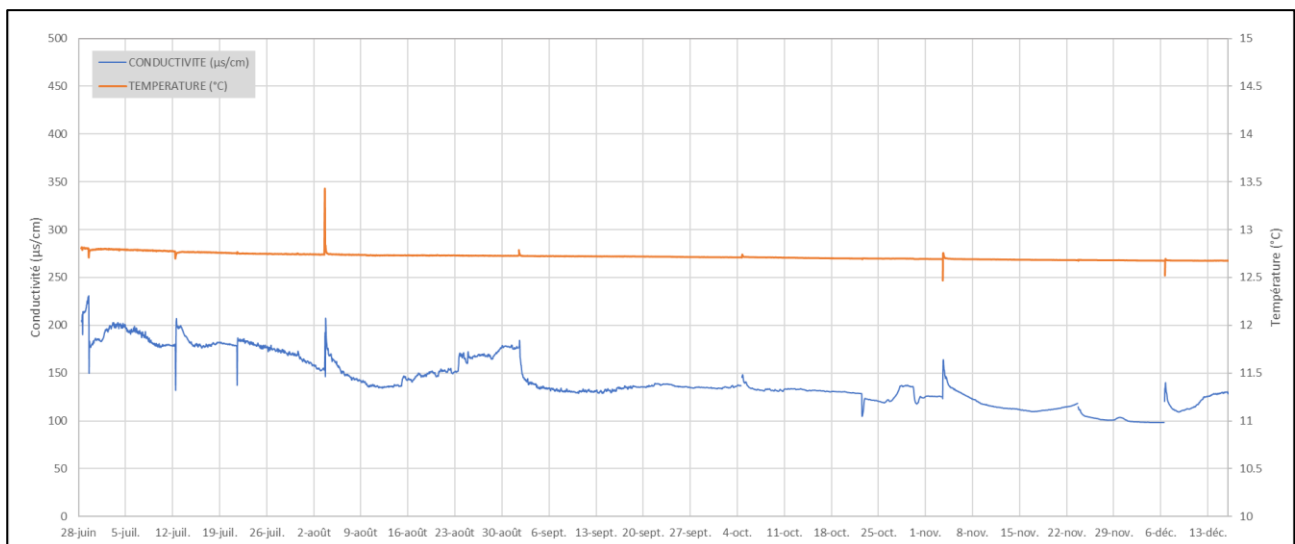


Figure 43 : Suivi en continu de la conductivité et de la température dans le piézomètre profond Pp2

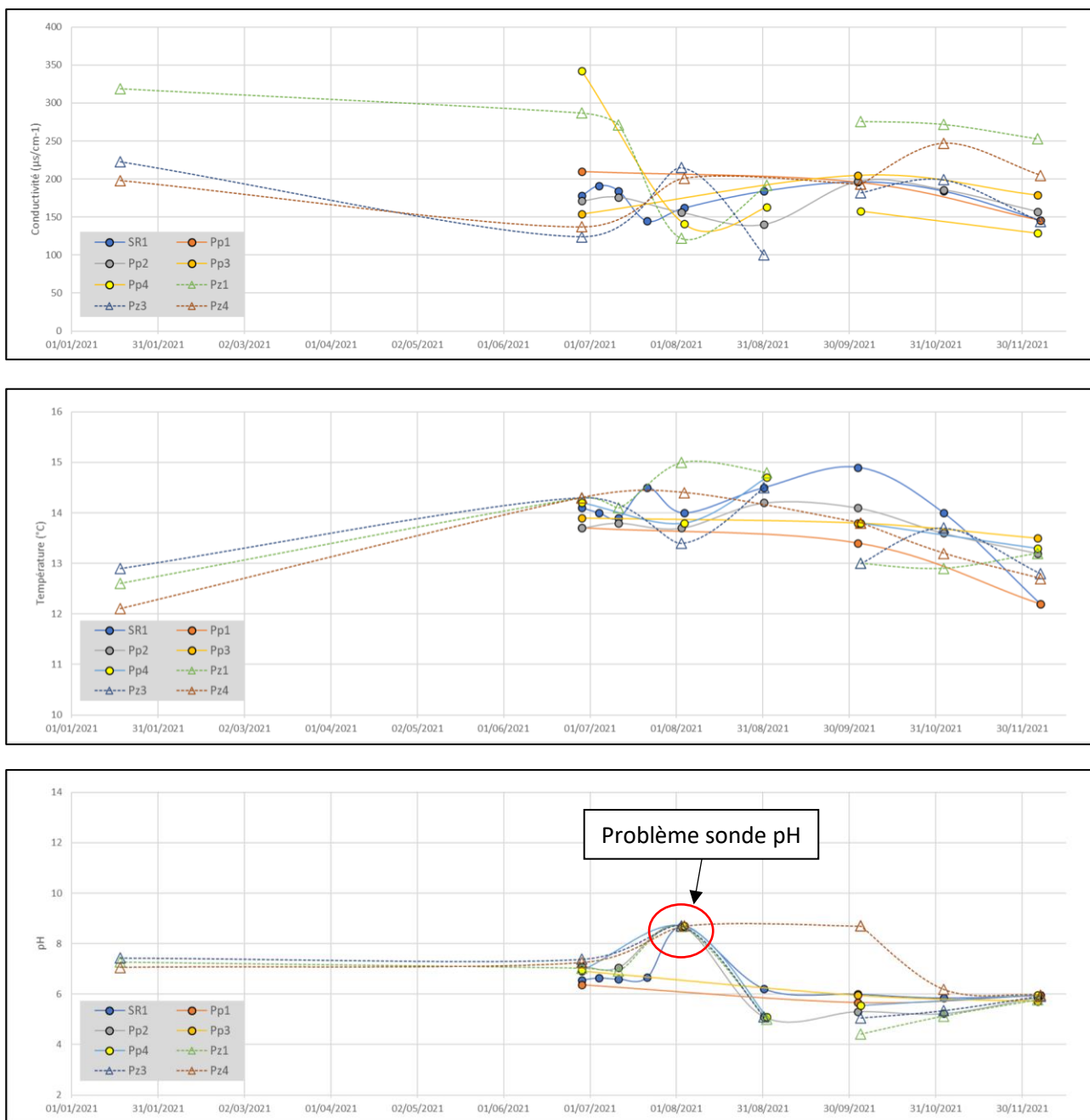


Figure 44 : Evolution des paramètres in-situ dans les piézomètres profonds et superficiels

8.7.2. Teneurs en fer et en manganèse

En raison du contexte géologique, les concentrations en fer et en manganèse ont été surveillées plus étroitement.

Au droit du forage SR1, les teneurs en fer total ont varié entre 500 et 3300 µg/l avec une augmentation progressive pendant les 2 premiers mois du pompage pour atteindre ensuite une stabilisation autour de 3000 – 3500 µg/l jusqu'à la fin du pompage.

Dans les piézomètres profonds, les valeurs sont hétérogènes avec des concentrations très importantes dans Pp3 (>10 000 µg/l) et en revanche faibles dans Pp2 (< 100 µg/l en fin de pompage).

Dans les piézomètres superficiels, les valeurs sont restées relativement faibles pendant toute la durée de l'essai.

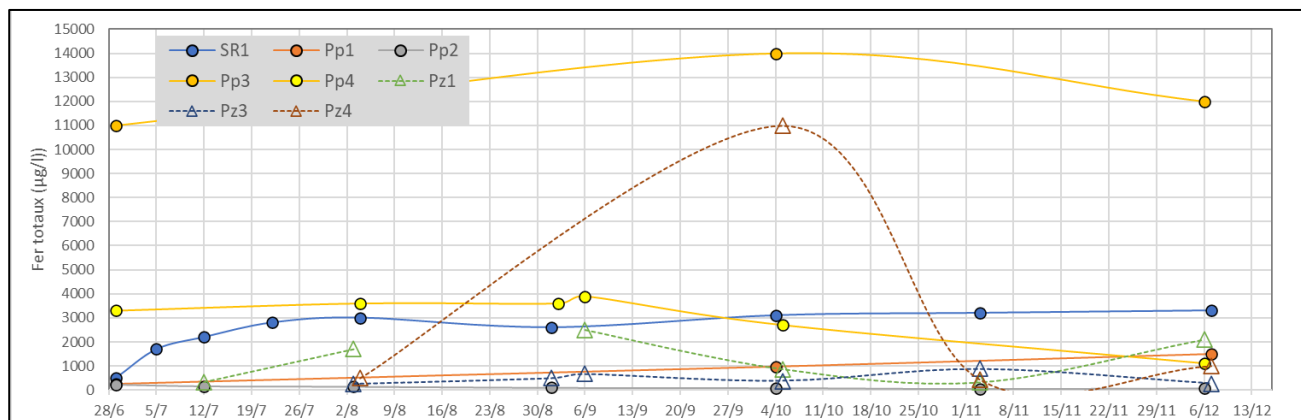


Figure 45 : Evolution des teneurs en fer total

Dans le forage SR1, la comparaison entre les concentrations mesurées en fer dissous et en fer total indique que 50% du fer est présent sous forme particulaire. En revanche, le manganèse domine sous forme dissoute.

Tableau 12 : Comparaison des teneurs en fer / manganèse particulaires et dissoutes dans le forage SR1

SR1				
Date prélèvement	Fer filtré terrain	Fer	Mn filtré terrain	Mn
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
13/02/2020		2100		250
29/06/2021		500		43
05/07/2021		1700		150
12/07/2021		2200		180
22/07/2021		2800		230
04/08/2021	180	3000	15	300
01/09/2021	1300	2600	320	300
04/10/2021		3100		310
03/11/2021	1700	3200	370	360
07/12/2021	1600	3300	310	290

NB : l'incertitude sur les concentrations mesurées en manganèse est de 30% expliquant parfois les concentrations plus élevées pour les échantillons filtrés.

8.7.3. Ions majeurs

Les teneurs en chlorures, sulfates et nitrates ont été contrôlées régulièrement dans les piézomètres profonds et superficiels pendant l'essai de pompage.

Pour rappel, les 2 analyses chimiques de l'eau en fond de fouille lors du diagnostic de l'ancienne décharge indiquaient des teneurs :

- En chlorures comprises entre 23 et 37 mg/l,
- En sulfates comprises entre 30 et 310 mg/l,
- En nitrates comprises entre 6.9 et 26 mg/l.

Au sein de la nappe des grès, la répartition des concentrations pour ces mêmes éléments a été :

- Pour les chlorures, comprise entre 20 et 40 mg/l sans distinction entre les niveaux supérieurs et inférieurs de la nappe ;
- Pour les sulfates, comprise entre 0 et 18 mg/l pour les piézomètres profonds et plus élevées entre 20 et 58 mg/l pour les piézomètres superficiels, en particulier Pz3 et Pz4 ;
- Pour les nitrates, comprise entre 0 et 40.2 mg/l pour les piézomètres profonds tandis que les piézomètres superficiels des valeurs plus élevées ont été mesurées jusqu'à 103 mg/l (Pz1 et Pz3).

Les graphiques présentés pour ces 3 ions majeurs permettent aussi de visualiser la stabilité physico-chimique des eaux de la nappe des grès pendant les 6 mois de pompage.

Pour le forage SR1, l'évolution au cours du pompage des nitrates, du fer total et des sulfates est caractérisée par une baisse des concentrations en nitrates tandis que celles en fer total et en sulfates augmentent (Figure 44). Ce phénomène peut s'expliquer par une dénitrification naturelle des eaux souterraines dans un contexte anoxique (milieu captif).

Ce processus est aussi mis en évidence pour les piézomètres profonds PP3 et PP5 avec des fortes teneurs en fer total (4600 à > 10 000 µg/l) et l'absence de nitrates (0.5 µg/l).

En revanche, le piézomètre PP2 n'est pas marqué par ce phénomène. En effet, les concentrations en nitrates restent élevées de 27 à 40 mg/l pendant tout le pompage tandis que celles en fer sont relativement basses de 57 à 220 µg/l.

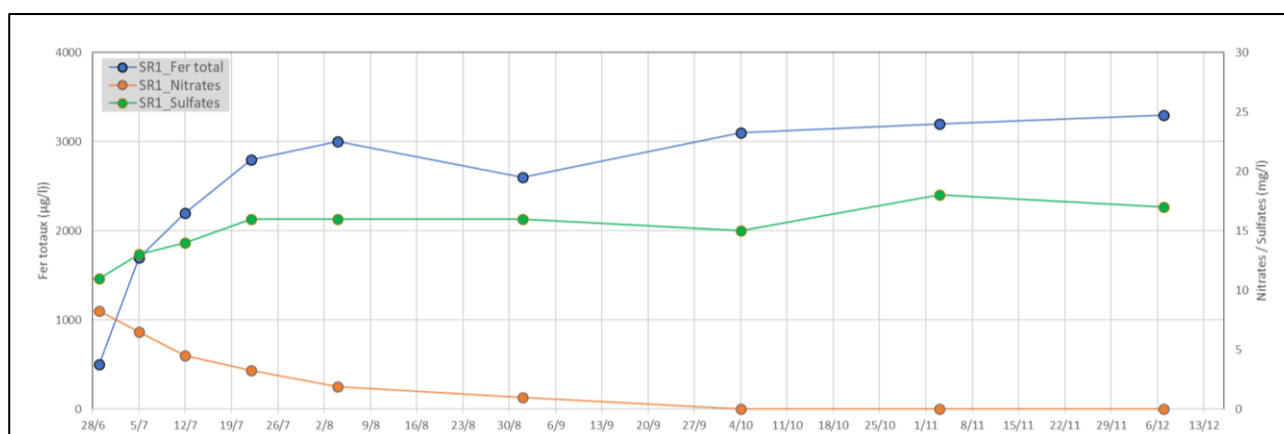


Figure 46 : Evolution pendant le pompage des teneurs en nitrates, sulfates et fer total dans le forage SR1

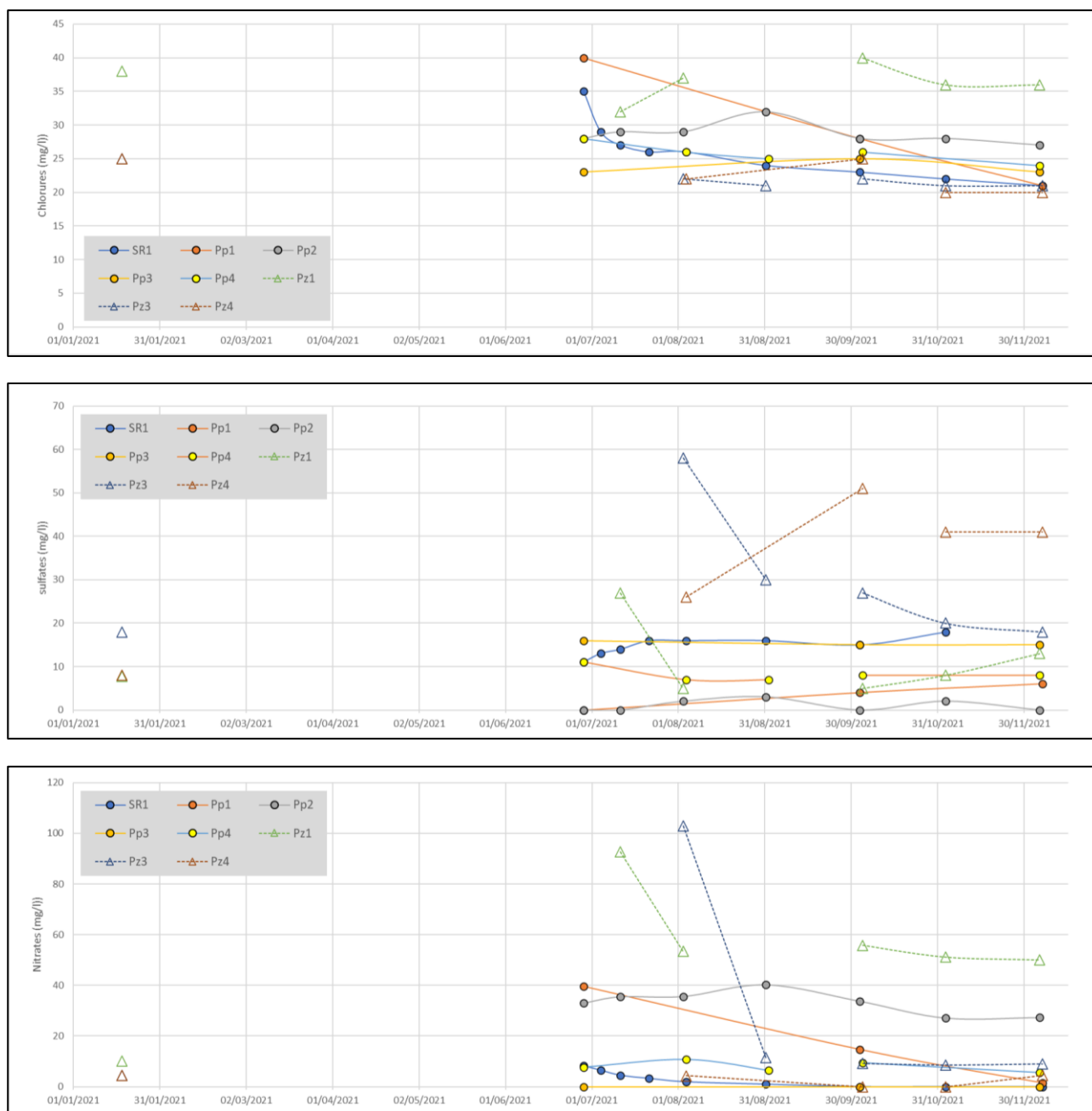


Figure 47 : Evolution des teneurs en chlorures, sulfates et nitrates dans les piézomètres profonds et superficiels

8.7.4. Analyses complètes

Deux analyses complètes de l'eau pompée dans SR1 ont été effectuées à 3 mois et 6 mois de pompage. Les échantillons ont été prélevés le 4 octobre et le 7 décembre. Les paramètres analysés ont été définis :

- suivant l'arrêté du 20/06/2007 relatif à la constitution du dossier de la demande d'autorisation d'utilisation d'eau destinée à la consommation humaine mentionnée aux articles R. 1321-6 à R. 1321-12 et R. 1321-42 du code de la santé publique ;

- suivant la liste des micropolluants à analyser en Loire atlantique (liste fournie par l'ARS) et autres pesticides (environ 800 substances analysées).

L'analyse du 7 décembre intègre en plus d'autres micropolluants : pesticides, médicaments, substances vétérinaires et virus, soit près de 400 substances supplémentaires.

Paramètres microbiologiques

Tous les paramètres microbiologiques analysés sont inférieurs aux limites de référence pour les eaux destinées à la consommation humaine.

Des micro-organismes revivifiants à 36°C et des germes revivifiants à 22°C ont été détectés en fin de pompage.

	4/10/2021 (3 ^{ème} mois pompage)	7/12/2021 (6 ^{ème} mois pompage)
Escherichia coli	<1 ufc/100 ml	<1 ufc/100 ml
Entérocoques	<1 ufc/100 ml	<1 ufc/100 ml

Paramètres chimiques

Pour les 2 analyses, il est mis en évidence que :

- la turbidité de l'eau est supérieure à la limite de qualité des eaux destinées à la consommation humaine (1 NFU) avec des teneurs supérieures à 30 NFU, a priori en lien avec les teneurs en fer total, supérieures à 3 000 µg/l ;
- Les teneurs en fer sont supérieures à la référence de qualité des eaux destinées à la consommation humaine (200 µg/l) ;
- Les teneurs en manganèse sont supérieures à la référence de qualité des eaux destinées à la consommation humaine (50 µg/l).

Tous autres les paramètres analysés sont inférieurs aux limites de référence pour les eaux destinées à la consommation humaine.

Aucun pesticide n'a été détecté pour les 2 analyses. De même, aucune molécule de médicaments, substances vétérinaires ou virus n'a été détectée.

Pour le forage SR1, il n'a donc pas été mis en évidence une dégradation de la qualité de l'eau au fil du temps avec une conductivité stable, des faibles teneurs en nitrates et l'absence de pesticides.

	4/10/2021 (3 ^{ème} mois pompage)	7/12/2021 (6 ^{ème} mois pompage)
Turbidité	32 NFU	33 NFU
MES	4 mg/l	5 mg/l
Oxygène dissous	1,5 mg O2/l	-
Dureté totale	4,1°F	3,8°F
Conductivité	168 µs/cm	170 µs/cm
Chlorures	23 mg/l	21 mg/l
Nitrates	<0,5 mg NO3/l	<0,5 mg NO3/l
Nitrites	0,04 mg NO2/l	0,04 mg NO2/l
Fer total	3100 µg/l	3300 µg/l
Manganèse	310 µg/l	290 µg/l

Paramètres indicateurs de radioactivité

Les résultats analytiques indiquent que la qualité de l'eau répond aux références réglementaires pour les eaux destinées à la consommation humaine.

	Analyse 04/10/2021	Analyse 07/12/2021	Référence réglementaire
Indice Alpha global	0,08 Bq/L	0,06 Bq/L	0,1 Bq/L
Indice Bêta résiduel	Inférieure à la limite de détection	0,06 Bq/L	1 Bq/L
Dose totale indicative	< 0,1 mSv/an	< 0,1 mSv/an	0,1 mSv/an
Tritium	Inférieure à la limite de détection	Inférieure à la limite de détection	100 Bq/L
Radon 222	41.4 Bq/L	28.5 Bq/L	

8.7.5. Paramètres en lien avec l'ancienne décharge

8.7.5.1. Métaux

Les concentrations en métaux lourds sont présentées dans le Tableau 13.

Pour les 12 métaux suivis, aucune analyse ne présente une concentration supérieure aux limites de référence pour les eaux distribuées. On peut noter notamment que :

- la concentration maximale mesurée en arsenic est de 2.4 µg/l dans Pz4.

- le mercure n'est pas détecté sur l'ensemble des ouvrages.

Il n'est pas aussi observé d'évolution des concentrations au fur et à mesure du pompage. Dans le forage SR1, les concentrations restent stables pour tous les métaux.

Pour certains métaux, les concentrations sont hétérogènes selon le point de prélèvement, en particulier pour le zinc (3 à 3100 µg/l) et le baryum (6.9 à 1700 µg/l).

Pour les piézomètres superficiels, les concentrations les plus élevées correspondent à des périodes de basses eaux, où le pompage a été difficile et les matières en suspension élevées. L'analyse des métaux dissous sur certains prélèvements a confirmé que les métaux étaient surtout concentrés sur les matières en suspension et non au sein de la fraction aqueuse.

Tableau 13 : Evolution des concentrations en métaux totaux dans la nappe profonde et superficielle

LQ et RQ Eau distribuée (11 janvier 2007)	1		5	10	700	5	50	2000	1		20	10	10	5000
LQ Eau brute (11 janvier 2007)			100		5	50		1			50	10		5000
SR1														
Date prélèvement	Turbidité	MES	Sb	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
	NFU	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
13/02/2020	23		<0.4	0.5	35	0.04	0.5	0.8	<0.015		9	<0.4	<0.4	33
29/06/2021	3.2	<2	0.11	0.1	35	<0.01	0.15	0.5	<0.01	<0.1	2.2	<0.1	<0.5	11
04/10/2021	32	4	<0.05	0.54	26	0.02	0.09	0.4	<0.01		8.4	<0.1	<0.5	24
07/12/2021	33	5	<0.05	0.89	26	0.03	<0.05	0.3	<0.01	<0.1	7.8	0.3	<0.5	23
07/12/2021 (métaux dissous)			<0.5	0.4	24	0	<0.5	0.3	<0.01	<0.1	0.3	0.3	<0.5	23
Pp1														
Date prélèvement	Turbidité	MES	Sb	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
	NFU	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
29/06/2021	5.9	11	0.78	0.8	35	0.05	0.39	3.6	<0.01	<0.1	5.5	1.2	<0.5	43
Pp2														
Date prélèvement	Turbidité	MES	Sb	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
	NFU	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
29/06/2021	3.7	5	0.16	0.47	11	0.08	0.26	3.8	<0.01	<0.1	3.1	0.4	<0.5	73
04/10/2021	2.2	<2	0.12	0.68	7.1	0.15	0.19	5.3	<0.01	<0.1	4.7	0.4	<0.5	18
06/12/2021	4.2	<2	0.14	0.45	6.9	0.08	<0.05	4.3	<0.01	<0.1	3.2	0.3	<0.5	14
Pp3														
Date prélèvement	Turbidité	MES	Sb	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
	NFU	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
29/06/2021	150	100	0.52	1.9	34	0.02	0.45	1.5	<0.01	<0.1	9.9	3	<0.5	77
Pp4														
Date prélèvement	Turbidité	MES	Sb	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
	NFU	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
29/06/2021	110	100	0.86	1.2	44	0.1	2.1	8.8	<0.01	<0.1	7	3.8	<0.5	410
05/10/2021	55	11	0.08	0.41	14	0.02	0.24	1.2	<0.01	<0.1	5.9	0.3	<0.5	25
06/12/2021			<0.05	0.08	13	0.04	0.1	0.7	<0.01	<0.1	6.7	<0.1	<0.5	27
Pp5														
Date prélèvement	Turbidité	MES	Sb	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
	NFU	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
30/06/2021	0.9	<2	0.37	0.46	77	<0.01	<0.05	<0.1	<0.01	<0.1	0.8	<0.1	<0.5	3

LQ et RQ Eau distribuée (11 janvier 2007)	1		5	10	700	5	50	2000	1		20	10	10	5000
LQ Eau brute (11 janvier 2007)			100		5	50		1			50	10		5000
Pz1														
Date prélèvement	Turbidité	MES	Sb	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
	NFU	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
18/01/2021			<5	<5	80	<0.1	<2	5.3	<0.03	<2	<5	<5	<5	5.9
03/08/2021	6.3	15	<0.05	0.39	29	0.04	<0.05	0.4	<0.01	<0.1	9.1	<0.01	<0.5	64
05/10/2021	2.3	2300	<0.05	1.5	140	0.11	0.9	5.4	<0.01	<0.1	4.4	4.4	<0.5	5.5
06/12/2021	17000	7500	0.15	3	380	0.17	2.7	75	<0.01	<0.1	5.2	13	0.7	21
06/12/2021 (métaux dissous)			0.1	0.3	48	0.1	0.1	2.2	<0.01	<0.1	2.2	<0.1	<0.5	12
Pz2														
Date prélèvement	Turbidité	MES	Sb	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
	NFU	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
06/12/2021	1000	620	0.25	12	510	0.68	7.1	45	<0.01	0.2	25	23	0.9	65
06/12/2021 (métaux dissous)			0.33	0.51	150	0.2	0.12	0.8	<0.01	<0.1	9.5	<0.1	<0.5	6.9
Pz3														
Date prélèvement	Turbidité	MES	Sb	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
	NFU	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
18/01/2021			<5	<5	58	<0.1	<2	2.3	<0.03	<2	<5	<5	<5	47
03/08/2021	>2000	2800	0.15	1.4	160	0.16	0.82	2.8	<0.01	<0.1	7.2	3.2	<0.5	48
01/09/2021	58	430	0.27	2.2	68	0.14	0.87	4.6	<0.01	<0.1	4.2	2.5	<0.5	42
05/10/2021	83	1100	0.41	2.7	110	0.11	0.95	8.2	<0.01	<0.1	7	2.9	<0.5	9.6
07/12/2021	610	860	0.55	1.8	100	0.11	0.67	14	<0.01	0.1	6.4	2.6	<0.5	32
07/12/2021 (métaux dissous)			0.43	0.43	51	0.10	<0.05	2.4	<0.01	0.1	5.5	0.1	<0.5	15
Pz4														
Date prélèvement	Turbidité	MES	Sb	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
	NFU	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
18/01/2021			<5	<5	50	<0.1	<2	<2	<0.03	<2	<5	<5	<5	9.8
04/08/2021	>2000	3800	0.27	2.4	400	0.15	2.1	7.9	<0.01	<0.1	7.5	6.3	<0.5	25
05/10/2021	47000	110000	0.5	8.7	1700	0.59	54	5300	<0.01	3.5	64	100	2.7	3100
07/12/2021	6200	3000	0.32	3.6	370	0.14	4.2	26	<0.01	0.3	7.1	11	<0.5	37
Dépassement de la LQ / RQ Eau distribuée														

8.7.5.2. Hydrocarbures C5-C40

Les hydrocarbures C5 – C40 n'ont pas été détectés dans le forage d'essai et dans les piézomètres profonds.

Des faibles concentrations ont été mesurées dans Pz3 (0.24 µg/l) et Pz4 (0.37 µg/l) lors de la campagne du mois d'août et d'octobre 2021.

8.7.5.3. HAP

Les HAP n'ont pas été détectés dans le forage d'essai et les piézomètres profonds.

Des faibles concentrations ont été détectés dans les piézomètres superficiels Pz3 (août et septembre) et Pz4 (août, novembre, décembre 2021).

8.7.5.4. COHV

Les COHV n'ont pas été détectés dans les échantillons d'eau analysés.

8.7.5.5. PCB

Les PCB n'ont pas été détectés dans les échantillons d'eau analysés.

8.7.5.6. Phtalates

Les phtalates sont des produits chimiques couramment utilisés comme plastifiants dans les matières plastiques (en particulier du polychlorure de vinyle). Des teneurs en phtalates (DEHP, DBP et DEP) ont été mesurées ponctuellement en faibles concentrations sur les plusieurs ouvrages : SR1, Pp2, Pp3, Pp4, Pz1, Pz3 et Pz4. Il n'a pas été mis en évidence une augmentation des teneurs pour ces paramètres au cours du pompage.

	Diéthylhexylphtalate (DEHP)	Diéthylphtalate (DEP)	Dibutylphtalate (DBP)
Teneurs maximales mesurées	1,57 µg/l (Pp2)	1,97 µg/l (Pz3)	0,23 µg/l

La présence de ces molécules dans l'eau peut parfois s'expliquer par un transfert lors du prélèvement d'eau. En effet, l'utilisation de flexibles en PEHD et de pompes immergées en matières plastiques pourraient être une source de contamination de l'eau. Pour préciser cela, une analyse des blancs de matériels de prélèvement (pompes immergées + flexibles PEHD) a été réalisée sur ces 3 paramètres le 5 octobre 2021. Des molécules DEP ont été détectées uniquement sur le blanc de la pompe péristaltique utilisée quelques fois pour les prélèvements dans les piézomètres superficiels.

	Diéthylhexylphtalate (DEHP)	Diéthylphtalate (DEP)	Dibutylphtalate (DBP)
Pompe immergée	<0,5 µg/l	<0,1 µg/l	<0,1 µg/l
Pompe péristaltique	<0,5 µg/l	0,73 µg/l	<0,1 µg/l

Les prélèvements sur le forage SR1 étant réalisé directement au robinet, la détection de phtalates dans le forage laisse présager de la présence intrinsèque de phtalates au sein de l'aquifère des grès (dépôts anciens au sein des galeries ?).

A ce jour, les réglementations européenne et nationale ne prévoient pas de valeur réglementaire pour les phtalates. L'Organisation mondiale de la Santé a fixé le seuil maximal pour le DEHP à 6 µg/l pour l'eau potable (ANSES, 2020). Les concentrations mesurées sur le site du Claray restent donc inférieures à ce seuil.

8.7.6. Dioxines et furanes

Suite au diagnostic de l'ancienne décharge, les dioxines/furanes ont été analysées sur les eaux des piézomètres profond (SR1, PP1, PP2, PP3, PP4 et PP5) et superficiels (Pz1, Pz3 et Pz4).

A noter qu'il n'existe pas de valeurs seuils pour les dioxines/furanes dans les eaux souterraines (Afssa, Saisine n°2003-SA-0305).

8.7.6.1. Evolution dans la nappe profonde

Des dioxines/furanes ont été mis en évidence lors d'une seule campagne, le 03 novembre 2021, à des concentrations supérieures à la limite de quantification du laboratoire dans le forage SR1 et le piézomètre PP2 (Tableau 14).

Les composés retrouvés en concentrations les plus importantes dans les eaux prélevées sont différents de ceux retrouvés dans les piézomètres superficiels ; Ces composés sont aussi différents de ceux retrouvés dans les analyses de sol réalisés au droit de 3 sondages (S5, S8 et S9).

A noter que lors de la campagne du 3 novembre 2021, les concentrations les plus importantes sur l'ensemble des campagnes ont également été observées, ce qui pourrait mettre en évidence une problématique d'analyse au niveau du laboratoire⁴ ou de contamination croisée lors des prélèvements.

Les dioxines/furanes sont des composés peu mobiles dans les sols de par leur caractérisation physico-chimique et leur caractère hydrophobe ; ils se retrouvent essentiellement dans les sols superficiels ou interfaces sol/source de pollution, ici la décharge ou la carrière et sur les particules en suspension. Au droit de la décharge, des terrains argileux ont été observés sous l'ancienne décharge et de l'ancienne carrière ; ces terrains créent une barrière naturelle à l'infiltration des polluants.

Ainsi, les résultats de cette campagne ne sont pas considérés comme représentatif de la qualité des eaux dans la nappe profonde.

⁴ Un contrôle de ces analyses a été réalisé par le laboratoire EUROFINs qui ont confirmé ces résultats.

Tableau 14 : Evolution des teneurs en dioxines et furanes dans les piézomètres profonds

Paramètres	unité	N°cas	Incertitude	LQ	SR1 29/06/2021	SR1 03/11/2021	SR1 24/11/2021	SR1 07/12/2021	PP2 03/11/2021	PP2 24/11/2022	PP2 06/12/2022	PP3 24/11/2021	PP4 24/11/2021	PP4 06/12/2021	PP5 24/11/2021	Aval_traitement 24/11/2021	Aval_traitement 07/12/2021		coefficient de toxicité I-TEFOTAN	coefficient de toxicité OMS 2005
1,2,3,6,7,8-HxCDD	pg/l	57653-85-7	30%	0.96	< 1.92	< 1.92	<1.92	<1.92	< 1.92	<1.83	<1.83	<1.83	<1.83	<1.83	<1.83	<1.83	<1.94		0.1	0.1
I-TEQ (NATO/CCMS) avec LQ	pg/l				3.55	9.79	3.38	3.55	3.56	3.38	3.38	3.4	3.38	3.38	3.39	3.38	3.59			
1,2,3,7,8-PeCDF	pg/l	57117-41-6	30%	0.86	< 1.72	< 1.72	<1.64	<1.72	< 1.72	<1.64	<1.64	<1.64	<1.64	<1.64	<1.64	<1.64	<1.74		0.05	0.03
Dioxines et furanes (OMS 2005 PCDD/F- TEQ) sans LQ	pg/l				ND	5.1	ND	ND	0.00281	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND			
1,2,3,7,8-PeCDD	pg/l	40321-76-4	30%	0.48	< 0.960	< 0.960	<0.914	<0.914	< 0.960	<0.914	<0.914	<0.914	<0.914	<0.914	<0.914	<0.914	<0.970		0.5	1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	pg/l	67562-39-4	30%	0.76	< 1.52	175	<1.45	<1.52	<1.52	<1.45	<1.45	<1.45	<1.45	<1.45	<1.45	<1.45	<1.54		0.01	0.01
OCDD	pg/l	3268-87-9	30%	5.8	< 11.6	< 11.6	<11	<11.6	<11.6	<11	<11	<20.3	<11	<11	<20	<11	<11.7		0.001	0.0003
1,2,3,4,7,8-HxCDF	pg/l	70648-26-9	30%	0.8	< 1.60	19	<1.52	<1.6	<1.6	<1.52	<1.52	<1.52	<1.52	<1.52	<1.52	<1.52	<1.62		0.1	0.1
1,2,3,7,8,9-HxCDF	pg/l	72918-21-9	30%	0.8	< 1.60	< 2.52	<1.52	<1.6	<1.6	<1.52	<1.52	<1.52	<1.52	<1.52	<1.52	<1.52	<1.62		0.1	0.1
1,2,3,7,8,9-HxCDD	pg/l	19408-74-3	30%	0.96	< 1.92	< 1.92	<1.83	<1.92	<1.92	<1.83	<1.83	<1.83	<1.83	<1.83	<1.83	<1.83	<1.94		0.1	0.1
2,3,4,7,8-PeCDF	pg/l	57117-31-4	30%	0.86	< 1.72	< 1.72	<1.64	<1.72	<1.72	<1.64	<1.64	<1.64	<1.64	<1.64	<1.64	<1.64	<1.74		0.5	0.3
I-TEQ (NATO/CCMS) sans LQ	pg/l				ND	6.5	ND	ND	0.00935	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND			
2,3,4,6,7,8-HxCDF	pg/l	60851-34-5	30%	0.8	< 1.60	< 1.60	<1.52	<1.6	<1.6	<1.52	<1.52	<1.52	<1.52	<1.52	<1.52	<1.52	<1.62		0.1	0.1
1,2,3,4,7,8-HxCDD	pg/l	39227-28-6	30%	0.96	< 1.92	< 1.92	<1.83	<1.92	<1.92	<1.83	<1.83	<1.83	<1.83	<1.83	<1.83	<1.83	<1.94		0.1	0.1
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	pg/l	55673-89-7	30%	0.76	< 1.52	26.1	<1.45	<1.52	<1.52	<1.45	<1.45	<1.45	<1.45	<1.45	<1.45	<1.45	<1.54		0.01	0.01
2,3,7,8-TCDF	pg/l	51207-31-9	30%	0.64	< 1.28	< 1.28	<1.22	<1.28	<1.28	<1.22	<1.22	<1.22	<1.22	<1.22	<1.22	<1.22	<1.29		0.1	0.1
OCDF	pg/l	39001-02-0	30%	1.6	< 3.20	2000	<3.05	<3.2	9.35	<3.05	<3.05	<3.05	<3.05	<3.05	<3.05	<3.05	<3.23		0.001	0.0003
2,3,7,8-TCDD	pg/l	1746-01-6	30%	0.36	< 0.720	< 0.720	<0.686	<0.720	< 0.720	<0.686	<0.686	<0.686	<0.686	<0.686	<0.686	<0.686	<0.727		1	1
Dioxines et furanes (OMS 2005 PCDD/F- TEQ) avec LQ	pg/l		25%	1.8	3.64	8.48	3.47	3.64	3.64	3.47	3.47	3.48	3.47	3.47	3.47	3.47	3.68			
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	pg/l	35822-46-9	30%	0.82	< 1.64	< 1.64	<1.56	<1.64	< 1.64	<1.56	<1.56	<2.24	<1.56	<1.56	<1.56	<1.56	<1.66		0.01	0.01

8.7.6.2. Evolution dans la nappe superficielle

Les dioxines/furanes ont été quantifiés sur les 3 piézomètres lors de toutes les campagnes à l'exception de celle de décembre 2021, où les dioxines/furanes n'ont pas été quantifiés au-dessus des limites de quantification du laboratoire.

Les concentrations les plus importantes ont été détectées lors des campagnes de novembre 2021 et plus particulièrement lors des campagnes du 5 octobre 2021 sur le piézomètre Pz3 et du 3 novembre 2021 sur les piézomètres Pz3 et dans une moindre mesure Pz4. Le Pz3 est localisé sur la limite est de l'ancienne décharge et le Pz4 en aval de l'ancienne décharge et de l'ancienne carrière (dépôt minier).

Ces pics de concentrations semblent correspondre à des périodes de très basses eaux (niveau d'eau presque au fond du piézomètre), des campagnes où le pompage a été difficile (ouvrage à sec en raison du pompage lié au prélèvement dans cet ouvrage, ce qui ne permet pas un bon renouvellement de l'eau dans les piézomètres et peut ainsi biaiser les résultats via l'accumulation de polluants dans le massif filtrant et le puits) et à la présence importante de matière en suspension.

Lors de la campagne d'investigations des sols, les résultats d'analyses ont indiqué :

- Au droit de l'ancienne décharge et de l'ancienne carrière, des déchets jusqu'à une profondeur maximale de 2,3m (sondage S9 - ancienne carrière) et des terrains sous-jacents constitués d'argile ocre plus ou moins limoneuse.
- Au niveau de l'ancienne décharge, la présence de teneurs en dioxines/furanes supérieures à la valeur de référence (2 ng/kg), détectées sur les deux échantillons prélevés dans le massif de déchets ayant fait l'objet d'une recherche de ces composés (entre 77 [S5 entre 1 et 2m] et 127 ng/kg [S8 entre 1 et 2m]).
- Au niveau de l'ancienne carrière remblayée, la présence de teneurs en dioxines/furanes supérieures à la valeur de référence, de l'ordre de 3,8 à 5.9 ng/kg sur le sondage S9.

Les principaux composés détectés dans les sols (en concentrations les plus importantes) sont globalement les mêmes que ceux retrouvés dans les eaux des piézomètres (Pz1, Pz3 et Pz4).

Les coupes des piézomètres montrent que la partie supérieure a été isolée sur 5 à 6m de profondeur (Pz1, Pz3 et Pz4) ce qui permet, au vu de la profondeur des déchets/remblais retrouvés sur le site, d'isoler les terrains superficiels des terrains naturels. Cette construction permet ainsi d'éviter les transferts de polluants vers la nappe.

L'analyse des dioxines/furanes, à de faibles concentrations, peut être influencée par la qualité de l'air ambiant lors du prélèvement, de la réalisation de l'analyse en laboratoire et des conditions de prélèvements.

Sur la base des observations de terrains et des résultats d'analyses, il est considéré que les concentrations en dioxines / furanes observées dans les eaux souterraines ne seraient pas en lien avec l'impact observé dans les déchets/remblais. Ce constat suppose aussi la continuité de l'horizon argileux superficiel sur toute la surface de l'ancienne décharge et de la carrière comme cela a été observé sur les 13 sondages à la pelle.

A ce stade, l'évolution des teneurs dans les eaux souterraines au droit des piézomètres superficiels devrait néanmoins être surveillée pour prendre en compte un cycle annuel complet. Cette surveillance devra être engagée avant la mise en exploitation de la nappe pour ainsi contrôler la présence de ces molécules lorsque la nappe est au repos et pendant les périodes de recharge hivernale.

Les résultats seront à mettre en parallèle des conditions de prélèvements, des observations de terrains, etc. pour confirmer ou infirmer l'impact potentiel de l'ancienne décharge et de l'ancienne carrière sur les eaux souterraines en dioxines/furanes.

Tableau 15 : Evolution des teneurs en dioxines et furanes dans les piézomètres superficiels

SION LES MINES - SUIVI DIOXINES et FURANES																			
Paramètres	unité	N°cas	Incertitude	LQ	Pz1 03/11/2021	Pz1 24/11/2021	Pz1 06/12/2021	Pz2 06/12/2021	PZ3 29/06/2021	PZ3 05/10/2021	Pz3 03/11/2021	PZ3 24/11/2021	PZ3 07/12/2021	PZ4 29/06/2021	PZ4 03/11/2021	PZ4 24/11/2021	PZ4 07/12/2021	coefficient de toxicité I-TEFOTAN	coefficient de toxicité OMS 2005
1,2,3,6,7,8-HxCDD	pg/l	57653-85-7	30%	0.96	<1.83	<1.83	<1.83	<1.83	< 1.92	23.6	24.4	<1.83	<1.83	< 1.92	3.08	<1.83	<1.83	0.1	0.1
I-TEQ (NATO/CCMS) avec LQ	pg/l				3.49	3.45	3.38	3.38	3.66	23.4	27.3	3.51	3.38	3.56	4.91	3.46	3.38		
1,2,3,7,8-PeCDF	pg/l	57117-41-6	30%	0.86	<1.64	<1.64	<1.64	<1.64	< 1.72	<1.72	<1.64	<1.64	<1.64	< 1.72	<1.97	<1.64	<1.64	0.05	0.03
Dioxines et furanes (OMS 2005 PCDD/F- TEQ) sans LQ	pg/l				0.0962	0.068	ND	ND	0.0612	26.9	29.6	0.125	ND	0.0069	2.6	0.0681	ND		
1,2,3,7,8-PeCDD	pg/l	40321-76-4	30%	0.48	<0.914	<0.914	<0.914	<0.914	< 0.960	12.8	11.9	<0.914	<0.914	< 0.960	1.31	<0.914	<0.914	0.5	1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	pg/l	67562-39-4	30%	0.76	<1.45	<1.45	<1.45	<1.45	< 1.52	1.56	194	<1.45	<1.45	< 1.52	<1.74	<1.45	<1.45	0.01	0.01
OCDD	pg/l	3268-87-9	30%	5.8	58	30.7	<11	<11	111	1660	1690	47.6	<11	23	219	53.7	<11	0.001	0.0003
1,2,3,4,7,8-HxCDF	pg/l	70648-26-9	30%	0.8	<1.52	<1.52	<1.52	<1.52	< 1.60	<1.6	4.34	<1.52	<1.52	< 1.60	<1.83	<1.52	<1.52	0.1	0.1
1,2,3,7,8,9-HxCDF	pg/l	72918-21-9	30%	0.8	<1.52	<1.52	<1.52	<1.52	< 1.60	<1.6	<1.52	<1.52	<1.52	< 1.60	<1.83	<1.52	<1.52	0.1	0.1
1,2,3,7,8,9-HxCDD	pg/l	19408-74-3	30%	0.96	<1.83	<1.83	<1.83	<1.83	< 1.92	23.1	33.9	<1.83	<1.83	< 1.92	3.52	<1.83	<1.83	0.1	0.1
2,3,4,7,8-PeCDF	pg/l	57117-31-4	30%	0.86	<1.64	<1.64	<1.64	<1.64	< 1.72	<1.72	<1.64	<1.64	<1.64	< 1.72	<1.97	<1.64	<1.64	0.5	0.3
I-TEQ (NATO/CCMS)) sans LQ	pg/l				0.137	0.0895	ND	ND	0.139	21.7	26	0.158	ND	0.023	2.09	0.106	ND		
2,3,4,6,7,8-HxCDF	pg/l	60851-34-5	30%	0.8	<1.52	<1.52	<1.52	<1.52	< 1.60	<1.6	<1.52	<1.52	<1.52	< 1.60	<1.83	<1.52	<1.52	0.1	0.1
1,2,3,4,7,8-HxCDD	pg/l	39227-28-6	30%	0.96	<1.83	<1.83	<1.83	<1.83	< 1.92	20.7	21.8	<1.83	<1.83	< 1.92	2.32	<1.83	<1.83	0.1	0.1
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	pg/l	55673-89-7	30%	0.76	<1.45	<1.45	<1.45	<1.45	< 1.52	<1.52	7.62	<1.45	<1.45	< 1.52	<1.74	<1.45	<1.45	0.01	0.01
2,3,7,8-TCDF	pg/l	51207-31-9	30%	0.64	<1.22	<1.22	<1.22	<1.22	< 1.28	<1.28	<1.22	<1.22	<1.22	< 1.28	<1.46	<1.22	<1.22	0.1	0.1
OCDF	pg/l	39001-02-0	30%	1.6	<3.05	<3.05	<3.05	<3.05	< 3.20	<3.2	1680	<3.05	<3.05	< 3.20	<3.66	<3.05	<3.05	0.001	0.0003
2,3,7,8-TCDD	pg/l	1746-01-6	30%	0.36	<0.686	<0.686	<0.686	<0.686	< 0.720	2.72	2.2	<0.686	<0.686	< 0.720	<0.823	<0.686	<0.686	1	1
Dioxines et furanes (OMS 2005 PCDD/F- TEQ) avec LQ	pg/l		25%	1.8	3.55	3.52	3.47	3.47	3.68	28.3	30.5	3.58	3.47	3.65	4.98	3.52	3.47		
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	pg/l	35822-46-9	30%	0.82	7.87	5.88	<1.56	<1.56	2.78	441	383	11	<1.56	< 1.64	33	5.2	<1.56	0.01	0.01

9. CONCLUSIONS ET PRECONISATIONS SUR L'EXPLOITATION DE LA RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE

9.1. RAPPEL DU CONTEXTE

Le site étudié se localise au lieu-dit du Claray sur la commune de Sion les Mines au droit de l'anticlinal de Châteaubriand où les grès ordoviciens affleurent. Le forage SR1, créé par le syndicat Atlantique'Eau en 2019, recoupe à plus de 80m de profondeur un réseau d'anciennes galeries minières creusées entre 1962 et 1966 dans les grès pour l'extraction du minerai de fer. Les documents historiques indiquent alors qu'il était nécessaire de pomper en continu jusqu'à 180 m³/h pour dénoyer les galeries et permettre l'extraction du minerai.

Depuis l'arrêt des pompes d'exhaure, les galeries sont donc totalement ennoyées. Au droit du site, le niveau piézométrique de la nappe des grès est peu profond avec des fluctuations saisonnières pluri-métriques, voir artésien dans le forage SR1 en période hivernale.

D'un point de vue hydrodynamique, ces anciennes galeries représentent donc un réseau de drainage de grande extension (400 x 130 m) qui recoupe les grès profonds fracturés et faciliterait donc l'exploitation des eaux souterraines. Cette nappe étant peu exploitée sur ce secteur (seulement 2 forages agricoles profonds répertoriés autour du projet), il n'existe pas d'information locale pour préciser les capacités de production de cet aquifère.

D'autre part, d'un point de vue qualitatif, l'existence d'une ancienne décharge communale et d'une ancienne carrière remblayée à moins de 200 m du site oblige à la prudence avant d'envisager un pompage pour l'alimentation en eau potable. Une évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines vis-à-vis de ces installations est donc nécessaire.

Des travaux ont donc été menés dans le cadre de cette étude entre décembre 2020 et décembre 2021 pour préciser ces points. Il a ainsi été réalisé :

- Un diagnostic environnemental puis la définition d'un plan de gestion de l'ancienne décharge communale et de l'ancienne carrière où 4 solutions de gestion du massif de déchet ont été étudiées selon une approche multicritère (critères environnementaux, sanitaires et économiques) :
 - Solution 1 : Maintien de la décharge en place (décharge communale et carrière remblayée) accompagné de mesures de surveillance environnementale ;
 - Solution 2 : Excavation de l'ensemble des déchets de l'ancienne décharge et de l'ancienne carrière et gestion hors site de l'ensemble des déchets ;
 - Solution 3 : Variante de la solution 2 comprenant l'excavation de l'ensemble des déchets de l'ancienne décharge et de l'ancienne carrière et mise en place d'un tri sur le site en vue d'optimiser la réutilisation de matériaux sur le site (ex. gravats, etc.) ;
 - Solution 4 : Maintien de la décharge communale en place, reprofilage et confinement superficiel associé à des mesures de surveillance environnementale / excavation de l'ensemble de l'ancienne carrière remblayée et gestion hors site de ces déchets.
- 5 piézomètres profonds dédiés implantés autour du pompage SR1 et dédié à la surveillance de la nappe des grès ;
- Un pompage en continu dans le forage SR1 de juin à décembre 2021, en période d'étiage de la nappe, à un débit de 60 m³/h avec la mise en place d'un contrôle régulier des niveaux d'eau dans 16 ouvrages et un suivi approfondi de la qualité de l'eau souterraine ;

- La création d'un dispositif temporaire et novateur du traitement du fer total contenu dans l'eau pour minimiser l'impact sur le milieu naturel du rejet.

9.2. FAISABILITE DE L'EXPLOITATION DE LA NAPPE

A l'issue de pompage de longue durée, le niveau piézométrique dans le forage SR1 a atteint une profondeur maximale de 22.6 m et le rabattement a été mesuré à presque 20 mètres pour un volume total pompé de 222 543 m³. L'épaisseur saturée de l'aquifère reste donc élevée au-dessus des galeries après 6 mois de pompage.

Les transmissivités calculées sont alors comprises entre $7.5 \cdot 10^{-4}$ et $4 \cdot 10^{-3}$ m²/s et le coefficient d'emmagasinement moyen de $1.6 \cdot 10^{-3}$ et $1 \cdot 10^{-2}$. Ces valeurs sont relativement bonnes pour un aquifère fracturé.

Par contre, cet essai a montré qu'il y avait une baisse continue du niveau piézométrique au fur et à mesure du pompage. L'aquifère fissuré profond est donc compartimenté (limites étanches) et il n'y a pas de réalimentation à cette saison (situation pluviométrique proche de la normale lors du pompage) (Figure 48).

Cela n'avait pas été constaté en période hivernale, lors de l'essai mené par ANTEA pendant 1 mois. Le niveau piézométrique s'était stabilisé après 2 semaines de pompage ce qui confirme que la recharge hivernale de l'aquifère permet d'équilibrer les prélèvements pour ce débit.

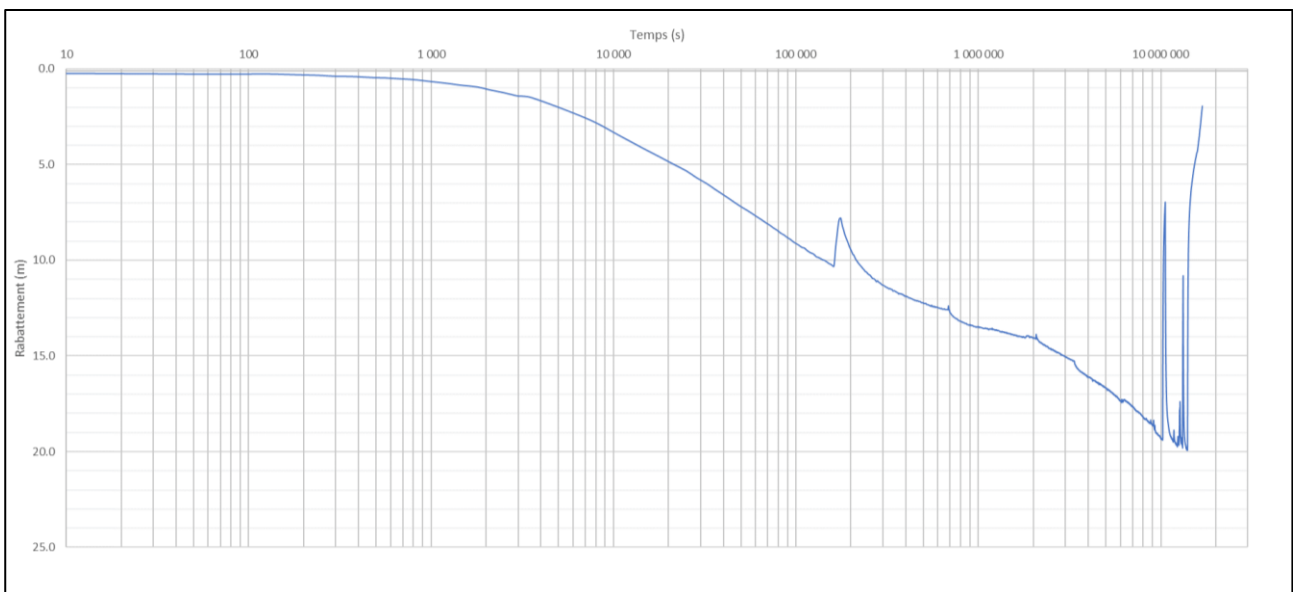


Figure 48 : Evolution du rabattement du niveau de la nappe en semi-log dans le forage SR1 pendant l'essai de pompage

Le pompage au droit de SR1 a induit des rabattements importants au droit des piézomètres profonds situés au Nord-Est et au Sud-Ouest de l'axe des anciennes galeries minières tandis qu'au Nord-Ouest, en bordure de l'anticlinal, la nappe a moins réagi (Pp5 et forage agricole de Mr Souty).

L'aquifère fissurée profond est aussi connecté avec l'horizon supérieur des altérites (~30 m) capté par les piézomètres Pz1 / Pz3 / Pz4 où les rabattements piézométriques et la réactivité de la nappe ont été marqués et corrélés à l'essai de pompage.

En revanche, il n'a pas été mis en évidence de relation hydraulique entre l'étang de Limèle, exutoire du bassin versant topographique de la zone d'étude, et la nappe profonde des grès. De même, le piézomètre Pz2, équipé seulement jusqu'à 5 m de profondeur et situé à proximité de l'ancienne décharge, n'a pas réagi pendant le pompage. Ce niveau

géologique superficiel riche en argiles, reconnu au droit de l'ancienne décharge, semble donc être isolé de l'aquifère inférieur.

Le rabattement modéré de la piézométrie, au regard de la puissance de la nappe, après avoir pompé en continu plus de 220 000 m³ en étiage et la stabilisation rapide du niveau d'eau lors du pompage en période hivernale permettent de proposer un débit d'exploitation de 60 m³/h sur le site du Claray (1 440 m³/j - 525 600 m³/an).

Lors de l'exploitation de la ressource, une surveillance piézométrique de la nappe profonde devra être engagée sur plusieurs cycles annuels en vue de préciser s'il est possible d'exploiter au-delà de 60 m³/h (stabilisation du niveau piézométrique et bonne recharge en période hivernale).

En s'appuyant sur ces résultats, une aire d'alimentation du forage pour un pompage de 60 m³/h en continu a été dessinée. Etendue sur une superficie de presque 5 km², ce périmètre est étiré vers le cœur de l'anticlinal de Chateaubriand où affleurent les grès et où a priori les failles sont plus ouvertes pour faciliter l'écoulement des eaux souterraines. Cette délimitation intègre principalement des surfaces agricoles et boisées ainsi que plusieurs hameaux.

Plusieurs sources sont aussi cartographiées et doivent être alimentées par les résurgences de la nappe des grès. Une attention particulière devra donc être apportée sur l'incidence potentiel du futur pompage.

Un recensement des forages profonds en exploitation devra être effectué pour évaluer les potentielles connexions avec le forage SR1 (ex. forage agricole de Mr Gautier).

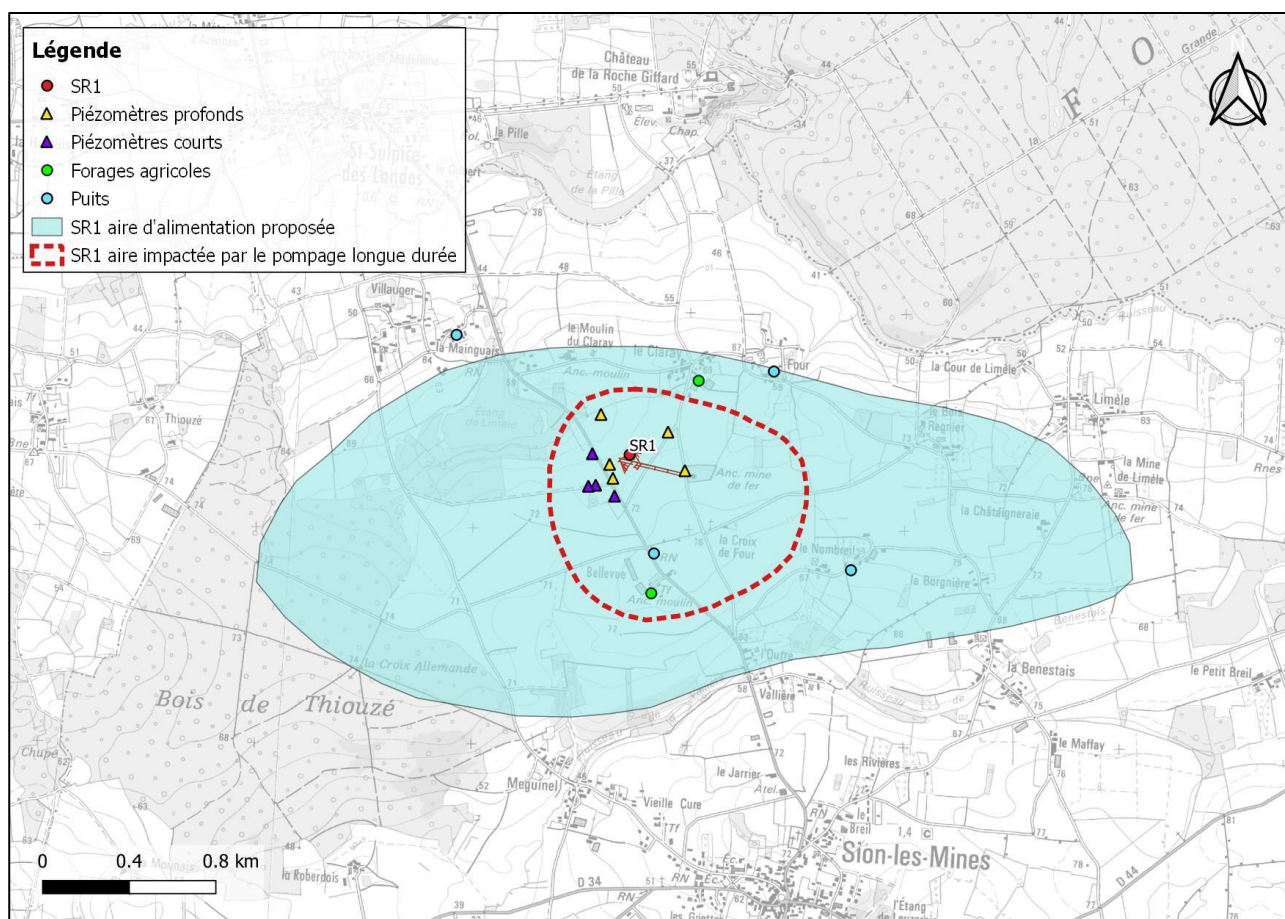


Figure 49 : Aire d'alimentation du forage SR1 à 60 m³/h

9.3. SUIVI DE LA QUALITE DE LA RESSOURCE

Le suivi de la qualité de la nappe profonde des grès a mis en évidence pendant le pompage une eau de bonne qualité caractérisée par :

- Une minéralisation faible (conductivité < 250 µs/cm),
- La stabilité chimique de l'eau pompée au cours du pompage
- Des teneurs en nitrates faibles au droit du forage SR1 (inférieures au seuil de détection après 97 jours de pompage) qui peuvent s'expliquer par une dénitrification naturelle des eaux souterraines et qui suggèrent donc que la principale aire d'alimentation du forage est protégée des intrants superficiels. En revanche, certains piézomètres, notamment Pp2, présentaient des teneurs en nitrates plus élevées qui suggèrent donc la possibilité de transferts localisés. Enfin, l'incidence du rabattement de la nappe sur le maintien de cette protection devra être contrôlée.
- L'absence de pesticides, médicaments, substances vétérinaires et virus (1 200 substances analysées).

Comme attendu, des teneurs élevées en fer total ont été mesurées mais celles-ci se stabilisent après 2 mois de pompage autour d'une concentration comprise entre 3 000 et 3 500 µg/l. Dans le forage, la comparaison entre les concentrations mesurées en fer dissous et en fer total indique que 50% du fer est présent sous forme particulaire.

Des faibles concentrations en phtalates et en dioxines / furanes ont aussi été détectés ponctuellement dans la nappe profonde et l'horizon des altérites. Malgré le caractère peu mobile des dioxines / furanes qui se retrouvent essentiellement dans les sols superficiels ou interfaces sol/décharge et sur les particules en suspension, un suivi de la qualité de la nappe est recommandé en raison de la proximité de l'ancienne décharge du forage SR1. Le réseau de suivi devra inclure les piézomètres de surface Pz1, Pz3 et Pz4, les piézomètres PP2 et PP4 et le puit de pompage. La fréquence de prélèvements devra être mensuelle la première année de la mise en route du pompage puis trimestrielle. Cette fréquence pourra être adaptée en fonction des résultats d'analyses mais aussi dans le cas où des travaux seraient engagés au droit de la décharge, notamment si la décharge est enlevée.

9.4. PRECONISATION VIS-A-VIS DE L'ANCIENNE DECHARGE

En raison de la détection des dioxines et furanes et par précaution, la solution combinée de gestions des déchets, proposée et détaillée dans le plan de gestion, est donc recommandée a minima dans l'optique d'une exploitation de la ressource en eau souterraine pour l'alimentation en eau potable (solution 4).

Cette solution prévoit :

- L'excavation et l'évacuation de la carrière remblayée sur la parcelle privée au Nord (remblais et déchets) ;
- Le confinement de l'ancienne décharge sous un dispositif adapté pour supprimer la percolation des eaux de pluie dans le massif de déchets tout en permettant une évacuation des gaz. Cette technique permet de limiter les risques d'un transfert ultérieur de la source de pollution vers le sous-sol et donc d'impacter la ressource en eau.

Afin de sécuriser en amont les coûts de dépollution (excavation, évacuation notamment), il est possible de faire réaliser une campagne de détection géophysique au-dessus de l'ancienne carrière remblayée afin d'en connaître sa superficie et sa profondeur plus précisément. De même, un levé topographique par drone est également envisageable au-dessus de la décharge communale, après débroussaillage préalable, afin de confirmer les volumes de déchets. Le coût estimatif de ces investigations complémentaires est estimé à 8 000 €.

9.5. TRAITEMENT DE L'EAU POMPEE

Les résultats de la qualité de la ressource en eau présagent de la mise en place d'un traitement spécifique des eaux brutes pompées :

- Pour l'abattement de la turbidité de l'eau ;
- Pour l'abattement des teneurs en fer et en manganèse ;

Le coût de mise en œuvre d'une unité de traitement des eaux brutes par oxydation à un débit d'exploitation de 60 m³/h est estimé à ce stade d'avancement du projet à 900 000 €.

Le coût de fonctionnement annuel d'une telle unité est estimé à 40 000 € (consommation électrique, fonctionnement de l'usine, frais d'analyses).

A ce stade, les résultats d'analyse sur le forage SR1 indiquent des concentrations en dioxines/furanes toutes inférieures aux limites de quantification du laboratoire. Il n'est donc pas envisagé de traitement particulier pour ses composés.

Dans le cas, où les résultats des mesures réalisées sur le réseau de surveillance indiqueraient une migration des dioxines/furanes vers le pompage, un traitement de l'eau pompée sera à mettre en place. Les dioxines/furanes sont essentiellement retrouvées sur les particules en suspension. De par cette propriété, tous traitements permettant de réduire les matières en suspension permettront de réduire les concentrations en dioxines.

Ces traitements peuvent être en premier lieu la filtration (procédé le plus simple – par exemple, ces molécules sont très bien adsorbées sur les charbons actifs en poudre ou en grain) ou bien la décarbonatation (a priori non prévu sur ce site). Il pourrait aussi être envisagé un traitement des matières en suspension via un filtre à sable pour abaisser aussi les teneurs en dioxines et furanes. Une attention particulièrement devra être apportée au dimensionnement du filtre pour que le temps de passage de l'eau soit suffisant. L'Afssa (Agence française de sécurité alimentaire sanitaire des aliments), dans son avis du 22 mars 2005 relatif à l'établissement d'une valeur maximale admissible de dioxines dans les eaux destinées à la consommation humaine, indique qu'une étude menée au Japon sur 40 usines de production d'eau potable à partir des eaux de surfaces et 5 usines de production à partir des eaux souterraines a montré que les concentrations en dioxines et furanes détectées dans l'eau traitée destinée à la consommation humaine sont toutes inférieures à 1pg TEQOMS/L ; teneur pour laquelle l'Afssa estime que ces eaux destinées à la consommation humaine ne présentent pas de risque sanitaire pour le consommateur au regard de la présence de dioxines et furanes aux teneurs observées dans les échantillons analysés (Saisine n°2003-SA-0305).

ANNEXES



- 1- INVENTAIRE DES POINTS D'ACCES A LA NAPPE (JANV. 2021)
- 2- COUPES GEOLOGIQUES DES PIEZOMETRES PROFONDS ET SUPERFICIELS
- 3- TESTS DE PRODUCTIVITE DES PIEZOMETRES PROFONDS (NOV. 2021)
- 4- PLANS DE L'UNITE DE TRAITEMENT (AQUASSYS)
- 5- FICHES DE PRELEVEMENT
- 6- ANALYSES DES EAUX



ANNEXE 1

INVENTAIRE DES POINTS D'ACCES A LA NAPPE (JANVIER 2021)



ANNEXE 2

COUPES GEOLOGIQUES DES PIEZOMETRES SUPERFICIELS



ANNEXE 3

TESTS DE PRODUCTIVITE DES PIEZOMETRES PROFONDS (NOV. 2021)



ANNEXE 4

PLANS DE L'UNITE DE TRAITEMENT (AQUASSYS)



ANNEXE 5

FICHES DE PRELEVEMENT



ANNEXE 6

ANALYSES DES EAUX