

DEMANDEUR

COMMUNAUTE DE COMMUNES GUILLESTROIS-QUEYRAS
Passage des Ecoles
05600 GUILLESTRE

ZONE D'ETUDE

Château Queyras
CHATEAU-VILLE-VIELLE (05350)

DOSSIER VERSION FINALE

COMPTE RENDU DES ETUDES HYDROGEOLOGIQUES COMPLÉMENTAIRES DU FORAGE AEP ET DE LA NAPPE DU GUIL SUR LA PLAINE DE CHATEAU-QUEYRAS (05)



SOMMAIRE

1	Rappel du Contexte.....	7
1.1	Cadre de l'intervention	7
1.2	Bibliographie.....	7
1.3	Objectif de la mission.....	7
2	Chronologie d'intervention	10
3	Description des ouvrages.....	11
3.1	Localisation	11
3.2	Description des ouvrages.....	16
3.2.1	Forage	16
3.2.2	Piézomètres.....	17
3.3	Inspection vidéo du forage existant.....	18
3.3.1	Matériel utilisé.....	18
3.3.2	Compte rendu inspection vidéo.....	19
3.3.3	Commentaires et interprétations	26
4	Contexte géologique.....	27
4.1	Contexte géologique général	27
4.2	Contexte local	27
4.2.1	Piézomètres peu profond (PZ2 à PZ7).....	27
4.2.2	Piézomètre profond (PZ1)	27
4.2.3	Coupe géologique du forage	28
4.2.4	Caractéristiques de la plaine alluviale.....	28
5	Sens d'écoulement des eaux souterraines	32
5.1	Suivi piézométrique	32
5.1.1	Evolution globale du niveau piézométrique.....	32
5.1.2	Evolution journalière du niveau piézométrique	34
5.1.3	Commentaires et interprétations	37
5.2	Cartes piézométriques	38
5.3	Détermination du gradient de l'aquifère	42
6	Essai de pompage	44
6.1	Condition Climatique	44
6.1.1	Condition climatique globale.....	44
6.1.2	Condition climatique lors des essais de pompage	44
6.2	Protocole d'intervention des essais de pompage.....	45
6.3	Essai par paliers	47
6.4	Essai longue durée	49
6.4.1	Description des méthodes utilisées	49
6.4.2	Premier essai longue durée du 08 juin au 10 juin 2021	51
6.4.3	Second essai longue durée du 21 au 22 juillet 2021	59

6.5	Essai de remontée.....	62
6.5.1	Premier essai de pompage	62
6.5.2	Second essai de pompage	63
6.6	Synthèse des essais longue durée.....	65
6.7	Détermination des paramètres hydrodynamiques	66
6.7.1	Caractéristiques de l'aquifère.....	66
6.7.2	Détermination des paramètres d'entrée.....	66
6.7.3	Rayon d'influence	67
6.7.4	Calcul des isochrones	68
7	Diagraphie de Flux.....	72
7.1	Matériel utilisé.....	72
7.2	Résultats et interprétation.....	72
7.3	Interprétation	73
8	Tracage.....	74
8.1	Généralités	74
8.2	Choix des traceurs.....	74
8.3	Toxicité des traceurs	75
8.4	Détermination du temps de transfert	75
8.5	Détermination des quantités à injecter	76
8.6	Injection des colorants.....	77
8.7	Surveillance des exutoires	78
8.8	Résultats	79
8.9	Interprétation des résultats	79
9	Conclusion.....	82
9.1	Etat de l'ouvrage.....	82
9.2	fonctionnement hydrogéologique	82
9.3	Vulnérabilité, impact du projet et preconisations relatives à la protection de l'ouvrage..	83
9.3.1	Vulnérabilité et impact du projet routier	83
9.3.2	Commentaire sur le tracé des périmètres de protection actuels	83
9.3.3	Préconisation sur le tracé des périmètres de protection futurs	84

Liste des figures

Figure 1 : Schéma d'implantation des différents sondages	12
Figure 2 : Localisation cadastrale des différents sondages (zone Ouest)	13
Figure 3 : Localisation cadastrale des différents sondages (zone centre)	14
Figure 4 : Localisation cadastrale des différents sondages (zone Est).....	15
Figure 5 : photographie et coupe technique du forage (d'après CHAFFAUT 2001)	16
Figure 6 : Photographies de l'intérieur de la chambre de pompage	17

Figure 7 : caméra mise en œuvre pour l'inspection du forage (LAVAL RC CAM 1000 XS)	19
Figure 8 : Localisation de la coupe géologique.....	29
Figure 9 : Extrait de la carte géologique	30
Figure 10 : Photographies des carottes	31
Figure 11 : Variation du niveau piézométrique dans l'ensemble des ouvrages du 25 mars au 02 septembre 2021	33
Figure 12 : Variation du niveau du Guil entre le 24 avril et le 02 septembre 2021.....	33
Figure 13 : Variations journalières du Guil entre le 07/06/21et 21/06/21	34
Figure 14 : variation du niveau piézométrique dans PZ1.....	34
Figure 15 : Variation du niveau piézométrique dans PZ2	35
Figure 16 : Variation du niveau piézométrique dans PZ3	35
Figure 17 : Variation du niveau d'eau dans PZ4	36
Figure 18 : Variation du niveau piézométrique dans PZ7	36
Figure 19 : Localisation des points de mesure pour l'élaboration de la carte piézométrique.....	39
Figure 20 : Carte piézométrique du 14 avril 2021	40
Figure 21 : Carte piézométrique au 02 septembre 2021	41
Figure 22 : Condition climatique à la station d'Embrun depuis janvier 2021	44
Figure 23 : Précipitations journalières enregistrées à la station d'Embrun durant les essais de pompages	45
Figure 24 : Débitmètre ChronoFLO2 HYDREKA et sonde de mesure de niveau de DIVER.....	46
Figure 25 : Variation du niveau d'eau dans le forage lors des essais par paliers	47
Figure 26 : Courbe caractéristique du forage.....	48
Figure 27 : Variation du rabattement dans le forage lors du premier essai de pompage	51
Figure 28 : Variation du rabattement dans le forage lors du premier essai de pompage (échelle logarithmique).....	52
Figure 29 : Courbe de calage du modèle de THEIS sur la droite expérimentale (premier essai de pompage sur le forage).....	53
Figure 30 : Variation du rabattement dans PZ2 lors du premier essai longue durée.....	54
Figure 31 : Variation du rabattement dans PZ2 lors du premier essai de pompage (échelle logarithmique).....	55
Figure 32 : Variation du niveau dans PZ3 du 07 au 15 juin 2021	56
Figure 33 : Variation du niveau d'eau dans PZ4 du 07 au 15 juin 2021.....	57
Figure 34 : Variation du niveau dans PZ7 du 07 au 15 juin 2021	58
Figure 35 : Variation du rabattement dans PZ1 lors du second essai longue durée	59
Figure 36 : Variation du rabattement dans PZ1 lors du second essai longue durée (échelle logarithmique).....	60
Figure 37 : Courbe de calage du modèle de THEIS sur la droite expérimentale (premier essai de pompage sur le forage).....	61
Figure 38 : Variation du rabattement résiduel lors de la remontée dans le forage lors du premier essai de pompage.....	62
Figure 39 : Variation du rabattement résiduel lors de la remontée dans PZ1 lors du second essai de pompage	63
Figure 40 : Localisation des isochrones (10, 50, 100 et 150 jours	71
Figure 41 : Fluxmètre SEBA Mini Current M1.....	72
Figure 42 : Courbe de restitution des données de mesures de flux.....	72
Figure 43 : Spectre des traceurs fluorescents	74
Figure 45 : Injection NaCL dans PZ1.....	77
Figure 47 : Injection Sulforhodamine dans PZ3.....	77

Figure 46 : Injection fluorescéine dans PZ4.....	77
Figure 44 : Injection Naphtionate dans PZ2	77
Figure 48 : Concentration en traceur dans les eaux du forage du 03/08 au 02/09.....	79
Figure 49 : écoulement supposé de la fluorescéine depuis PZ4.....	81
Figure 50 : Proposition de périmètres de protection (du Chaffaut 2001)	83
Figure 51 : Proposition de tracé d'un nouveau PPI	85
Figure 52 : Proposition de tracé d'un nouveau PPR	86

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Contenu des différentes phases de la mission	9
Tableau 2 : Chronologie des différentes interventions.....	10
Tableau 3 : Coordonnées GPS de l'ensemble des ouvrages.....	11
Tableau 4 : données des différentes campagnes piézométriques	32
Tableau 5 : Variations piézométriques journalières des ouvrages.....	37
Tableau 6 : Valeurs du gradient de l'aquifère	42
Tableau 7 : Valeurs des niveaux statiques au 07/06 et au 21/07.....	46
Tableau 8 : synthèse des paramètres hydrodynamiques	65
Tableau 9 : valeurs du rayon d'influence	67
Tableau 10 : Détermination des isochrones (10, 50,100 et 150 jours) pompage continu.....	68
Tableau 11 : Détermination des isochrones (10, 50, 100 et 150 jours) pompage intermittent	69
Tableau 12 : Détermination des isochrones (10, 50,100 et 150 jours) apports latéraux hypothèse haute	69
Tableau 13 : Détermination des isochrones (10, 50,100 et 150 jours) apports latéraux hypothèse basse	70
Tableau 14 : Détermination de la vitesse de transfert des traceurs	76

Annexes

ANNEXE 1 : Fiche d'identité du Forage	89
ANNEXE 2 : Fiche d'identité du piézomètre PZ1	90
ANNEXE 3 : Fiche d'identité du piézomètre PZ2.....	94
ANNEXE 4 : Fiche d'identité du piézomètre PZ3.....	96
ANNEXE 5 : Fiche d'identité du piézomètre PZ4.....	98
ANNEXE 6 : Fiche d'identité du piézomètre PZ5.....	100
ANNEXE 7 : Fiche d'identité du piézomètre PZ6.....	102
ANNEXE 8 : Fiche d'identité du piézomètre PZ7.....	104
ANNEXE 9 : Données brutes de la diagraphie par micromoulinet.....	106
ANNEXE 10 : Fiche technique du débitmètre Chrono	107
ANNEXE 11 : Fiche technique de l'enregistreur de niveau de type DIVER	111

Liste des abréviations

AEP : Alimentation en eau potable

BRGM : Bureau de recherches Géologiques et Minières

BSS : Banque du Sous-Sol

HMT : Hauteur Manométrique Totale

NGF : Nivèlement Général de la France

PPI : Périmètre de protection immédiate

1 RAPPEL DU CONTEXTE

1.1 CADRE DE L'INTERVENTION

Dans le cadre du projet d'aménagement et de restauration du Guil incluant le déplacement de la route-digue RD947 sur la plaine de Château-Queyras, un avis hydrogéologique a été demandé pour évaluer l'impact de ces travaux sur le forage AEP existant, situé dans la nappe du Guil à Château-Queyras.

Le projet prévoit, en effet, une recharge sédimentaire notable du Guil sur plus d'un kilomètre, un recul du remblai-digue de la route dans le Périmètre de Protection Rapprochée ainsi que le remblai par des matériaux alluvionnaires en excédent de l'ensemble de cette zone, située en périmètre de protection, en arrière de la digue route.

Le forage d'AEP, réalisé en 1968, alimente aujourd'hui la commune de Château Villevieille lorsque les autres ressources en eau ne sont plus suffisantes. L'ouvrage ne dispose pas d'une DUP, quoique des limites de périmètres de protection aient été définies.

Fin septembre 2020, un avis préliminaire a été établi par M. Yves Bertholon, Hydrogéologue Agréé, qui, en l'absence de données suffisantes concernant les caractéristiques de la nappe en ce point et en l'absence de toute analyse concernant le fonctionnement du forage, conclut sur la nécessité de réaliser des études complémentaires indispensables à la bonne connaissance hydrogéologique du site.

A cette fin, la société ERG GEOTECHNIQUE et son sous-traitant INGENERIA, bureau d'études en hydrogéologie, ont effectué dans un premier temps des investigations géotechniques, puis dans un second temps des études hydrogéologiques sur le forage AEP et la nappe du Guil.

1.2 BIBLIOGRAPHIE

La liste des documents consultés pour la rédaction de ce rapport est la suivante :

- Fiche BSS n° 0047/4X/0003 du forage de Queyras www.infoterre.fr , 1988, 2 p.
- Avis hydrogéologique sur le projet d'aménagement du Guil déplacement de la route-digue sur la plaine de Château-Queyras – réf. R 08-2020 du 24/09/2020 – Yves Bertholon, 18 p.
- Compte rendu factuel d'investigations géotechniques – pose de piézomètres – Rapport ERG réf. 20 MG 571 Ba GE MBA MON du 31/08/2021, 20p.
- Carte géologique au 1/50 000 n° 847 « Guillestre » ; BRGM 1966 ; J. DEBELMAS et M. LEMOINE
- Carte géologique au 1/50 000 n° 848 « Aiguilles – Col Saint-Martin » ; BRGM 2003 ; P. TRICART

1.3 OBJECTIF DE LA MISSION

L'objectif de la mission est de fournir à l'hydrogéologue agréé en matière d'hygiène publique, M. Yves BERTHALON, les informations nécessaires à l'élaboration de son avis sur le projet de d'aménagement du Guil et relatif au déplacement de la route-digue sur la plaine de Château-Queyras.

Comme décrit dans son rapport, l'hydrogéologue agréé demande la réalisation d'études complémentaires qui s'articule en 5 phases :

- **Phase 1** : Auscultation vidéo du forage
- **Phase 2** : Réalisation de 5 piézomètres
- **Phase 3** : Réalisation d'un essai de pompage par paliers et d'un essai de pompage longue durée
- **Phase 4** : Réalisation de multi-traçage hydrogéologique
- **Phase 5** : Elaboration d'une carte de vulnérabilité

Le contenu des différentes phases est le suivant :

Phases	Moyens et outils	Commentaires - Objectifs
Phase 1 : Auscultation vidéo du forage	Inspection vidéo : caméra immergeable à 300 m, visée axiale et latérale 360 ° Examen des tubages et des crépines – état de corrosion et ou de colmatage – vérification des cotes de l'ouvrage	Inspection sans dépose des équipements Remise d'un rapport avec photos et vidéo Recommandation de régénération et chiffrage des travaux éventuels
Phase 2 : Réalisation des piézomètres	Réalisation de 7 piézomètres (dont 2 ayant été réalisés pour une étude géotechnique) avec une sondeuse BOART LONGYEAR DB320	La réalisation des piézomètres va nous permettre de définir la géologie locale du secteur. C'est pourquoi le PZ1 sera profond de 48 m, afin de recouper l'intégralité des horizons alluvionnaires
Phase 3 : Réalisation d'un essai de pompage	Mesure de flux au moyen d'un micromoulinet, avec équipement de pompage en place	Vérification de l'intégrité de la chambre de pompage Détermination des cotes exactes et proportionnelle des arrivées d'eau
	Pompage d'essai par paliers : 4 paliers de débits croissant avec les pompes d'exploitation – durée 1 heure par palier suivi d'une remontée de temps identique Mise en place d'un débitmètre électromagnétique et de sondes piézométriques enregistreuses	Etablissement de la courbe caractéristique ; calcul des pertes de charges linéaire et quadratiques ; détermination du débit critique ; comparaison au débit d'origine ; recommandation de régénération (si besoin)
	Pompage d'essai de longue durée au débit d'exploitation – avec les pompes en place ; Suivi du débit et du niveau par un débitmètre électromagnétique et mise en place de sondes piézométriques enregistreuses placées dans le forage et dans les 5 piézomètres environnants.	Mesure de la transmissivité et du coefficient d'emménagement de l'aquifère Calcul des limites (si atteintes au terme de l'essai) Détermination du rayon d'influence par la méthode de Wyssling Détermination des distances d'appel à 10, 50 et 100 jours Etablissement d'une carte piézométrique (nécessite un lever topo précis des points mesurés)
Phase 4 : Réalisation d'un traçage coloré	Multi traçage radial ; Injection simultanée de 4 traceurs dans 4 piézomètres : - Uranine (fluorescéine) dans piézo lointain (PZ4) - Naphtionate dans PZ2 - Sulforhodamine B dans PZ3	Analyse de l'équation de transfert, calcul des paramètres hydrodispersifs. - Temps minimum et maximum de transit - Vitesse moyenne de transit

Phases	Moyens et outils	Commentaires - Objectifs
	- Chlorure de Sodium dans piézo immédiat (PZ1) Suivi par fluorimètre 3 spectres et sonde conductivité	- Volume de traceur restitué - Résultat en % de traceur restitué
Phase 4 : Réalisation d'un traçage colorés	Suivi débit et niveau par débitmètre électromagnétique et sondes piézométriques enregistreuses placées dans le forage et dans 4 piézos environnants.	Rapport de traçage incluant : - Carte de situation - Descriptif chiffré des opérations de traçage - Courbes de restitution par traceur - Carte des vitesses de transfert Ces éléments permettront de dresser la carte de vulnérabilité
Phase 5 : Elaboration d'une carte de vulnérabilité	En se basant sur les données déjà listées par EDACERE dans son rapport de 2001 une carte de vulnérabilité du secteur sera dressée. Chaque activité reconnue fera l'objet d'une évaluation sommaire du risque et sera classée par ordre de risque croissant.	L'élaboration de la carte de doit permettre de définir avec précision les risques de pollutions des eaux souterraines. Pour diminuer ces risques au maximum, des préconisations seront émises, préfigurant l'avis final de l'hydrogéologue agréé.

Tableau 1 : Contenu des différentes phases de la mission

Les points présentés ci-dessus reprennent les demandes émises par l'hydrogéologue agréé dans son rapport.

Le présent document constitue le rapport final d'interprétation des différentes études hydrogéologiques réalisées.

2 CHRONOLOGIE D'INTERVENTION

Les études hydrogéologiques complémentaires ont été réalisées du 09 avril 2021 au 02 septembre 2021, la chronologie d'intervention est la suivante :

Date	Nature de l'intervention	Intervenant
Du 09 au 13 Avril 2021	Réalisation des 7 piézomètres selon les recommandations de l'hydrogéologue agréé.	ERG GEOTECHNIQUE
14 Avril 2021	Réalisation de la première campagne de mesure piézométrique	ERG GEOTECHNIQUE
Du 07 au 08 Juin 2021	Mise en place des sondes enregistreuses de niveau dans l'ensemble des ouvrages. Réalisation des essais de pompage par paliers croissants de débit (24, 32, 52 et 60 m ³ /h) Réalisation de la seconde campagne de mesure piézométrique	INGENERIA
08 Juin 2021	Lancement de l'essai de pompage longue durée (50 heures) à un débit fixe de 62 m ³ /h Première tentative de l'auscultation vidéo du forage, cette dernière s'est avérée infructueuse étant donné l'importante turbidité de l'eau	INGENERIA
10 Juin 2021	Arrêt du pompage longue durée après 50 heures de pompage. Les sondes enregistreuses de niveau ont été laissées en place ce qui permet de suivre la remontée du niveau dans son intégralité	INGENERIA
21 Juillet 2021	Lancement du second essai de pompage longue durée (27 heures) Réalisation de l'auscultation vidéo du forage	INGENERIA
22 Juillet 2021	Arrêt de l'essai longue durée après 27 heures de pompage. Les sondes enregistreuses de niveau ont été laissées en place ce qui permet de suivre la remontée du niveau dans son intégralité	INGENERIA
03 Aout 2021	Mise en place du fluorimètre dans le forage d'AEP Injection des colorants : - 10 kg NaCl dans le PZ1 - 1 kg de Naphtionate dans le PZ2 - 2 kg de Sulforhodamine B dans PZ3 - 4 kg Fluorescéine dans le PZ4 Réalisation de la troisième campagne de mesure piézométrique	INGENERIA
17 Aout 2021	Purge intermédiaire des données du fluorimètre Réalisation de la quatrième campagne de mesure piézométrique	INGENERIA
02 Septembre 2021	Retrait du fluorimètre après 1 mois de mesure en continu Réalisation de la cinquième campagne de mesure piézométrique Réalisation de la diagraphie de flux par micromoulinet par les équipements de pompage en place	INGENERIA

Tableau 2 : Chronologie des différentes interventions

3 DESCRIPTION DES OUVRAGES

3.1 LOCALISATION

Les différentes coordonnées GPS des piézomètres ont été déterminées par l'intermédiaire d'un GPS de terrain de type Garmin et sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Nom	Lambert 93		WGS 84		Z (NGF)
	X	Y	Latitude	Longitude	
Forage	1 000 550,8	6 413 784,304	44,75811111	6,799194444	1 352
PZ1	1 000 557,2	6 413 788,032	44,75813889	6,799277778	1 352
PZ2	1 000 559,7	6 413 828,025	44,7585	6,799333333	1 354
PZ3	1 000 688,7	6 413 754,11	44,75777778	6,800916667	1 352
PZ4	1 001 021,7	6 413 899,282	44,758943	6,805208	1 359
PZ5	1 001 532,2	6 414 009,752	44,759711	6,811719	1 369
PZ6	1 001 532,2	6 414 009,752	44,760306	6,814259	1 366
PZ7	1 000 849,8	6 413 882,257	44,75886111	6,803027778	1 354

Tableau 3 : Coordonnées GPS de l'ensemble des ouvrages

De nombreux autres sondages ont été réalisés dans le cadre de l'étude géotechnique (carottage, sondages pressiométriques, sondages destructifs), leurs localisations sont présentées dans les figures 1 à 4. Bien que ces ouvrages aient été réalisés dans le cadre de l'étude géotechnique du secteur, ils permettent de définir avec une plus grande précision la géologie locale.

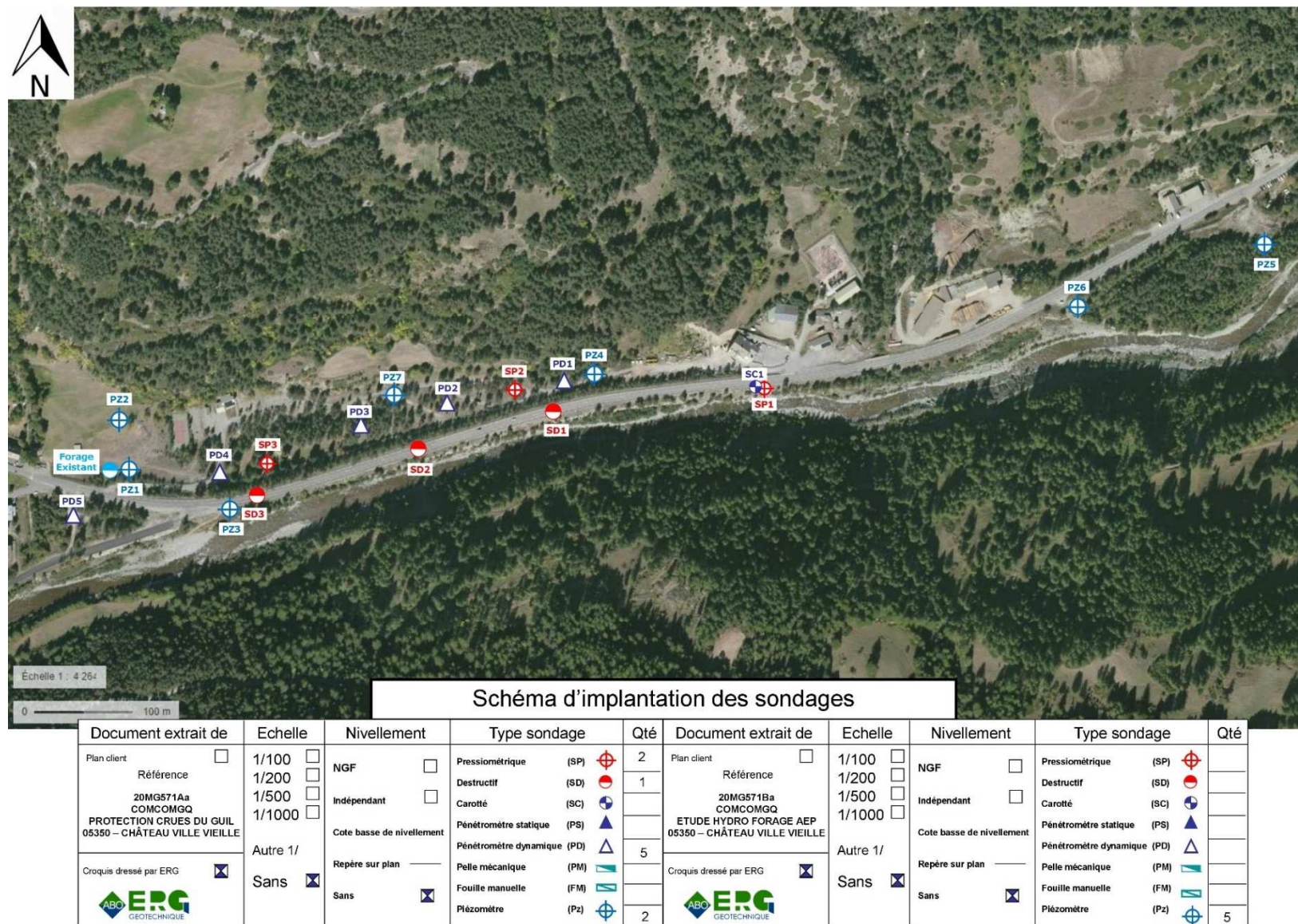


Figure 1 : Schéma d'implantation des différents sondages

Communauté des Communes du Guilstrois Queyras (05)
Compte rendu des études hydrogéologiques complémentaires du forage AEP
et de la nappe du Guil sur la plaine de Château-Queyras

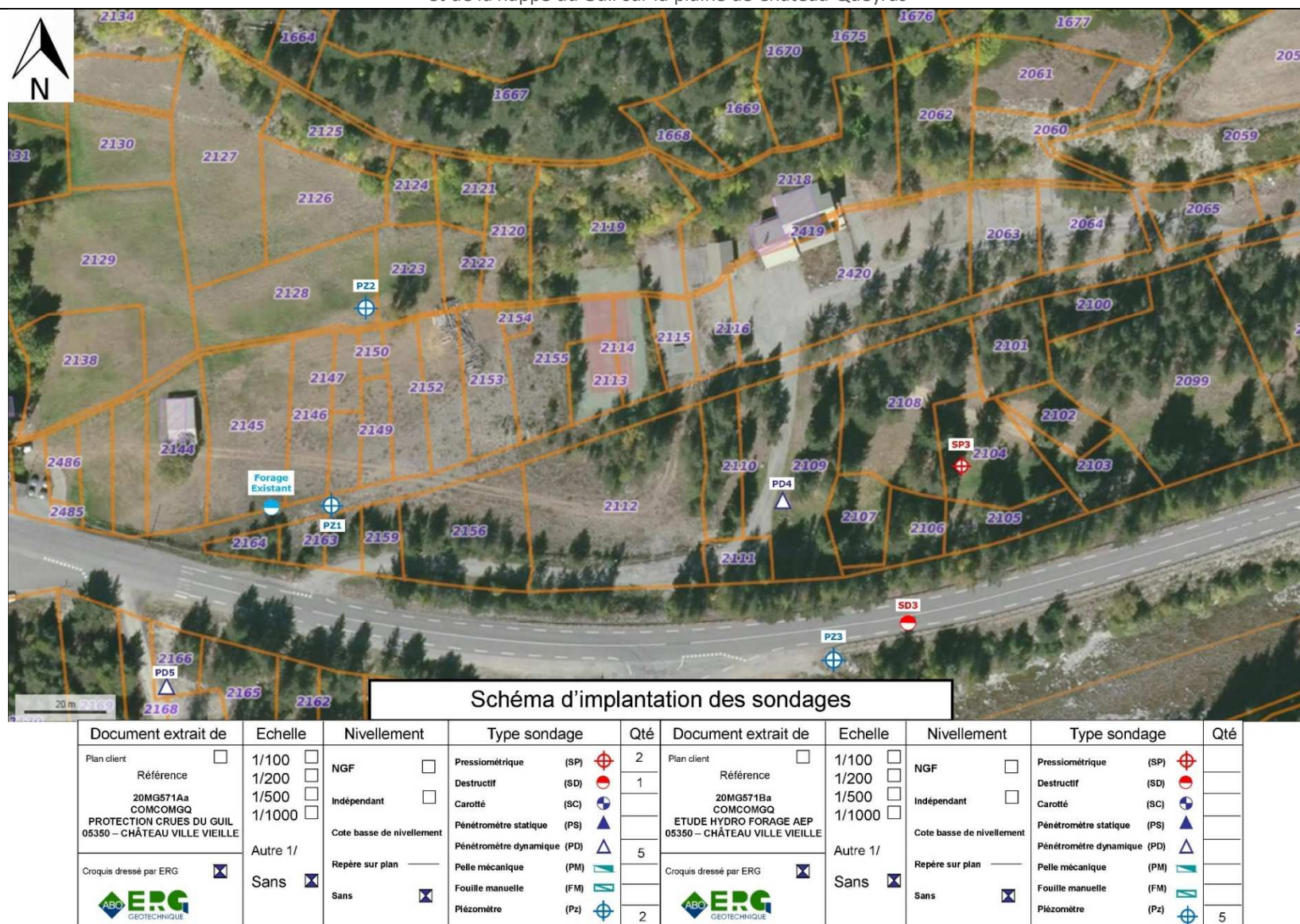


Figure 2 : Localisation cadastrale des différents sondages (zone Ouest)

Communauté des Communes du Guilvestrois Queyras (05)
Compte rendu des études hydrogéologiques complémentaires du forage AEP
et de la nappe du Guil sur la plaine de Château-Queyras

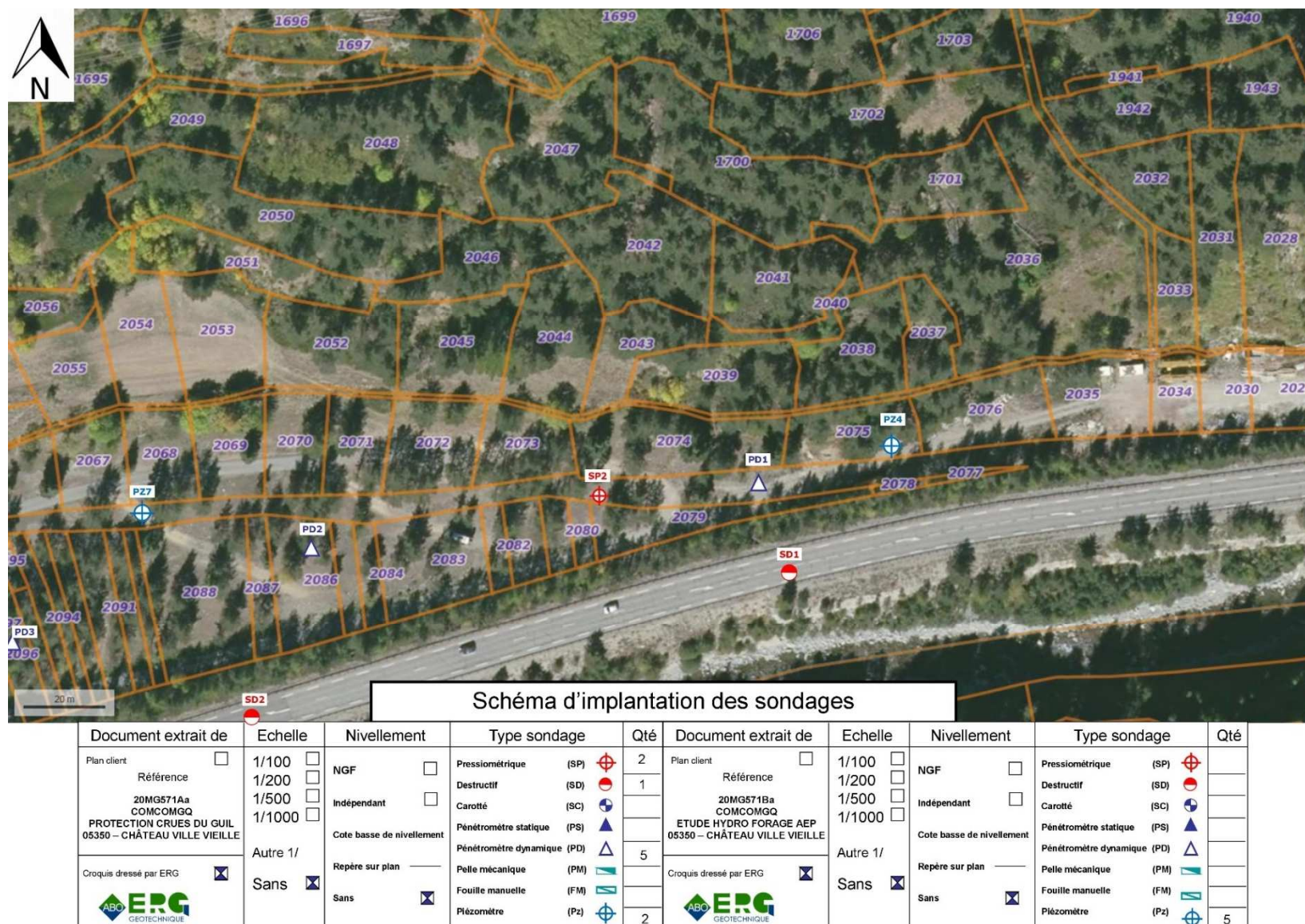


Figure 3 : Localisation cadastrale des différents sondages (zone centre)

Communauté des Communes du Guillestrois Queyras (05)
Compte rendu des études hydrogéologiques complémentaires du forage AEP
et de la nappe du Guil sur la plaine de Château-Queyras

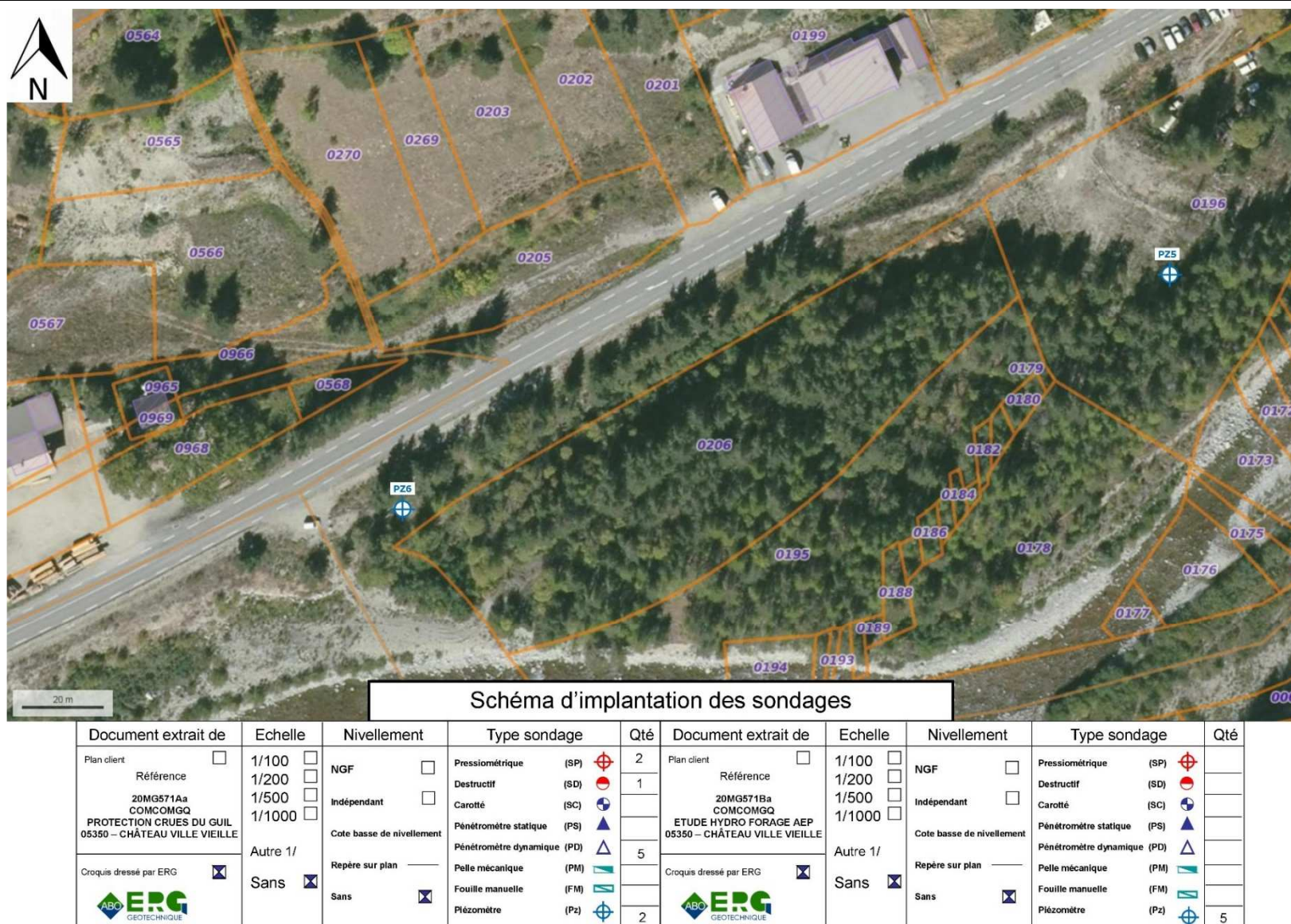


Figure 4 : Localisation cadastrale des différents sondages (zone Est)

3.2 DESCRIPTION DES OUVRAGES

3.2.1 Forage

Selon la bibliographie l'ouvrage aurait été réalisé au début des années 1980. Sa coupe technique, avant examen de l'ouvrage, est la suivante :

- Chambre de tête de forage enterrée, fermée par un capot FOUG
- Prétubage en acier Ø 700 mm du fond du regard jusqu'à une profondeur inconnue
- Cimentation annulaire du tubage acier Ø 700 sur une profondeur inconnue
- Colonne de pompage en tubage acier Ø 450 mm (4 mm d'épaisseur) jusqu'à 21,0 m/sol
- Colonne de captage en tubage acier Ø 450 mm crépiné de 21,0 à 33,0 m/sol
- Pas d'information sur la présence d'un massif filtrant de gravier ou d'un bouchon de fond
- Le forage est équipé de deux pompes d'une capacité de production de 62 m³/h pour une HMT inconnue

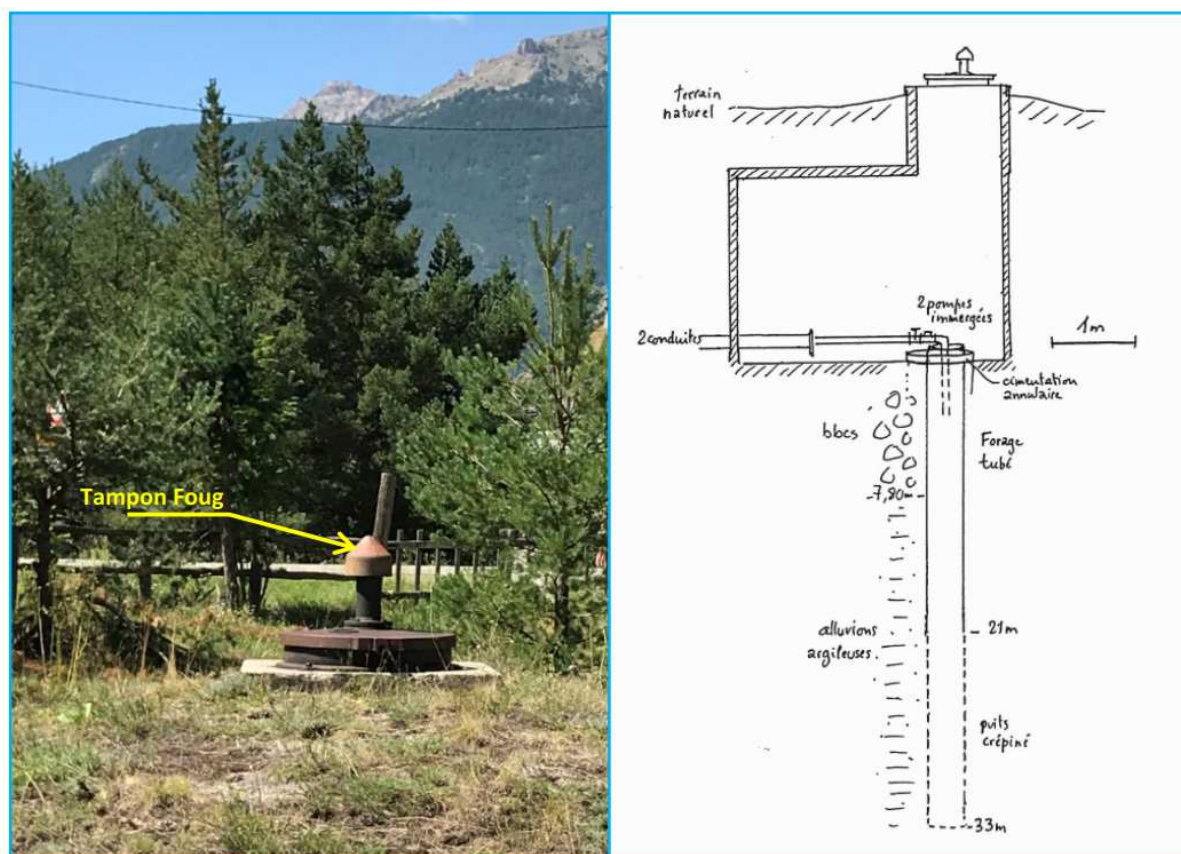


Figure 5 : photographie et coupe technique du forage (d'après CHAFFAUT 2001)



Figure 6 : Photographies de l'intérieur de la chambre de pompage

3.2.2 Piézomètres

Les sondages de reconnaissance, PZ1 à PZ7 ont été effectués par ERG au moyen d'une sondeuse BOART LONGYEAR DB320 équipée d'un carottier sonique de diamètre 4" (100 mm) et d'un tubage sonique de diamètre 6" (150 mm), avec de l'eau comme fluide de forage.

Les sondages de reconnaissance PZ5 et PZ6 ont été réalisés avec le même matériel, mais dans le cadre d'une étude géotechnique de conception G2 phase Avant-Projet pour le projet de requalification du torrent du Guil.

L'ensemble des piézomètres ont fait l'objet d'un équipement :

- Des tubes PVC (qualité alimentaire) de diamètres intérieur/extérieur 52/60mm
 - o Plein entre 0 et 3 m/sol
 - o Crépinés entre 3 et 10 m/sol pour tous les ouvrages sauf PZ1 qui est crépiné de 3 à 48 m/sol
- Protection en tête par un pré tubage métallique d'une hauteur moyenne de 80 cm
- Margelle en béton de 20 cm de hauteur de 40 cm de largeur
- Cimentation annulaire du piézomètre de 0 à 0,5 m/sol
- Mise en place d'un massif filtrant de gravier 1,5/3 cm
- Bouchon de fond

Les coupes techniques et géologiques de ces ouvrages sont données en annexe du présent document. Elles ont été établies sur la base des carottes extraites.

Après leur réalisation, les piézomètres ont été développés à l'aide d'air comprimé selon la méthode de l'Air lift.

3.3 INSPECTION VIDEO DU FORAGE EXISTANT

3.3.1 Matériel utilisé

Les équipements d'inspection vidéo ont été fournis et mis en place par le bureau d'études INGENERIA, société spécialisée en diagnostic d'ouvrages souterrains (puits, forage) et en solutions de mesures hydrogéologiques.

Matériel d'inspection vidéo mis en œuvre :

CAMERA	
Diamètre	50 mm ; centreur adaptable pour gros diamètres
Type capteur optique	CDD 1/3 pouce
Rotation image	Tête fixe visée axiale grand champ 18 LEDS haute intensité
Eclairage intégré	Caméra latérale rotation à 360° 32 LEDS haute intensité
Protection ambiance humide	IP66, submersible jusqu'à 500 m
TREUIL	
Longueur de câble	300 m
Manœuvre	Motorisé ; vitesse réglable
Mesure de profondeur	Sur bras de descente par roue codeuse ; précision 3%
MONITEUR	
Ecran	7 pouces TFT LCD 480xRGBx234 bandes
Affichage profondeur	Affichage sur écran (en m)
Enregistrement	Sur Carte SD, via lecteur intégré Duplication directe sur PC via interface USB

Le montage de la vidéo est effectué par le logiciel Movie Maker de Microsoft.



Figure 7 : caméra mise en œuvre pour l'inspection du forage (LAVAL RC CAM 1000 XS)

3.3.2 Compte rendu inspection vidéo

Les images ci-dessous sont extraites du film de l'inspection vidéo réalisée le 27/07/21 sur le forage d'AEP :

Film de 31 minutes



Toutes les côtes des prochaines illustrations seront données à partir du rebord du capot fonte.	 2021-07-21 11:28:44 B123456 Zéro compteur = rebord du capot fonte Preset 0000.00m CH 01
Vue axiale de l'intérieur du forage, nous pouvons observer la présence des deux colonnes d'exhaure ainsi que les câbles d'alimentation non solidarifiée à la colonne.	 2021-07-21 11:30:36 B123456 0003.44m CH 01
Vue latérale de la colonne d'exhaure de la pompe n° 2. Cette colonne dispose de raccords visés. On note également que le câble d'alimentation de la pompe n'est pas solidarifié avec la colonne. Ce raccord est en excellent état.	 2021-07-21 11:31:25 B123456 0005.54m CH 01
Vue latérale du raccord à brides de la colonne d'exhaure de la pompe n° 1. Ce raccord est en excellent état.	 2021-07-21 11:32:23 B123456 0006.55m CH 01

Niveau statique	
Vue axiale au-dessus du niveau statique. Nous pouvons observer de légers concrétionnements ferrugineux sur le tubage du forage. Ces derniers ne portent pas atteinte à l'intégrité du forage. Aucun dépôt n'est présent sur la surface de l'eau.	
Vue axiale de la partie immergée. La turbidité est importante et la visibilité est faible. De nombreuses particules en suspension sont présentes.	
Vue latérale du tubage du forage. Nous notons la présence d'une importante couche de concrétionnements.	

Vue axiale du forage. Les concrétions sont de plus en plus importantes.	2021-07-21 11:37:07 B123456  0010.75m CH 01
Vue latérale sur le raccord de soudure du forage.	2021-07-21 11:39:14 B123456  0012.00m CH 01
Vue latérale de la bride n° 2 de la colonne d'exhaure de la pompe n° 1. Nous observons de nombreux dépôts sur cette dernière qui ne nous permettent pas de définir avec précision son état.	2021-07-21 11:40:25 B123456  0012.95m CH 01
Vue latérale sur la boîte de jonction du câble électrique de la pompe n° 1 Présence d'un floc bactérien très développé	2021-07-21 11:41:37 B123456  0014.32m CH 01

Vue latérale du tubage du forage. Nous observons de très importants dépôts.	
Vue latérale de la bride n° 3 de la colonne d'exhaure n° 1. Nous observons de très nombreux dépôts sur cette dernière. Cette bride marque le haut de la pompe n° 1.	
Vue latérale de la crépine d'aspiration de la pompe n° 1. Nous observons de nombreux dépôts à l'intérieur de cette dernière	
Vue latérale de la crépine d'aspiration de la pompe n° 2. Nous observons de nombreux dépôts à l'intérieur de cette dernière.	

Vue latérale du bas de la pompe n° 2.	
Vue axiale du forage sous la cote d'installation des pompes d'exhaure. Nous observons de très grosses concrétions qui rendent difficile le passage de la caméra.	
Vue axiale d'une importante concrétion	
Vue latérale d'importantes concrétions calcaires	

Vue latérale d'une possible présence de crépine	
Vue axiale d'une importante concrétion.	
Vue axiale d'une très importante concrétion qui occupe environ 1/3 du diamètre du forage.	
Atteinte du fond de l'ouvrage. Il ne nous est pas possible de déterminer l'épaisseur des dépôts ou la présence d'un bouchon de fond de trou.	

3.3.3 Commentaires et interprétations

Le forage AEP de Château Queyras n'avait jamais fait l'objet d'une inspection depuis sa mise en service, au début des années 1980.

L'inspection de 2021, sur toute sa hauteur, donne les résultats suivants :

- Le forage souffre d'un très important encroûtement ferrugineux sur sa partie émergée et De concrétionnements très développés sur sa partie immergée, sous la cote d'installation des pompes et dans la zone théorique de captage. **Ces encroûtements sont tels qu'ils ne permettent pas d'apprécier l'état du tubage du forage.** Certaines de ces concrétions ont rendu le passage de la caméra très difficile (notamment à 30,57 m/sol),
- Le niveau piézométrique se trouve à 7,61m/sol
- Le forage est équipé de deux pompes :
 - ✓ La première est équipée d'une colonne d'exhaure avec des raccords à brides, la crépine d'aspiration de cette pompe est située à 17,55 m/sol.
 - ✓ La seconde est équipée d'une colonne d'exhaure avec des raccords visés, la crépine d'aspiration de cette pompe est située à 21,82 m/sol. Elle se situerait donc en dessous de la cote de début des crépines
 - ✓ Les colonnes d'exhaure sont très fortement concrétionnées et recouvertes d'un floc gélatineux qui n'a pas permis leur observation ni de statuer sur leur état de corrosion éventuel.
- Compte tenu de l'important degré de colmatage de l'ouvrage, les crépines théoriquement présentes à partir de 21,0 m n'ont pu être observées et il **est donc impossible de statuer précisément sur leur position ni sur leur nature.**
- **Le fond de l'ouvrage a été atteint à 32,52 m/sol,** ce qui est en adéquation avec la coupe technique d'origine, qui indique une profondeur de l'ouvrage de 33 m/sol. Le colmatage de fond d'ouvrage est donc relativement faible < à 0,48 m.

4 CONTEXTE GEOLOGIQUE

4.1 CONTEXTE GEOLOGIQUE GENERAL

La zone d'étude est située sur la zone interne des Alpes. Elle appartient à la zone dite des « Schistes Lustrés » (notés S sur la carte géologique), dont les limites et le contact avec les nappes briançonnaises se trouvent tout proche à l'Ouest, au niveau de Fort Queyras. En ce point, un large anticlinal de dolomies et de calcaires triasiques (notés t_3 , t_{3-2} et tK sur la carte géologique) affleure dans le paysage et constitue un verrou rocheux qui vient barrer la vallée.

A l'arrière du verrou s'est développé une petite plaine allongée dans l'axe de la vallée où le soubassement de schistes et de calcschistes est occultée par une forte épaisseur de dépôts alluvionnaires a priori à dominante torrentielle (plus de 30 mètres), mais certainement aussi lacustres entremêlés. C'est à travers ces dépôts qu'a été implanté le forage de Château-Queyras.

Enfin, des moraines, des éboulis et des colluvions recouvrent les versants et les pieds de pente.

Nous pouvons noter la présence de nombreuses failles d'orientation Nord-Sud qui proviennent du pic de l'Agrenier qui culmine à une altitude de 2793 mètres. Sur le flanc situé entre ce pic et le Guil, de nombreux torrents pérennes sont alimentés par des sources, dont l'une d'elle est captée pour l'alimentation en eau potable de la commune.

4.2 CONTEXTE LOCAL

4.2.1 Piézomètres peu profond (PZ2 à PZ7)

Nous observons, sur l'ensemble des piézomètres peu profonds, une homogénéité de la géologie jusqu'à 10 mètres de profondeur. Leur coupe géologique est la suivante :

- De 0 à 10 m : Bloc de gneiss à matrice limono sableuse plus ou moins compacte. La nature de cette géologie est parfaitement présentée dans la figure 10 illustrant les photographies du carottage effectué jusqu'à 7 mètres de profondeur

4.2.2 Piézomètre profond (PZ1)

La coupe géologique du piézomètre profond est la suivante :

- De 0 à 2,70 m : Remblais de grave à matrice limono-sableuse marron. La matrice limono sableuse rend cette formation peu perméable.
- De 2,70 à 8 m : Sable limoneux grossier marron à blocs. La matrice limoneuse rend cette formation peu perméable.
- De 8 à 21 m : Sable grossier brun à passages de blocs de gneiss : cette formation présente une bonne perméabilité théorique
- De 21 à 39 m : argile graveleuse, blocs et schiste gris : l'importante présence d'argile dans cette formation diminue considérablement la perméabilité
- De 39 à 46,50 m : lentilles et sable de galets. Cette formation présente une perméabilité théorique importante.
- De 46.50 à 49.50 m : substratum schisteux

4.2.3 Coupe géologique du forage

Bien que la coupe du forage d'AEP ne soit que partiellement connue, on peut considérer que compte tenu, de l'homogénéité rencontrée dans les piézomètres peu profonds et connaissant celle du piézomètre profond PZ1, la coupe du forage soit identique à ce dernier.

La zone crépinée se trouve entre 23 et 36 mètres, elle ne se situe pas dans la zone la plus aquifère, et le forage étant moins profond que le piézomètre, les formations les plus perméables ne sont probablement pas captées par le forage d'AEP.

4.2.4 Caractéristiques de la plaine alluviale

Les caractéristiques de l'aquifère alluvionnaire alimentant le forage de Château Queyras sont les suivantes :

- Du fait de la présence du verrou situé au niveau du village de Château Queyras, une nappe alluviale s'est formée jusqu'au village de Château Ville-Vielle. Nous ne retrouvons pas de dépôts alluvionnaires en aval jusqu'à la confluence du Guil avec la Durance. Cette nappe alluviale, au droit du forage, est principalement située en rive droite du Guil (zone dans laquelle est implanté le forage) et présente une largeur moyenne de l'ordre de 150 mètres.
- Le piézomètre profond PZ1, conduit jusqu'au substratum schisteux a recoupé l'intégralité des formations alluviales. Leur épaisseur est de l'ordre de 46,50 mètres au droit du forage.
- Aucun autre piézomètre n'a atteint le substratum. On ne connaît donc pas la géométrie exacte de la nappe alluviale.
- La nappe alluviale présente une couverture sablo-limoneuse d'environ 8 mètres d'épaisseur peu perméable.
- Une stratification a pu être mise en évidence sur le PZ1. En effet, nous retrouvons deux zones perméables entre 8 et 21 m et entre 39 et 46,50 m, et des zones moins perméables entre 0 et 8 m et entre 21 et 39 m.

Communauté des Communes du Guillectrois Queyras (05)
Compte rendu des études hydrogéologiques complémentaires du forage AEP
et de la nappe du Guil sur la plaine de Château-Queyras

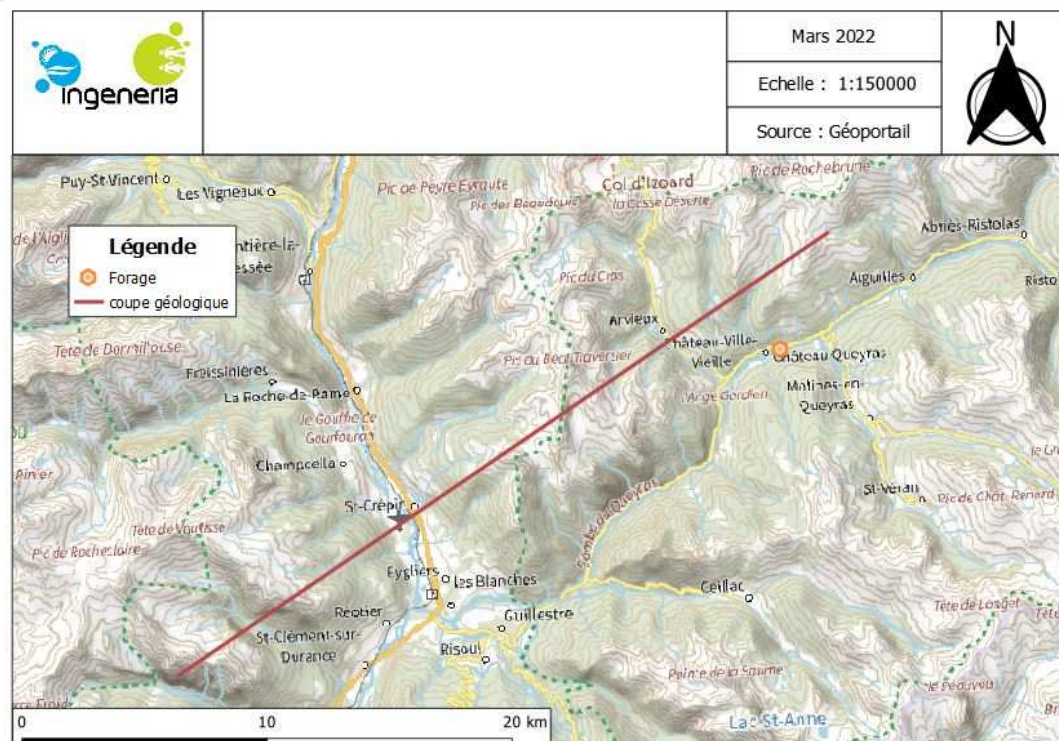
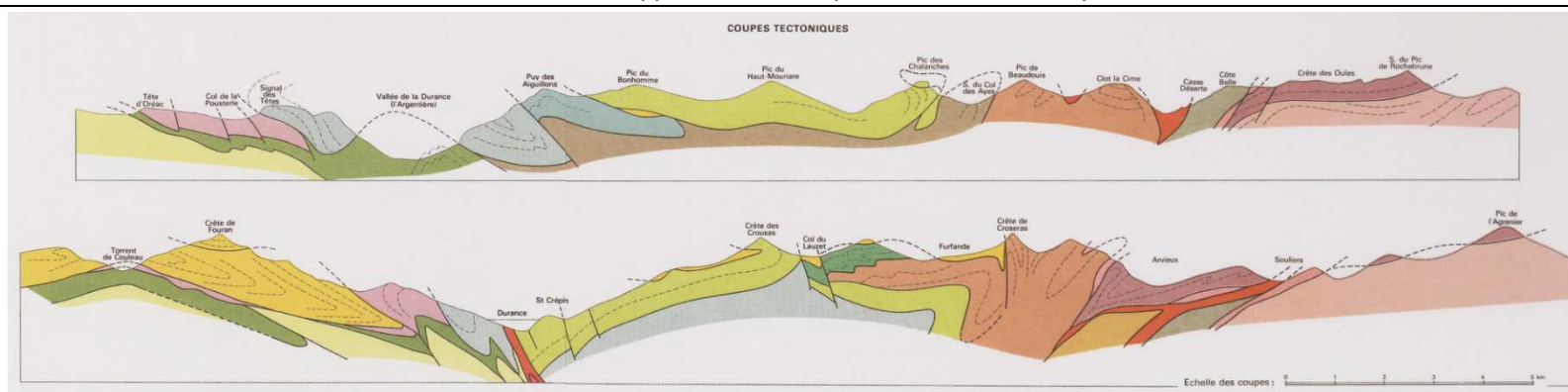
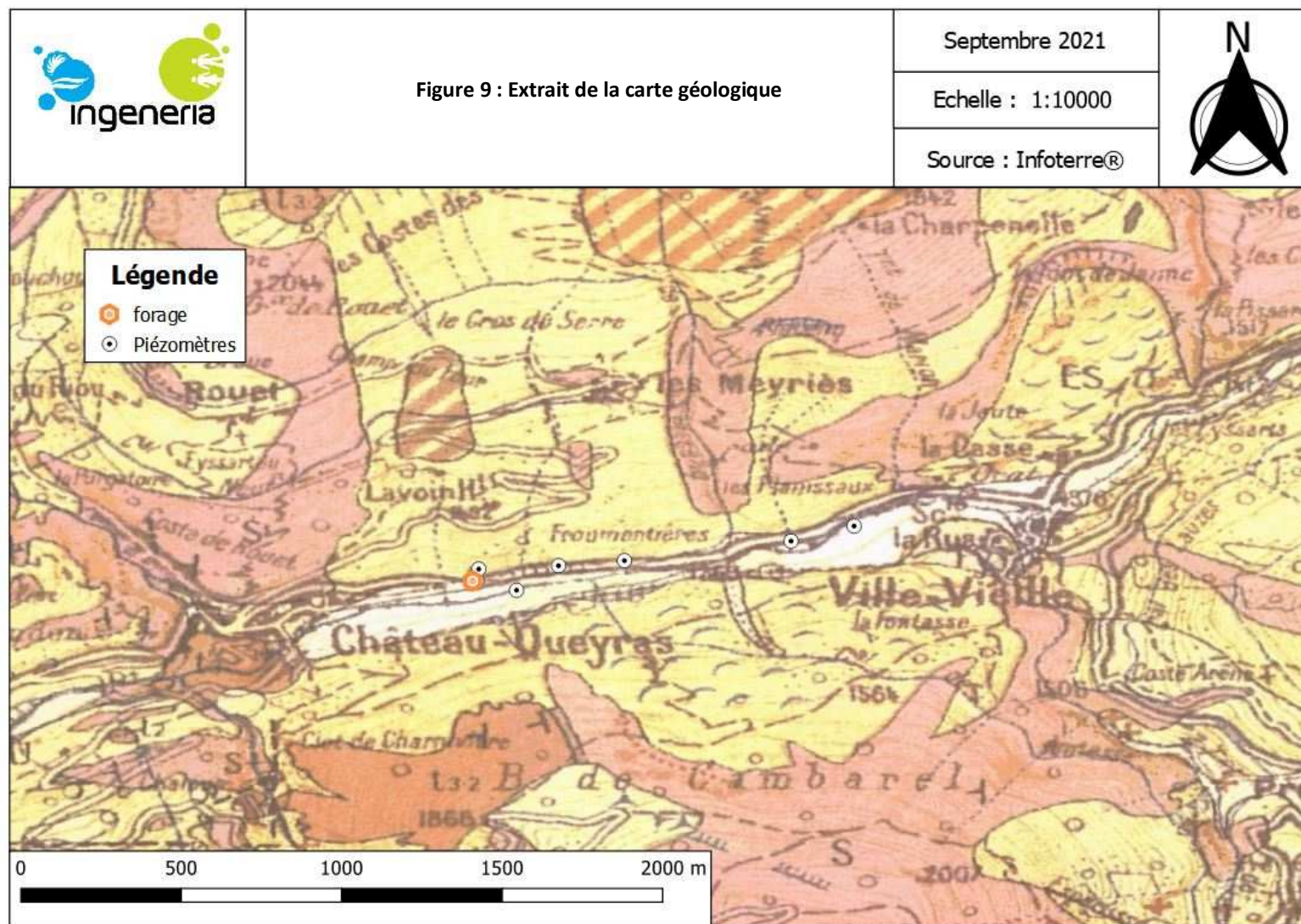


Figure 8 : Localisation de la coupe géologique



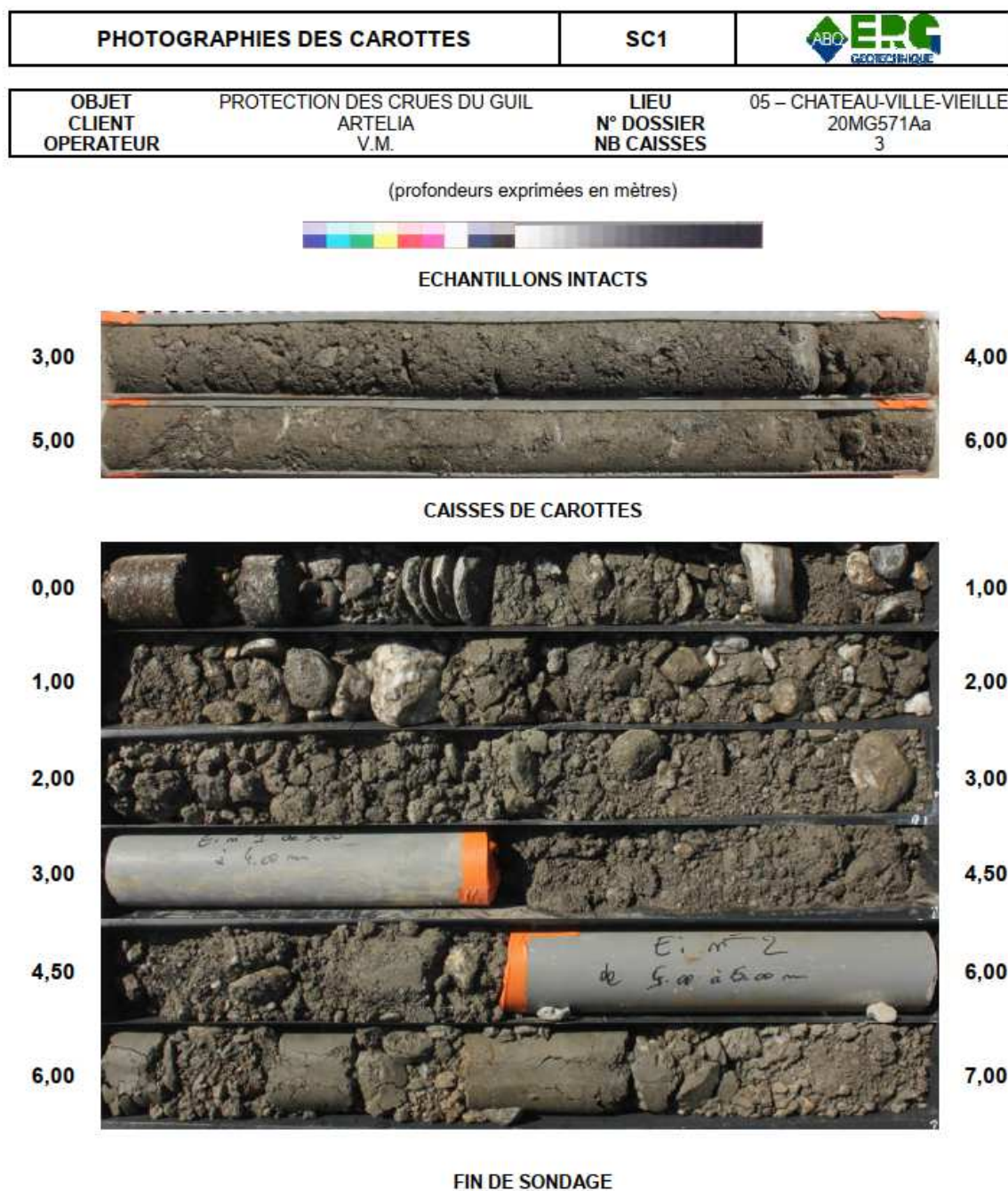


Figure 10 : Photographies des carottes

5 SENS D'ÉCOULEMENT DES EAUX SOUTERRAINES

5.1 SUIVI PIEZOMETRIQUE

5.1.1 Evolution globale du niveau piézométrique

Plusieurs campagnes de mesures piézométriques ont été réalisées sur l'ensemble ou une partie des ouvrages. Les différentes campagnes sont les suivantes :

- Le 12 avril 2021 à la suite des travaux de foration des piézomètres. Lors de cette campagne, le niveau d'eau dans le forage n'a pas été relevé,
- Le 07 juin 2021 avant la réalisation des premiers essais de pompage.
- Le 03 août 2021 avant la réalisation des seconds essais de pompage,
- Le 17 août 2021 lors de la purge du fluorimètre,
- Le 02 septembre 2021 lors du retrait du fluorimètre.

Le tableau ci-dessous synthétise l'ensemble de ces valeurs :

	Repère m/sol	NS 12_04 m/repère	NS 07_06 m/repère	NS 03_08 m/repère	NS 17_08 m/repère	NS 02_09 m/repère	NS/RGF 14_04	NS/RGF 07_06	NS/RGF 03_08	NS/RGF 17_08	NS/RGF 02_09
Forage	1,2	-	7	7,36	7,7	7,78	1345,0	1346,2	1345,8	1345,5	1345,4
PZ1	0,525	6,7	5,69	6,57	6,93	7,02	1345,8	1346,8	1345,9	1345,5	1345,5
PZ2	0,66	6,2	5,4	5,7	5,66	5,78	1348,4	1349,2	1348,9	1349	1348,8
PZ3	0,69	7,8	7,96	8,38	8,47	8,56	1344,8	1344,7	1344,3	1344,2	1344,1
PZ4	0,75	5,1	5,6	6,1	6,15	6,19	1354,67	1354,3	1353,7	1353,7	1353,8
PZ5	0,875	4,3	-	-	-	6,22	1365,5	-	-	-	1363,6
PZ6	0,68	6,9	-	-	-	8,12	1359,7	-	-	-	1358,5
PZ7	0,77	5,3	5,67	6,07	6,17	5,98	1349,4	1349,1	1348,7	1348,6	1348,7

Tableau 4 : données des différentes campagnes piézométriques

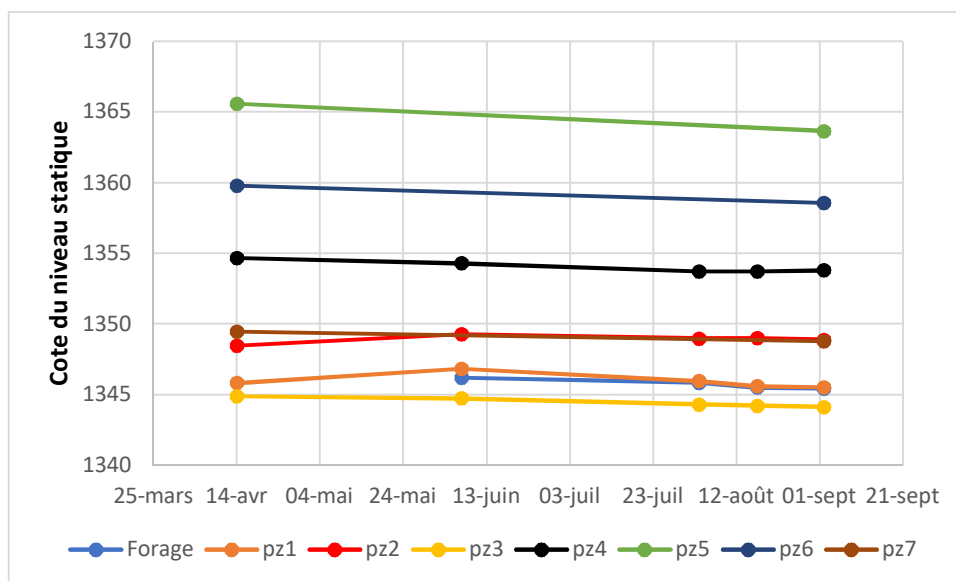


Figure 11 : Variation du niveau piézométrique dans l'ensemble des ouvrages du 25 mars au 02 septembre 2021



Figure 12 : Variation du niveau du Guil entre le 24 avril et le 02 septembre 2021

Les variations du niveau dans le Guil ont été déterminées par l'intermédiaire d'une sonde de type Diver placée directement dans le Guil au droit du forage AEP.

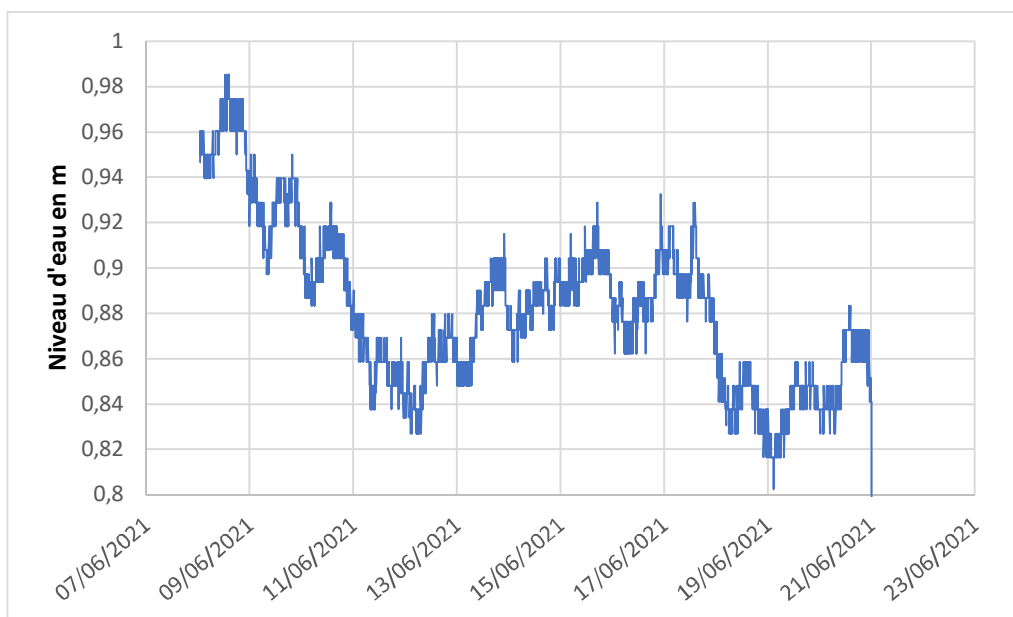


Figure 13 : Variations journalières du Guil entre le 07/06/21 et 21/06/21

5.1.2 Evolution journalière du niveau piézométrique

Les courbes suivantes montrent l'évolution du niveau dans les piézomètres durant la période du 10 au 16 juin 2021 :

5.1.2.1 PZ1

Les variations du niveau piézométrique durant la période du 10 au 16 juin 2021, dans PZ1, sont présentées dans la figure suivante :

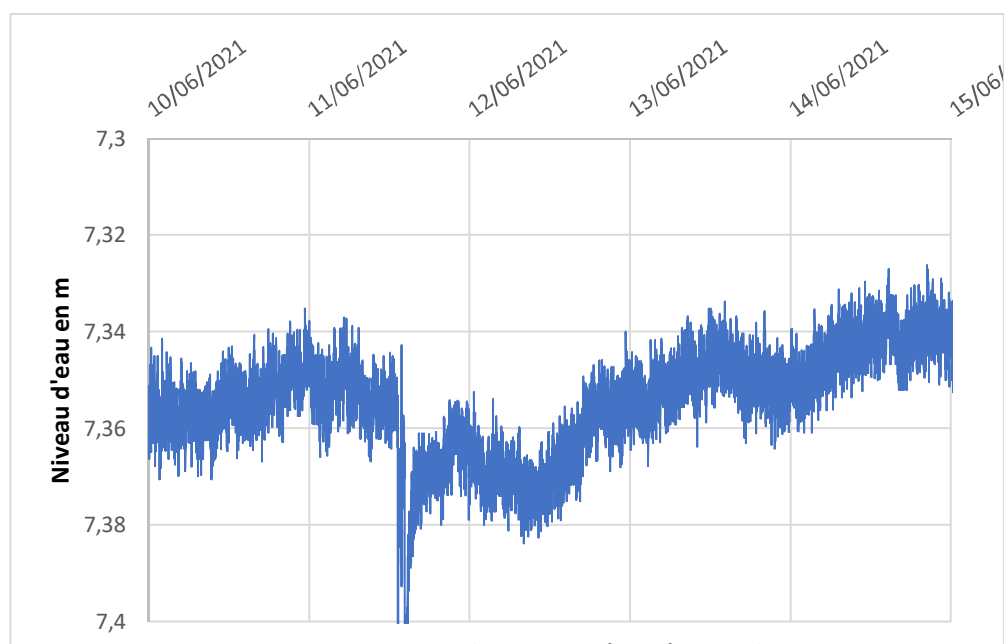


Figure 14 : variation du niveau piézométrique dans PZ1

5.1.2.2 PZ2

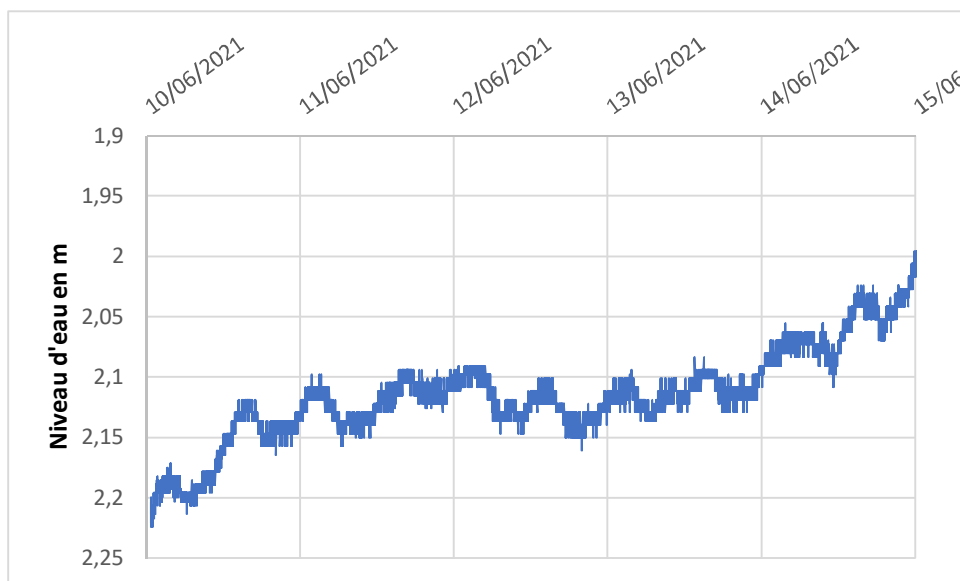


Figure 15 : Variation du niveau piézométrique dans PZ2

Les variations du niveau piézométrique durant la période du 10 au 16 juin 2021, dans PZ2, sont présentées dans la figure suivante :

5.1.2.3 PZ3

Les variations du niveau piézométrique durant la période du 10 au 16 juin 2021, dans PZ3, sont présentées dans la figure suivante :

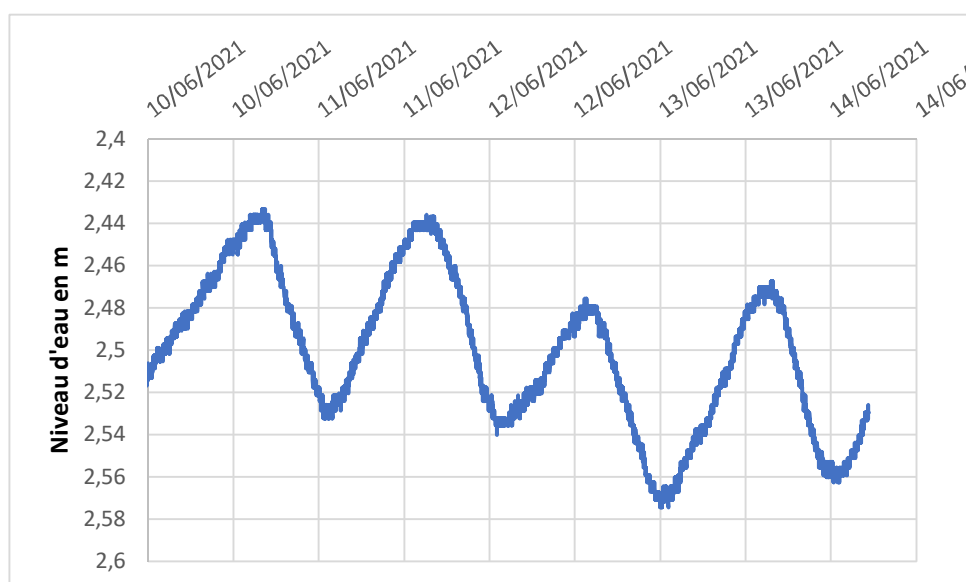


Figure 16 : Variation du niveau piézométrique dans PZ3

5.1.2.4 PZ4

Les variations du niveau piézométrique durant la période du 10 au 16 juin 2021, dans PZ4, sont présentées dans la figure suivante :

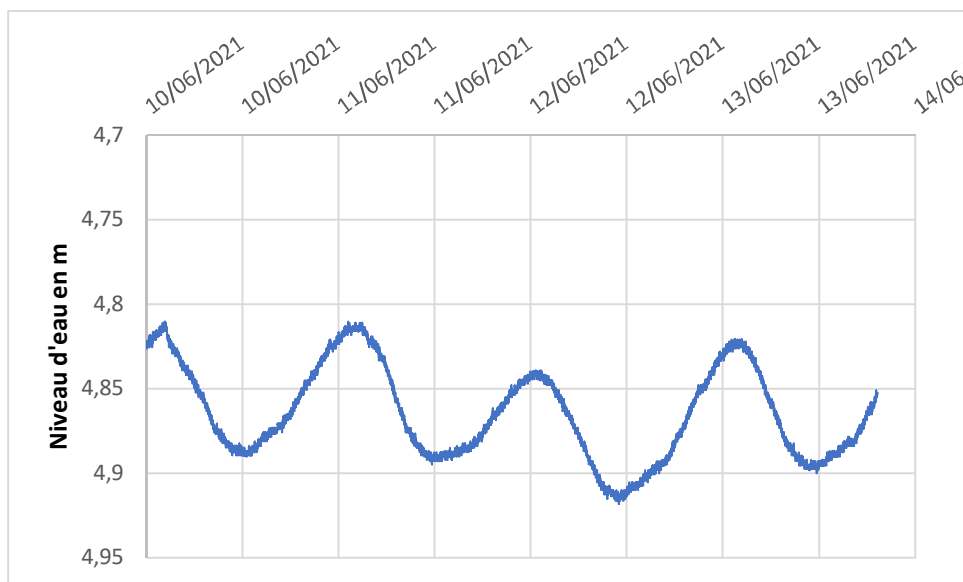


Figure 17 : Variation du niveau d'eau dans PZ4

5.1.2.5 PZ7

Les variations du niveau piézométrique durant la période du 10 au 16 juin 2021, dans PZ7, sont présentées dans la figure suivante :

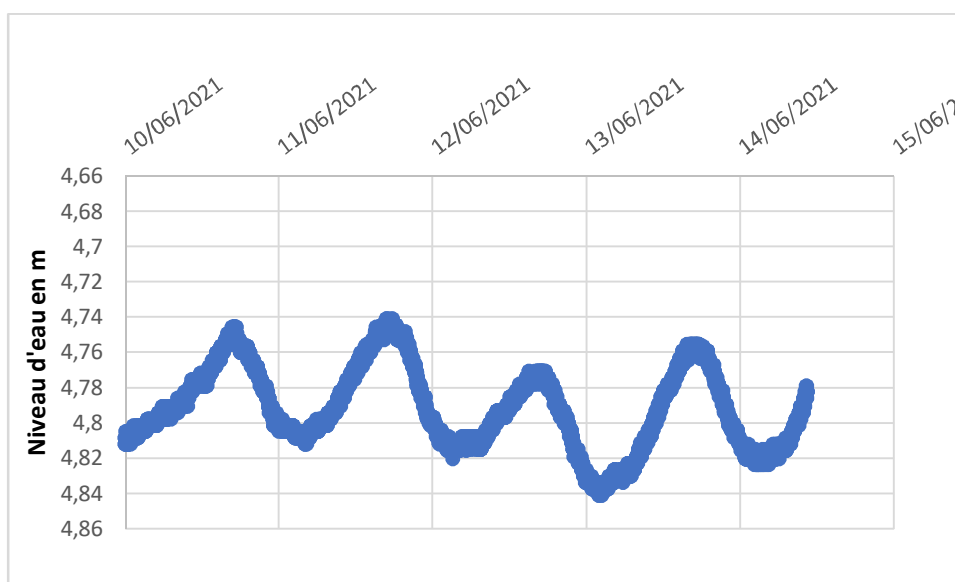


Figure 18 : Variation du niveau piézométrique dans PZ7

5.1.3 Commentaires et interprétations

Le suivi piézométrique a permis de montrer un fonctionnement différent des ouvrages :

- Ceux dont le niveau baisse en continu durant tout le suivi (PZ3, PZ4, PZ5, PZ6 et PZ7)
- Ceux pour lesquels, le niveau d'eau augmente entre avril et juin, puis diminue ensuite jusqu'en septembre (PZ1, PZ2 et forage).

En première approche il serait logique de penser que ces variations sont liées exclusivement aux variations naturelles du Guil, provoquées par la fonte des neiges (figures 12 et 13). Mais l'étude plus précise des variations de la piézométrie (figures 15 à 18) dans les ouvrages fait apparaître une disparité entre les ouvrages. Nous retrouvons une modification de niveau entre avril et septembre comprise entre -1 et -2 mètres, pour les ouvrages PZ3, PZ4, PZ5, PZ6 et PZ7, tandis que pour PZ1, PZ2 et forage, ces variations sont comprises entre +0,4 et -0,4 m.

De plus, les variations journalières du niveau ne sont pas les mêmes pour tous les ouvrages :

Tableau 5 : Variations piézométriques journalières des ouvrages

Nom de l'ouvrage	Distance au Guil	Variations journalières
Forage	110	3
PZ1	110	3
PZ2	130	2,5
PZ3	20	10
PZ4	77	9
PZ7	48	9

On retrouve alors deux familles d'ouvrage :

- ceux qui ont une variation journalière de l'ordre de 3 cm et une période de hautes eaux en mai-juin (Forage, PZ1 et PZ2)
- ceux qui disposent d'une variation journalière de l'ordre de 10 cm et d'une baisse linéaire du niveau d'eau (PZ3, PZ4 et PZ7).

Les ouvrages PZ3, PZ4 et PZ7 disposent d'une variation piézométrique journalière de l'ordre de 10 cm, qui équivaut à la variation naturelle du Guil. Nous supposons donc que le niveau piézométrique de ces ouvrages est directement influencé par les variations du Guil. Toutefois, dans ces ouvrages, nous n'observons pas d'augmentation du niveau piézomètre en juin, qui correspond à la période de hautes eaux du Guil. Cela peut s'expliquer par le fait que durant cette période, le Guil n'est pas en mesure d'alimenter la nappe, et même qu'une alimentation du Guil par la nappe est possible. L'étude des cartes piézométriques va dans le même sens (figures 19 et 20), en effet, on retrouve un écoulement préférentiellement parallèle au Guil en avril, et en direction du Guil en septembre.

La variation du niveau piézométrique dans les ouvrages PZ1, PZ2 et forage, sont différentes. Nous retrouvons une période de hautes eaux situées aux mois de mai-juin et des variations journalières plus faibles, seulement 3 cm. De plus, quelle que soit la période de mesure, ces ouvrages semblent alimenter le Guil. Ces différences peuvent s'expliquer par la présence d'un apport externe probablement latéral à travers les moraines et les éboulis. La quantité de ces apports doit être liée à la fonte des neiges, ce qui explique que l'on retrouve une période de hautes eaux en mai-juin.

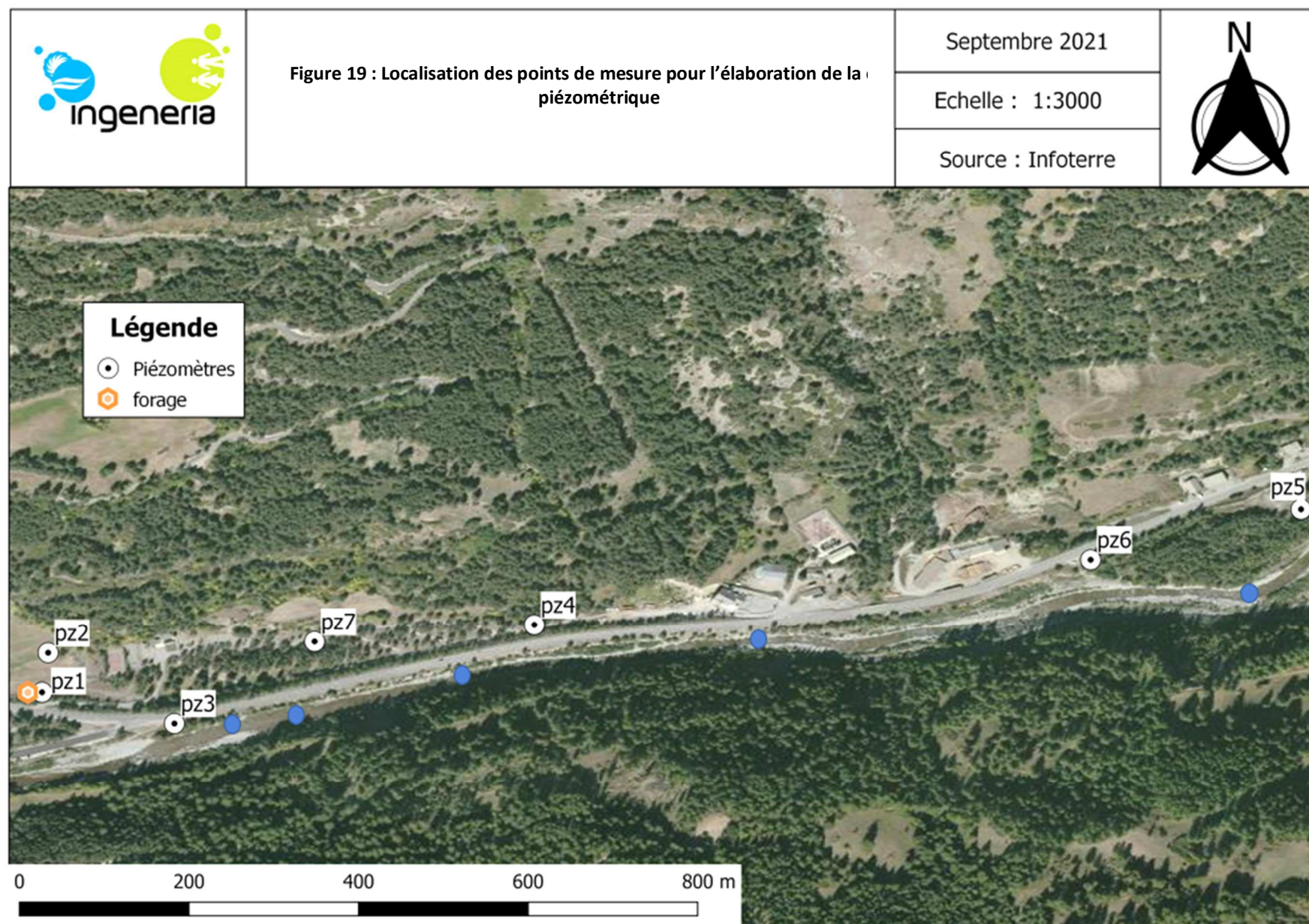
Pour expliquer les variations piézométriques dans PZ1, PZ2 et forage, **nous émettons l'hypothèse que la nappe d'accompagnement est influencée par un facteur externe qui pourrait être l'apport latéral depuis les versants à travers les moraines et les éboulis.**

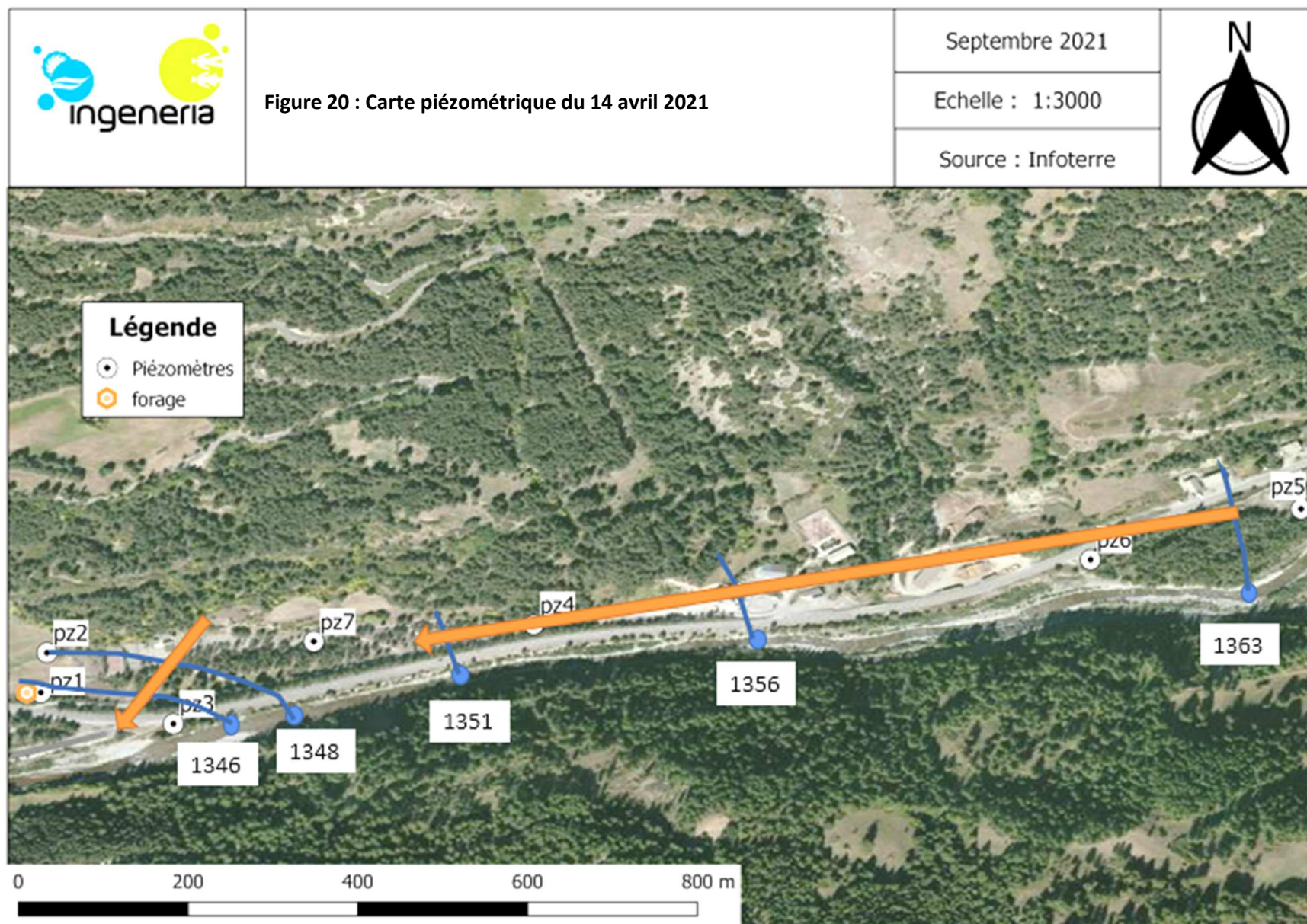
5.2 CARTES PIEZOMETRIQUES

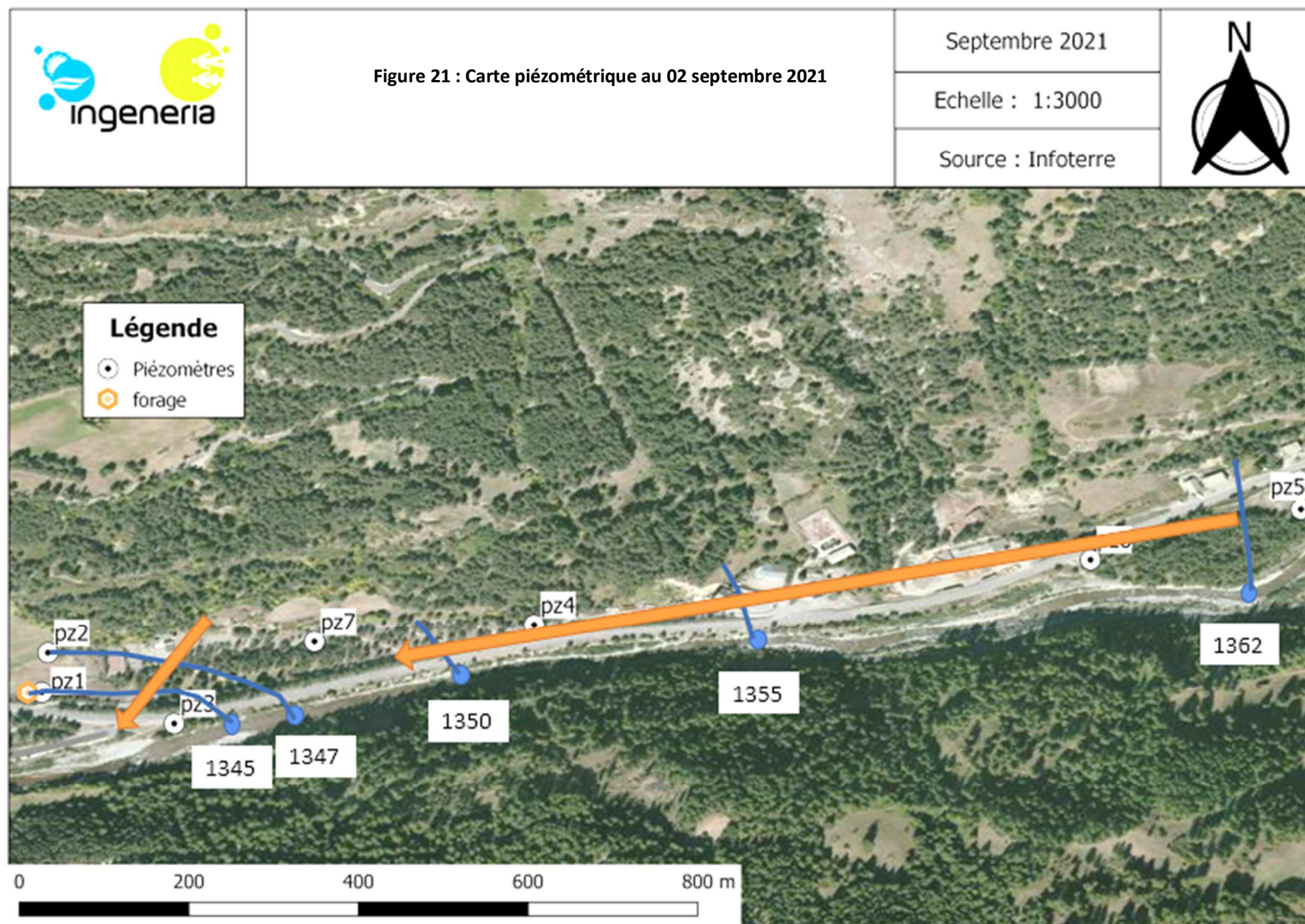
Les cartes piézométriques ont été réalisées par l'intermédiaire des différentes campagnes de mesures piézométriques ainsi que par l'altitude de la hauteur du Guil de 6 points sur le lit du Guil.

Nous avons fait le choix de réaliser seulement les cartes piézométriques aux dates du 14 avril et du 02 septembre 2021 qui disposent d'une campagne de mesure complète. Cela permet d'avoir une vision globale de la piézométrie de la zone.

Ces cartes piézométriques sont présentées dans les figures suivantes :







Les cartes piézométriques du 14 avril 2021 (hautes eaux) et du 02 septembre 2021 (basses eaux) présentent une similarité des axes d'écoulement des eaux souterraines :

- On retrouve entre les piézomètres PZ5 et PZ7 un axe d'écoulement préférentiel parallèle au Guil.
- A partir de PZ3, l'axe d'écoulement des eaux souterraines subit une déviation en direction du Guil. Cette déviation tend à confirmer la présence d'un apport latéral par les versants.

5.3 DETERMINATION DU GRADIENT DE L'AQUIFERE

La définition du gradient hydraulique de l'aquifère est indispensable pour déterminer les vitesses d'écoulement des eaux souterraines.

Le tableau ci-dessous indique les différents gradients par rapport au forage et aux différents piézomètres :

	Distance au forage (m)	NS 12_04 (NGF)	Gradient 12_04 (%)	NS 02_09 (NGF)	Gradient 02_09 (%)
Forage	0	1345,6	-	1345,4	-
PZ1	18	1345,8	1,3	1345,5	0,5
PZ2	45	1348,4	6,4	1348,8	7,8
PZ3	141	1344,8	-0,5	1344,1	-0,9
PZ4	484	1354,7	1,9	1353,6	1,7
PZ5	1005	1365,5	2,0	1363,6	1,8
PZ6	1214	1359,7	1,2	1358,5	1,1
PZ7	314	1349,4	1,2	1348,7	1,1
Moyenne			1,52	Moyenne	1,24

Tableau 6 : Valeurs du gradient de l'aquifère

Les cartes piézométriques, présentées en figures 20 et 21, permettent de mettre en évidence que le piézomètre PZ3 se situe en aval hydraulique par rapport au forage. Il est donc logique de retrouver une valeur gradient négative (-0,5 en avril et -0,9 en septembre). Cette n'est donc pas représentative du secteur, nous proposons donc de ne pas prendre en compte cette donnée pour le calcul du gradient moyen de l'aquifère.

Nous observons également un gradient très important (6,4 en avril et 7,8 en septembre) entre PZ2 et le forage qui traduit une bonne vitesse de circulation entre ces deux ouvrages. Avec les données entre notre possession, il ne nous est pas possible de comparer cette valeur avec d'autre. Nous avons donc décidé de retirer cette valeur dans le calcul du gradient moyen, car elle n'est pas représentative du gradient entre les piézomètres lointains et le forage.

La présence d'un gradient de charge hydraulique important entre PZ2 et le forage signifie, en d'autres termes, que le niveau d'eau dans PZ2 est très haut par rapport au forage. Cela pourrait confirmer la présence d'apports latéraux qui font augmenter la hauteur d'eau dans cet ouvrage.

Nous observons un gradient de charge hydraulique moyen de 1,52% en avril et de 1,24% en septembre. Cette différence saisonnière s'explique par le fait que le niveau piézométrique ne varie que très peu dans le forage, seulement 0,4 m entre avril et septembre, tandis que la baisse pour cette même période est de 1,7 m sur PZ5.

Cette constance dans le niveau piézométrique du forage, alors que de nombreux pompages ont été réalisés sur cette période, traduit d'une réalimentation différente par rapport aux piézomètres lointains. Cela va encore dans le sens de l'hypothèse de l'existence d'apports latéraux via les versants.

D'un point de vue général, nous proposons de définir le gradient hydraulique moyen de la zone d'étude comme étant le plus défavorable pour la protection de la ressource, soit la moyenne observée en avril : 1,6%

6 ESSAI DE POMPAGE

6.1 CONDITION CLIMATIQUE

6.1.1 Condition climatique globale

L'interprétation des essais de pompage s'appuie sur une étude de pluviométrie du site, cela permet de déterminer dans quel contexte hydrologique se sont déroulés les essais de pompage. Les différentes mesures de précipitations à la station METEO FRANCE d'Embrun sont les suivantes :

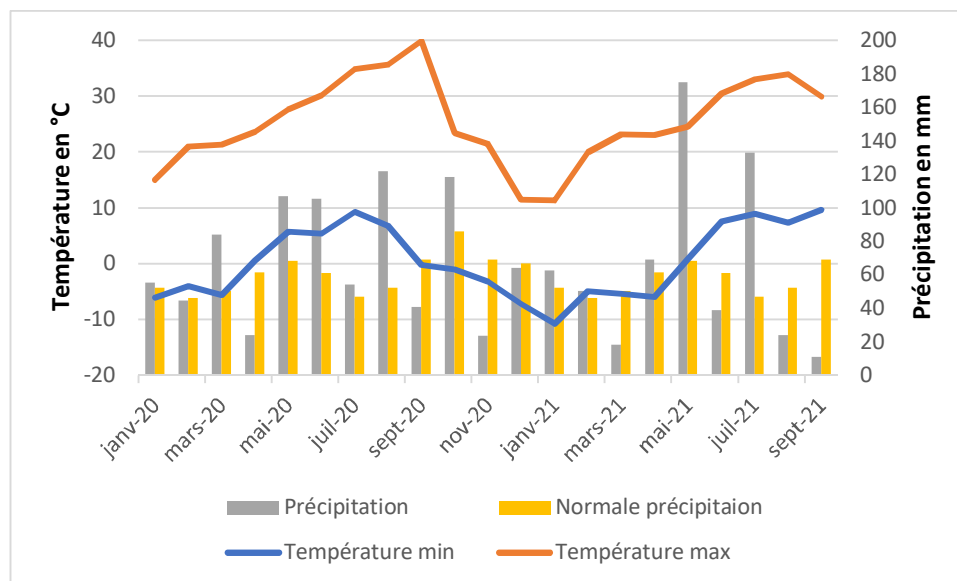


Figure 22 : Condition climatique à la station d'Embrun depuis janvier 2021

Sur l'année 2020, il y a eu un excédent de précipitations de l'ordre de 114 mm. Sur la période allant de janvier à septembre 2021, il y a eu un excédent de 74,8 mm notamment marqués par des mois de mai et juillet particulièrement pluvieux et des mois de juin, août et septembre particulièrement sec.

Les essais de pompage ont donc été réalisés dans une période de condition climatique « Normale ».

6.1.2 Condition climatique lors des essais de pompage

D'un point de vue de précipitations journalières, nous avons pu observer des précipitations des précipitations de l'ordre de 4,8 mm le 07 juin et 9,3 mm le 08 juin. Ces précipitations restent faibles et ne remettent pas en cause l'interprétation du premier essai de pompage.

Lors du second essai de pompage, nous avons pu observer des précipitations de l'ordre 2,2 mm. Ces précipitations restent faibles et ne remettent pas en cause l'interprétation du premier essai de pompage.

D'un point de vue plus global, les précipitations survenues lors des différents essais s'inscrivent dans une tendance « normale » avec même un déficit d'eau sur une certaine période (août 2021).

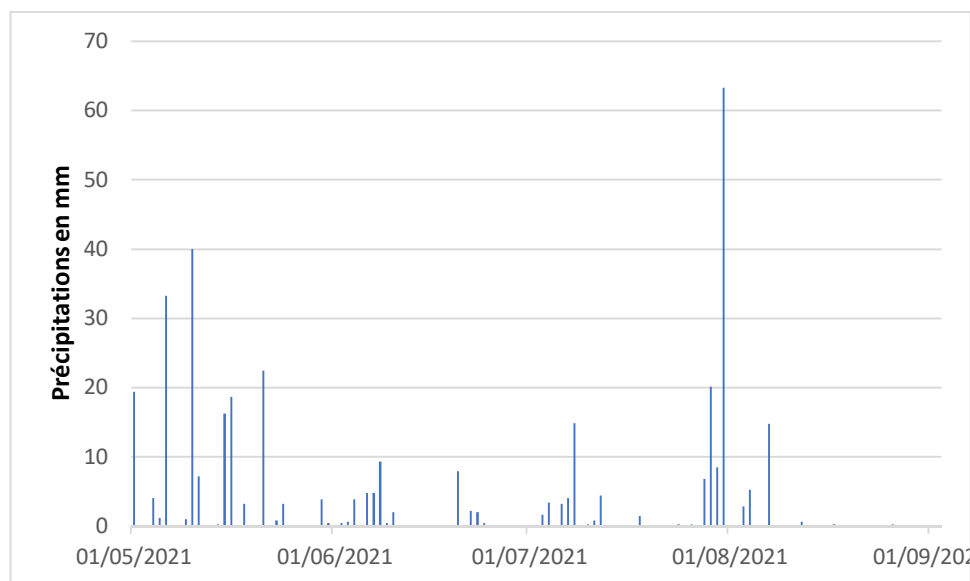


Figure 23 : Précipitations journalières enregistrées à la station d'Embrun durant les essais de pompages

6.2 PROTOCOLE D'INTERVENTION DES ESSAIS DE POMPAGE

Les différents essais de pompage mené sur le forage sont les suivants :

- Réalisation du 07 au 08 juin d'un essai de pompage par paliers croissant de débits (24, 32, 52 et 60 m³/h) d'une durée unitaire de 1 heure et entrecoupé d'un temps identique de remontée. Ce test permet de définir les caractéristiques de l'ouvrage (débit critique, perte de charge),
- Modification du programme des essais par paliers : lors de la réalisation du test de pompage par paliers nous ne connaissons ni la capacité de production des pompes ni la capacité de production de l'ouvrage. Nous avons choisi de réaliser le protocole de pompage suivant :
 - 1^{er} palier à un débit équivalent à 0,5 fois le débit de la première pompe
 - 2nd palier à un débit équivalent au débit d'une pompe
 - 3^{eme} palier à un débit équivalent à 1,5 fois le débit d'une pompe
 - 4^{eme} palier à un débit équivalent aux deux pompes

Cependant, le troisième à 1,5 fois le débit de la pompe (80 m³/h) a dénoyé la pompe au bout de seulement quelques minutes. Il a donc été nécessaire de modifier le programme de pompage et réaliser des paliers avec des débits moindres. Cela explique le fractionnement des paliers de débits réalisé lors de ce test.

- Réalisation du 08 au 10 juin d'un essai longue durée à un débit constant de 62 m³/h. La durée totale de pompage est de 50 h. Suite à une panne de l'une de nos sondes enregistreuses de niveau, il nous a été impossible de déterminer les variations de niveau dans le piézomètre PZ1, nous avons donc réalisé un nouvel essai de pompage,

- Réalisation du 21 au 22 juillet d'un essai longue durée à un débit constant de 62 m³/h. La durée totale de pompage est de 27 heures
- Durant la réalisation de la campagne de traçage le niveau a été suivi en continu dans le forage. Lors de ce traçage, le forage était en fonctionnement 4 x 2 heures par jour au moyen d'une horloge mise en place à cet effet sur notre demande.

Les différents pompages ont été réalisés grâce aux équipements de pompage en place. Le débit a été suivi en continu au niveau de la conduite de refoulement par l'intermédiaire d'un débitmètre à ultrason de type HYDREKA ChronoFLO 2. Les eaux ont été rejeté dans le Guil en transitant préalablement par le réservoir communal.

Du 07 juin au 02 septembre, le niveau d'eau dans les ouvrages (forage, piézomètres et rivières) a été suivi en continu par l'intermédiaire d'une sonde enregistreuses de niveau de type DIVER. Le pas de temps d'enregistrement des mesures a été fixé à 30 secondes. En parallèle, des mesures manuelles du niveau ont été réalisées à chacune de nos visites.

Les différents niveaux statiques relevé dans les différents ouvrages sont les suivants :

	NS au 07/06 (m/repère)	NS au 21/07 (m/repère)
Forage	7	7,15
PZ1	5,69	6,02
PZ2	5,4	5,55
PZ3	7,96	8,15
PZ4	5,6	5,8
PZ7	5,67	5,88

Tableau 7 : Valeurs des niveaux statiques au 07/06 et au 21/07



Figure 24 : Débitmètre ChronoFLO2 HYDREKA et sonde de mesure de niveau de DIVER

6.3 ESSAI PAR PALIERS

Les variations du niveau d'eau dans le forage, durant l'essai de pompage par paliers, sont présentées dans la figure suivante :

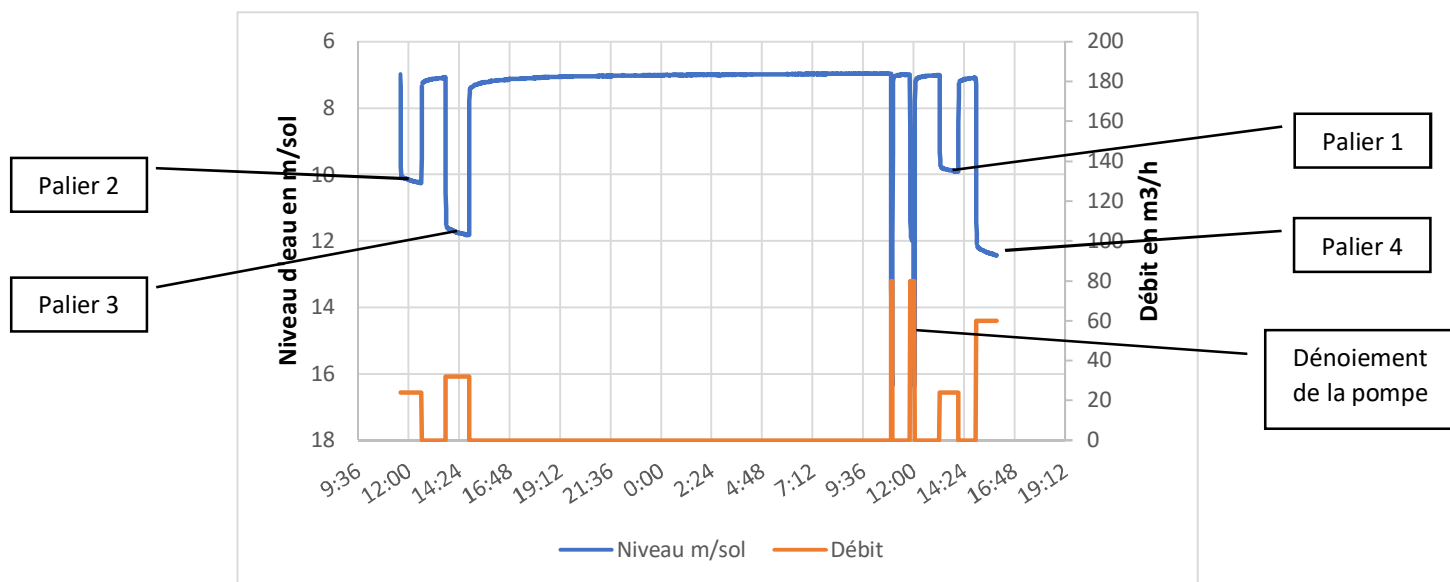


Figure 25 : Variation du niveau d'eau dans le forage lors des essais par paliers
(La numérotation des paliers est faite par ordre de débit croissant)

Commentaire et interprétation : Lors de la première journée de pompage deux paliers ont pu être réalisés à respectivement 32 et 52 m³/h. Le niveau d'eau a alors subi une diminution soudaine suivie d'une stabilisation rapide du niveau.

Lors de la seconde journée de pompage, nous avons tenté un troisième palier au débit de 80 m³/h. Ce test n'a pas pu être mené à terme, car le rabattement a atteint la cote d'installation de la crépine de la pompe en moins de 10 minutes. Nous avons donc décidé de réaliser 2 paliers supplémentaires à respectivement 24 et 60 m³/h. L'allure de ces paliers est semblable aux deux premiers paliers.

La défaillance de la sonde de mesure ne nous permet pas de comparer les variations de niveau entre le forage et le PZ1. Les autres piézomètres n'ont pas été impactés par ce pompage.

Les valeurs de rabattement maximum observées durant les essais sont présentées dans le tableau suivant :

Palier	Débit (en m³/h)	Rabattement (en m)
1	24	2,9
2	32	3,25
3	52	4,74
4	60	5,5

Le report de ces résultats sur une courbe est représenté dans la figure suivante :

		Courbe caractéristique : $s = bQ + cQ^2$									
		$s = 0,132462 \times Q + -0,000742 \times Q^2$									
		b =	1,32E-01	c =	-7,42E-04	Q/s théorique (1/b)				7,55	m3/h/m
	Débit moyen	Rabatement réel	Perte de charges				Rabatement théorique	Rabatement spécifique	Débit spécifique	Rendement (Q/sr/Q/st)	
	Q	sr	bQ	%	cQ²	%	st	ss	Q/s	%	
	m3/h	mètre	mètre		mètre		mètre	mètre	m(m3/h)		m3/h/m
Palier 1	24	2,9	3,18E+00	115,53%	-4,27E-01	-15,53%	2,75	0,121	8,3	94,89%	
Palier 2	32	3,25	4,24E+00	121,83%	-7,60E-01	-21,83%	3,48	0,102	9,8	107,05%	
Palier 3	52	4,74	6,89E+00	141,09%	-2,01E+00	-41,09%	4,88	0,091	11,0	103,00%	
Palier 4	60	5,5	7,95E+00	150,61%	-2,67E+00	-50,61%	5,28	0,092	10,9	95,95%	

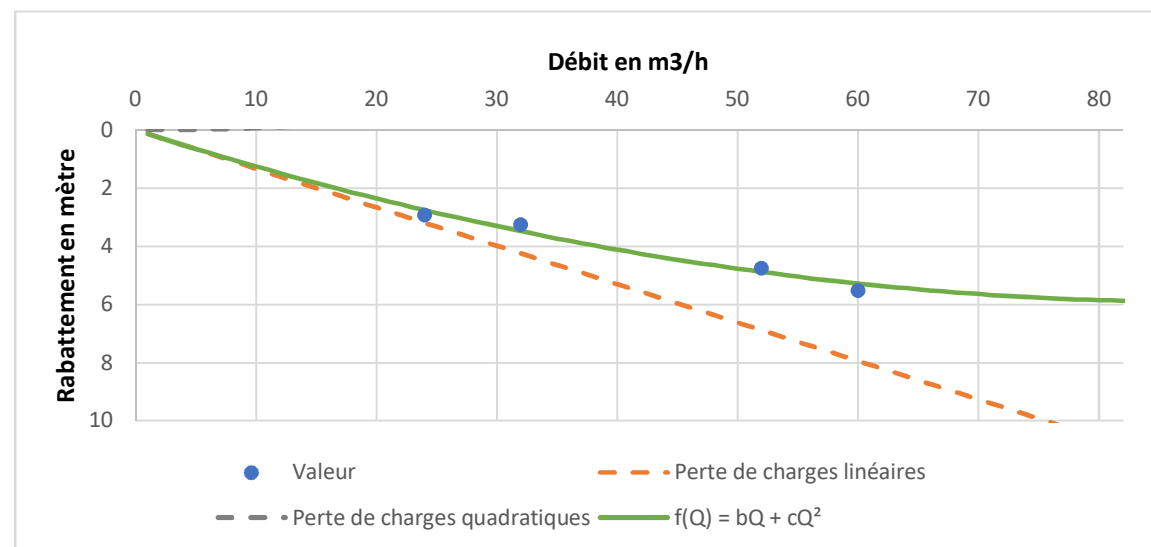
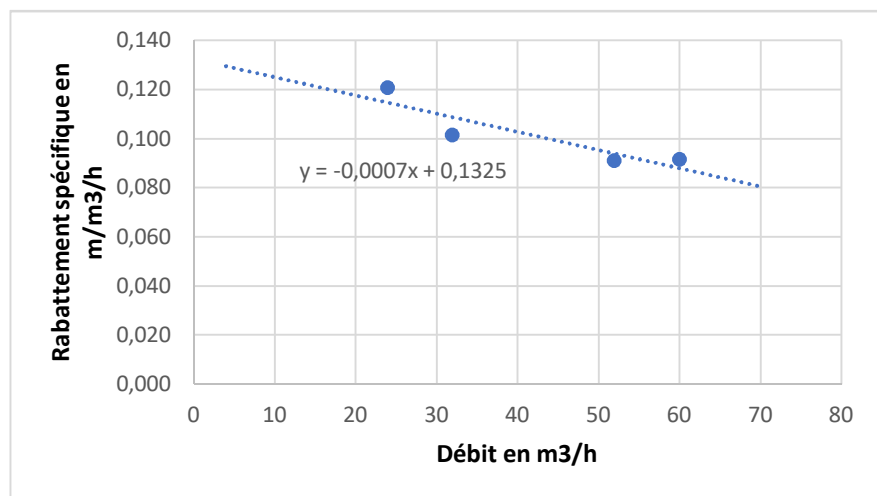


Figure 26 : Courbe caractéristique du forage

L'essai de pompage par paliers a pour objectif de déterminer le débit critique de l'ouvrage, c'est-à-dire le débit à partir duquel les pertes de charge quadratiques (provoquées par l'ouvrage) prennent le pas sur les pertes de charges linéaires (provoquées par l'aquifère). Ici, les points expérimentaux ne nous permettent pas de définir le débit critique de l'ouvrage. En effet, nous observons un développement de l'ouvrage en cours de pompage, cela se caractérise par un nettoyage de l'ouvrage et une amélioration de l'entrée d'eau dans le forage. Ce développement est probablement dû au débouillage des zones colmatées et concrétionnées observées lors l'inspection vidéo. Le fractionnement des paliers imposé par le dénoyage de la pompe à 80 m³/h a fait que les paliers à fort débit ont été réalisés en premier, accentuant ainsi le développement de l'ouvrage pour les paliers suivants à plus faible.

Malgré cela, le débit critique de l'ouvrage semble être supérieur à 60 m³/h, mais l'actuelle cote d'installation des pompes ne nous permet pas de le vérifier. Car un pompage à un débit de 80 m³/h entraîne un dénoisement des pompes.

6.4 ESSAI LONGUE DUREE

6.4.1 Description des méthodes utilisées

6.4.1.1 Méthode de THEIS

La formule de THEIS est la suivante :

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \cdot \int_u^{\infty} \frac{e^{-v} \cdot dv}{v}$$

Ou plus simplement

$$s = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{Q}{T} \cdot W(u)$$

Avec

$$W(u) = \int_u^{\infty} \frac{e^{-v} \cdot dv}{v} \quad \text{et} \quad u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

<i>s</i>	<i>Rabatement dans le piézomètre (en m)</i>
<i>Q</i>	<i>Débit de pompage du puits (en m³/s)</i>
<i>T</i>	<i>Transmissivité (en m²/s)</i>
<i>S</i>	<i>Coefficient d'emménagement</i>
<i>t</i>	<i>temps (en seconde)</i>

En connaissant Q et r, on en déduit :

$$T = \frac{Q}{4\pi} \cdot \frac{W(u)}{h} \quad \text{et} \quad S = \frac{4uTt}{r^2}$$

L'application de cette formule nécessite de respecter les conditions suivantes : **nappe infinie captive non réalimentée et d'épaisseur constante**. Si ces conditions sont respectées, elle reste applicable tant que 1/u dépasse 0,5.

Application de la formule de THEIS dans le puits de pompage

En l'absence de piézomètre, on ne dispose comme mesure de rabattement de la nappe que des mesures effectuées dans le forage lui-même.

La valeur de r n'est plus la distance entre le lieu d'observation et le lieu de pompage puisque les observations se font sur le lieu de pompage. Ne pouvant calculer r , on ne peut pas calculer S non plus. **Il faut donc supposer une valeur pour r .**

En première approximation, on se fixe $r = r_p$ (rayon du puits). Toutefois, dans la pratique, le développement du puits améliore la perméabilité et la porosité au voisinage de la crépine. L'estimation précédente devient ainsi pessimiste et il convient d'augmenter légèrement sa valeur en se basant sur la qualité du développement et sur l'expérience qu'on peut avoir de cas semblables : on parle ainsi de rayon effectif légèrement supérieur au rayon du puits.

Application de THEIS aux nappes libres

L'application de la formule de THEIS aux nappes libres suppose un certain nombre d'hypothèses simplificatrices, comme une épaisseur constante de la nappe et un écoulement horizontal. Ces approximations limitent donc la validité de la méthode et imposent la présence d'un piézomètre de contrôle.

En pratique il faut connaître la hauteur h de la nappe puis :

- Pour un rabattement inférieur à 10%, l'équation de THEIS reste valable,
- Pour un rabattement compris entre 10 et 30%, l'équation de THEIS est valable avec un terme correctif $-\frac{s^2}{2h}$ d'où $s_c = s_m - (\frac{s_m^2}{2h})$
Ainsi THEIS devient avec s corrigé $s = \frac{2,3}{4\pi} \cdot \frac{Q}{T} \cdot \log\left(\frac{2,25 \cdot T \cdot t}{r^2 \cdot S}\right)$
- Pour un rabattement supérieur à 30%, on appliquera les méthodes spécifiques des nappes libres tenant compte de la composante verticale de la vitesse et de la diminution de T .

6.4.1.2 Méthode de Jacob

La formule de THEIS et sa dérivée simplifiée, celle de JACOB, permettent de déterminer rapidement la transmissivité et le débit sans que le niveau de la nappe soit stabilisé.

La formule de JACOB est la suivante :

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \cdot \log\left(\frac{2,25 \cdot T \cdot t}{r^2 \cdot S}\right) = \frac{2,3}{4\pi} \cdot \frac{Q}{T} \cdot \log t + \frac{2,3}{4\pi} \cdot \log\left(\frac{2,25 \cdot T}{r^2 \cdot S}\right)$$

Avec :

R	<i>distance du piézomètre de contrôle avec le puits de forage (en mètre)</i>
T	<i>transmissivité (en m^2/s)</i>
t	<i>temps depuis le début du pompage (en seconde)</i>
S	<i>coefficient d'emménagement</i>

La pente de la droite est égale à $\Delta s = \frac{2,3}{4\pi} \cdot \frac{Q}{T}$ avec Δs la pente soit le rabattement correspondant à 1 cycle logarithmique.

On obtient alors :

$$T = \frac{2,3}{4\pi} \cdot \frac{Q}{\Delta s}$$

En prolongeant la droite jusqu'à ce quelle coupe l'axe de rabattement nul, on détermine l'abscisse t_0

$$A \text{ t0 } s = 0 = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{Q}{T} \ln \left(\frac{2,25 T t_0}{r^2 \cdot S} \right) \text{ donc } \frac{2,25 \cdot T \cdot t_0}{r^2 \cdot S} = 1$$

$$\text{D'où } S = \frac{2,25 \cdot T \cdot t_0}{r^2}$$

L'approximation de cette méthode est la suivante :

- 0,25% près dès que $1/u > 100$
- 2% près dès que $1/u > 20$
- 5% près dès que $1/u > 10$
- 10% près dès que $1/u > 6,7$

6.4.2 Premier essai longue durée du 08 juin au 10 juin 2021

6.4.2.1 Forage

Les variations du niveau d'eau dans le forage observées lors du premier essai de pompage longue durée sont présentées dans la figure suivante :

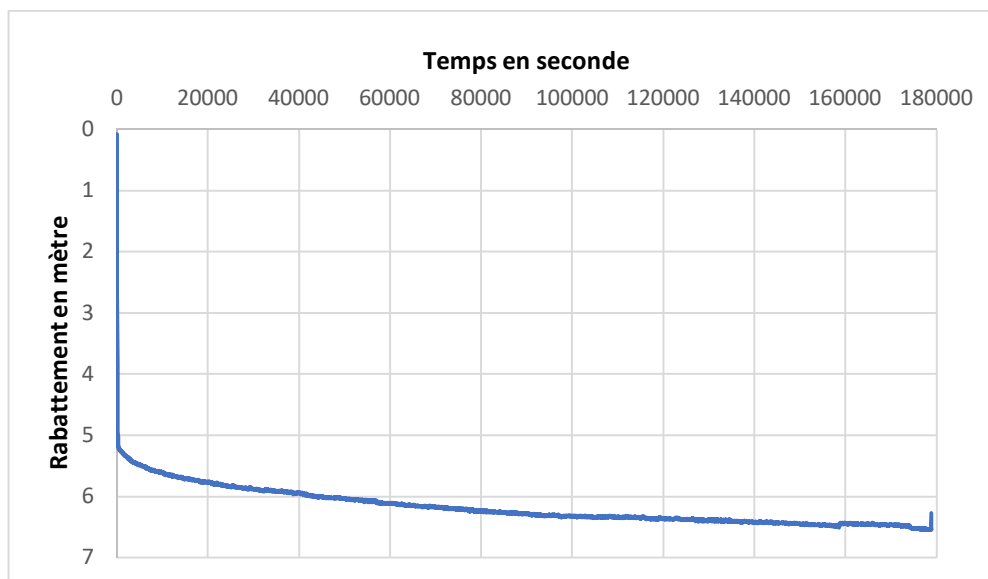


Figure 27 : Variation du rabattement dans le forage lors du premier essai de pompage

Commentaires et interprétation :

Lors de ce test, le niveau a rapidement chuté avant de se stabiliser à une valeur proche de 6,5 mètres de rabattement (13,5 m/sol). Nous pouvons également observer de légères variations du niveau d'eau qui peuvent être engendrées par les variations du niveau du Guil, ou bien par une variation de la quantité des apports latéraux.

De légères augmentations du niveau d'eau, en cours de pompage, sont présentes. Ces dernières sont le signe d'un développement de l'ouvrage par l'action du pompage.

6.4.2.1.1 Méthode de Jacob

Pour déterminer les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère, la méthode de Jacob utilise les variations de niveau dans le forage (figure 18) avec l'axe des abscisses en logarithme.

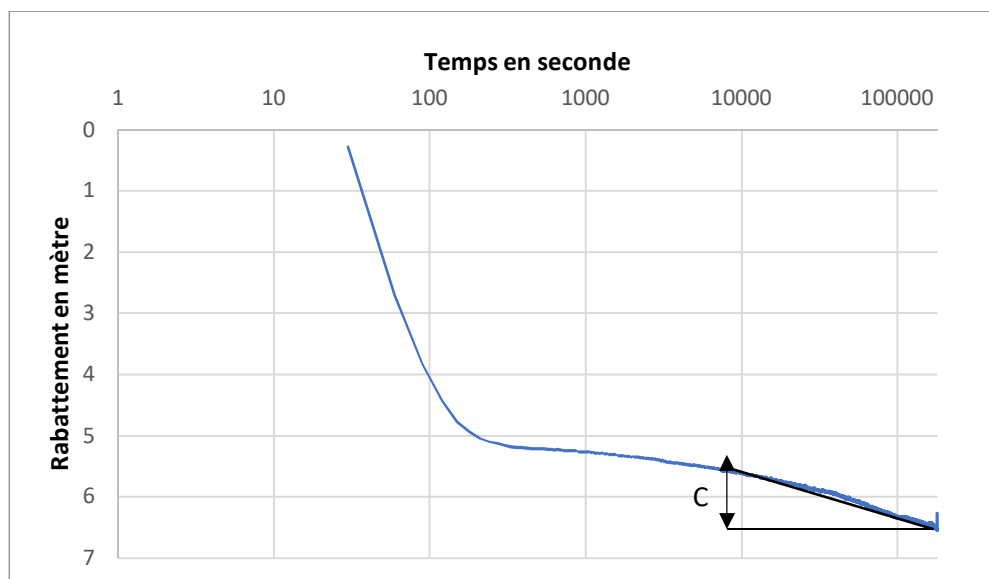


Figure 28 : Variation du rabattement dans le forage lors du premier essai de pompage (échelle logarithmique)

En première approche l'allure de la courbe pourrait laisser croire à la présence d'une limite alimentée dans le forage. Etant donné l'arrivée très rapide de cette « limite », nous pensons que la baisse du niveau d'eau dans le forage est d'abord provoquée par une vidange de ce dernier (effet capacitif). Etant donné que l'ouvrage présente un colmatage très important des crépines, il faut un certain temps pour que l'eau de la nappe pénètre dans le forage. C'est pourquoi la détermination des paramètres hydrodynamiques ne va s'appuyer que sur les variations de niveau à partir de 1 000 secondes de pompage. Même si la présence de cette se justifie, cela constitue la détermination des paramètres hydrodynamique la plus défavorable.

L'étude des variations de niveau dans les piézomètres va nous permettre de confirmer ou non la présence d'une limite étanche ou alimentée.

Détermination des paramètres hydrodynamiques :

Les valeurs d'entrée de la méthode sont les suivantes :

- **Q** 62 m³/h soit 0,0172 m³/s
- **C** 0,45 (correspond à la variation de niveau sur un cycle logarithmique)

La transmissivité est alors déterminée par la formule suivante :

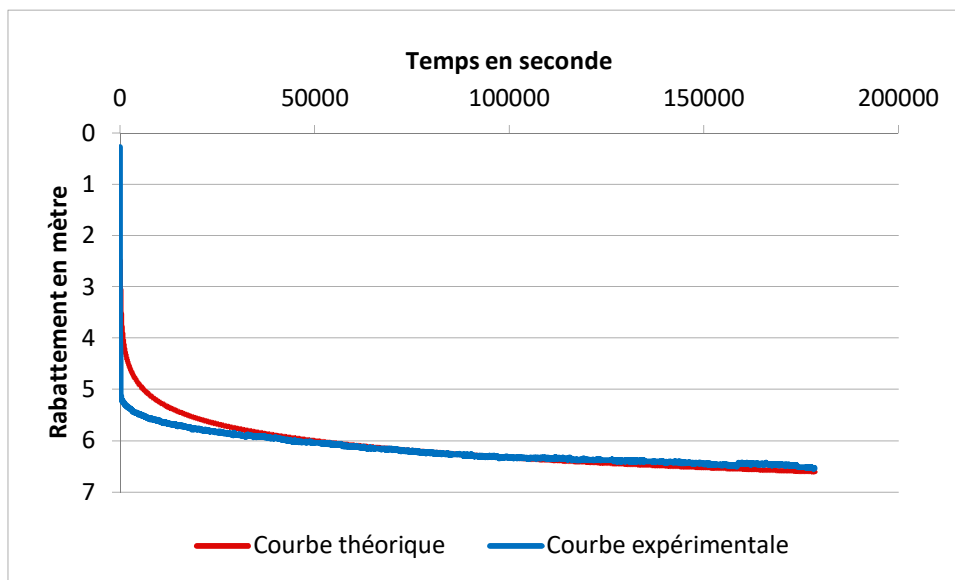
$$T = \frac{2,3}{4\pi} \cdot \frac{Q}{\Delta s}$$

$$T = 0,007 \text{ m}^2/\text{s}$$

Etant donné que nous interprétons les variations de niveau dans le forage, il ne nous est pas possible de déterminer la porosité.

6.4.2.1.2 Méthode de THEIS

La méthode de THEIS consiste à faire varier les paramètres de transmissivité et de porosité pour que la courbe théorique se rapproche le plus de la courbe expérimentale. La courbe de calage du modèle est présentée dans la figure suivante :



Détermination des paramètres hydrodynamiques

Les paramètres d'entrée sont les suivants :

- **Q** 62 m³/h soit 0,0172 m³/s
- **R** 0,4 m (rayon effectif supérieur au rayon réel pour prendre en compte la présence d'un éventuel massif filtrant de gravier)
- Le rabattement dans le forage correspond à 25 % de la hauteur de l'aquifère, un terme correctif (voir chapitre 6.4.1.1) a donc été utilisé pour que l'équation de THEIS reste valable

La transmissivité et la porosité alors déterminées sont les suivantes :

$$T = 0,0082 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S = 0,018$$

6.4.2.2 Piézomètres

6.4.2.2.1 PZ1

A cause d'un problème technique de la sonde enregistreuse, les variations de niveau n'ont pas pu être suivies sur PZ1.

6.4.2.2.2 PZ2

La figure ci-dessous présente les variations de niveau dans le piézomètre PZ2 lors du premier essai de pompage :

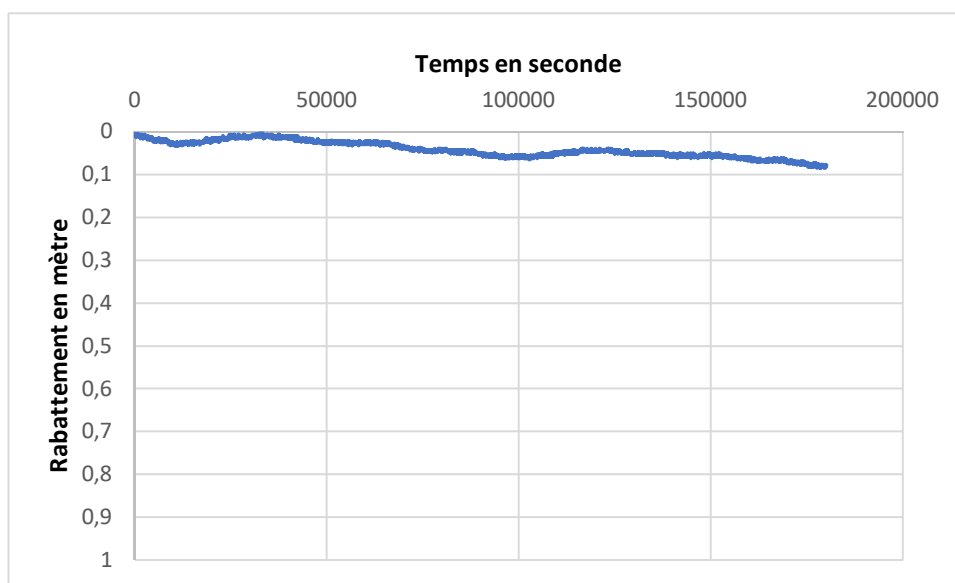


Figure 30 : Variation du rabattement dans PZ2 lors du premier essai longue durée

Commentaires et interprétations :

Lors de l'essai longue durée nous observons une baisse du niveau dans PZ2 de l'ordre 0,08 mètre. Toutefois, le niveau d'eau dans cet ouvrage est fortement induit par un facteur externe (apport d'eau latéral, influence de la rivière) qui complique grandement son interprétation. De plus, nous observons de très faibles variations du niveau d'eau de seulement quelques centimètres alors que la précision de la sonde de niveau est de 1 cm.

La fiabilité de ces mesures est donc à prendre en considération, car nous ne savons pas si les variations de niveau sont provoquées par le pompage ou bien par les variations naturelles.

6.4.2.2.1 Méthode de Jacob

Pour déterminer les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère, la méthode de Jacob utilise les variations de niveau dans le forage (figure 30) avec l'axe des abscisses en logarithme.

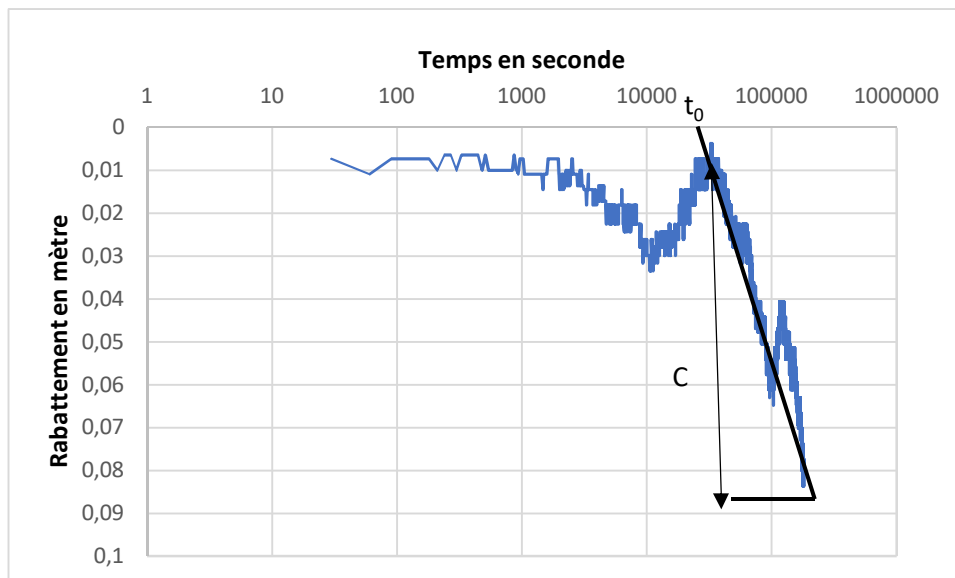


Figure 31 : Variation du rabattement dans PZ2 lors du premier essai de pompage (échelle logarithmique)

Commentaires et interprétation : La mise en évidence de la présence d'une limite étanche ou alimentée est rendue très complexe étant donné les très importantes variations journalières. A partir de 20 000 secondes, il est possible d'observer une baisse du niveau d'eau dans l'ouvrage, mais il ne nous est pas possible de déterminer l'origine de cette baisse : variation naturelle du niveau d'eau liée aux précipitations enregistrées les jours précédents ou bien impact direct du pompage.

L'arrêt du pompage dans le forage n'a pas engendré de remontée dans PZ2 (hormis celle engendrée par les variations naturelles). Ce qui laisse supposer que le forage et PZ2 ne sont pas reliés directement.

Même si de nombreux doutes subsistent sur le comportement de cet ouvrage vis-à-vis d'un pompage dans le forage, nous allons déterminer ses paramètres hydrodynamiques qu'il faudra prendre avec une grande précaution.

Détermination des paramètres hydrodynamiques :

Les valeurs d'entrée de la méthode sont les suivantes :

- **Q** 62 m³/h soit 0,0172 m³/s
- **C** 0,45 (correspond à la variation de niveau sur un cycle logarithmique)
- **R** 48 mètres
- **T₀** 20 000 secondes

La transmissivité est alors déterminée par la formule suivante :

$$T = \frac{2,3}{4\pi} \cdot \frac{Q}{\Delta s}$$

$$T = 0,02 \text{ m}^2/\text{s}$$

La porosité est alors déterminée par la formule suivante :

$$S = \frac{2,25 \cdot T \cdot t_0}{r^2}$$

$$S = 0,41$$

Fiabilité de la mesure

Les valeurs de transmissivité et de porosité sont données à titre informatif, en effet, le niveau d'eau dans le piézomètre est influencé par des facteurs externes qui ne permettent pas une grande fiabilité dans les résultats.

De plus les variations de niveau sont très faibles, et la précision de mesure de la sonde enregistreuse engendre de fortes marges d'incertitude.

6.4.2.2.2 Méthode de THEIS

Etant donné la forte influence d'un paramètre extérieur (apports latéraux ou rivière) il n'a pas été possible de mettre en place la méthode de THEIS pour la détermination des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère.

6.4.2.2.3 PZ3

La figure ci-dessous présente les variations de niveau dans le piézomètre PZ3 lors du premier essai de pompage :

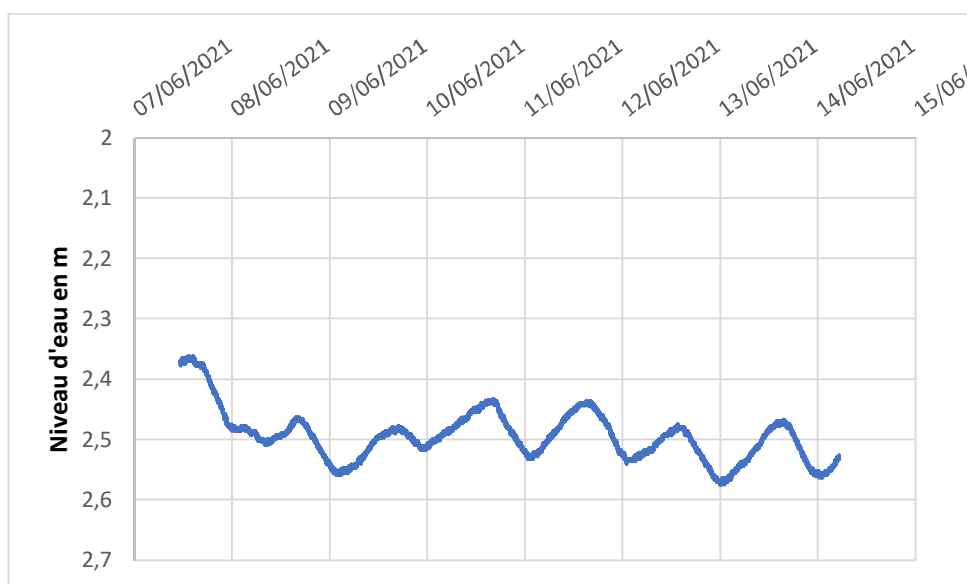


Figure 32 : Variation du niveau dans PZ3 du 07 au 15 juin 2021

Entre le 07 et 09 juin nous observons une baisse significative du niveau de presque 20 cm, cette courbe se superpose parfaitement aux variations du Guil (figure 13). Cette importante baisse du niveau est liée à la présence d'importantes précipitations survenues les jours précédents.

Le niveau d'eau dans cet ouvrage remonte à partir du 09 juin 2021, alors même que le forage est en pleine phase de pompage longue durée.

Il n'est donc pas possible de démontrer que le pompage dans le forage a eu une incidence sur le niveau d'eau dans PZ3. Toutefois, les précipitations jouent un rôle prépondérant sur le niveau de l'aquifère.

6.4.2.2.4 PZ4

La figure ci-dessous présente les variations de niveau dans le piézomètre PZ4 lors du premier essai de pompage :

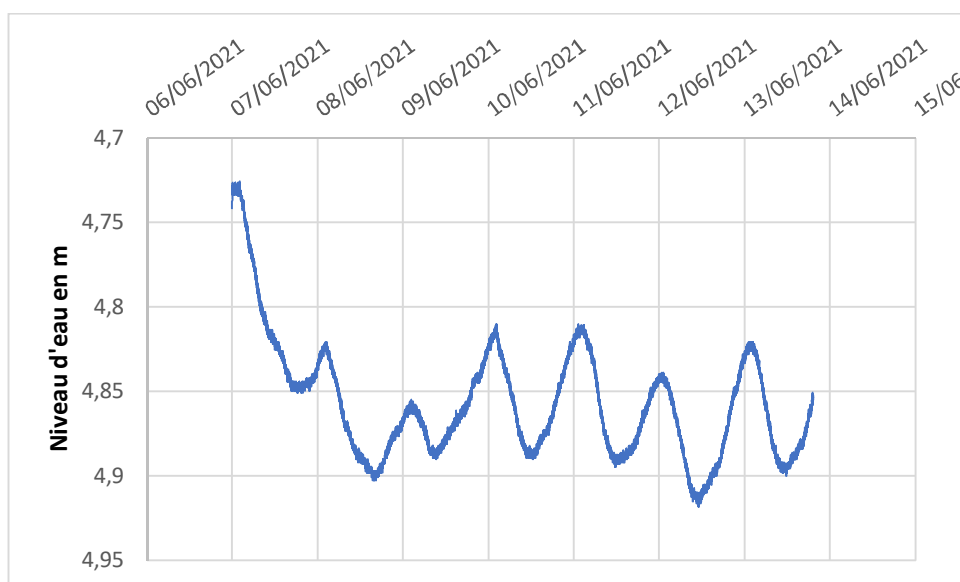


Figure 33 : Variation du niveau d'eau dans PZ4 du 07 au 15 juin 2021

Entre le 07 et 09 juin nous observons une baisse significative du niveau de presque 20 cm, cette courbe se superpose parfaitement aux variations du Guil (figure 13). Cette importante baisse du niveau est liée à la présence d'importantes précipitations survenues les jours précédents.

Le niveau d'eau dans cet ouvrage remonte à partir du 09 juin 2021, alors même que le forage est en pleine phase de pompage longue durée.

Il n'est donc pas possible de démontrer que le pompage dans le forage a eu une incidence sur le niveau d'eau dans PZ4. Toutefois, les précipitations jouent un rôle prépondérant sur le niveau de l'aquifère.

6.4.2.2.5 PZ7

La figure ci-dessous présente les variations de niveau dans le piézomètre PZ7 lors du premier essai de pompage :

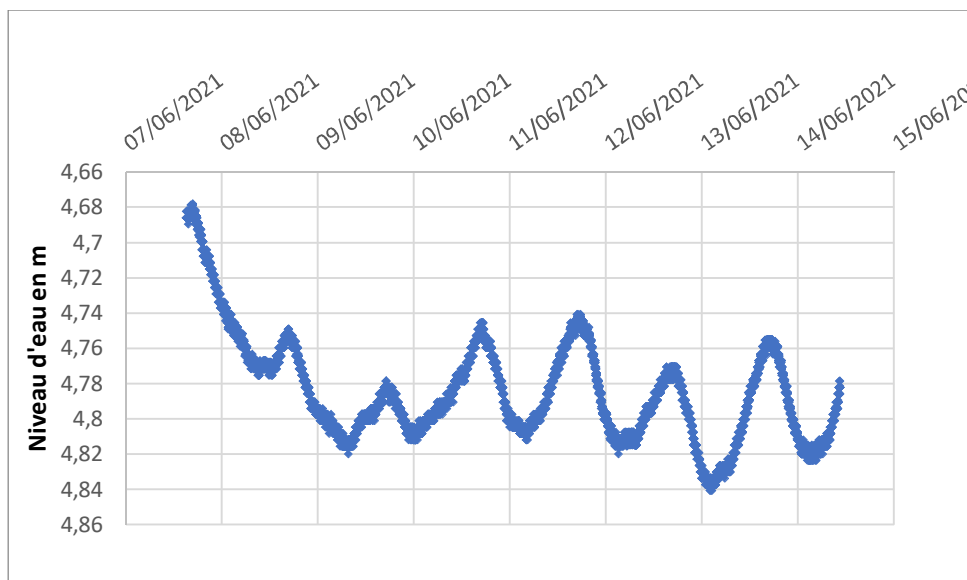


Figure 34 : Variation du niveau dans PZ7 du 07 au 15 juin 2021

Entre le 07 et 09 juin nous observons une baisse significative du niveau de presque 20 cm, cette courbe se superpose parfaitement aux variations du Guil (figure 13). Cette importante baisse du niveau est liée à la présence d'importantes précipitations survenues les jours précédents.

Le niveau d'eau dans cet ouvrage remonte à partir du 09 juin 2021, alors même que le forage est en pleine phase de pompage longue durée.

Il n'est donc pas possible de démontrer que le pompage dans le forage a eu une incidence sur le niveau d'eau dans PZ7. Toutefois, les précipitations jouent un rôle prépondérant sur le niveau de l'aquifère.

6.4.3 Second essai longue durée du 21 au 22 juillet 2021

6.4.3.1 Piézomètres

Lors du second essai de pompage, seul PZ1 a subi des variations significatives qui nous permettent de déterminer des paramètres hydrodynamiques.

La figure ci-après présente les variations de niveau dans le piézomètre PZ1 lors du second essai de pompage :

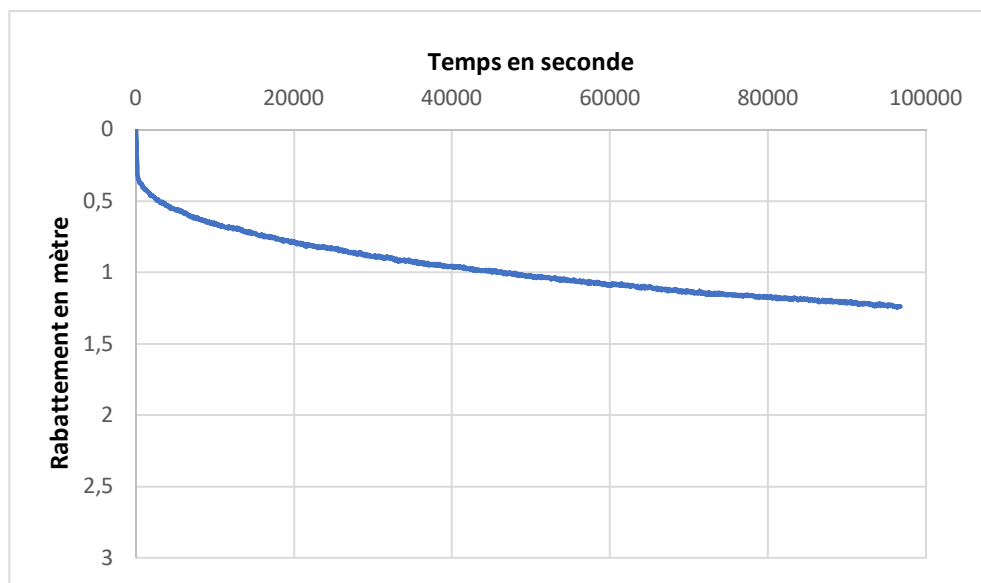


Figure 35 : Variation du rabattement dans PZ1 lors du second essai longue durée

Commentaires et interprétation :

Lors de ce test le niveau dans PZ1 a rapidement diminué avant de stabiliser à un rabattement d'environ 1,25 m. Contrairement aux tests réalisés au mois de Juin, nous n'observons pas de légères fluctuations du niveau en pompage. Cela pourrait s'expliquer par le caractère d'étiage, que ce soit de la rivière ou bien des sources.

6.4.3.1.1 Méthode de Jacob

Pour déterminer les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère, la méthode de Jacob utilise les variations de niveau dans le forage (figure 23) avec l'axe des abscisses en logarithme.

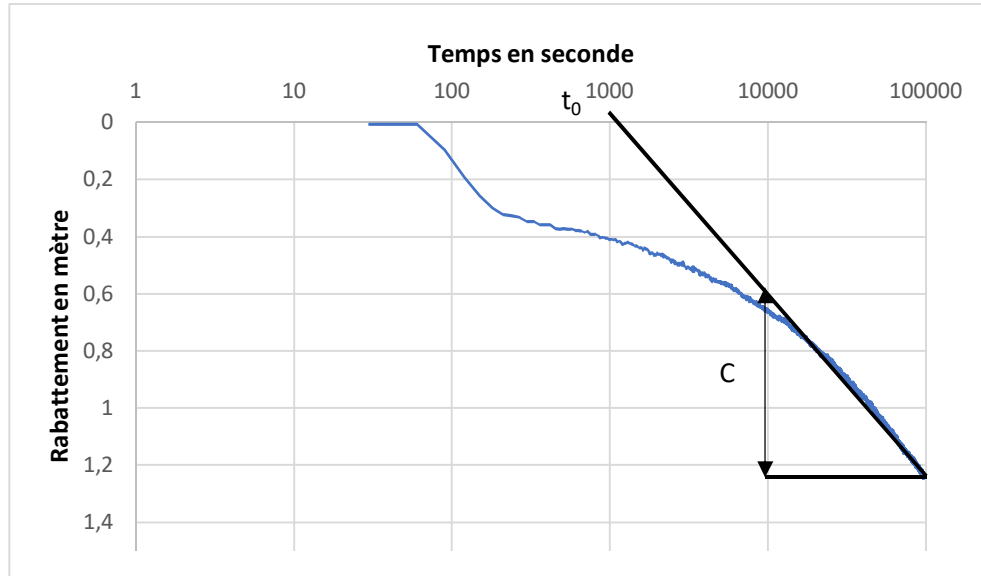


Figure 36 : Variation du rabattement dans PZ1 lors du second essai longue durée (échelle logarithmique)

Détermination des paramètres hydrodynamiques :

Les valeurs d'entrée de la méthode sont les suivantes :

- **Q** 62 m³/h soit 0,0172 m³/s
- **C** 0,7 (correspond à la variation de niveau sur un cycle logarithmique)
- **R** 18 mètres
- **T₀** 1 000 secondes

La transmissivité est alors déterminée par la formule suivante :

$$T = \frac{2,3}{4\pi} \cdot \frac{Q}{\Delta s}$$

$$T = 0,004 \text{ m}^2/\text{s}$$

La porosité est alors déterminée par la formule suivante :

$$S = \frac{2,25 \cdot T \cdot t_0}{r^2}$$

$$S = 0,03$$

Fiabilité de la mesure : La fiabilité de la mesure se détermine par le calcul du terme $1/u$. Ici il est égal à 384, on a donc une fiabilité inférieure à 0,25% (voir chapitre 6.4.1.2).

6.4.3.1.2 Méthode de THEIS

La méthode de THEIS consiste à faire varier les paramètres de transmissivité et de porosité pour que la courbe théorique se rapproche le plus de la courbe expérimentale. La courbe de calage du modèle est présentée dans la figure suivante :

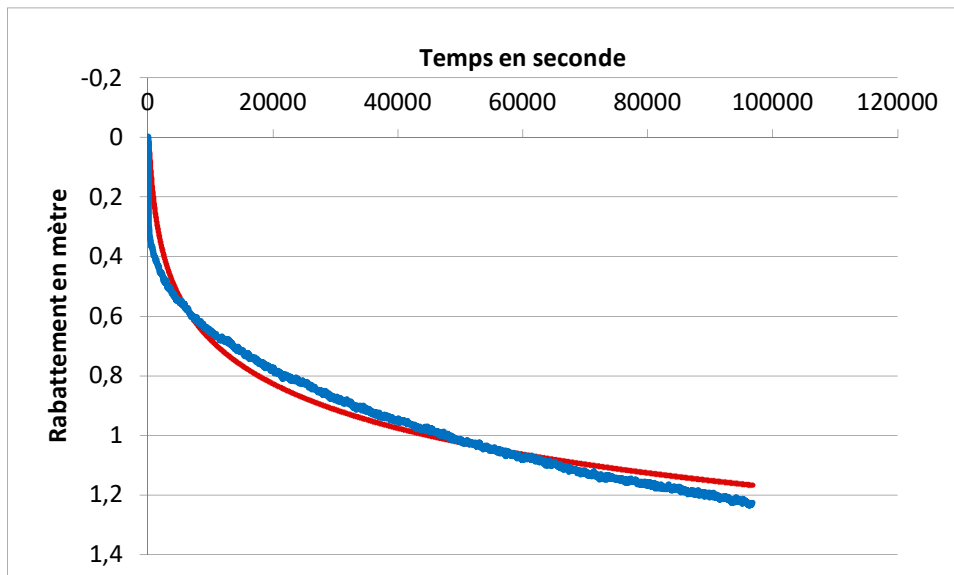


Figure 37 : Courbe de calage du modèle de THEIS sur la droite expérimentale (premier essai de pompage sur le forage)

Détermination des paramètres hydrodynamiques

Les paramètres d'entrée sont les suivants :

- **Q** 62 m³/h soit 0,0172 m³/s
- **R** 18 mètres
- Le rabattement dans le piézomètre correspond à 5 % de la hauteur de l'aquifère, l'équation de THEIS reste donc valide pour les nappes libres

La transmissivité et la porosité alors déterminées sont les suivantes :

$$T = 0,0050 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S = 0,04$$

6.5 ESSAI DE REMONTEE

6.5.1 Premier essai de pompage

6.5.1.1 Forage

L'étude de la remontée par la méthode JACOB, consiste à déterminer les effets de l'arrêt du pompage grâce au principe de superposition : on combine une « poursuite fictive » du pompage au débit initial Q avec une « injection fictive » d'eau au même débit soit un pompage au débit $-Q$. Le rabattement se mesure dans le piézomètre d'observation.

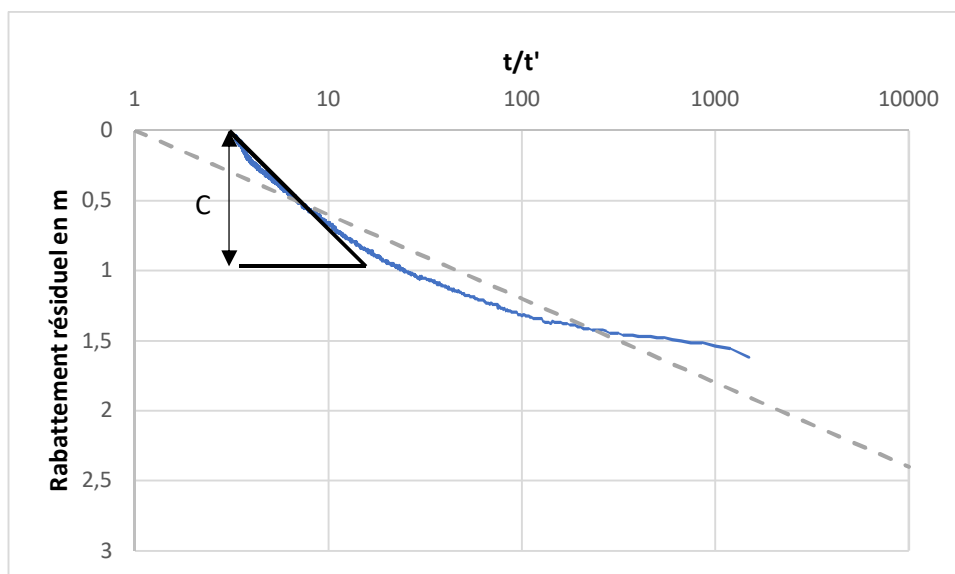


Figure 38 : Variation du rabattement résiduel lors de la remontée dans le forage lors du premier essai de pompage

Commentaires et interprétation :

L'interception de l'axe des abscisses peut être expliquée par deux phénomènes : le premier par une variation de la porosité en cours de remontée et le second par une réalimentation de l'aquifère par un apport externe. La présence de la drainance observée, sur le forage, lors du premier essai de pompage se confirme dans l'analyse des courbes de remontée. Plusieurs phénomènes interviennent donc, ces derniers ne peuvent être définis avec précision par l'intermédiaire de ce pompage. Il est néanmoins possible de déterminer la transmissivité grâce à ce test. Il est très peu probable que cette « recharge » de l'aquifère soit provoquée par le Guil. En effet, les niveaux d'eau dans PZ3, en cours de pompage, ne montrent aucune variation qui peut être directement liée au pompage. L'hypothèse la plus probable est donc l'existence d'un apport d'eau externe latéral par les versants.

Détermination des paramètres hydrodynamiques

Les valeurs d'entrée de la méthode sont les suivantes :

- **Q** 62 m³/h soit 0,0172 m³/s
- **C** 1 (correspond à la variation de niveau sur un cycle logarithmique)

La transmissivité est alors déterminée par la formule suivante :

$$T = \frac{2,3}{4\pi} \cdot \frac{Q}{\Delta s}$$

$$T = 0,0031 \text{ m}^2/\text{s}$$

6.5.2 Second essai de pompage

6.5.2.1 Piézomètres

Lors de la remontée du second essai de pompage, seul le piézomètre PZ1 a subi des variations de niveau significatives qui permettent l'interprétation des données.

La détermination des paramètres hydrodynamiques lors de la phase de remontée confirme les résultats obtenus lors de la phase de pompage. Lors de la remontée, le terme de temps est remplacé par t/t' qui correspond au temps écoulé depuis l'origine du pompage sur le temps compté depuis l'arrêt du pompage.

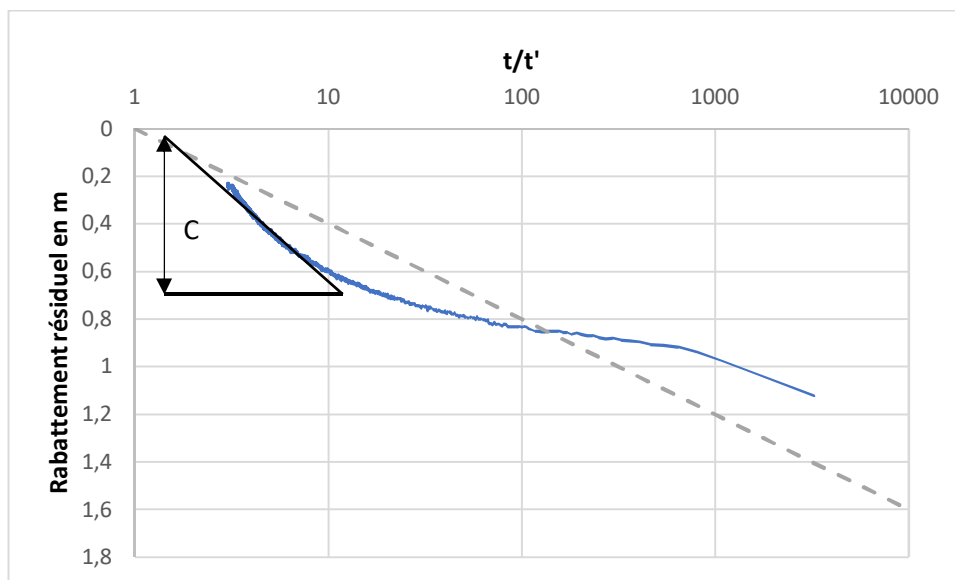


Figure 39 : Variation du rabattement résiduel lors de la remontée dans PZ1 lors du second essai de pompage
Commentaires et interprétations :

L'allure de cette courbe s'éloigne grandement de la courbe théorique de remontée. Cela peut s'expliquer par la présence de plusieurs conditions réelles différentes par rapport à la théorie. Cette courbe n'est pas caractéristique de la présence d'un phénomène de drainance, pourtant le fait que la courbe « passe au-dessus de la courbe théorique » est le signe d'un effet de recharge de l'aquifère. Plusieurs phénomènes interviennent donc, ces derniers ne peuvent être définis avec précision par l'intermédiaire de ce pompage. Il est néanmoins possible de déterminer la transmissivité grâce à ce test.

Il est très peu probable que cette « recharge » de l'aquifère soit provoquée par le Guil. En effet, les niveaux d'eau dans PZ3, en cours de pompage, ne font pas montre aucune variation qui peut être directement liée au pompage. L'hypothèse la plus probable est donc l'existence d'un apport d'eau externe latéral par les versants.

Détermination des paramètres hydrodynamiques :

Les valeurs d'entrée de la méthode sont les suivantes :

- **Q** 62 m³/h soit 0,0172 m³/s
- **C** 0,7 (correspond à la variation de niveau sur un cycle logarithmique)

La transmissivité est alors déterminée par la formule suivante :

$$T = \frac{2,3}{4\pi} \cdot \frac{Q}{\Delta s}$$

$T = 0,0039 \text{ m}^2/\text{s}$

6.6 SYNTHÈSE DES ESSAIS LONGUE DURÉE

Le tableau ci-dessous synthétise les différents paramètres hydrodynamiques calculés avec les différentes méthodes sur les différents essais de pompage :

	Point de mesure	T	S
Premier essai de pompage (descente)	Forage (Jacob)	0,007	-
	Forage (Theis)	0,008	0,02
	Pz2 (Jacob) ¹	0,021	0,41
Second essai de pompage (descente)	Pz1 (Jacob)	0,004	0,03
	Pz1 (Theis)	0,005	0,04
Premier essai de pompage (remontée)	Forage	0,003	-
Second essai de pompage (remontée)	Pz1	0,0039	-

Tableau 8 : synthèse des paramètres hydrodynamiques

Quelles que soient les méthodes utilisées ou bien les périodes de réalisation des essais de pompage, nous obtenons une grande homogénéité des résultats pour le Forage et PZ1.

Les différences de valeurs peuvent être expliquées soit par des variations de débit de la pompe ou par les incertitudes de détermination qui s'appuient sur une méthode graphique (méthode de JACOB).

Pour PZ2, les résultats obtenus lors de la phase de descente pour le premier essai de pompage pour le piézomètre PZ2, sont à prendre avec une extrême précaution. En effet, l'influence de facteurs externes (apports latéraux ou impact de la rivière) rend très compliquée l'interprétation des résultats.

Etant donné que les mesures de transmissivité et de porosité n'ont été déterminées que grâce aux piézomètres PZ1 et PZ2 (les autres n'ayant pas réagi au pompage), il ne nous est pas possible de déterminer ces paramètres pour l'intégralité de la zone d'étude.

Nous poserons comme hypothèse que la transmissivité et la porosité sont homogènes sur l'intégralité de la zone d'étude, que ce soit horizontalement ou verticalement.

**Nous proposons de retenir les valeurs, pour la transmissivité $T = 0,005 \text{ m}^2/\text{s}$
et pour la porosité $S = 0,03$.**

¹ Les valeurs de transmissivité et de porosité sont données à titre informatif, en effet, le niveau d'eau dans le piézomètre est influencé par des facteurs externes qui ne permettent pas une grande fiabilité dans les résultats.

6.7 DETERMINATION DES PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES

6.7.1 Caractéristiques de l'aquifère

La réalisation des différents piézomètres a permis de dresser la coupe géologique de la zone d'étude, et il apparaît que l'aquifère présente une compartimentation marquée. Cela ne permet pas de définir l'aquifère comme captif, étant donné que les formations qui présentent la plus faible perméabilité permettent en grande partie à l'alimentation du forage.

Nous considérons donc l'aquifère, comme une nappe libre, disposant de formations hétérogène avec une perméabilité propre.

Les essais de pompage n'ont pas permis de mettre en évidence la présence de limite étanche ou alimentée. Mais la faible largeur de la nappe alluviale nécessite obligatoirement la présence d'une limite étanche sur les bords des versants et d'une limite alimentée à l'approche du Guil. Le rayon d'influence (voir calcul chapitre 6.7.3), pour un pompage de 48 heures, est de 254 mètres. Le forage est situé à 40 mètres du versant et 110 mètres du Guil. Ce pompage aurait dû marquer la présence d'une limite de l'aquifère.

L'hypothèse d'un apport latéral via les versants pourrait justifier que nous n'avons pas pu mettre en évidence la présence de limites. En effet, ces apports d'eau ralentissent l'apparition de ces limites et le pompage effectué de 72 heures n'est pas suffisant pour les atteindre.

6.7.2 Détermination des paramètres d'entrée

6.7.2.1 Gradient de l'aquifère

D'un point de vue général nous proposons de définir le gradient moyen de la zone d'étude à 1,6%, cette valeur correspond à la valeur moyenne entre les ouvrages PZ1, PZ4, PZ5, PZ6 et PZ7. Nous avons retiré les valeurs de PZ3, car elles sont trop influencées par la rivière et celle de PZ2, car elles sont trop influencées par des apports latéraux.

Il est important de rappeler que le gradient de l'aquifère est beaucoup plus important entre PZ2 et le forage (environ 7%) que par rapport aux autres ouvrages.

6.7.2.2 Hauteur de l'aquifère

Nous ne connaissons pas les variations de hauteur de l'aquifère de l'ensemble de la plaine alluviale (présence de chenaux ?). Il est également fort probable que l'épaisseur soit de moins en moins importante à l'approche des versants.

En l'absence de données et pour les besoins du calcul, nous définirons une hauteur de l'aquifère constante sur l'intégralité de la zone d'étude et égale à 26 mètres. Cette donnée provient de l'interprétation de la coupe géologique de PZ1, couplée à l'étude de la piézométrie locale.

6.7.2.3 Porosité et transmissivité

La transmissivité et la porosité ont été déterminées par l'intermédiaire de deux essais de pompage longue durée, et l'interprétation de ces données par la méthode JACOB et de THEIS (voir chapitre 6.6).

Nous proposons de retenir la valeur de transmissivité comme étant de 0,005 m²/s et la valeur de la porosité comme étant de 0,03.

6.7.2.4 Limite de l'aquifère

Les essais de pompage n'ont pas permis de mettre en évidence la présence de limite alimentée ou étanche. Nous n'avons donc aucune information sur les limites de l'aquifère. Toutefois, la plaine alluvionnaire est étroite, seulement 100 mètres de large, ce qui implique théoriquement la présence d'une limite alimentée par la présence du Guil et d'une limite étanche par la présence des versants schisteux.

Etant donné l'absence de données et dans un souci de simplification des calculs, **nous proposons de prendre en compte la présence d'un aquifère infini.**

6.7.3 Rayon d'influence

Le rayon d'influence d'un pompage correspond à la distance à partir de laquelle, pour un pompage d'un temps t , le rabattement sera nul. Il est défini par la formule suivante :

$$Rf = 1,5 \times \sqrt{\frac{T \times t}{S}}$$

Rf Rayon d'influence en mètre
 T transmissivité en m²/s
 t temps du pompage en seconde
 S porosité

Le rayon d'influence est donc directement relié au temps de pompage, par un souci de clarté nous présentons les résultats pour différents temps de pompage sous forme d'un tableau :

Temps de pompage	Rayon d'influence en mètres
2 heures	52
8 heures	103
24 heures	180
48 heures	254
1 mois	1 000
2 mois	1 417

Tableau 9 : valeurs du rayon d'influence

Le rayon d'influence d'un pompage à un débit de 62 m³/h sur une durée de 48 heures engendre un rayon d'influence de l'ordre de 254 mètres. Le piézomètre PZ2 (situé en bordure de la nappe alluviale) est situé à une distance de 48 mètres du forage. Ce pompage aurait donc dû mettre en évidence la présence d'une limite étanche. Cette absence de limite peut être expliquée par la présence d'apports latéraux via les versants.

6.7.4 Calcul des isochrones

Les isochrones correspondent à la zone d'appel de l'eau de la nappe vers les forages dans un temps donné. Pour des raisons pratiques, on considérera que l'ensemble de la nappe est homogène.

La détermination des isochrones par la méthode de Wyssling nécessite de connaître le sens d'écoulement des eaux souterraines. Cependant, nous avons un sens d'écoulement des eaux qui varie en fonction du pourcentage des apports latéraux. Pour simplifier les calculs, nous prendrons un sens d'écoulement unique qui sera parallèle au sens d'écoulement du Guil.

Dans cette hypothèse, on peut définir le front d'appel grâce à la méthode de Wyssling. Nous proposons de calculer les isochrones avec plusieurs hypothèses de débit de pompage :

- **Débit en continu à 62 m³/h** : cette hypothèse est la plus défavorable puisqu'il s'agit d'un pompage en continu
- **Fonctionnement en intermittence** : réalisation d'un pompage à 62 m³/h pendant 4 heures par jour, soit un débit moyen journalier de 10 m³/h
- **Prise en compte de l'hypothèse d'un apport latéral hypothèse haute** : nous proposons une répartition des débits à 50% entre les apports latéraux et l'aquifère alluvial. Débit de pompage fixé à 10 m³/h.
- **Prise en compte de l'hypothèse d'un apport latéral, hypothèse basse** : nous proposons une répartition des débits à 25 % pour les apports latéraux. Débit de pompage fixé à 10 m³/h

Les valeurs d'isochrones sont fixées à 10,50, 100 et 150 jours.

Paramètre de la nappe		Formule	Résultats			
Epaisseur aquifère (en m)	b		26			
Transmissivité (en m ² /s)	T	$T = K*b$	0,005			
Perméabilité (m/s)	K	$K=T/b$	0,00019			
Gradient de l'aquifère (en %)	i		0,016			
Porosité efficace (en %)	ω		0,03			
Débit du puits (en m ³ /h)	Q		62			
Débit du puits (en m ³ /s)	Q		0,0172			
Calcul du front d'appel		Formule	Résultats			
Largeur maximale du front d'appel en m	B	$B = Q/(T*i)$	215			
Rayon d'appel en m	x ₀	$x_0 = Q/(2*\pi*T*i)$	34			
Front d'appel au droit du captage en m	B'	$B' = B/2$	108			
Calcul des isochrones		Formule	à 10 jours	à 50 jours	à 100 jours	à 150 jours
Vitesse effective en m/s	U	$U=K*i/\omega$	1,3E-04	1,3E-04	1,3E-04	1,3E-04
Valeur isochrone en secondes	t		864 000	4 320 000	8 640 000	12 960 000
Distance en m à la valeur t définie	l	$l=U*t$	89	443	886	1329
Distance isochrone/forage Amont en m	s ₀	$s_0 = l+S((l+8x_0))/2$	134	503	950	1395
Distance isochrone/forage Aval en m	S _u	$S_u = -l+S((l+8x_0))/2$	45	60	64	65

Tableau 10 : Détermination des isochrones (10, 50,100 et 150 jours) pompage continu

Paramètre de la nappe		Formule	Résultats			
Epaisseur aquifère (en m)	b		26			
Transmissivité (en m ² /s)	T	$T = K*b$	0,005			
Perméabilité (m/s)	K	$K=T/b$	0,00019			
Gradient de l'aquifère (en %)	i		0,016			
Porosité efficace (en %)	ω		0,03			
Débit du puits (en m ³ /h)	Q		10			
Débit du puits (en m ³ /s)	Q		0,0027			
Calcul du front d'appel		Formule	Résultats			
Largeur maximale du front d'appel en m	B	$B = Q/(T*i)$	35			
Rayon d'appel en m	x ₀	$x_0 = Q/(2*\pi*T*i)$	6			
Front d'appel au droit du captage en m	B'	$B' = B/2$	17			
Calcul des isochrones		Formule	à 10 jours	à 50 jours	à 100 jours	à 150 jours
Vitesse effective en m/s	U	$U=K*i/\omega$	1,3E-04	1,3E-04	1,3E-04	1,3E-04
Valeur isochrone en secondes	t		864 000	4 320 000	8 640 000	12 960 000
Distance en m à la valeur t définie	l	$l=U*t$	89	443	886	1329
Distance isochrone/forage Amont en m	s ₀	$s_0 = l+S((l+8x_0))/2$	99	285	897	1340
Distance isochrone/forage Aval en m	S _u	$S_u = -l+S((l+8x_0))/2$	10	11	10	11

Tableau 11 : Détermination des isochrones (10, 50, 100 et 150 jours) pompage intermittent

Paramètre de la nappe		Formule	Résultats			
Epaisseur aquifère (en m)	b		26			
Transmissivité (en m ² /s)	T	$T = K*b$	0,005			
Perméabilité (m/s)	K	$K=T/b$	0,00019			
Gradient de l'aquifère (en %)	i		0,016			
Porosité efficace (en %)	ω		0,03			
Débit du puits (en m ³ /h)	Q		5			
Débit du puits (en m ³ /s)	Q		0,0013			
Calcul du front d'appel		Formule	Résultats			
Largeur maximale du front d'appel en m	B	$B = Q/(T*i)$	17			
Rayon d'appel en m	x ₀	$x_0 = Q/(2*\pi*T*i)$	3			
Front d'appel au droit du captage en m	B'	$B' = B/2$	9			
Calcul des isochrones		Formule	à 10 jours	à 50 jours	à 100 jours	à 150 jours
Vitesse effective en m/s	U	$U=K*i/\omega$	1,3E-04	1,3E-04	1,3E-04	1,3E-04
Valeur isochrone en secondes	t		864 000	4 320 000	8 640 000	12 960 000
Distance en m à la valeur t définie	l	$l=U*t$	89	443	886	1329
Distance isochrone/forage Amont en m	s ₀	$s_0 = l+S((l+8x_0))/2$	94	280	886	1329
Distance isochrone/forage Aval en m	S _u	$S_u = -l+S((l+8x_0))/2$	5	5	5	6

Tableau 12 : Détermination des isochrones (10, 50,100 et 150 jours) apports latéraux hypothèse haute

Paramètre de la nappe		Formule	Résultats			
Epaisseur aquifère (en m)	b		26			
Transmissivité (en m ² /s)	T	$T = K*b$	0,005			
Perméabilité (m/s)	K	$K=T/b$	0,00019			
Gradient de l'aquifère (en %)	i		0,016			
Porosité efficace (en %)	ω		0,03			
Débit du puits (en m ³ /h)	Q		3,75			
Débit du puits (en m ³ /s)	Q		0,0010			
Calcul du front d'appel		Formule	Résultats			
Largeur maximale du front d'appel en m	B	$B = Q/(T*i)$	13			
Rayon d'appel en m	x ₀	$x_0 = Q/(2*\pi*T*i)$	2			
Front d'appel au droit du captage en m	B'	$B' = B/2$	7			
Calcul des isochrones		Formule	à 10 jours	à 50 jours	à 100 jours	à 150 jours
Vitesse effective en m/s	U	$U=K*i/\omega$	1,3E-04	1,3E-04	1,3E-04	1,3E-04
Valeur isochrone en secondes	t		864 000	4 320 000	8 640 000	12 960 000
Distance en m à la valeur t définie	l	$l=U*t$	89	443	886	1329
Distance isochrone/forage Amont en m	s ₀	$s_0 = l+S(l/(1+8x_0))/2$	93	279	890	1333
Distance isochrone/forage Aval en m	S _u	$S_u = -l+S(l/(1+8x_0))/2$	4	4	4	4

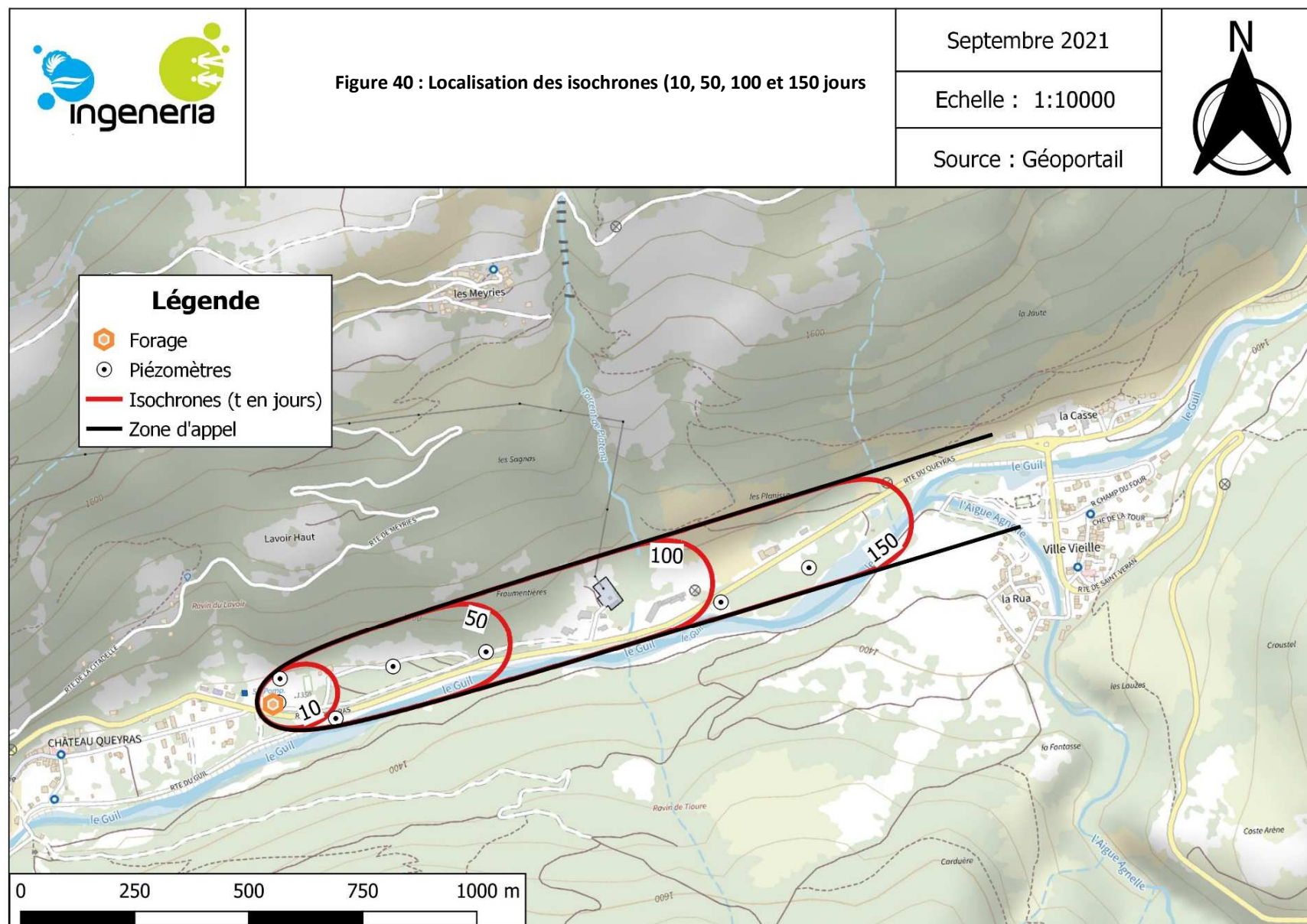
Tableau 13 : Détermination des isochrones (10, 50,100 et 150 jours) apports latéraux hypothèse basse

Les calculs des isochrones avec différentes estimations de débits montre que les distances entre l'isochrones 150 jours varient très peu, de 1 395 à 1 333 mètres. Seule la largeur du front d'appel est modifiée, en passant de 215 à 13 mètres. Cette modification n'a que très peu d'influence sur la vulnérabilité de notre zone d'étude étant donné la présence de nombreux axes d'écoulement qui peuvent être soit longitudinal, soit transversal à la rivière, créant ainsi un important mélange des eaux et potentiellement de polluants.

A ce stade de l'étude, nous avons émis l'hypothèse de la présence d'un apport latéral via les versants, en nous appuyant sur de nombreuses preuves, ce qui modifie la localisation réelle des isochrones. Cependant, les données actuellement en notre possession ne nous permettent pas de définir les paramètres hydrodynamiques de la nappe contenue dans les éboulis des versants, il nous est donc impossible de localiser les isochrones en direction des versants.

En d'autres termes cela veut dire que, quel que soit le débit de fonctionnement de l'ouvrage, la détermination des isochrones et les mesures à mettre en place pour la protection de la ressource reste identique.

Nous avons fait le choix de présenter seulement la carte de localisation des isochrones pour un débit de pompage à 62 m³/h, car il constitue le cas le plus défavorable. :



7 DIAGRAPHIE DE FLUX

7.1 MATERIEL UTILISE

Le matériel utilisé est un fluxmètre « SEBA Mini Current M1 », composé d'une sonde graduée à laquelle est adaptée un micromoulinet dont l'hélice a un diamètre de 50 mm.

L'hélice est placée en fond de forage, la mesure se fait à la remontée. La prise de mesure se fait de façon « statique » c'est-à-dire que, pompe du forage en fonctionnement, l'hélice est maintenue à une profondeur constante durant 30 secondes, pour enregistrer un nombre de tours d'hélice, qui seront ultérieurement converties en débit instantané local.

On remonte ensuite l'hélice et on recommence la mesure. La remontée se fait à intervalle de hauteur constante. Si l'écart entre deux mesures est important, on réduit l'intervalle de distance. La mesure s'arrête lorsqu'on atteint la cote d'installation de la pompe.

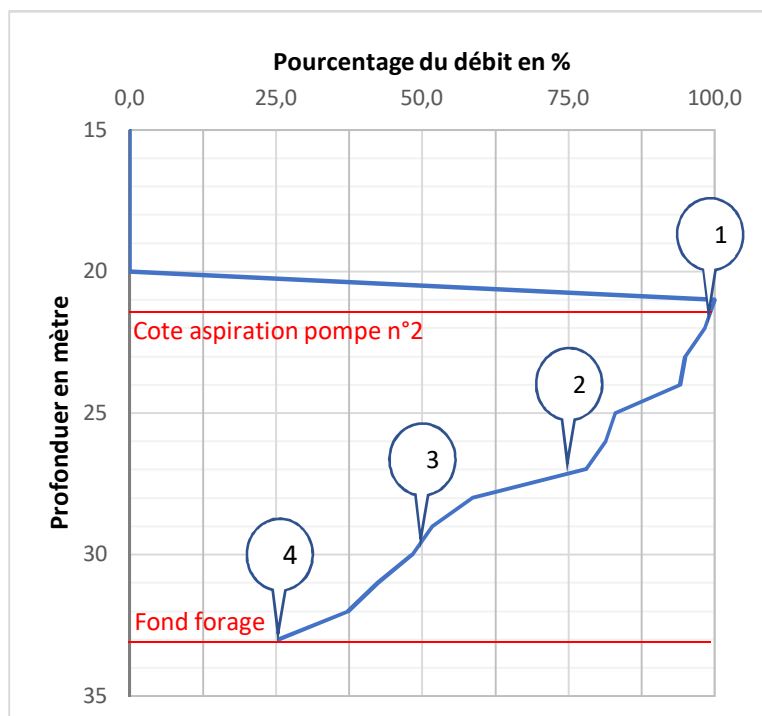
La conversion du nombre de tour d'hélice en débit se fait au moyen d'un abaque et elle est fonction du diamètre du tubage du forage au point de mesure.



Figure 41 : Fluxmètre SEBA Mini Current M1

7.2 RESULTATS ET INTERPRETATION

Le test a été effectué le 02 septembre 2021, à l'occasion du démontage de l'installation de suivi du traçage (voir supra.) au débit nominal de la pompe n° 2 en place (62 m³/h) dont la cote d'aspiration se trouve à 21,8m/capot Foug. Les résultats sont présentés en pourcentage de débit fonction de la profondeur :



- 1) 25 % proviennent de la tranche entre 26.5 et 21 m de profondeur
- 2) 25 % supplémentaires proviennent de la tranche entre 29 et 26.5 m de profondeur
- 3) 25 % supplémentaires proviennent de la tranche entre 33 et 29 m de profondeur
- 4) 25% de l'eau provient du fond du forage

Figure 42 : Courbe de restitution des données de mesures de flux

7.3 INTERPRETATION

Quoiqu'aucune crépine n'ait pu être observée lors de l'inspection vidéo, en raison des colmatages et concrétionnements, 75 % des 62 m³/h pompés au moyen de pompe n° 2 proviennent de la partie inférieure de l'ouvrage, entre 27 et 33 mètres de profondeur.

On ne mesure aucun débit au-dessus de la cote d'aspiration de la pompe.

On peut en conclure :

- ✓ Qu'il existe une zone crépinée entre 21 et 33 mètres de profondeur,
- ✓ Que les tubes de 0 à 21 m sont intègres et ne laissent s'infiltrer aucune eau à travers d'éventuelles perforation du tubage,
- ✓ Que le fond du forage se situe au-delà de 33 mètres (et qu'il est masqué par des dépôts), ou bien que le fond de l'ouvrage soit ouvert (sans plaque de fond), ce qui permettrait l'arrivée d'au moins 15 m³/h par le fond de l'ouvrage,
- ✓ Que les pompes sont convenablement disposées dans l'ouvrage, par rapport à la cote des crépines : au-dessus (pour la pompe n° 1) et juste au niveau du début des crépines (pompe n° 2),
- ✓ Que bien que le débit critique n'ait pas été atteint lors des essais par paliers, l'état de l'ouvrage (concrétions, dépôt de fond d'ouvrage) influe probablement sur sa productivité et qu'une opération d'entretien par traitement chimique et : ou hydromécanique améliorerait notablement sa productivité.

8 TRACAGE

8.1 GENERALITES

La technique de traçage artificiel est régulièrement utilisée en hydrogéologie et en hydrogéologie pour déterminer les vitesses et les propriétés de transferts entre le point d'injection et les points de contrôles.

Les molécules utilisées dans le cadre de ces traçages disposent de caractéristiques physiques qui leur permettent d'être mise en évidence par de la spectrofluorimétrie. Lors d'une coloration, les sources captées pour l'alimentation en eau potable sont généralement suivies par l'intermédiaire de préleveurs automatique et/ou de fluorimètre de terrains.

8.2 CHOIX DES TRACEURS

Les traceurs fluorescents sont largement utilisés dans le cadre de traçage hydrologique pour déterminer les vitesses de transfert et les dynamiques d'écoulement, en raison :

- De leur bonne solubilité dans l'eau
- D'une faible toxicité
- D'une détection possible, mais à faible concentration
- D'une bonne stabilité chimique

Chaque traceur fluorescent dispose d'une longueur d'émission qui sera détectée par le fluorimètre de terrain.

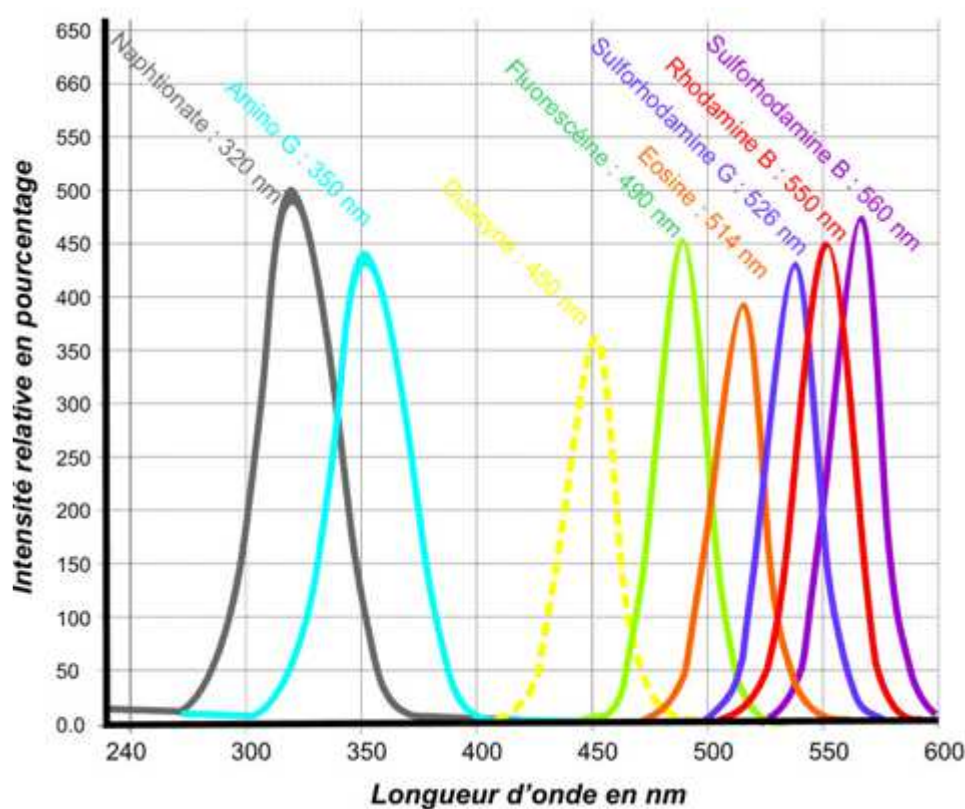


Figure 43 : Spectre des traceurs fluorescents

Nous proposons de réaliser un multi traçage par l'utilisation de 4 traceurs différents :

- **Fluorescéine** : ce traceur fluorescent est également dénommé « Uranine » et est très utilisé en raison de sa grande sensibilité de détection et de sa faible tendance à l'adsorption. Ce traceur offre les meilleures performances de fluorescence qui est une détection fiable qui est possible jusqu'à des concentrations de l'ordre de 0,02µg/l.
- **Sulforhodamine B** : dispose d'une fluorescence assez éloignée de la fluorescéine pour permettre la réalisation d'un traçage commun, de plus il n'y a pas de risque majeur d'interférence. Ce traceur dispose d'un seuil de détection à une concentration de l'ordre de 0,5 µg/l.
- **Naphtionate** : ce traceur dispose d'une fluorescence très différente des deux autres traceurs utilisés. Cela permet de réaliser un multi traçage sans risque d'interaction. Ce traceur dispose d'un seuil de détection à une concentration de l'ordre de 0,1 µg/l
- **NaCl** : Ce traceur n'est pas fluorescent, mais il permet d'obtenir les mêmes informations avec un suivi de conductivité électrique. Le choix de l'utilisation de ce traceur est d'apporter des informations sur de faible distance sans interaction possible avec les traceurs fluorescents.

8.3 TOXICITE DES TRACEURS

La toxicité des traceurs a été parfaitement analysée dans l'étude publiée par Jean Carré de l'Ecole Nationale de Santé Publique de Rennes en 2007, « Risque sanitaires associés aux traceurs fluorescents habituellement utilisés en hydrologie ». Cette étude a montré que ces molécules ne montrent pas de risque pour la santé publique, pour faune et pour la flore qui peuvent y être exposées.

Seule la Rhodamine B peut potentiellement induire des effets toxicologiques. Néanmoins, les durées d'exposition et les dilutions importantes sont très faibles, et ce composé peut être envisagé sans restriction particulière.

Le risque principal de l'utilisation de ces traceurs est l'injection. Durant cette période les concentrations sont très importantes. C'est pourquoi nous mettrons en place des équipements de préservation de la santé du personnel et une formation des opérateurs manipulant ces substances.

8.4 DETERMINATION DU TEMPS DE TRANSFERT

Le temps de transfert des colorants peut être déterminé par la formule suivante :

$$V = \frac{k \times i}{s}$$

Avec :

V	vitesse de l'eau en m/s
K	perméabilité m/s
I	gradient de charge hydraulique
S	porosité

	Distance (en m)	Gradient hydraulique	Perméabilité (m/s)	Porosité	Vitesse (en m/j)	Temps (en jours)
Entre PZ1 et le forage	18	1,3	0,0004	0,003	12,48	1,2
Entre PZ2 et le forage	44,6	6,4			61,44	0,6
Entre PZ3 et le forage	140,9	-0,5			-4,8	-24,5
Entre PZ4 et le forage	483,7	1,9			18,24	22,1
Entre PZ7 et le forage	313,9	1,2			11,52	22,7

Tableau 14 : Détermination de la vitesse de transfert des traceurs

Nous observons que la durée maximale pour l'arrivée du traceur est de 22,7 jours. De plus, cette durée a été déterminée dans le cas le plus défavorable c'est-à-dire sans pompage dans le forage et est probablement surestimé étant donné qu'un pompage sera en place lors du traçage.

8.5 DETERMINATION DES QUANTITES A INJECTER

La détermination de la quantité de traceur à injecter est une équation à plusieurs inconnues, donc il n'existe pas de résolution simple. Le choix de la masse de traceur à injection dépend notamment des critères suivants :

- Type de traceur utilisé
- Des conditions d'injection
- De l'importance et du type d'exutoire
- Des conditions hydrologiques
- De la distance entre le point d'entrée et le ou les exutoires pressentis
- Des usages de l'eau au regard du risque de coloration visible à l'œil nu

Compte tenu de l'ensemble de ces informations, nous avons injecté les masses de traceurs suivants :

- Fluorescéine : 4kg
- Sulforhodamine : 2 kg
- Naphtionate : 1kg
- NaCl : 10kg

8.6 INJECTION DES COLORANTS

L'injection des différents traceurs a été réalisée le 03 août 2021 selon la chronologie suivante :

- 10 kg de NaCl dans le piézomètre PZ1
- 1 kg de Naphtionate dans le piézomètre PZ2, poussé avec 100 l d'eau
- 2 kg de Sulforhodamine B dans le piézomètre PZ3, poussé avec 500 l d'eau
- 4 kg de Fluorescéine injectés directement dans le piézomètre PZ4



Figure 47 : Injection Naphtionate dans PZ2



Figure 45 : Injection NaCl dans PZ1



Figure 47 : Injection fluorescéine dans PZ4



Figure 45 : Injection Sulforhodamine dans PZ3

Le protocole opératoire a été le suivant :

1. Mise en place et paramétrage du fluorimètre avant de toucher aux produits d'injection
2. Préparation de chaque traceur sur son point d'injection, en commençant par l'aval (Pz1 et Pz2) et en terminant par l'amont (Pz3 puis Pz4), de façon à ne pas contaminer
3. Utilisation de combinaisons et de seaux à usage unique, pour ne pas croiser les produits et induire d'erreurs d'interprétation.

8.7 SURVEILLANCE DES EXUTOIRES

L'utilisation de plusieurs traceurs permet de mettre en évidence la présence d'éventuels chenaux d'écoulement préférentiel et de définir l'origine de ces colorants. Ces traceurs ont été sélectionnés pour éviter une quelconque interaction entre les traceurs entre eux.

La concentration en traceurs (fluorescéine, naphtionate et Sulforhodamine B) sera grâce à un fluorimètre installé directement dans le forage. Une mesure de la concentration est réalisée toutes les 15 minutes. Cette méthode d'analyse permet d'obtenir une courbe de restitution des traceurs beaucoup plus précise qu'avec un préleveur d'eau.

Pour suivre la concentration en sel dans le forage, une sonde enregistreuse de niveau et de conductivité électrique a été placée directement dans le forage. Cette sonde permet d'obtenir une courbe de restitution du traceur par l'évolution de conductivité dans l'eau du forage, avec une mesure toutes les 5 minutes.

Le traçage a été effectué dans une phase d'exploitation du forage, c'est-à-dire que le forage sera en fonctionnement durant l'intégralité du test. Pour ce faire une horloge a été placée dans l'armoire électrique du forage pour ce dernier se mette en route 8 heures par jour en suivant des cycles de 2 heures de pompage.

8.8 RESULTATS

La concentration en traceur a été suivie en continu du 03 août au 02 septembre 2021

Les concentrations des différents traceurs dans les eaux du forage sont présentées dans la figure suivante :

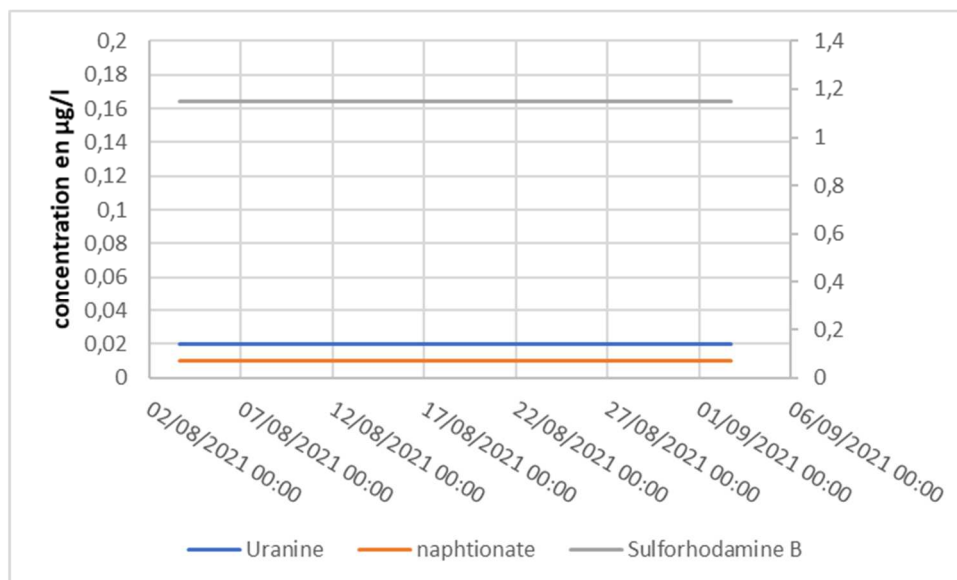


Figure 48 : Concentration en traceur dans les eaux du forage du 03/08 au 02/09

8.9 INTERPRETATION DES RESULTATS

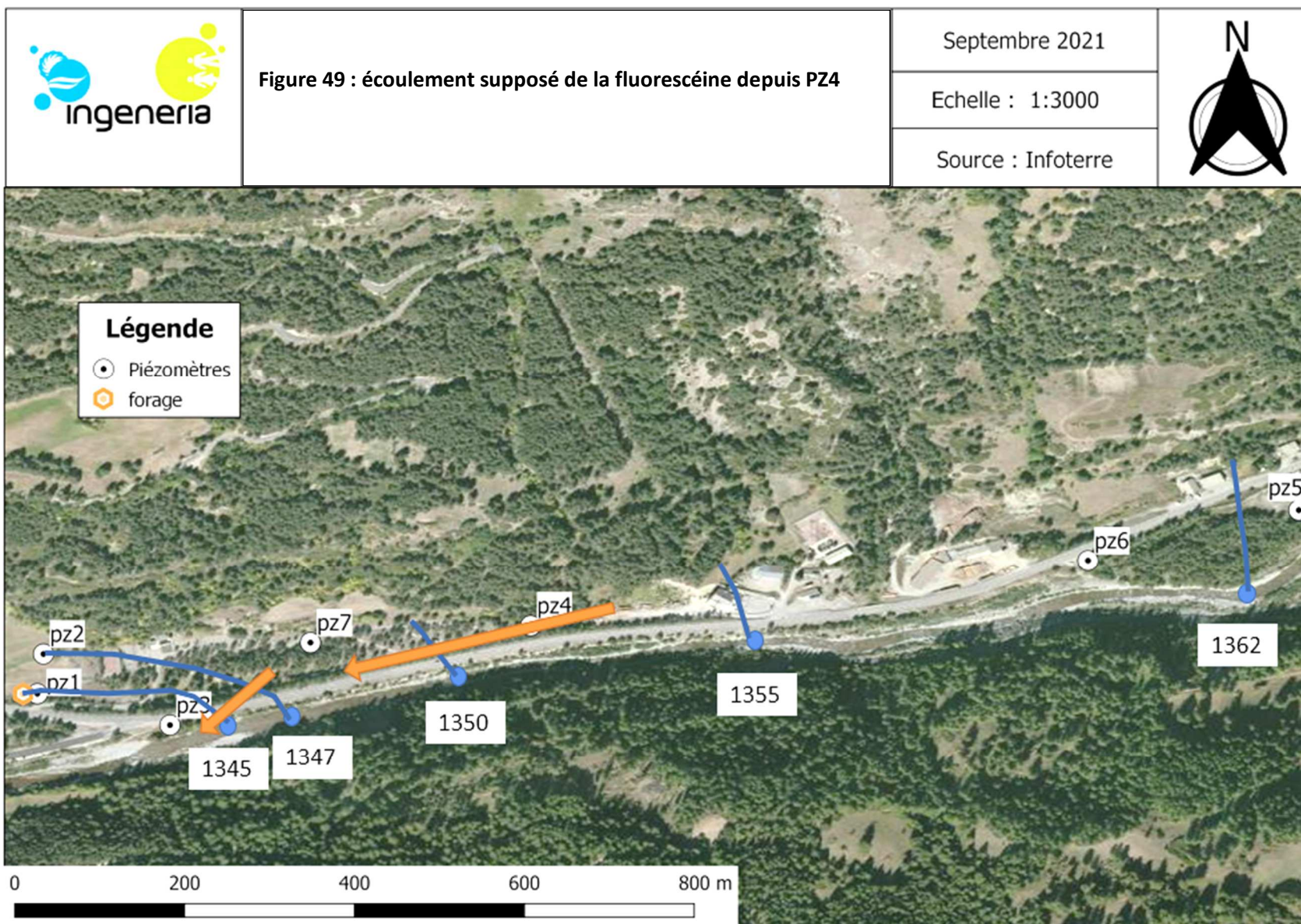
La dilution excessive des traceurs est à écarter d'emblée : la quantité de fluorescéine (4kg) aurait dû être « lue » au point de mesure, d'autant que le fluorimètre a été placé au niveau de la crépine de la pompe, donc dans une zone de circulation de la nappe.

L'hypothèse d'une vitesse de circulation plus lente que supposée pourrait expliquer qu'en un mois la fluorescéine ne soit pas arrivée au forage. Cette hypothèse est infirmée par le calcul de gradient qui indique une vitesse de circulation des eaux qui auraient dû arriver en moins de 23 jours au forage

La piézométrie au droit du forage met en évidence un écoulement perpendiculaire et à la rivière et non parallèle. La cause possible est une alimentation par les bordures : l'encaissant des schistes lustrés est localement aquifère et participe à l'alimentation du forage. Ce point est à mettre en regard avec la position de la source captée, qui alimente le château d'eau est qui se trouve dans un axe orthogonal à la rivière et passant par le forage. Cette hypothèse sous tendrait que l'injection des traceurs : fluorescéine (PZ4, piézomètre amont lointain) et Sulfurhodamine B (PZ3, près de la rivière) ont dû voir leur colorant partir vers la rivière, plutôt que vers le forage. En milieu poreux d'interstice, cette dilution et transfert des traceurs vers la rivière ne s'est pas traduite par une coloration du Guil (et heureusement !) ce qui n'invalide pas cette hypothèse. Toutefois, l'absence de préleveur ou de fluocapteurs dans le cours d'eau et n'a pas permis de valider de façon formelle cette hypothèse.

La présence d'un aquifère multicouche mis en évidence par le relevé des couches géologiques relevées dans l'ensemble des piézomètres peut aussi expliquer le résultat du traçage :

- ✓ Le piézomètre PZ1, proche du forage et tracé au sel fait 48 m de profondeur : si le sel s'est dilué en fond d'ouvrage, il a pu « passer » sous le forage et n'a pas été détecté par la sonde de conductivité placée dans le forage. Le forage dispose d'une profondeur de l'ordre 33 mètres tandis que le piézomètre une profondeur de 49,50 mètres. La géologie rencontrée sur PZ1 laisse apparaître la présence d'une formation constituée de sable et de galets sans matrice argileuse entre 38 et 46 mètres de profondeur présentant probablement une bien meilleure perméabilité par rapport aux formations captées par le forage, qui dispose d'une matrice limono argileuse qui réduit donc la perméabilité. Il est donc tout à fait possible que le sel ait pu « passer sous le forage ».
- ✓ Le piézomètre PZ2, situé entre les coteaux et le forage : profond d'une quinzaine de mètres, il a été tracé au naphthionate. Bien qu'il soit placé dans le « bon » axe de circulation de la nappe, cet ouvrage n'a pas impacté le forage, et n'a pas non plus été impacté par le pompage. Bien que l'on retrouve une variation de niveau lors des essais longue durée, la détermination de sa transmissivité et de sa porosité donne des résultats très élevés par rapport aux autres mesures. Ce qui laisse penser que ces variations de niveau ne sont pas directement liées aux pompages dans le forage. De plus cet ouvrage se trouve dans un horizon supérieur qui n'est pas capté par le forage. Il est donc probablement que le traceur soit resté dans ces horizons supérieur sans pouvoir atteindre le forage.
- ✓ Le piézomètre PZ3 situé entre la rivière et le forage, et tracé à la Sulforhodamine B : la carte piézométrique a permis de mettre en évidence que ce forage se situe en aval hydraulique par rapport au forage. La réalisation des pompages n'a pas engendré une modification du sens d'écoulement des eaux souterraines. Le pompage longue durée n'a pas eu d'impact sur le niveau de PZ3, ce qui laisse suggérer qu'il n'y a pas de relation directe entre les deux ouvrages. Il est donc tout à fait normal de n'avoir retrouvé de la Sulforhodamine B dans les eaux du forage.
- ✓ Le piézomètre PZ4 situé en amont du camping, à 480 m du forage et chargé de 4 kg de fluorescéine : il souffre d'une profondeur « insuffisante » et d'un sens d'écoulement de la nappe qui oblique vers la rivière avant d'atteindre le forage.



9 CONCLUSION

9.1 ETAT DE L'OUVRAGE

L'ouvrage est en bon état général. Même si les pompages ont montré une plutôt bonne productivité, l'inspection vidéo a aussi montré son degré d'encroûtement important, avec des concrétionnements qui obturent partiellement les crépines et peuvent masquer un état de dégradation des tubages.

Sa protection de tête est efficace et sa conception n'appelle pas de remarque particulière, hormis l'absence de toute clôture autour de l'ouvrage et dans l'enceinte du Périmètre de Protection Immédiate. Ce point sera développé au chapitre « vulnérabilité » ci-après.

L'ouvrage toutefois est ancien et il n'a jamais fait l'objet de travaux d'entretien internes, pourtant recommander tous les dix ans au moins.

Sa régénération est indispensable à court terme. L'état de l'ouvrage derrière les concrétions n'est pas connu, il est possible que le tubage soit maintenu par les concrétions et leurs retraits entraînerais un effondrement de l'ouvrage. Dans un premier un nettoyage « doux » est requis avant de réaliser une nouvelle inspection vidéo de l'ouvrage et de statuer sur l'état réel de l'ouvrage et d'éventuellement réaliser un nettoyage plus vigoureux au moyen d'un traitement chimique et/ou mécanique pour dégager les crépines de leur gangue incrustante.

Ces opérations combinées régénéreront l'ouvrage et permettront un meilleur potentiel d'exploitabilité de l'ouvrage. Le contrôle vidéo et un test de pompages par palier post-traitement permettront de confirmer la réussite du nettoyage de l'ouvrage.

9.2 FONCTIONNEMENT HYDROGEOLOGIQUE

Les études hydrogéologiques ont permis de mettre en avant un fonctionnement complexe du secteur :

L'alimentation du forage par les seules eaux du Guil est remise en question : les niveaux d'eau mesurés dans les piézomètres ont redessiné la carte piézométrique et montrent la présence d'une alimentation latérale provenant du versant de rive droite au droit du forage. Cette situation n'est qu'à demi surprenante, dans la mesure où le forage se situe à l'aplomb et en aval de la source principale qui alimente la commune. On peut tout à fait imaginer un réseau de failles drainantes orientées Nord Sud au sein des schistes lustrés, qui donnerait naissance en amont à la source et qui alimenterait latéralement les alluvions au droit du forage.

Les traçages ont renforcé cette analyse d'un aquifère qui s'écoule d'abord dans le sens de la rivière, puis, au droit du forage, se dévie vers le Guil, éloignant de la sorte le risque de pollution de l'ouvrage qui pourrait provenir de la route (ou du projet de recalibrage de celle-ci).

Les essais de pompage n'ont pas mis en évidence la présence d'une limite étanche, qui aurait dû être observée du côté du versant, au contact des alluvions et de l'encaissant des schistes lustrés. Au contraire, les pompages montrent une réalimentation externe de l'aquifère, qui par l'absence de

changement de niveau dans PZ3, dispose d'une origine plus probable par un apport via les versants que par une réalimentation par le Guil.

Les piézomètres et le pompage d'essai ont enfin mis en évidence une géologie stratifiée des alluvions qui donne lieu à des sous aquifères très peu connectés entre eux : il existe sans doute, sous la cote du fond du forage actuel qui n'a pas atteint le substratum, d'autres niveaux probablement plus productifs et sans doute encore mieux protégés.

9.3 VULNERABILITE, IMPACT DU PROJET ET PRECONISATIONS RELATIVES A LA PROTECTION DE L'OUVRAGE

9.3.1 Vulnérabilité et impact du projet routier

L'analyse croisée de l'ensemble des données obtenues par l'étude milite pour une vulnérabilité faible du forage, vis-à-vis des travaux routiers projetés : en effet l'alimentation en eau du forage semble venir plus du versant que du Guil, de sorte que le projet de déviation ne représentera qu'un risque limité pour le forage.

Il en ressort qu'une carte de vulnérabilité en tant que telle ne revêt plus l'importance qu'il supposait avant que nous réalisions nos études complémentaires

Cela n'empêchera pas de prendre les précautions pour éviter une pollution accidentelle depuis la route ou depuis toute autre activité présente ou à venir sur le territoire défini,

9.3.2 Commentaire sur le tracé des périmètres de protection actuels

Bien que ne faisant actuellement l'objet d'aucune opposabilité, la procédure réglementaire n'ayant jamais été finalisée, les périmètres de protection immédiate et rapprochée du forage ont été proposés par l'hydrogéologue Simon du CHAFFAUT dans son rapport de 2001²

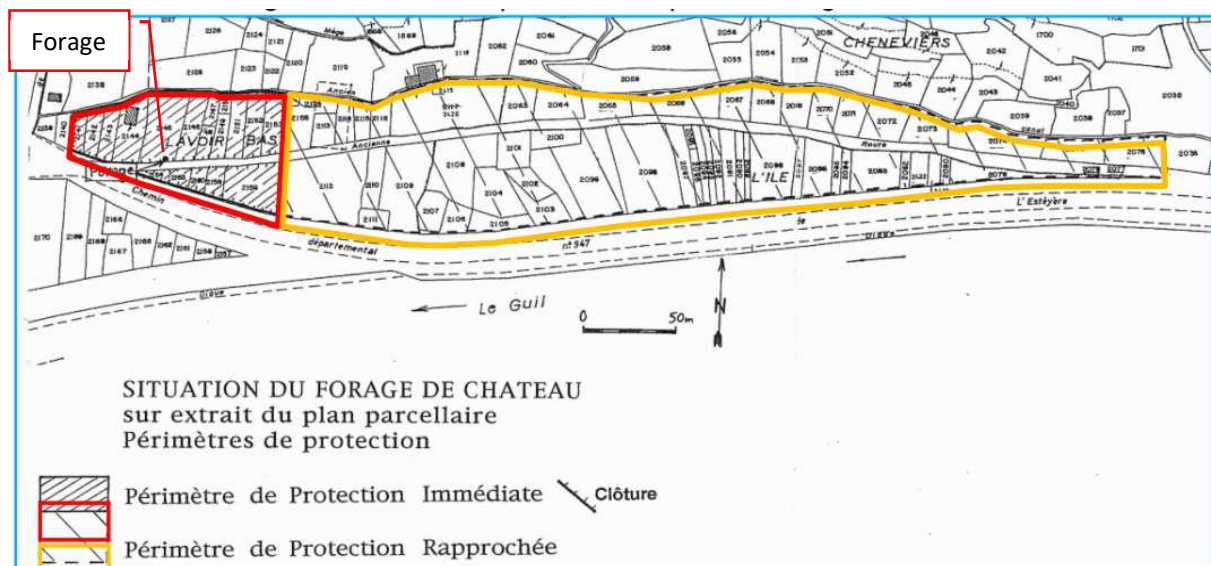


Figure 50 : Proposition de périmètres de protection (du Chaffaut 2001)

² Cité dans l'avis hydrogéologique d'Yves Bertholon du 24/09/2020 sur le projet R 08-2020 – Département des Hautes Alpes de déplacement de route départementale Crots le De Château-Ville-Vieille

Ce tracé appelle plusieurs remarques :

1. **Le Périmètre de Protection Immédiate (PPI)** est très vaste, mais il n'est pas clôturé et n'assure de fait aucune protection de l'ouvrage.

Sa superficie est importante, il sera problématique de le mettre en œuvre. En effet, on rappelle que le PPI doit être acquis en pleine propriété par la collectivité et qu'il ne doit accueillir aucune autre activité que l'exploitation de la ressource (c'est actuellement un pâturage).

Ce périmètre est, de plus, en contrebas de la route, de sorte qu'il forme une cuvette au droit du forage.

2. **Le Périmètre de Protection Rapprochée (PPR)** avait été tracé en se basant sur une alimentation exclusive de la nappe par le Guil, en tant que nappe d'accompagnement.

L'étude hydrogéologique de 2021 a montré la diversité de l'alimentation de cette nappe et remet donc en question le tracé de ce PPR.

Nous ne contestons pas la pertinence du tracé actuel, car ce périmètre situé en amont immédiat du forage, reste une zone de plus grand risque, notamment en cas de travaux qui modifieraient en profondeur les conditions d'écoulement et d'infiltration des eaux vers le forage.

Il faudra toutefois envisager une extension vers le Nord, pour tenir compte de la très probable alimentation de l'aquifère par le versant de rive droite, mise en évidence par les piézomètres et par le résultat des traçages.

On notera enfin que le projet routier empiètera assez largement sur le tracé de ce Périmètre.

9.3.3 Préconisation sur le tracé des périmètres de protection futurs

Dans le cadre du projet d'aménagement routier et d'une future DUP pour la protection du forage, nous pouvons émettre quelques propositions.

Bien entendu, il appartiendra à l'hydrogéologue agréé de statuer sur ces propositions.

9.3.3.1 Proposition de tracé du PPI et compatibilité avec le projet routier

Le PPI actuel pourrait être remplacé par un PPI plus restreint d'environ 1000 m², entourant le forage et s'appuyant au Sud sur la limite de la future route. Ce périmètre serait entièrement clôturé et serait soumis à la règle stricte d'un PPI (propriété et activité exclusive de production d'eau).



Figure 51 : Proposition de tracé d'un nouveau PPI

Si la zone inscrite dans le PPI venait à être remblayée, comme le prévoit l'aménagement routier, ce remblaiement devra être fait avec des matériaux propres, issus du recalibrage du Guil, et exempt de tout déchet organique. On exclura en particulier les troncs et les souches des résineux qui jouxtent actuellement le forage et qui devront être coupés et dessouchés.

La zone remblayée devra être recouverte d'une couche de terre végétale d'une épaisseur suffisante pour permettre un réengazonnement de sa surface.

La tête du forage devra être réhaussée au moyen d'un cuvelage parfaitement étanche et disposer d'une margelle bétonnée dépassant du niveau du sol.

Les piézomètres PZ1 et PZ2, s'ils ne peuvent être conservés durant les travaux devront être rebouchés selon les règles de la norme NFX10-999 et seront remplacés par des ouvrages descendant chacun jusqu'au substratum schisteux.

9.3.3.2 Proposition de tracé du PPR et compatibilité avec le projet routier

Ce futur PPR intégrera tout d'abord le restant du PPI actuel (partie non clôturée).

L'ancien Périmètre de Protection Rapprochée (PPR) sera conservé et étendu vers le versant rive droite pour prendre en compte l'extension latérale de l'aquifère.

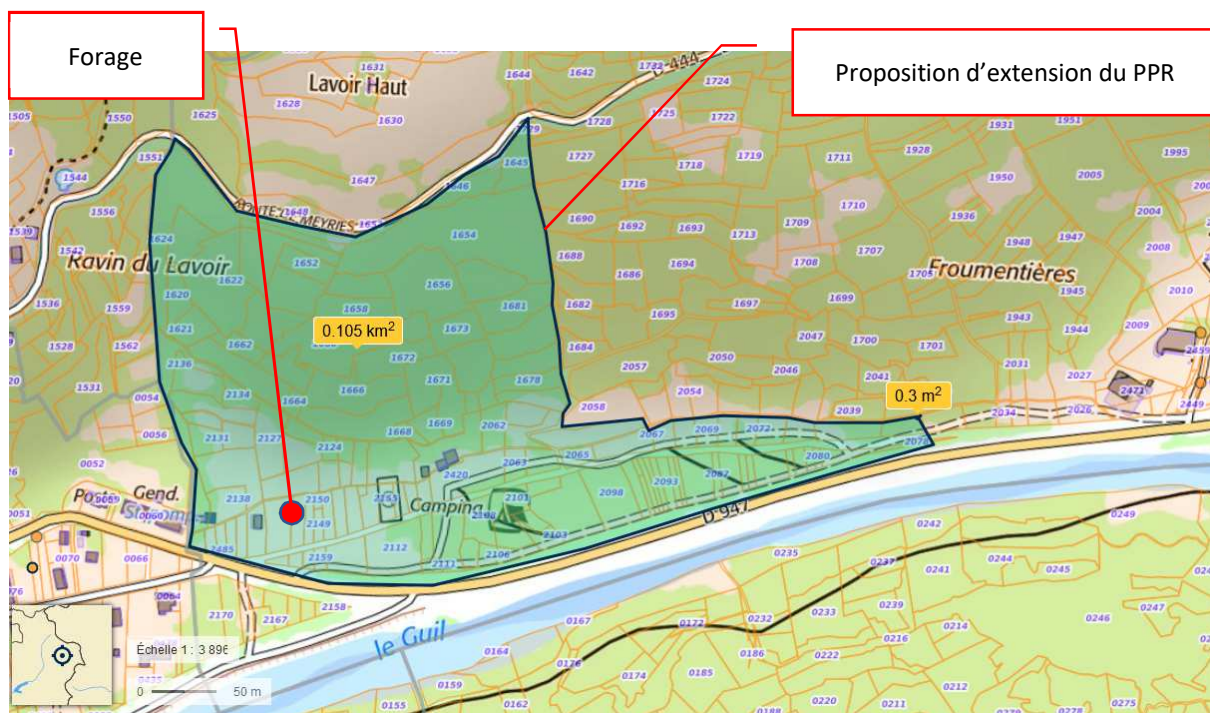


Figure 52 : Proposition de tracé d'un nouveau PPR

Par rapport à l'ancien PPR qui se cantonnait au fond de vallée, nous proposons donc une extension qui prend en compte la probable alimentation latérale du forage par le versant Nord. Ce périmètre est calé sur les limites cadastrales pour une plus grande facilité de mise en œuvre, et sa superficie est de 10 ha environ, pour assurer une bonne protection.

La compatibilité avec le projet routier est assurée sous réserve d'aménagements adaptés. Un axe routier constitue, certes, un risque potentiel pour tout captage d'eau, mais le futur aménagement sera conçu pour assurer une protection maximale du forage :

- ✓ Le profil du remblaiement sera en pente douce du versant nord jusqu'à la route, en observant une surélévation de ce remblai par rapport à la chaussée de 75 à 80 correspondants à la hauteur d'une glissière de sécurité métallique ou d'un GBA. Cette surélévation servira de glissière naturelle et aura pour vocation de protéger le périmètre contre le risque accidentel d'un renversement de camion en direction du périmètre protégé. Toutefois, si ce talus ne présente pas une hauteur suffisante localement, il faudra le renforcer ou le remplacer par des barrières ou des glissières physiques,
- ✓ Un caniveau étanche situé entre la route et le remblai récupérera les eaux de voirie et les dirigera vers le Guil en aval du forage – le traitement de ces eaux sera géré dans le cadre plus général de l'étude d'impact.
- ✓ La vitesse sera limitée : Préconisation de mise en place d'une "zone 70 km/h" entre la gendarmerie et la zone commerciale à l'Est du projet avec mise en place de bandes rugueuses sur la chaussée pour inciter au ralentissement,

- ✓ Tout dépassement y sera interdit. L'objectif étant de réduire le risque d'accident,
- ✓ L'arrêt et le stationnement seront strictement interdits tout le long du PPR : il faudra donc veiller à ce que le profil du remblai exclue toute possibilité d'arrêt de véhicules le long de la route,
- ✓ Les matériaux servant au remblai entre la route et le versant nord proviendront exclusivement des produits du recalibrage du Guil.
- ✓ Ce remblai sera exempt de toute matière organique : les arbres présents au droit de l'ancien camping seront coupés et dessouchés. Leurs résidus seront évacués hors du PPR avant remblaiement. Si lors des fouilles de terrassement des zones de lignite ou de tourbe ou de toute matière organique sont rencontrés, ils ne seront pas enfouis dans le remblai
- ✓ Le remblai sera recouvert de terre végétale et enherbé. Il pourra ensuite accueillir une végétation arborée ou arbustive permettant la stabilisation des sols
- ✓ Durant le chantier, toutes les précautions seront prises pour limiter le risque de pollution par les engins de chantier à moteur thermique.
- ✓ Les piézomètres existants sur le PPR, qui ne pourront être conservés durant les travaux de remblaiement seront rebouchés selon la norme NFX10-999, puis reconstruits à l'identique après travaux. Ils seront munis de capot cadenassés étanche et de margelle bétonnée. Ils serviront pour le suivi qualitatif de l'aquifère

Pour le restant du PPR, les prescriptions suivantes pourront préfigurer la future DUP. Le PPR étendu occupe l'espace de l'ancien camping qui fera l'objet de travaux de remblaiement avec les matériaux issus du recalibrage du Guil, puis remonte vers le versant Nord. Ce terrain est pentu et partiellement boisé, son classement en PPR n'en affectera donc pas l'économie de la vallée.

La zone de l'ancien camping n'est actuellement pas occupée, seul un local accueillant un restaurant saisonnier est présent.

- ✓ Nous recommanderons que l'ensemble du PPR reste en l'état et qu'aucun aménagement futur n'y soit effectué. Ces restrictions figureront au PLU.
- ✓ Seuls seront autorisés les travaux prévus dans le futur aménagement routier sous la zone de roulage et sur ses bas cotés à des fins de stabilisation du sol et de lutte contre l'érosion et selon les préconisations énoncées ci avant.
- ✓ La zone de l'ancien camping pourrait être ouverte à un usage récréatif, du moment qu'il n'y soit creusé aucune fouille ni forage nouveau. Cette zone sera piétonne. Le stationnement des véhicules se fera en contrebas de la D947.
- ✓ Une piste de service pourra être maintenue, mais réservée aux usagers autorisés (personnel municipal ou de secours). Une barrière fermant à clef condamnera son accès aux deux extrémités du PPR.
- ✓ Une activité agricole extensive pourrait être autorisée (notamment le pâturage), mais le déboisement ou défrichement y seront interdits, à l'exception des travaux d'entretien de l'espace vert.
- ✓ La création de fouilles ou de carrière y seront interdits

L'ensemble de ces propositions, basées sur une meilleure connaissance de l'aquifère et sur la nécessité de concilier aménagement et protection des ressources pourront permettre à l'hydrogéologue agréé se statuer sur le projet et sur les moyens de garantir la pérennité du forage d'eau potable de Château Ville Vieille.

A Aix en Provence, le 15 mars 2022

ANNEXES

ANNEXE 1 : Fiche d'identité du Forage	89
ANNEXE 2 : Fiche d'identité du piézomètre PZ1	90
ANNEXE 3 : Fiche d'identité du piézomètre PZ2.....	94
ANNEXE 4 : Fiche d'identité du piézomètre PZ3.....	96
ANNEXE 5 : Fiche d'identité du piézomètre PZ4.....	98
ANNEXE 6 : Fiche d'identité du piézomètre PZ5.....	100
ANNEXE 7 : Fiche d'identité du piézomètre PZ6.....	102
ANNEXE 8 : Fiche d'identité du piézomètre PZ7.....	104
ANNEXE 9 : Données brutes de la diagraphie par micromoulinet.....	106
ANNEXE 10 : Fiche technique du débitmètre Chrono	107
ANNEXE 11 : Fiche technique de l'enregistreur de niveau de type DIVER	111

ANNEXE 1 : Fiche d'identité du Forage

FICHE IDENTITE FORAGE			
COMMUNE		CHATEAU VILLE VIELLE	
NOM OUVRAGE / REFERENCE BSS		FORAGE AEP IDENTIFIANT NATIONAL / BSS001ZZEW Ancien code BSS / 08474X0003/P	
DATE DE REALISATION		Antérieur 1985	
LOCALISATION			
WGS84			
Latitude	Longitude	Altitude	
44,758154	6,799460	1352	
CARACTERISTIQUE DU FORAGE			
Repère	Bord capot Foug	Hauteur repère/sol	0, m
Côte NGF de l'ouvrage	1 352	Côte NGF repère	1 352
Profondeur (m/repère)	32.5	Diamètre tubage	700 mm
Diamètre prétubage	150 mm	Nature tubage	Acier
		 	
COUPE GEOLOGIQUE			
De 0 à 33 m		Alluvions du Guil, moraine	

ANNEXE 2 : Fiche d'identité du piézomètre PZ1

FICHE IDENTITE PIEZOMETRE			
COMMUNE		CHATEAU VILLE VIELLE	
NOM PIEZOMETRE		PZ1	
DATE DE REALISATION		2021	
LOCALISATION			
WGS84			
Latitude	Longitude	Altitude	
44,7513889	6,799277778	1 352	
CARACTERISTIQUE DU PIEZOMETRE			
Repère	Bord tube piézo	Hauteur repère/sol	0,525 m
Côte NGF de l'ouvrage	1 352	Côte NGF repère	1 352,52
Profondeur (m/repère)	50,2	Diamètre tubage	60 mm
Diamètre prétubage	150 mm	Nature tubage	PVC
			
COUPE GEOLOGIQUE			
De 0 à 2,70 m	Remblais limono-sableux marron à graves		
De 2,70 à 8 m	Sable limoneux grossier marron à blocs		
De 8 à 21 m	Sable grossier brun à passages de blocs de Gneiss		
De 21 à 39 m	Argile graveleuse, blocs et schiste gris		
De 39 à 42 m	Lentille de galets		
De 42 à 46,50 m	Sable et galets		
De 46,50 à 49,50 m	Blocs de Schiste		



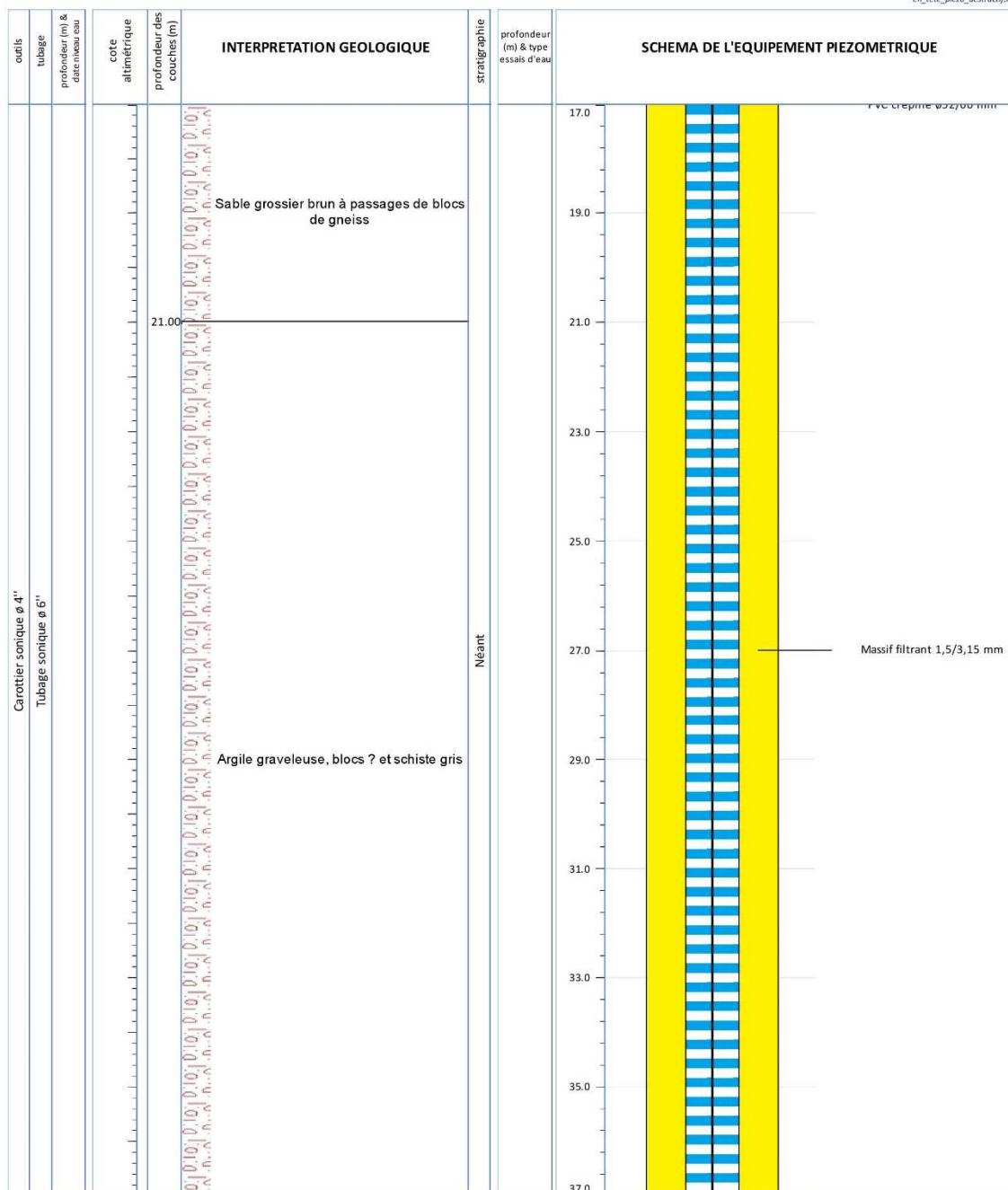
PIEZOMETRE

conformément à NF EN ISO 22475-1

PZ1

désignation du dossier ETUDE FORAGE AEP	
ville(s) du dossier CHATEAU VILLE VIEILLE	05350
désignation du client COMMUNAUTE DE COMMUNES GUILLESTROIS QUEYRAS	
n° de dossier ERG 20MG571Ba	date fin de réalisation 13/04/2021
équipe de sondage SOCO5065 6	LLE longueur atteinte (m) 49.5 m
hauteur d'eau au dessus du sol (site aquatique)	n° enregistreur
Observations	établi MQu vérifié MBa approuvé VFe

X (m) ou longitude E (°)	
coordonnées planimétriques Y (m) ou latitude N (°)	
système planimétrique	
Z (m)	
altitude système altimétrique	
inclinaison/verticale (°) 0 °	
orientation azimuth/Nord (°)	



Communauté des Communes du Guillestrois Queyras (05)
Compte rendu des études hydrogéologiques complémentaires du forage AEP
et de la nappe du Guil sur la plaine de Château-Queyras



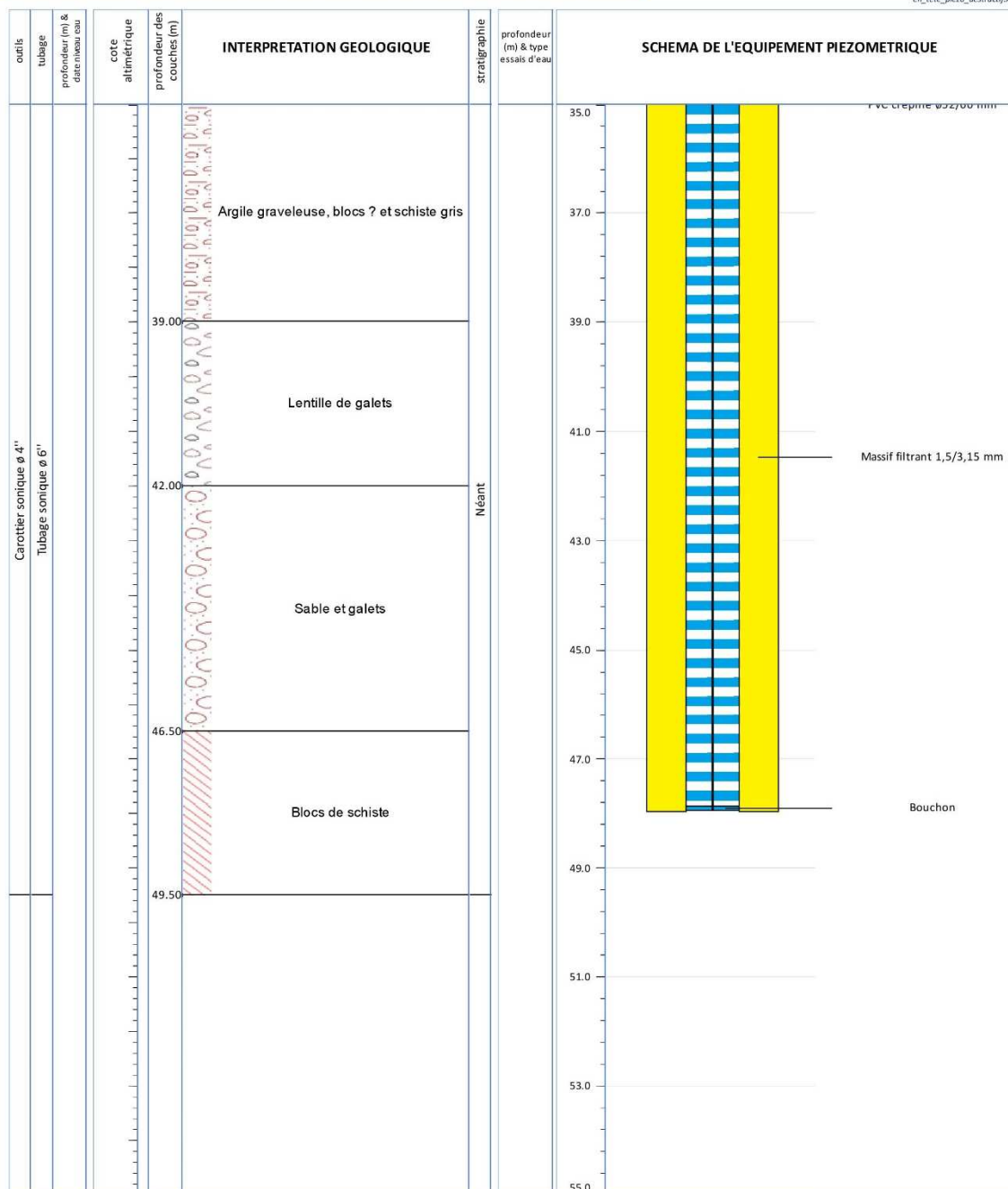
PIEZOMETRE
conformément à NF EN ISO 22475-1

PZ1

désignation du dossier ETUDE FORAGE AEP	
ville(s) du dossier CHATEAU VILLE VIEILLE	05350
désignation du client COMMUNAUTE DE COMMUNES GUILLESTROIS QUEYRAS	
n° de dossier ERG 20MG571Ba	date fin de réalisation 13/04/2021
équipe de sondage SOCO5065 6	LLE longueur atteinte (m) 49.5 m
hauteur d'eau au dessus du sol (site aquatique)	n° enregistreur
Observations	établi MQ vérifié MB approuvé VFe

coordonnées planimétriques	X (m) ou longitude E (°)
	Y (m) ou latitude N (°)
système planimétrique	
altitude	Z (m)
	système altimétrique
orientation	inclinaison/verticale (°) 0 °
	azimut/Nord (°)

piezo
en_tete_piezo_destructif.xls



5 / 9

ANNEXE 3 : Fiche d'identité du piézomètre PZ2

FICHE IDENTITE PIEZOMETRE			
COMMUNE		CHATEAU VILLE VIELLE	
NOM PIEZOMETRE		PZ2	
DATE DE REALISATION		2021	
LOCALISATION			
WGS84			
Latitude	Longitude	Altitude	
44,7585	6,799333333	1 354	
CARACTERISTIQUE DU PIEZOMETRE			
Repère	Bord tube piézo	Hauteur repère/sol	0,66 m
Côte NGF de l'ouvrage	1 354	Côte NGF repère	1 354,66
Profondeur (m/repère)	10,66	Diamètre tubage	60 mm
Diamètre prétubage	150 mm	Nature tubage	PVC
			
COUPE GEOLOGIQUE			
De 0 à 10 m	Blocs de gneiss grisâtres à matrice limono sableuse brune plus ou moins compacte		



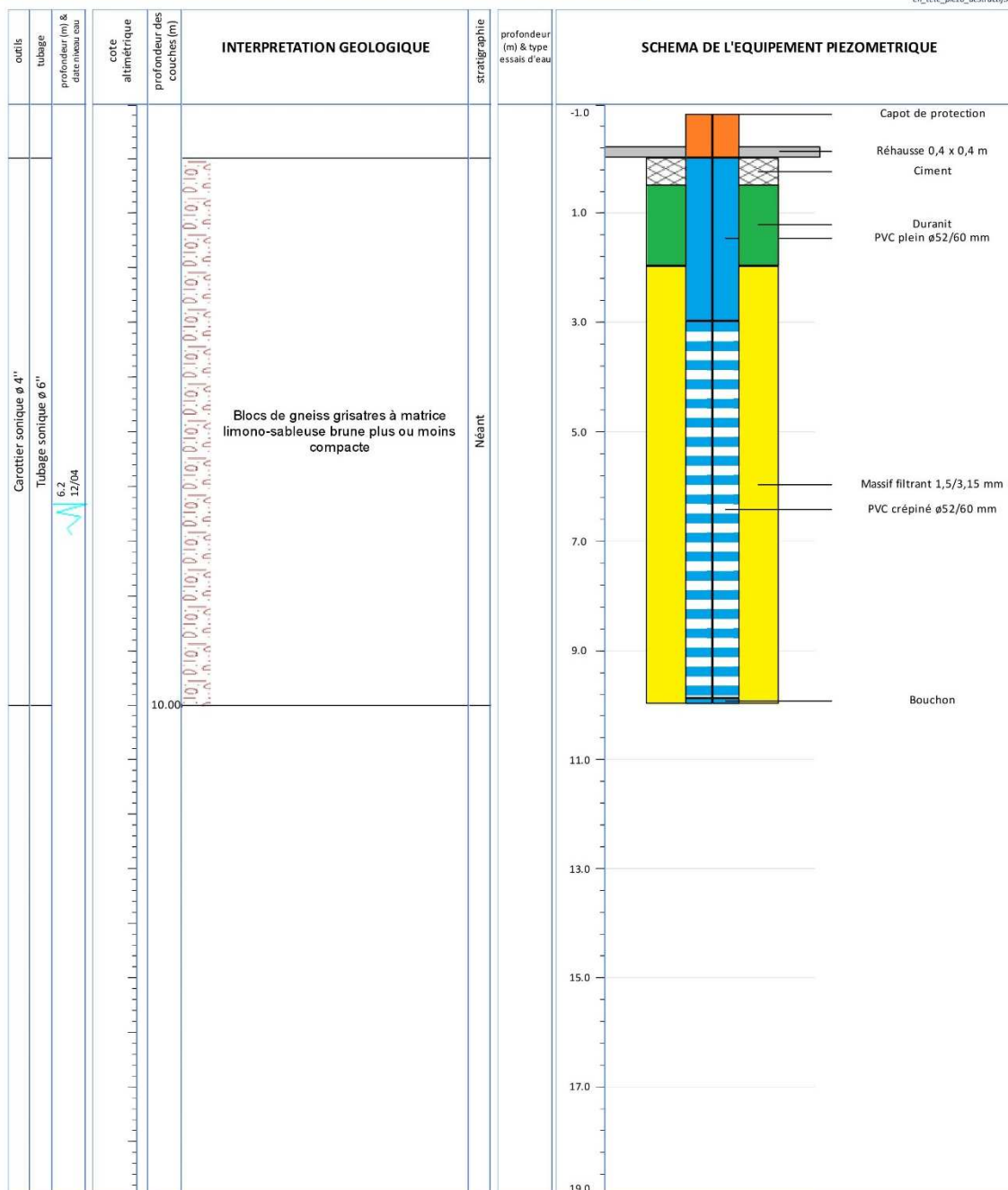
PIEZOMETRE

conformément à NF EN ISO 22475-1

PZ2

désignation du dossier ETUDE FORAGE AEP	
ville(s) du dossier CHATEAU VILLE VIEILLE	05350
désignation du client COMMUNAUTE DE COMMUNES GUILLESTROIS QUEYRAS	
n° de dossier ERG 20MG571Ba	date fin de réalisation 09/04/2021
équipe de sondage SOCO5065 6	LLE longueur atteinte (m) 10 m
hauteur d'eau au dessus du sol (site aquatique)	n° enregistreur
Observations	établi MQu vérifié MBa approuvé VFe

X (m) ou longitude E (°)	
Y (m) ou latitude N (°)	
système planimétrique	
Z (m)	
système altimétrique	
inclinaison/verticale (°) 0 °	
azimut/Nord (°)	



ANNEXE 4 : Fiche d'identité du piézomètre PZ3

FICHE IDENTITE PIEZOMETRE			
COMMUNE		CHATEAU VILLE VIELLE	
NOM PIEZOMETRE		PZ3	
DATE DE REALISATION		2021	
LOCALISATION			
WGS84			
Latitude	Longitude	Altitude	
44,75777778	6,800916667	1 352	
CARACTERISTIQUE DU PIEZOMETRE			
Repère	Bord tube piézo	Hauteur repère/sol	0,69 m
Côte NGF de l'ouvrage	1 352	Côte NGF repère	1 352,69
Profondeur (m/repère)	10,69	Diamètre tubage	60 mm
Diamètre prétubage	150 mm	Nature tubage	PVC
			
COUPE GEOLOGIQUE			
De 0 à 10 m	Blocs de gneiss grisâtres à matrice limono sableuse brune plus ou moins compacte		



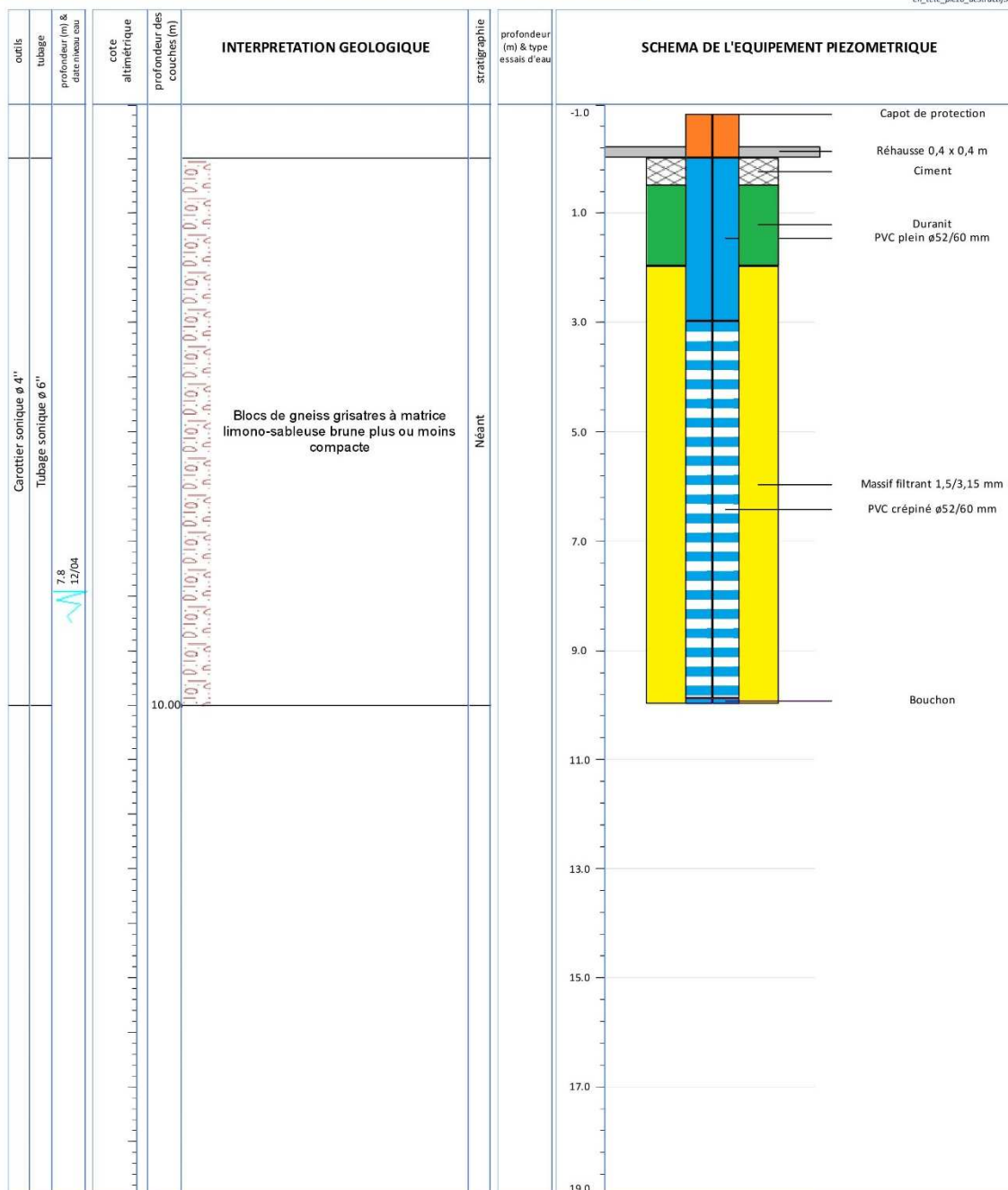
PIEZOMETRE

conformément à NF EN ISO 22475-1

PZ3

désignation du dossier ETUDE FORAGE AEP	
ville(s) du dossier CHATEAU VILLE VIEILLE	05350
désignation du client COMMUNAUTE DE COMMUNES GUILLESTROIS QUEYRAS	
n° de dossier ERG 20MG571Ba	date fin de réalisation 09/04/2021
équipe de sondage SOCO5065 6	LLE longueur atteinte (m) 10 m
hauteur d'eau au dessus du sol (site aquatique)	n° enregistreur
Observations	établi MQu vérifié MBa approuvé VFe

X (m) ou longitude E (°)	
coordonnées planimétriques Y (m) ou latitude N (°)	
système planimétrique	
Z (m)	
altitude système altimétrique	
inclinaison/verticale (°) 0 °	
orientation azimuth/Nord (°)	



ANNEXE 5 : Fiche d'identité du piézomètre PZ4

FICHE IDENTITE PIEZOMETRE			
COMMUNE		CHATEAU VILLE VIELLE	
NOM PIEZOMETRE		PZ4	
DATE DE REALISATION		2021	
LOCALISATION			
WGS84			
Latitude	Longitude	Altitude	
44,758943	6,805208	1 359	
CARACTERISTIQUE DU PIEZOMETRE			
Repère	Bord tube piézo	Hauteur repère/sol	0,77 m
Côte NGF de l'ouvrage	1 359	Côte NGF repère	1 359,77
Profondeur (m/repère)	10,77	Diamètre tubage	60 mm
Diamètre prétubage	150 mm	Nature tubage	PVC
			
COUPE GEOLOGIQUE			
De 0 à 10 m	Blocs de gneiss grisâtres à matrice limono sableuse brune plus ou moins compacte		



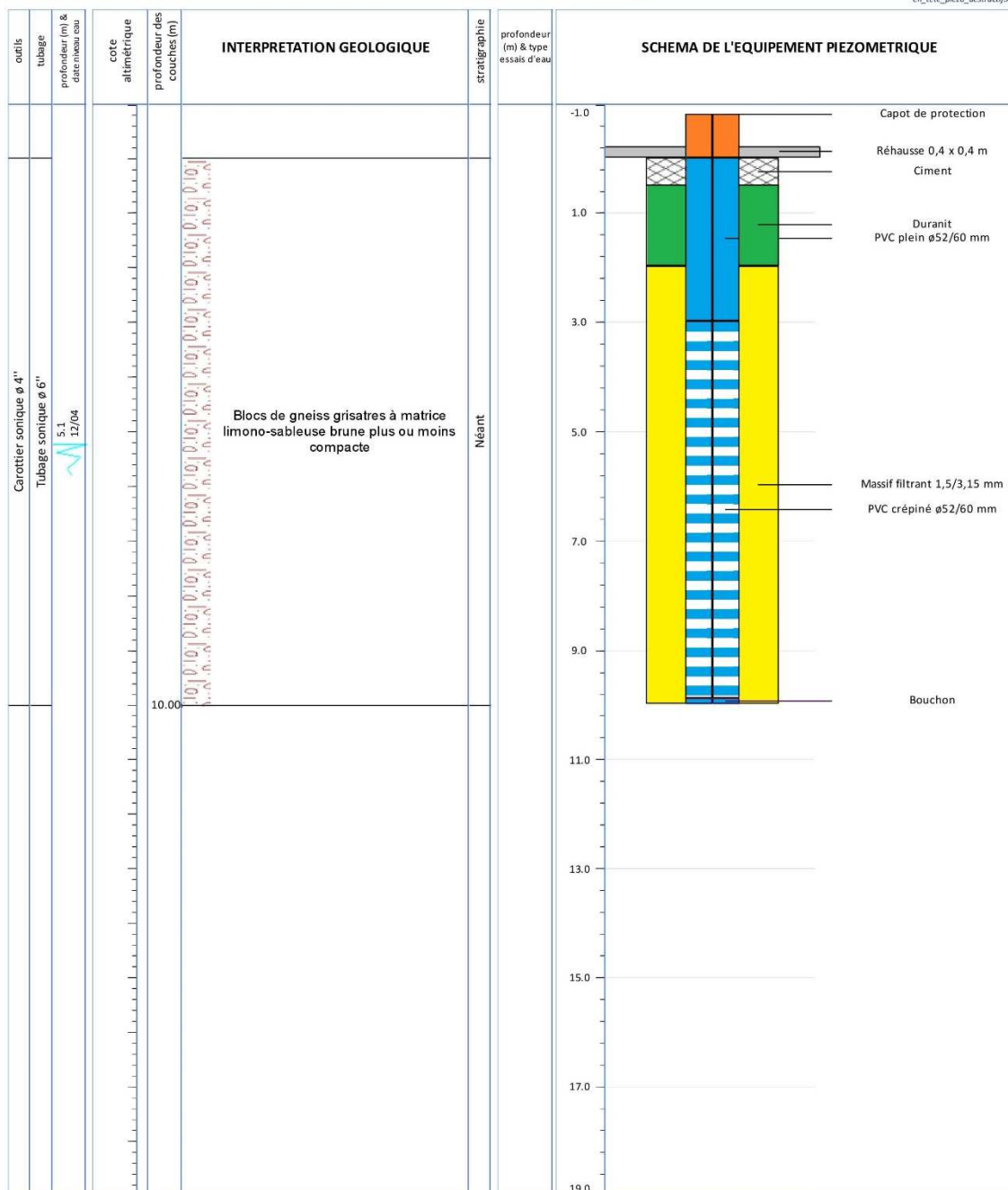
PIEZOMETRE

conformément à NF EN ISO 22475-1

PZ4

désignation du dossier ETUDE FORAGE AEP	
ville(s) du dossier CHATEAU VILLE VIEILLE	05350
désignation du client COMMUNAUTE DE COMMUNES GUILLESTROIS QUEYRAS	
n° de dossier ERG 20MG571Ba	date fin de réalisation 12/04/2021
équipe de sondage SOCO5065 6	LLE longueur atteinte (m) 10 m
hauteur d'eau au dessus du sol (site aquatique)	n° enregistreur
Observations	établi MQu vérifié MBa approuvé VFe

X (m) ou longitude E (°)	
coordonnées planimétriques Y (m) ou latitude N (°)	
système planimétrique	
Z (m)	
altitude système altimétrique	
inclinaison/verticale (°) 0 °	
orientation azimuth/Nord (°)	



ANNEXE 6 : Fiche d'identité du piézomètre PZ5

FICHE IDENTITE PIEZOMETRE			
COMMUNE		CHATEAU VILLE VIELLE	
NOM PIEZOMETRE		PZ5	
DATE DE REALISATION		2021	
LOCALISATION			
WGS84			
Latitude	Longitude	Altitude	
44,759711	6,811719	1 369	
CARACTERISTIQUE DU PIEZOMETRE			
Repère	Bord tube piézo	Hauteur repère/sol	0,875 m
Côte NGF de l'ouvrage	1 369	Côte NGF repère	1 369,87
Profondeur (m/repère)	10,87	Diamètre tubage	60 mm
Diamètre prétubage	150 mm	Nature tubage	PVC
			
COUPE GEOLOGIQUE			
De 0 à 10 m	Blocs de gneiss grisâtres à matrice limono sableuse brune plus ou moins compacte		



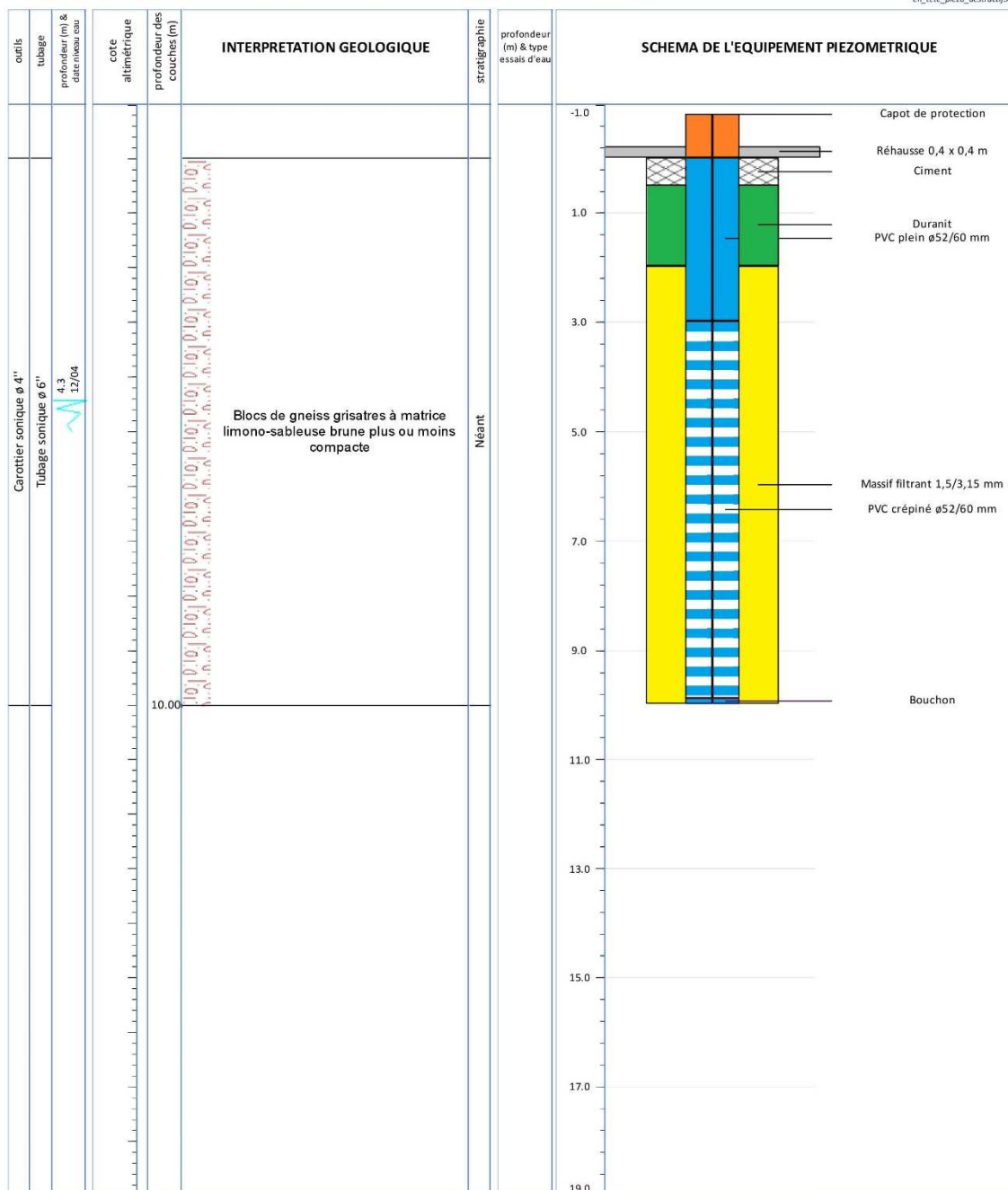
PIEZOMETRE

conformément à NF EN ISO 22475-1

PZ5

désignation du dossier ETUDE FORAGE AEP	
ville(s) du dossier CHATEAU VILLE VIEILLE	05350
désignation du client COMMUNAUTE DE COMMUNES GUILLESTROIS QUEYRAS	
n° de dossier ERG 20MG571Ba	date fin de réalisation 12/04/2021
équipe de sondage SOCO5065 6	LLE longueur atteinte (m) 10 m
hauteur d'eau au dessus du sol (site aquatique)	n° enregistreur
Observations	établi MQU vérifié MBa approuvé VFe

X (m) ou longitude E (°)	
Y (m) ou latitude N (°)	
système planimétrique	
Z (m)	
système altimétrique	
inclinaison/verticale (°) 0 °	
azimut/Nord (°)	



9/9

ANNEXE 7 : Fiche d'identité du piézomètre PZ6

FICHE IDENTITE PIEZOMETRE			
COMMUNE		CHATEAU VILLE VIELLE	
NOM PIEZOMETRE		PZ6	
DATE DE REALISATION		2021	
LOCALISATION			
WGS84			
Latitude	Longitude	Altitude	
44,760306	6,814259	1 366	
CARACTERISTIQUE DU PIEZOMETRE			
Repère	Bord tube piézo	Hauteur repère/sol	0,68 m
Côte NGF de l'ouvrage	1 366	Côte NGF repère	1 366,68
Profondeur (m/repère)	10,68	Diamètre tubage	60 mm
Diamètre prétubage	150 mm	Nature tubage	PVC
			
COUPE GEOLOGIQUE			
De 0 à 10 m	Blocs de gneiss grisâtres à matrice limono sableuse brune plus ou moins compacte		



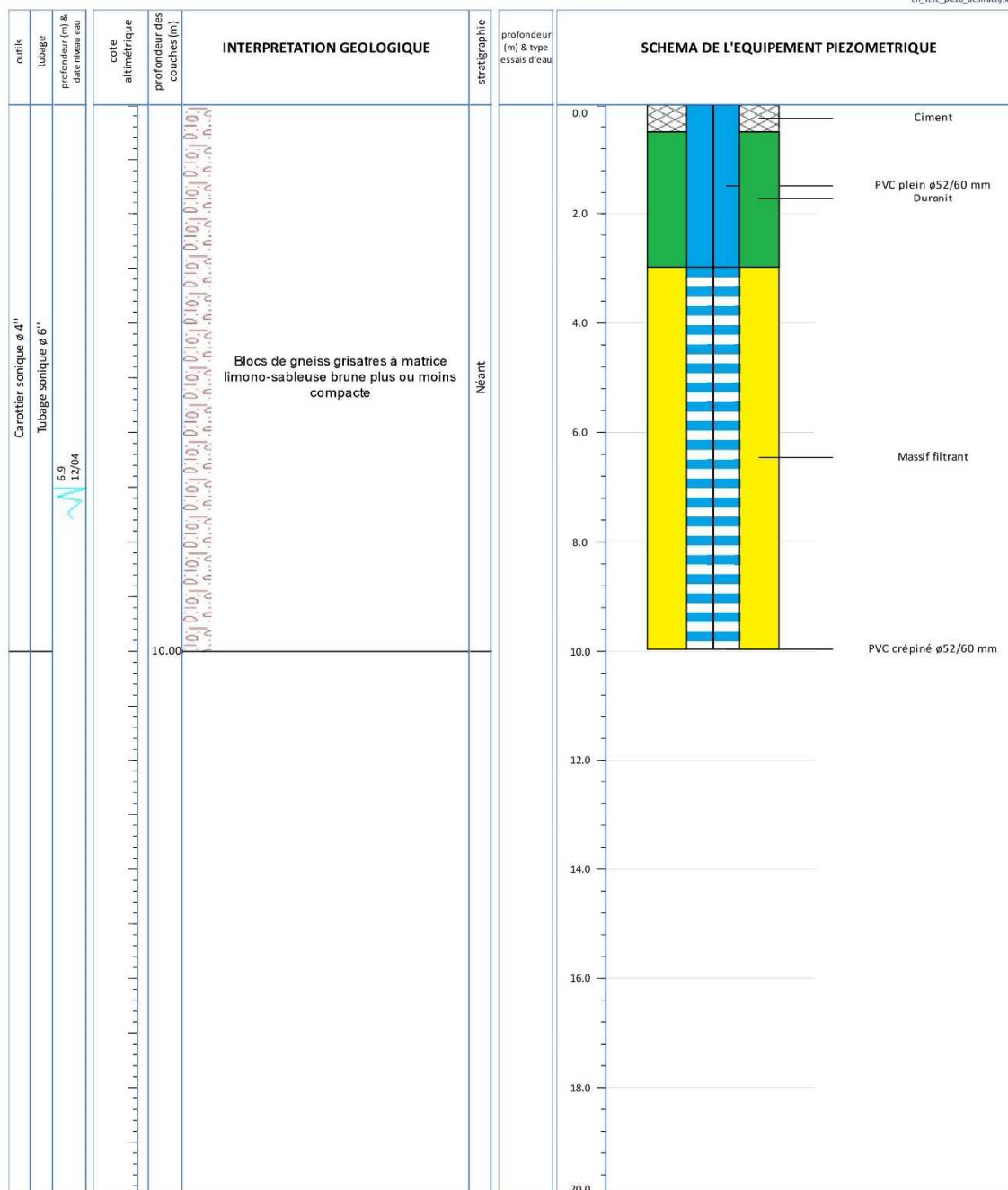
PIEZOMETRE

conformément à NF EN ISO 22475-1

PZ6

désignation du dossier PROTECTION DES CRUES DU GUIL				X (m) ou longitude E (°)	
ville(s) du dossier CHATEAU VILLE VIEILLE		05350		Y (m) ou latitude N (°)	
désignation du client ARTELIA				système planimétrique	
n° de dossier ERG 20MG571Aa		date fin de réalisation 08/04/2021		Z (m)	
équipe de sondage SOCO5065 6		LLE		système altimétrique	
hauteur d'eau au dessus du sol (site aquatique)		n° enregistreur		inclinaison/verticale (°) 0 °	
Observations				orientation	
				azimut/Nord (°)	
				établi MQU	
				vérifié MBa	
				approuvé MBa	

en_tete_piezo_destructif.xls



1 / 1

ANNEXE 8 : Fiche d'identité du piézomètre PZ7

FICHE IDENTITE PIEZOMETRE			
COMMUNE		CHATEAU VILLE VIELLE	
NOM PIEZOMETRE		PZ7	
DATE DE REALISATION		2021	
LOCALISATION			
WGS84			
Latitude	Longitude	Altitude	
44,75886111	6,803027778	1 354	
CARACTERISTIQUE DU PIEZOMETRE			
Repère	Bord tube piézo	Hauteur repère/sol	0,75 m
Côte NGF de l'ouvrage	1 354	Côte NGF repère	1 354,75
Profondeur (m/repère)	10,75	Diamètre tubage	60 mm
Diamètre prétubage	150 mm	Nature tubage	PVC
			
COUPE GEOLOGIQUE			
De 0 à 10 m	Blocs de gneiss grisâtres à matrice limono sableuse brune plus ou moins compacte		

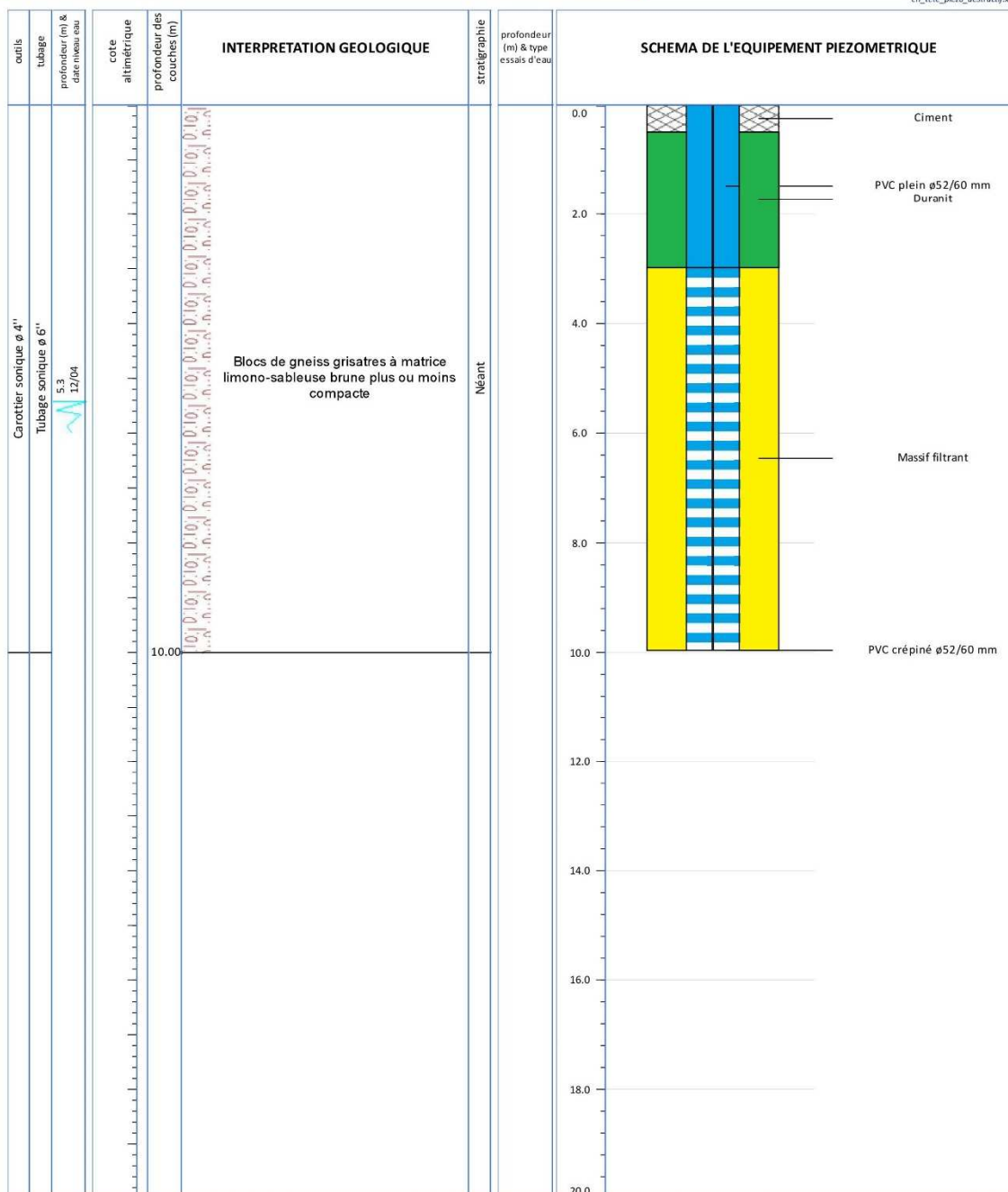


PIEZOMETRE
conformément à NF EN ISO 22475-1

PZ7

désignation du dossier PROTECTION DES CRUES DU GUIL			
ville(s) du dossier CHATEAU VILLE VIEILLE		05350	
désignation du client ARTELIA			
n° de dossier ERG 20MG571Aa		date fin de réalisation 08/04/2021	
équipe de sondage SOCO5065 6		LLE	longueur atteinte (m) 10 m
hauteur d'eau au dessus du sol (site aquatique)		n° enregistreur	
Observations		établi MBa	MBa

X (m) ou longitude E (°)	
Y (m) ou latitude N (°)	
système planimétrique	
Z (m)	
système altimétrique	
inclinaison/verticale (°) 0 °	
azimut/Nord (°)	



ANNEXE 9 : Données brutes de la diagraphie par micromoulinet

Lieu	Château Queyras	NS	7,2	m/repère	Débit	62	m3/h
Date	02/09/2021	Mesure	30	secondes	Repère	0,3	m/sol
Investigation	33	à	7	m	Diamètre	0,4	

Prof. Mesure (m)		Compt. Impuls.		Rotation	D. Tubage	Vitesse	Débit	Ratio
Repère		Test 1		n tours/s	m	m/s	Qn (m3/h)	Qn/Qt
33	32,7	16	14	0,50	0,4	0,049	21,94	35,4%
32	31,7	24	20	0,73	0,4	0,063	28,53	46,0%
31	30,7	25	25	0,83	0,4	0,069	31,35	50,6%
30	29,7	29	28	0,95	0,4	0,077	34,64	55,9%
29	28,7	30	31	1,02	0,4	0,081	36,53	58,9%
28	27,7	33	36	1,15	0,4	0,089	40,29	65,0%
27	26,7	46	46	1,53	0,4	0,113	51,11	82,4%
26	25,7	46	50	1,60	0,4	0,117	52,99	85,5%
25	24,7	48	50	1,63	0,4	0,119	53,93	87,0%
24	23,7	55	56	1,85	0,4	0,133	60,05	96,9%
23	22,7	57	55	1,87	0,4	0,134	60,52	97,6%
22	21,7	59	57	1,93	0,4	0,138	62,40	100,6%
21	20,7	60	58	1,97	0,4	0,140	63,34	102,2%
20	19,7	0	0	0,00	0,4	0,000	0,00	0,0%
19	18,7	0	0	0,00	0,4	0,000	0,00	0,0%
18	17,7	0	0	0,00	0,4	0,000	0,00	0,0%
17	16,7	0	0	0,00	0,4	0,000	0,00	0,0%
16	15,7	0	0	0,00	0,4	0,000	0,00	0,0%
15	14,7	0	0	0,00	0,4	0,000	0,00	0,0%
14	13,7	0	0	0,00	0,4	0,000	0,00	0,0%
13	12,7	0	0	0,00	0,4	0,000	0,00	0,0%
12	11,7	0	0	0,00	0,4	0,000	0,00	0,0%
11	10,7	0	0	0,00	0,4	0,000	0,00	0,0%
10	9,7	0	0	0,00	0,4	0,000	0,00	0,0%
9	8,7	0	0	0,00	0,4	0,000	0,00	0,0%
8	7,7	0	0	0,00	0,4	0,000	0,00	0,0%
7	6,7	0	0	0,00	0,4	0,000	0,00	0,0%

ANNEXE 10 : Fiche technique du débitmètre Chrono

WATER
MONITORING
SOLUTIONS

EAU POTABLE
ASSAINISSEMENT
INDUSTRIE

ChronoFLO® 2
Débitmètre à temps de transit



- 2 cordes de vitesse utilisables en simultané (mono ou bi-conduite)
- Autonomie batterie : 1 mois (jusqu'à 6 mois avec une batterie externe)
- Ensemble robuste et étanche à l'immersion (IP67/IP68)
- Précision de la mesure : jusqu'à $\pm 0,5\%$
- Mesure de débit non intrusive
- Débit mesuré à partir du DN 12mm



Winfluid

HYDREKA
www.hydreka.com
A HALMA COMPANY

Applications

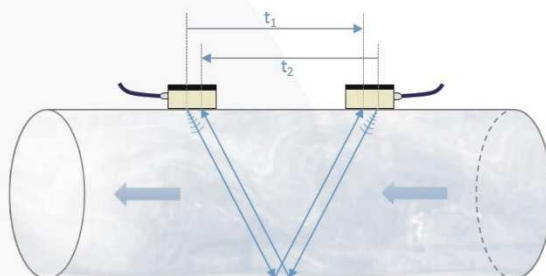
Le débitmètre à temps de transit **ChronoFLO® 2** permet d'effectuer des mesures de débit instantanées sur vos canalisations en charge. Ce matériel utilise un procédé de corrélation d'un signal entièrement codé pour obtenir des mesures stables même dans les conditions les plus difficiles. Pour couvrir une large gamme d'applications quelque soit le domaine d'activité, une seule unité de traitement du signal est utilisée. Cette configuration est fournie avec deux capteurs et un rail de montage adapté à une large gamme de diamètres.

Le **ChronoFLO® 2** est utilisé pour les applications suivantes :

- Diagnostic des réseaux d'eaux potables et eaux usées
- Sectorisation (recherche de fuites)
- Contrôle de débitmètres existants
- Etalonnage des pompes de relèvement
- Quantification des volumes



Principe de mesure



Le débit se calcule à partir de la vitesse de propagation du signal ultrasonore : celle-ci se propage plus rapidement dans le sens d'écoulement d'un fluide que dans le sens opposé (principe du nageur se déplaçant dans le sens du courant ou à contre-courant).

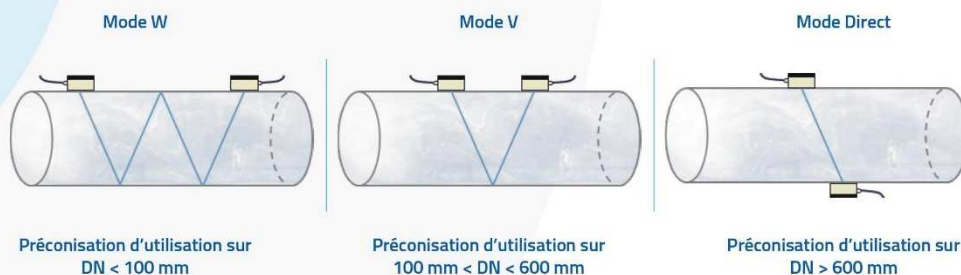
A partir des capteurs, alternativement émetteurs et récepteurs, 2 impulsions ultrasonores sont émises :

- L'une dans le sens d'écoulement du fluide (t_1),
- L'autre dans le sens opposé de l'écoulement du fluide (t_2).

La vitesse moyenne du fluide est déterminée à partir de la différence des temps de transit $\Delta t = (t_2 - t_1)$. Le débit en est automatiquement déduit en fonction de la section interne de la canalisation.

Installation

Le **ChronoFLO® 2** est utilisé via différents montages :



Le choix de l'installation varie également en fonction du matériau de la canalisation.

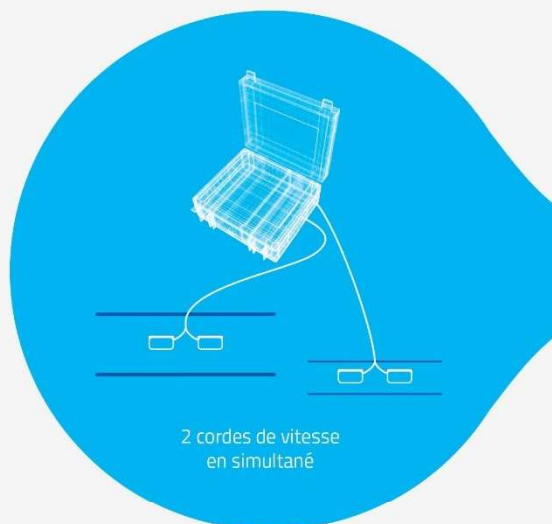
— Avantages de la technologie

Opérationnels

- Mesure de débit bidirectionnelle,
- Installation simple et rapide (<5 mn) sans arrêt du réseau,
- Facilement démontable et étalonnable,
- Une seule unité adaptable sur une large gamme de canalisations (de 12 mm à 3200 mm),
- 1 mois d'autonomie pour une mesure toutes les 5 minutes en mode basse consommation (jusqu'à 6 mois avec une batterie externe),
- Mesure non intrusive :
 - Pas de perte de charge,
 - Pas de risque de fuite,
 - Pas d'arrêt de la distribution du process,
 - Aucun risque de contamination,
 - Pas de contact avec le fluide.
- Utilisation sur tout type de canalisations homogènes
- Qualité du signal permettant la mesure de faibles vitesses (débit nocturnes) avec une grande précision : jusqu'à $\pm 0,5\%$,
- Procédé de corrélation d'un signal entièrement codé pour obtenir des quantifications stables dans des conditions de mesures difficiles,
- 2 entrées 4-20 mA (actives ou passives) pour connexion de capteurs de pression, température...,
- 2 sorties impulsions pour alarmes, asservissements ou raccordement sur une télégestion,
- Affichage LCD couleur.

Économiques

- Un seul débitmètre pour une utilisation en eau potable et eau usée, pour des mesures ponctuelles ou permanentes,
- Mesure de débit économique,
- Mise en place d'un débitmètre **ChronoFLO® 2** peu onéreux comparé à tout type de débitmètres électroniques,
- Amélioration de vos rendements de réseau grâce à la mesure des débits nocturnes (faibles vitesses),
- Meilleure maîtrise des volumes produits par le contrôle de vos débitmètres permanents,
- Facilité de contrôle et maintenance grâce au démontage aisé de l'appareil permettant d'optimiser la durée de vie du matériel.



— Avantages du ChronoFLO® 2



Autonomie batterie



Étanche à l'immersion



Récupération des données par clé USB



Transmission des données à distance



Facilité de programmation et d'installation



2 entrées 4-20 mA



Alarmes



Raccordement sur télégestion

Spécifications techniques

Plage de mesure	Bidirectionnelle jusqu'à 25 m/s Mesure jusqu'à 20 g/l de MES	
Précision	Jusqu'à $\pm 0,5\%$, suivant l'application et le nombre de cordes de vitesse	
Répétabilité	Jusqu'à $\pm 0,1\%$ sans déplacer les capteurs	
Autonomie	1 mois d'autonomie pour une mesure toutes les 5 minutes > 140h en mesures continues en mode basse consommation	
Unité centrale	<i>Mémoire</i>	1 000 000 données
	<i>Langue</i>	Français, anglais et espagnol. Autre langue, nous consulter
	<i>Étanchéité</i>	IP67
	<i>Température d'utilisation</i>	-10 à +50°C
Alimentation	<i>Interne</i>	Lithium-ion rechargeable
	<i>Externe</i>	Sur secteur ou sur batterie
Entrée	2 entrée 4-20 mA (actives ou passives)	
Sorties	2 sorties impulsions opto-isolées - Alarmes, asservissements ou raccordement sur télégestion	
Communication	Par clé USB (récupération d'un fichier texte)	
Traitement des données	Importation des données sous Winfluid ou dans un tableur	
Gamme de capteurs	<i>1 MHz (standard)</i>	- DN compris entre 40 mm et 1000 mm avec câble 4ml - IP68 / Température d'utilisation : -20 à +80°C
	<i>2 MHz (en option)</i>	- DN compris entre 12 mm et 114 mm avec câble 4ml - IP67 / Température d'utilisation : -10 à +120°C
	<i>0.5 MHz (en option)</i>	- DN compris entre 100 mm et 2500 mm avec câble 5ml - IP68 / Température d'utilisation : -20 à +80°C
	<i>0.5 MHz (en option) HAUTE PERFORMANCE</i>	- DN compris entre 100 mm et 3200 mm avec câble 5ml - IP68 / Température d'utilisation : -20 à +120°C
	Montage	- Rail de montage avec chaînes pour les diamètres < 1000mm - Sangles pour les grands diamètres (en option)
Température de stockage	-20 à +70°C	
Dimensions	- Capteurs 1 MHz : 67,4 x 35,5 x 45 mm - Unité centrale : 290 x 245 x 120 mm	
Poids	- Capteurs 1 MHz : 0,1kg chacun - Unité centrale : 2,7kg	
Canalisations compatibles	Tout matériau homogène conducteur sonore	
Garantie	24 mois	
Étalonnage	Sur bancs hydrauliques raccordés COFRAC en France dans les locaux Hydreka	
Certification métrologique	Calibrée avec des débitmètres électromagnétiques (100 et 200 mm) étalonnés selon des procédures COFRAC.	

Produits disponibles à la vente et à la location.
Pour tout renseignement, nous contacter.

HYDREKA
www.hydreka.com
A HALMA COMPANY

1, rue des Vergers - Bât 2A
69760 Limonest - France

Tél. +33 (0)4 72 53 11 53
Fax +33 (0)4 78 83 44 37
E-mail : hydreka@hydreka.fr

ANNEXE 11 : Fiche technique de l'enregistreur de niveau de type DIVER

Enregistreurs piézométriques autonomes DIVER

pour la surveillance des eaux souterraines

La gamme de sondes DIVER offre aux professionnels de l'environnement des enregistreurs compacts et fiables pour la surveillance des eaux souterraines.

Une large gamme d'applications

Surveillance du niveau des nappes d'eau souterraines

Tests de pompage

Surveillance des bassins versants, bassins de drainage et zones de recharges

Suivi du niveau de rivières, lacs et étangs

Contrôle des fluctuations des marées

Surveillance du ruissellement des zones humides et des eaux pluviales

Contrôle du stockage d'eau en aquifère

Caractérisation du biseau salé

Caractérisation des interactions entre des eaux souterraines et des eaux de surface, relation nappe-rivière, ...



Principe de fonctionnement

Les sondes Mini-, Micro-, Cera-, et CTD-Diver mesurent et enregistrent une pression absolue, qui correspond à la pression de la colonne d'eau au dessus du capteur + la pression atmosphérique, à partir d'un capteur piézo-résistif en céramique garantissant stabilité, fiabilité et résistance aux milieux agressifs.

Il est donc nécessaire de suivre les variations de pression atmosphérique avec une sonde Baro-Diver afin de pouvoir compenser les données de pression à l'aide du logiciel Diver-Office.

Avec ses différents modèles, la gamme d'enregistreurs de données DIVER garantit des mesures et des enregistrements précis des variations du niveau, de la température et de la conductivité des eaux superficielles et souterraines.

L'autonomie des batteries garantit un fonctionnement continu à long terme (jusqu'à 10 ans d'autonomie).

Toutes les sondes DIVER sont calibrées pour fonctionner dans une plage de température allant de 0°C à 50°C.

Les sondes DIVER peuvent être exploitées de multiples façons de la plus manuelle (où la sonde est immergée via un simple câble de suspension) à la plus automatique (où la sonde est connectée à un modem GSM/GPRS via un câble de communication).



SDEC France
Z.I. de la Gare - B.P. 27 Tauxigny
37310 REIGNAC SUR INDRE
Tel 02 47 94 10 00
Fax 02 47 94 17 13
e-mail: info@sdec-france.com
Retrouvez nous sur: WWW.SDEC-FRANCE.COM

Enregistreurs piézométriques autonomes DIVER

Caractéristiques des différentes sondes disponibles

Mini-Diver : La sonde standard hautes performances

La Mini-DIVER est la sonde la plus utilisée de la gammes des sondes DIVER.

Ses dimensions réduites, sa finition en acier inoxydable 316L et sa grande capacité de stockage des données** de pression et de température lui permettent de répondre à la plupart des applications en eau douce peu corrosive.

**24000 mesures, soit 6 mois d'autonomie pour une mesure toutes les 10 minutes.

Enregistrements : fixes.



Caractéristiques Techniques

Dimensions (O x longueur) :	18-22 mm x 90 mm
Capacité de la mémoire :	24 000 mesures par paramètre
Parties en contact avec l'eau :	
Corps de sonde	Acier inoxydable (316L)
Joints toriques	Caoutchouc fluorocarboné (FKM)
Capteur de pression	Piézo-résistif céramique (Al ₂ O ₃)
Capuchon / cône	Akulon (PAG 30%)
Durée de vie de la batterie :	Jusqu'à 10 ans
Intervalle d'échantillonnage :	De 0,5 seconde à 99 heures
Poids :	70 grammes

Température		Pression			
Plage / Compensation	-20°C à 80°C / 0°C à 50°C	Gamme 0-10 m H ₂ O	0-20 m H ₂ O	0-50 m H ₂ O	0-100 m H ₂ O
Précision*	± 0,1°C	Précision* ± 0,5 cm H ₂ O	± 1 cm H ₂ O	± 2,5 cm H ₂ O	± 5,0 cm H ₂ O
Résolution	0,01°C	Résolution 0,2 cm H ₂ O	0,4 cm H ₂ O	1,0 cm H ₂ O	2,0 cm H ₂ O

Micro-Diver : Pour les ouvrages de diamètre réduit

Le Micro-DIVER est le plus petit des enregistreurs de données Diver pour une utilisation dans des piézomètres de seulement 19 mm de diamètre!

La capacité de stockage de données est plus importante que celle d'un Mini-Diver (48000 mesures, soit 1 an d'autonomie pour une mesure toutes les 10 minutes).

En outre, il est possible d'avoir recours à plusieurs méthodes de mesures.

Enregistrements : fixes, sur évènement, moyenne et test de pompage.



Caractéristiques Techniques

Dimensions (O x longueur) :	18 mm x 88 mm
Capacité de la mémoire :	48 000 mesures par paramètre
Parties en contact avec l'eau :	
Corps de sonde	Acier inoxydable (316L)
Joints toriques	Caoutchouc fluorocarboné (FKM)
Capteur de pression	Piézo-résistif céramique (Al ₂ O ₃)
Capuchon / cône	Akulon (PAG 30%)
Durée de vie de la batterie :	Jusqu'à 10 ans
Intervalle d'échantillonnage :	De 0,5 seconde à 99 heures
Poids :	60 grammes

Température		Pression			
Plage / Compensation	-20°C à 80°C / 0°C à 50°C	Gamme 0-10 m H ₂ O	0-20 m H ₂ O	0-50 m H ₂ O	0-100 m H ₂ O
Précision*	± 0,1°C	Précision* ± 1 cm H ₂ O	± 2,0 cm H ₂ O	± 5,0 cm H ₂ O	± 10 cm H ₂ O
Résolution	0,01°C	Résolution 0,2 cm H ₂ O	0,4 cm H ₂ O	1,0 cm H ₂ O	2,0 cm H ₂ O

Cera-Diver : Une finition en céramique pour les eaux salées ou corrosives

Pour la surveillance du niveau d'eau dans des eaux corrosives (eau de mer, eau saumâtre,...), il est nécessaire de disposer d'un enregistreur de données d'une grande robustesse.

La Cera-Diver céramique a été spécialement conçue pour ces environnements agressifs.

Enregistrements : fixes, sur évènement, moyenne et test de pompage.



Caractéristiques Techniques

Dimensions (O x longueur) :	18-22 mm x 90 mm
Capacité de la mémoire :	48 000 mesures par paramètre
Parties en contact avec l'eau :	
Corps de sonde	Céramique (ZrO ₂)
Joints toriques	Caoutchouc fluorocarboné (FKM)
Capteur de pression	Céramique (Al ₂ O ₃)
Capuchon / cône	Akulon (PAG 30%)
Durée de vie de la batterie :	Jusqu'à 10 ans
Intervalle d'échantillonnage :	De 0,5 secondes à 99 heures
Poids :	55 grammes

Température		Pression			
Plage / Compensation	-20°C à 80°C / 0°C à 50°C	Gamme 0-10 m H ₂ O	0-20 m H ₂ O	0-50 m H ₂ O	0-100 m H ₂ O
Précision*	± 0,1°C	Précision* ± 0,5 cm H ₂ O	± 1,0 cm H ₂ O	± 2,0 cm H ₂ O	± 5,0 cm H ₂ O
Résolution	0,01°C	Résolution 0,2 cm H ₂ O	0,4 cm H ₂ O	1,0 cm H ₂ O	2,0 cm H ₂ O

* Précision typique dans la plage de température compensée



SDEC France
Z.I. de la Gare - B.P. 27 Tauxigny
37310 REIGNAC SUR INDRE
Tel. 02 47 94 10 00
Fax. 02 47 94 17 13
e-mail: info@sdec-france.com
Retrouvez nous sur: WWW.SDEC-FRANCE.COM

Enregistreurs piézométriques autonomes DIVER

Caractéristiques des différentes sondes disponibles et logiciel

CTD-Diver : Pour les mesures de niveau, T°C et conductivité

La CTD-DIVER est destinée aux personnes souhaitant mesurer la conductivité en plus du niveau et de la température de l'eau.

Cet instrument est muni de capteurs de pression et de température mais aussi d'un capteur à quatre électrodes qui permet de déterminer la conductivité dans une large gamme de mesures (0 - 120 mS/cm).

Sa finition en céramique permet une utilisation dans des eaux salées ou corrosives.

Mesures fixes, sur évènement, moyenne et test de pompage.



Caractéristiques Techniques

Dimensions (O x longueur) :	18-22 mm x 135 mm
Capacité de la mémoire :	48 000 mesures par paramètre
Parties en contact avec l'eau :	
Corps de sonde et du capteur conductivité	Céramique (ZrO ₂)
Capteur conductivité	Electrodes platine sur sup.céramique
Joint toriques	Caoutchouc fluorocarboné (FKM)
Capteur de pression	Piézo-résistif céramique (Al ₂ O ₃)
Capuchon / cône	Akulon (PAG 30%)
Durée de vie de la batterie :	Jusqu'à 10 ans
Intervalle d'échantillonnage :	De 1 seconde à 99 heures
Poids :	95 grammes

	Température			Pression
Plage / Compensation	-20°C à 80°C / 0°C à 50°C	Gamme	0-10 m H ₂ O	0-20 m H ₂ O
Précision*	± 0,1°C		± 0,5 cm H ₂ O	± 1 cm H ₂ O
Résolution	0,01°C		± 2,5 cm H ₂ O	± 5,0 cm H ₂ O
		Résolution	0,2 cm H ₂ O	0,4 cm H ₂ O
			1,0 cm H ₂ O	2,0 cm H ₂ O

Baro-Diver : Pour la compensation barométrique des données de pression

La Baro-Diver garantit une mesure précise des variations de pression atmosphérique.

Cette sonde est nécessaire pour la compensation des données de pression enregistrées par les sondes DIVER immergées afin d'obtenir une mesure précise et fiable des niveaux d'eau.

Outre la pression atmosphérique, la sonde Baro-Diver mesure et enregistre également les variations de température.



Caractéristiques Techniques

Dimensions (O x longueur) :	18-22 mm x 90 mm
Capacité de la mémoire :	24 000 mesures
Parties en contact avec le fluide :	
Corps de sonde	Acier inoxydable (316L)
Joint toriques	Caoutchouc fluorocarboné (FKM)
Capteur de pression	Céramique (Al ₂ O ₃)
Capuchon / cône	Akulon (PAG 30%)
Durée de vie de la batterie :	Jusqu'à 10 ans
Intervalle d'échantillonnage :	De 0,5 secondes à 99 heures
Poids :	70 grammes

	Température		Pression
Plage / Compensation	-20°C à 80°C / 0°C à 50°C	Gamme	0-10 m H ₂ O
Précision*	± 0,1°C		± 0,5 cm H ₂ O
Résolution	0,01°C		0,2 cm H ₂ O

Logiciel Diver-Office pour l'exploitation de vos données

Un logiciel convivial et simple d'utilisation pour la gestion de vos données DIVER !

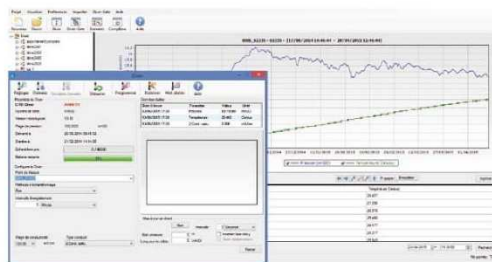
Principales fonctionnalités :

- Programmation/Gestion des sondes : démarrage (immédiat ou différé), arrêt, choix du mode et de l'intervalle de temps d'enregistrement des données, visualisation de la mémoire et de la batterie disponible, ...
- Déchargement des données ;
- Compensation des données de pression pour obtenir le niveau d'eau (via la longueur de câble ou une/des mesure(s) manuelle(s)) ;
- Visualisation des données (niveau/T°C/conductivité) sous forme de tableaux et graphiques ;
- Export des données au format CSV (Excel) ou au format Diver-Office ;
- Etalonnage du capteur de conductivité sur la sonde CTD-Diver.

Logiciel gratuit, téléchargeable sur notre site internet.

Autres logiciels : Diver-Office Premium, Diver-Pocket (pour utilisation sur un PDA) : nous consulter.

* Précision typique dans la plage de température compensée



Un produit
**NOVA
METRIX**

SDEC France
Z.I. de la Gare - B.P. 27 Teuligny
37310 REIGNAC SUR INDRE
Tel 02 47 94 10 00
fax 02 47 94 17 13
e-mail: info@sdec-france.com
Retrouvez nous sur: WWW.SDEC-FRANCE.COM

Enregistreurs piézométriques autonomes DIVER

Options de communication et de déploiements sur le terrain

La plus manuelle : Socle de programmation PC/USB et câble de suspension

Dans cette configuration, la sonde DIVER est immergée via un simple câble de suspension (inox ou Vectran). L'opérateur doit alors remonter le DIVER pour pouvoir décharger les données et reprogrammer la sonde avec son ordinateur portable ou son PDA de terrain via le socle de programmation PC/USB et le logiciel Diver-Office.

Vous ne souhaitez pas venir avec un ordinateur portable sur le terrain ?

Il est possible de décharger les données de l'ensemble de vos sondes DIVER avec la navette de déchargement Diver-Mate et un câble DDC de 1m (voir ci-dessous). L'opération nécessitera toujours de remonter la sonde du puits, mais elle permettra de s'affranchir d'un PC portable pour la récupération des données. Le socle de programmation PC/USB sera utilisé pour la programmation de vos sondes DIVER.



Socle de programmation
PC/USB

Depuis la tête de puits : Câbles DDC, adaptateur USB, navette Diver-Mate

Dans cette configuration, la sonde DIVER est immergée via un câble DDC (Diver Data Cable) permettant de remonter l'information jusqu'en tête de puits.

L'opérateur vient se connecter en tête de puits avec un adaptateur PC/USB pour programmer la sonde et récupérer les données. La sonde reste à une cote altimétrique fixe ce qui permet d'éviter les décalages liés à la remontée de la sonde. Ce dispositif est particulièrement intéressant pour les suivis de longue durée.

Utilisez la navette de déchargement Diver-Mate pour une récupération rapide des données de l'ensemble de vos sondes, et sans PC portable ! En vissant le Diver-Mate au connecteur du câble DDC, les données sont téléchargées en quelques secondes et stockées dans une carte SD au sein du Diver-Mate. Les données peuvent ensuite être transférées sur un PC via un câble USB ou avec la carte SD.

Longueurs standards des câbles DDC : 1m, 5m, 10m, 15m, 20m, 30m, 50m, 60m, 80m, 90m, 100m, 110m, 120m, 130m, 150m, 180m, 200m (autres longueurs sur demande).



Diver-Mate

Câble DDC

Adaptateur
PC/USB

Sans fil par communication radio : Diver-Netz Mobile

Vous avez des problématiques d'accessibilité à votre station de mesures ?

Le système Diver-Netz Mobile est fait pour vous !

Dans cette configuration, la sonde DIVER est immergée via un câble-DXT sur lequel est connectée une antenne radio Diver-DXT (contenant un capteur barométrique). L'opérateur utilise la navette radio Diver-Gate Mobile pour communiquer avec l'ensemble des sondes Diver munies d'antenne radio Diver-DXT dans un rayon maximum de 500m (ligne de visibilité) autour de la station de mesures.

La navette Diver-Gate Mobile s'utilise avec un PC portable pour la programmation de la sonde et le déchargement des données ou avec un smartphone via bluetooth (uniquement pour le déchargement des données).

Télétransmission par GSM/GPRS : nous consulter.



Câble-DXT

Antenne radio
Diver-DXT



Navette Diver-Gate
Mobile



SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES POUR L'ENVIRONNEMENT



SDEC France
Z.I. de la Gare - B.P. 27 Teuligny
37310 REIGNAC SUR INDRE
Tel 02 47 94 10 00
fax 02 47 94 17 13
e-mail: info@sdec-france.com
Retrouvez nous sur: WWW.SDEC-FRANCE.COM