

Document public

Modélisation hydrogéologique de la nappe alluviale du Bevinco (Haute-Corse)

Résultats de la campagne de réalisation de cinq piézomètres

Rapport final - fin de travaux

BRGM/RP-68641-FR
Janvier 2019

Modélisation hydrogéologique de la nappe alluviale du Bevinco (Haute-Corse)

Résultats de la campagne de réalisation de cinq piézomètres

Rapport final - fin de travaux

BRGM/RP-68641-FR

Janvier 2019

Étude réalisée dans le cadre du projet d'appuis
aux Politiques Publiques AP16CSC007

M. Genevier

Vérificateur :

Nom : A. Gutierrez

Fonction : Hydrogéologue

Date : 05/02/2019

Signature :

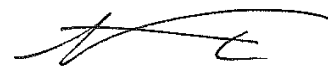


Approbateur :

Nom : N. Frissant

Fonction : Directeur régional du
BRGM en Corse :

Date : 14/02/19



Le système de management de la qualité et de l'environnement
est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Contact : qualite@brgm.fr

Mots-clés : Hydrogéologie, Géologie, Forage, Piézomètre, Reconnaissance, Aquifère alluvial, Eaux souterraines, Intrusions salines, Géophysique électrique, Nappe du Bevinco, Biguglia, Haute-Corse ;

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

Genevier M. (2019) 6 Modélisation hydrogéologique de la nappe alluviale du Bevinco (Haute-Corse). Résultats de la campagne de réalisation de cinq piézomètres. Rapport final - fin de travaux. BRGM/RP-68641-FR, 112 p., 43 ill., 5 ann.

Synthèse

Cinq nouveaux piézomètres ont été réalisés dans le cadre de l'étude de modélisation hydrogéologique de la nappe alluviale du Bevinco (commune de Biguglia, Haute-Corse) réalisée par le BRGM en partenariat avec Acqua Publica, l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse et l'Office de l'Environnement de la Corse.

Suite à la réalisation d'une campagne de géophysique électrique, d'investigations géologiques de surface et de campagnes de mesures hydrogéologiques, ces travaux avaient pour objectif de combler les lacunes de connaissances sur la géométrie de l'aquifère du Bevinco (l'extension, l'épaisseur et la nature des différentes terrasses alluviales, etc.) et sur son fonctionnement hydrogéologique (extension de la partie captive de l'aquifère, intrusions salines, etc.).

Ce rapport, qui constitue le rapport de fin de travaux au titre de la rubrique 1.1.1.0 du Code de l'environnement, décrit le déroulement des travaux de réalisation des cinq piézomètres, leurs coupes géologiques et techniques finales et l'interprétation hydrogéologique des informations obtenues au cours de la foration.

Ces résultats vont être utilisés pour améliorer l'interprétation de certains profils de géophysique électrique sur lesquels ils ont été implantés et compléter le modèle géologique 3D. Enfin, ils vont être équipés de sondes de suivi de la piézométrie et de la conductivité électrique de l'aquifère afin d'améliorer la compréhension de son fonctionnement hydrodynamique et de la dynamique des intrusions salines. L'ensemble de ces données sera ensuite utilisé pour élaborer le modèle hydrogéologique de l'aquifère à partir duquel des scénarios seront simulés (débit d'exploitation dans la nappe, dans la rivière, scénarios climatiques). Ce modèle constituera ainsi un outil d'aide à la décision pour la gestion de la ressource en eau de l'hydrosystème du Bevinco (la rivière et son aquifère).

Sommaire

1. Introduction	9
2. Identification des intervenants	11
2.1. DEMANDEUR / PROPRIÉTAIRE DE L'OUVRAGE / MAÎTRE D'OUVRAGE	11
2.2. MAÎTRISE D'ŒUVRE	11
2.3. SOUS-TRAITANCE / ENTREPRENEUR	11
3. Contexte et localisation	13
3.1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE DES PIÉZOMÈTRES RÉALISÉS	13
3.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE ET IMPLICATIONS POUR LES TRAVAUX	15
3.3. CONSISTANCE DES TRAVAUX	15
3.4. LOCALISATION ET OBJECTIFS DES PIÉZOMÈTRES	16
4. Déroulement des opérations de forage	19
4.1. MÉTHODES D'EXÉCUTION ET D'ÉQUIPEMENT DES FORAGES	19
4.2. EXAMEN DES CUTTINGS	20
4.3. DIFFICULTÉS RENCONTRÉES ET CHRONOGRAMME.....	20
5. Résultats des forages	23
5.1. PIÉZOMÈTRE PZ3	23
5.1.1. Compte-rendu du chantier de foration.....	23
5.1.2. Coupe géologique et technique de l'ouvrage	28
5.1.3. Interprétation hydrogéologique.....	29
5.2. PIÉZOMÈTRE PZ5	31
5.2.1. Compte-rendu du chantier de foration.....	31
5.2.2. Coupe géologique et technique de l'ouvrage	35
5.2.3. Interprétation hydrogéologique.....	36
5.3. PIÉZOMÈTRE PZ1	38
5.3.1. Compte-rendu du chantier de foration.....	39
5.3.2. Coupe géologique et technique de l'ouvrage	47
5.3.3. Interprétation hydrogéologique.....	48
5.4. PIÉZOMÈTRE PZ2	51
5.4.1. Compte-rendu du chantier de foration.....	51
5.4.2. Coupe géologique et technique de l'ouvrage	56

5.4.3. Interprétation hydrogéologique.....	57
5.5. PIÉZOMÈTRE PZ4	59
5.5.1. Conditions et contraintes d'implantation du piézomètre	59
5.5.2. Compte rendu du chantier de foration	61
5.5.3. Coupe géologique et technique de l'ouvrage	67
5.5.4. Interprétation hydrogéologique.....	68
6. Conclusion.....	73
7. Bibliographie	75

Liste des illustrations

Illustration 1 : Localisation des 5 piézomètres réalisés sur fond de carte géologique harmonisée au 1/50 000 et de carte topographique de l'IGN au 1/25 000.	14
Illustration 2 : Identification des cinq piézomètres réalisés.	16
Illustration 3 : Objectifs de chacun des cinq piézomètres.	17
Illustration 4 : Calendrier de réalisation du chantier	21
Illustration 5 : Chantier de foration de Pz3	25
Illustration 6 : Photographies de la phase de foration de Pz3.....	26
Illustration 7 : Changement de couleur des cuttings avec apparition d'un niveau d'argile couleur verdâtre au cours de la foration de Pz3.....	27
Illustration 8 : Pz3 terminé.	27
Illustration 9 : Coupe géologique et technique de Pz3.....	28
Illustration 10 : Dépôt de graviers dans une matrice argileuse ocre le long du canal de Petrelle (mât de la foreuse en train de forer Pz3 visible en arrière plan).	29
Illustration 11 : Diagraphie de conductivité électrique et température réalisée le 18 juillet 2018 sur Pz3. La profondeur a été mesurée par rapport au repère de mesure, situé 70 cm au-dessus du sol. Le début des crépines est à 4,70 m de profondeur.....	30
Illustration 12 : Chantier de foration de Pz5.	33
Illustration 13 : Remontée des limons vaseux dans le tube acier sur Pz5 à la fin du premier tube de 3 m.	33
Illustration 14 : Photographies de la phase de foration de Pz5.....	34
Illustration 15 : Photographies de la fin du chantier de Pz5.	35
Illustration 16 : Coupe géologique et technique de Pz5.....	36
Illustration 17 : Diagraphies de conductivité électrique et de température sur Pz5.	38
Illustration 18 : Chantier de foration de Pz1.	45
Illustration 19 : Foration des limons sur Pz1.	45
Illustration 20 : Cimentation de l'espace annulaire de la portion forée en 425 mm sur Pz1.	46
Illustration 21 : Foration en petit diamètre de Pz1, profondeur atteinte d'environ 18,50 m.	46
Illustration 22 : Photographies de la fin du chantier de Pz1.	47
Illustration 23 : Coupe géologique et technique de Pz1.....	48

Illustration 24 : Schéma de la situation piézométrique observée sur Pz1 au cours de la foration : (1) à 12,70 m, lorsque le premier niveau aquifère est atteint, (2) à 36,70 m à la fin de la foration, dans le deuxième niveau aquifère. Il est à noter que le tube acier de soutènement ici représenté masque les terrains et les venues d'eau au fur et à mesure de la progression.	49
Illustration 25 : Diagraphie de conductivité électrique et de température réalisée dans Pz1 le 19 septembre 2018.	50
Illustration 26 : Schéma des différences de charge hydraulique supposées entre les limons et l'aquifère.	51
Illustration 27 : Tranchée creusée au niveau du futur emplacement de Pz2 pour évacuer les eaux vers le Fossé de Borgogna.	52
Illustration 28 : Foration en gros diamètre des limons sur Pz2	54
Illustration 29 : Phase de foration en petit diamètre sur Pz2	55
Illustration 30 : Soufflage dans le tube à la fin de la foration de Pz2	55
Illustration 31 : Photographies de Pz2 terminé	56
Illustration 32 : Coupe géologique et technique de Pz2.....	57
Illustration 33 : Diagraphie de conductivité électrique et de température réalisée dans Pz2 le 19 septembre 2018	58
Illustration 34 : Site d'implantation de Pz4	60
Illustration 35 : Signalisation du chantier de Pz4	60
Illustration 36 : Foration dans le sable fin gris de Pz4.	65
Illustration 37 : Soudure de deux tubes acier de soutènement pendant la foration de Pz4.	66
Illustration 38 : Soufflage à la fin d'un tube, dans la partie aquifère de Pz4.	66
Illustration 39 : Photographies de Pz4 terminé.	67
Illustration 40 : Coupe géologique et technique de Pz4.....	68
Illustration 41 : Coupe hydrogéologique interprétative simplifiée de la plaine du Bevinco entre la salle des fêtes de Biguglia et le Lido de la Marana.	69
Illustration 42 : Localisation de la coupe hydrogéologique interprétative passant par Pz4 et du puits « Casone ».....	70
Illustration 43 : Vue en coupe d'une zone de transition eau douce/eau de mer et de l'organisation des écoulements dans un aquifère côtier homogène (d'après Cooper <i>et al.</i> , 1964; dans Barlow, 2003, De Montety, 2008).	71

Liste des annexes

Annexe 1 : Dossier complet du piézomètre Pz3	77
Annexe 2 : Dossier complet du piézomètre Pz5	83
Annexe 3 : Dossier complet du piézomètre Pz1 et photographies des cuttings	89
Annexe 4 : Dossier complet du piézomètre Pz2 et photographies des cuttings	97
Annexe 5 : Dossier complet du piézomètre Pz4 et photographies des cuttings	105

1. Introduction

Les cinq piézomètres qui ont été réalisés s'inscrivent dans le cadre de l'étude de modélisation hydrogéologique de la nappe alluviale du Bevinco (commune de Biguglia, Haute-Corse) réalisée par le BRGM en partenariat avec Acqua Publica, l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse et l'Office de l'Environnement de la Corse.

La communauté d'Agglomération de Bastia (CAB) est en partie alimentée en eau par des prélèvements dans la rivière du Bevinco et dans la nappe alluviale que cette rivière alimente dans sa partie aval.

La CAB souhaite accroître ses prélèvements dans l'hydrosystème tout en respectant le maintien d'un débit réglementaire dans le Bevinco et en évitant des prélèvements excessifs qui entraîneraient une contamination saline de l'aquifère par invasion d'eau de mer ou de l'étang. La CAB souhaite tester la faisabilité de scénarios de prélèvement dans l'hydrosystème différents de celui actuel.

Afin d'atteindre le niveau de fiabilité attendu et compte-tenu de la complexité physique du milieu, l'étude proposée consiste en une amélioration du modèle conceptuel de la structure géologique et du fonctionnement de l'aquifère, associé à une modélisation numérique de la nappe.

Afin de contribuer à la caractérisation géométrique de l'aquifère du Bevinco, une étude géophysique a été menée consistant en la réalisation de profils de tomographie de résistivité électrique. Les profils électriques obtenus ont ensuite fait l'objet d'un calage à partir de six forages afin de les interpréter en terme de lithologie.

Les connaissances acquises à partir de la bibliographie existante, au travers de l'étude géophysique, des reconnaissances géologiques de terrain ainsi que des campagnes de mesures hydrogéologiques réalisées ont mis en évidence des lacunes dans la connaissance et la compréhension de la structure géologique de l'aquifère et de son fonctionnement hydrogéologique.

Afin de combler ces lacunes, cinq piézomètres ont été réalisés. Ce rapport constitue le rapport de fin de travaux de ces piézomètres.

2. Identification des intervenants

2.1. DEMANDEUR / PROPRIÉTAIRE DE L'OUVRAGE / MAÎTRE D'OUVRAGE

Nom : Régie « Les Eaux du Pays Bastiais » – Acqua Publica

Adresse : Route Maréchal Juin

Clos « Les Mimosas » Lot N° 4 CS 30097

20291 BASTIA CEDEX

Numéro de SIRET : 81296261100024

Contact : 04 95 32 20 20

2.2. MAÎTRISE D'ŒUVRE

Nom : BRGM / Direction régionale du BRGM en Corse

Adresse : Immeuble Agostini

Zone industrielle de Furiani

20600 Bastia

Numéro de SIRET : 58205614900559

Contact : 04 95 58 04 33

2.3. SOUS-TRAITANCE / ENTREPRENEUR

Nom : Forasud SAS

Adresse : CS 10205

13746 Vitrolles Cedex

Numéro de SIRET : 31577070100037

Contact : 04 42 89 08 41

3. Contexte et localisation

3.1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE DES PIÉZOMÈTRES RÉALISÉS

La zone d'étude se situe en Haute-Corse, sur la commune de Biguglia, au sud de Bastia. La zone étudiée correspond à la nappe d'accompagnement de la rivière du Bevinco (Illustration 1) et se situe dans le nord de la plaine alluviale de la Marana-Casinca.

L'aquifère étudié est bordé à l'est par l'Étang de Biguglia, il s'agit d'une réserve naturelle qui est notamment inscrite sur la liste des zones humides d'importance internationale au titre de la Convention de Ramsar, eu égard à son intérêt écologique reconnu. Séparé de la mer Tyrrhénienne par un étroit lido¹ n'excédant pas un kilomètre de large, l'étang est relié à la mer par un grau² de faible largeur au nord. Le canal de Fossone situé à l'extrémité sud de l'étang le relie à l'embouchure de la rivière du Golo. Le sens de circulation de l'eau dans ce canal varie selon le niveau de l'eau dans l'étang et celui de l'embouchure. Selon les périodes, ce canal peut donc faire transiter vers l'étang des eaux douces ou salées. L'eau de l'étang est saumâtre.

La majeure partie de la zone d'étude correspond à des surfaces agricoles principalement exploitées pour du maraîchage. L'urbanisation est très limitée et se concentre aux abords immédiats de la route territoriale.

¹ Lido : cordon littoral entre l'étang et la mer

² Grau : chenal reliant l'étang et la mer

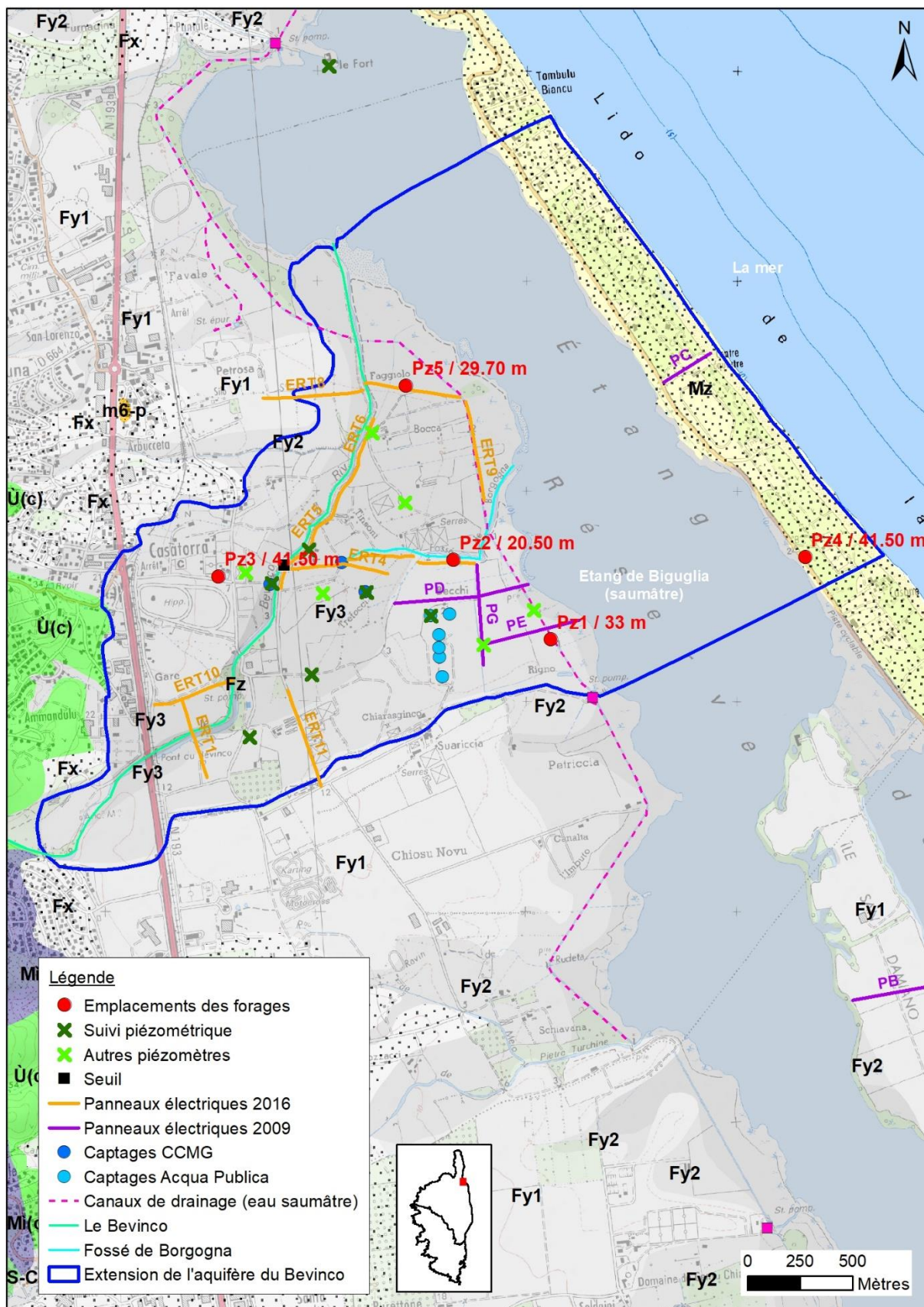


Illustration 1 : Localisation des 5 piézomètres réalisés sur fond de carte géologique harmonisée au 1/50 000 et de carte topographique de l'IGN au 1/25 000.

3.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE ET IMPLICATIONS POUR LES TRAVAUX

L'aquifère du Bevinco, dans lequel les piézomètres ont été réalisés, est constitué de dépôts alluvionnaires. Ces dépôts forment un système de terrasses dites « emboîtées », les alluvions les plus récentes s'incisant dans les alluvions déposées antérieurement.

Toutes les alluvions fluviales observées dans la plaine, quel que soit leur âge, sont constituées de graviers, galets ou blocs sans stratification emballés dans une matrice plus ou moins abondante sablo-limoneuse parfois argileuse, donnant des lentilles dépourvues de galets.

Des dépôts limoneux peu perméables couvrent une partie importante de la rive droite du Bevinco. Leur épaisseur tend à augmenter vers l'aval (vers l'est) et ce plus particulièrement dans le secteur des « Bollari » (actuel champ captant d'Acqua Publica), aux lieux-dit Becchi et Bocca (Illustration 1) avec plus de 15 m de limons argileux gris (forage 11072X0004/RIGNO). Ces limons provoquent la mise en charge de la nappe induisant, durant une grande partie de l'année, un artésianisme au niveau du champ captant d'Acqua Publica. Cette particularité a eu des répercussions sur (1) la foration, où il a fallu prévoir la cimentation de ce premier horizon avant la poursuite de la foration afin d'isoler correctement la nappe captive d'une nappe superficielle dans les limons (susceptible d'être contaminée par du sel) et sur (2) l'équipement de la tête des ouvrages, où le tube devait dépasser d'au minimum 1,30 m du sol pour éviter que l'eau ne jaillisse en période de hautes eaux. Ce sont les ouvrages Pz1, Pz2, Pz4 et Pz5 qui sont concernés.

La partie aval de l'aquifère est susceptible d'être le siège d'intrusions salines de trois types différents :

- salinisation des terrains de surface par débordement de l'étang ;
- les intrusions salines par le rentrant salé dans le lit du Bevinco. Les eaux saumâtres, voire salées à la fin de la période d'étiage, de l'étang remontent dans la rivière à la faveur de la diminution de son débit ;
- biseau salé *stricto sensu*.

En effet, les terrains bordants l'étang et ses canaux de drainage sont soumis au débordement de l'étang en période de hautes eaux induisant leur salinisation. La réalisation des piézomètres Pz1, Pz2 et Pz5, concernés par ce phénomène, devait prendre en compte cette particularité par une foration télescopique avec cimentation permettant d'isoler ces terrains de surface de l'aquifère sous-jacent et l'utilisation de tubes en inox plus résistants à la corrosion plutôt qu'en acier.

3.3. CONSISTANCE DES TRAVAUX

L'appel d'offre prévoyait la réalisation de cinq piézomètres en technique destructive³ pour mesurer en continu ou de manière régulière le niveau de la nappe, sa température et sa conductivité électrique et réaliser des campagnes de prélèvement d'eau. Les cuttings⁴ récupérés lors de la foration devant faire l'objet d'observations diverses (lithologie, granulométrie, etc.), les prestations demandées devaient permettre une récupération optimale de ces échantillons.

³ Les techniques de forage destructives broient la roche, par opposition aux techniques conservatives tel que le carottage.

⁴ Cuttings : morceaux de roche broyée ou concassée par une technique de forage destructive.

3.4. LOCALISATION ET OBJECTIFS DES PIÉZOMÈTRES

La localisation des piézomètres a été contrainte par les besoins d'acquisition de connaissances sur la structure géologique de l'aquifère et son fonctionnement hydrogéologique ainsi que par des contraintes foncières (obtention d'autorisations des propriétaires des parcelles).

Le numéro d'identification du forage dans la Banque du Sous-Sol (BSS), les détails de la localisation et l'altitude de chaque piézomètre sont présentés dans le tableau ci-après. Les coordonnées géographiques ont été relevées au GPS de terrain avec une précision d'environ 5 m et l'altitude est issue du Modèle Numérique de Terrain (MNT) de l'IGN réalisé à partir des levés Lidar de 2013 (précision d'environ 20 cm).

Ouvrage	N° BSS	Nom	Localisation	X Lambert 93 (m)	Y Lambert 93 (m)	Altitude sol (Lidar, en m NGF)
Pz1	BSS003FKDE	L'imposant	Lieu-dit Rigno, à l'est du champ captant d'Acqua Publica, au bord du canal de la réserve	1 230 242	6 190 149	0,20
Pz2	BSS003FKDI	La force tranquille	Lieu-dit Becchi, au bord du Fossé de Borgogna	1 229 779	6 190 527	0.70
Pz3	BSS003FKES	Le Sportif	Au stade de l'EFB, le long de la route	1 228 658	6 190 450	7,70
Pz4	BSS003FKDM	Le Savoureux	Sur le Lido de la Marana, au lieu-dit U Casone	1 231 454	6 190 541	1,40
Pz5	BSS003FKFM	Le champêtre	Lieu-dit Faggiolo	1 229 551	6 191 359	0,80

Illustration 2 : Identification des cinq piézomètres réalisés.

L'objectif de chacun des piézomètres et sa profondeur finale sont présentés dans le tableau ci-dessous :

	Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Pz5
Objectifs	Reconnaissance géologique en aval du champ captant d'Acqua Publica et suivi des intrusions salines par biseau salé dans l'aquifère captif exploité	Reconnaissance d'une crête supposée de la terrasse alluviale Fy1 constituant le substratum de l'aquifère identifiée par géophysique	Reconnaissance géologique et suivi piézométrique en rive gauche de la rivière	Reconnaissance géologique et suivi des intrusions salines sur la limite aval du système	Reconnaissance géologique et suivi piézométrique du « compartiment nord »
Hydrogéologie attendue	Aquifère captif sous les 15 m de limons avec artésianisme	Aquifère captif sous les 5 m de limons avec artésianisme	Aquifère libre	Aquifère libre	Aquifère captif sous les 5 m de limons avec éventuel artésianisme
Profondeur d'objectif (m)	50 m	20 m	40 m	40 m	30 m
Profondeur finale (m)	33 m	20,50 m	41,50 m	41,50 m	29,70 m
Diamètre	Double diamètre	Double diamètre	Diamètre unique	Diamètre unique	Double diamètre

Illustration 3 : Objectifs de chacun des cinq piézomètres.

4. Déroulement des opérations de forage

Les cinq piézomètres ont été réalisés par l'entreprise Forasud sur deux campagnes ; la première en mai 2018 et la seconde en septembre 2018.

4.1. MÉTHODES D'EXÉCUTION ET D'ÉQUIPEMENT DES FORAGES

Les piézomètres ont été réalisés à l'aide d'une foreuse RCG 2000, foreuse autonome autoportée sur camion 6 x 6 conçue par Forasud. Le compresseur utilisé avait une capacité de 21 bar avec un débit de 21 000 litres/minute.

Les piézomètres ont été forés en technique marteau fond de trou avec tubage à l'avancement pour assurer le maintien des terrains qui sont ici meubles (dépôts alluvionnaires non consolidés).

Pour les piézomètres implantés sur la partie captive de l'aquifère (Pz1, Pz2 et Pz5) :

La couche de limons de surface (d'épaisseurs attendues de 5 à 15 m) a été forée avec un marteau Supermaxibit de Mitsubishi qui fore en diamètre 425 mm et tracte un tube acier de 406 mm. Pour chaque ouvrage, une fois la cote requise atteinte, l'outil a été sorti du tube acier et un tube inox (304L) de diamètre 244 mm a été installé sur toute la hauteur. Le coulis de ciment a été injecté (de façon gravitaire) autour du tube inox avec retrait progressif du tube acier de soutènement de 406 mm afin de cimenter le tube inox au terrain. Il n'a pas été posé de centreurs sur les tubes inox installés.

Le ciment utilisé est le CEM III/C 32.5 N-LH SR CE PM NF d'Eqiom, c'est un ciment de haut-fourneau, composé de 15 % de clinker, 82 % de laitier et de 3 % de constituants secondaires. Il est destiné aux ouvrages en milieu agressif (notamment exposés à l'eau de mer) et adapté au béton de fondation et de propreté. Il présente une résistance à la compression sur mortier à 28 jours de 43 MPa. Il s'agit d'un ciment à prise lente entraînant maniabilité et souplesse du produit.

Après séchage (au moins 24 h, excepté pour Pz1), la foration a été poursuivie, toujours en tubage à l'avancement, avec un outil Odex 165. Ce dernier fore en diamètre 216 mm et tracte un tube acier de 194 mm de diamètre. Une fois la cote requise atteinte, l'outil a été extrait et le tube PVC de 90 mm de diamètre mis en place (tubes pleins et crépinés) avec un bouchon de fond. Les tubes crépinés utilisés présentent quatre fentes sur la circonférence (norme DIN 4925) de 1 mm de largeur, le tout représentant 9 % de vide sur le tube. Ensuite le massif filtrant, constitué de silice roulée calibrée (granulométrie 2,5 à 4,5 mm), a été mis en place autour du tube PVC et le tube acier de soutènement de 194 mm de diamètre a été progressivement extrait. Des billes d'argiles (oregonite, argile bentonitique sodique pure, d'une densité à sec de 1.3 kg/litre) arrosées d'eau ont été installées sur environ 50 cm au-dessus du gravier siliceux afin de constituer un bouchon sur lequel le ciment de la tête de l'ouvrage a été coulé (sur environ 2 à 3 m de hauteur). Ce bouchon constitue un support étanche qui évite au ciment de couler dans le massif filtrant.

Contrairement à ce qui avait été demandé par le BRGM, il n'a pas été installé de centreurs sur les tubes PVC par crainte qu'ils engendrent la remontée de la colonne de tubes PVC lors de l'extraction des tubes acier de soutènement. En outre, il a été jugé qu'ils pourraient entraver la bonne complétion de l'espace annulaire par les graviers de silice.

Les fluides utilisés à la foration étaient l'air (à une pression maximale d'environ 12 bar) ainsi que l'eau ou la mousse pour le franchissement des horizons argileux pour lesquels l'air ne suffit pas pour faire remonter les cuttings. L'eau était injectée avec l'air dans la tige de foration et sortait au niveau du taillant.

Les ouvrages ont ensuite été développés pendant minimum quatre heures via l'injection d'air sous pression (environ 6 bar) dans un tube flexible placé en face des crépines.

Pour les piézomètres implantés sur la partie supposée libre de l'aquifère (Pz3 et Pz4) :

L'intégralité de ces ouvrages a été réalisée en tubage à l'avancement avec un outil Odex 165 réalisant un trou de diamètre 216 mm.

Le procédé d'équipement est le même que précédemment décrit.

Chaque étape des travaux a été supervisée par le BRGM. Un agent était présent en permanence pendant les phases de foration et par intermittence pendant les phases d'équipement (cimentation, gravillonnage, développement et mise en place de la tête).

4.2. EXAMEN DES CUTTINGS

Les cuttings étaient remontés du trou via l'air et l'eau injectés et sortaient par l'intermédiaire d'une pipe installée à l'extrémité des tubes acier de soutènement. Des seaux étaient positionnés à l'aplomb de la pipe afin de récupérer le maximum de cuttings. Ces seaux étaient remplacés tous les 50 cm de terrains forés environ et à chaque fois qu'une modification évidente de terrain était observée (changement de couleur, de texture...).

Ces cuttings ont au fur et à mesure été conditionnés dans des sachets plastiques et seront conservés au minimum le temps de l'étude (jusqu'en 2020).

4.3. DIFFICULTÉS RENCONTRÉES ET CHRONOGRAMME

Le marché de réalisation de ces cinq piézomètres a été attribué à Forasud le 23 mars 2018. Les travaux ont débuté le 15 mai 2018.

Initialement, les ouvrages devaient être réalisés en une seule campagne, les uns à la suite des autres. Cependant, deux éléments ont perturbé ce planning :

- le printemps a été exceptionnellement pluvieux, et notamment le mois de mai. Les terrains d'implantation de Pz1 et Pz2 étant constitués de limons (donc peu perméables) et situés dans le secteur le plus bas de la plaine, ils étaient détrempés et il n'était pas possible d'y faire venir les camions des foreurs (ils n'étaient pas équipés de chenilles) ;
- le propriétaire de la parcelle initialement identifiée pour implanter Pz4, sur le Lido de la Marana, s'est désisté. Il n'a pas été possible de trouver un nouvel emplacement de suite.

Par conséquent, les piézomètres Pz3 et Pz5 ont pu être réalisés en mai, mais la réalisation des trois autres ouvrages a été reportée à septembre (Illustration 4).

21

5. Résultats des forages

Le détail de la réalisation de chacun des cinq piézomètres et les résultats sont présentés dans l'ordre de leur réalisation, de façon chronologique.

5.1. PIÉZOMÈTRE PZ3

Ce piézomètre a été réalisé entre le 15 et le 17 mai 2018 sur un diamètre unique.

Son objectif était de faire une reconnaissance géologique des terrains en rive gauche du Bevinco qui a été peu explorée puis acquérir de la connaissance sur le fonctionnement hydrogéologique de l'aquifère dans ce secteur via l'installation ensuite d'une sonde de suivi du niveau de la nappe et la réalisation de diagraphies de la conductivité électrique et de la température.

Aucun panneau électrique n'a pu être réalisé dans ce secteur du fait de la présence de conduites en fonte, mais le forage permet de combler cette lacune.

5.1.1. Compte-rendu du chantier de foration

Le déroulement du chantier est détaillé ci-après :

Mardi 15 mai 2018
Arrivée sur site à 9 h avec le responsable de chantier de Forasud et son manœuvre. Un premier emplacement du piézomètre est envisagé avec l'équipe dirigeante de l'EFB. Les foreurs manœuvrent pour positionner la foreuse mais s'embourbent. Le terrain est argileux et trempé. Machine désembourbée vers 12 h. Site d'implantation décalé de 20 m vers l'ouest. Début de la foration à 16 h. Les terrains sont forés jusqu'à 18 m. Sur les neuf premiers mètres des graviers et galets arrondis se mélangent à l'argile ocre puis de 9 m à 18 m seulement quelques rares graviers sont remontés, il s'agit principalement d'argile ocre qui présente des traces d'oxydation et de réduction orange foncé et vertes. La dernière tige de la journée se termine sur un horizon d'argile plus verdâtre (entre 17 et 18 m) et dont la couleur se distingue bien des horizons précédents, couleur ocre. L'argile contraint à forer à l'air + à l'eau (issue du réseau d'AEP) afin d'assurer l'évacuation correcte des cuttings pour ne pas bloquer l'outil. Aucune venue d'eau n'est identifiée. Fin de la journée à 18 h 30.
Mercredi 16 mai 2018
Arrivée sur site à 8 h. Malgré l'absence de venues d'eau identifiées pendant la foration la veille, un niveau d'eau peut être mesuré dans le tubage à 3,95 m / sol. Le quatrième tube de soutènement est soudé au précédent et la foration reprend à 8 h 55.

Le premier horizon traversé correspond à de l'argile ocre puis à 20,50 m intervient un brusque changement de couleur et un nouvel horizon d'argile verdâtre est traversé, jusqu'à 23,50 m. La consistance des matériaux qui remontent est plus liquide et s'apparente à de la vase. Quelques graviers sont également présents.

Ensuite c'est de nouveau de l'argile ocre avec les traces d'oxydation et de réduction, jusqu'à 27 m.

Un horizon de graviers et galets dans une matrice d'argile ocre est atteint avec une première venue d'eau de faible débit (estimé à 10 l/h) de 27 à 27,50 m.

S'en suit 10 m d'argile dont notamment un niveau d'argile verdâtre, avec de rares graviers qui n'apparaissent pas altérés.

Un nouvel horizon de galets et graviers arrondis dans une matrice argileuse est rencontré, de 37,50 à 38 m accompagné d'une petite venue d'eau (d'un débit estimé à 10 l/h).

La foration est arrêtée sur un horizon d'argile compacte marron, le changement de couleur est franc. Le toit de l'horizon est rencontré à environ 40,50 m jusqu'à l'arrêt du forage à 41,50 m.

Arrêt de la foration à 12 h 10.

À 14 h, avant retrait des tiges de foration (et donc avant retrait des tubes de soutènement), un niveau d'eau est mesuré dans le trou à environ 13 m/sol. Les tubes de soutènement masquant les venues d'eau, ce niveau n'est pas représentatif de celui de la nappe.

Les cinq premières tiges de foration sont retirées sans encombre, mais à partir de la sixième cela devient difficile, la machine force beaucoup et il n'est pas possible de remonter les deux dernières tiges. Les foreurs suspectent que des éléments aient pénétré dans le trou et bloquent l'outil. Ils décident de remonter les tubes de soutènement en même temps que les tiges. Cela fonctionne et permet de comprendre le problème. Le taillant s'est encastré à la base du deuxième tube de soutènement et a déchiré le tube ! Le tube était enfoncé vers l'intérieur (peut-être par un bloc rocheux ?) et en remontant les tiges de foration, le taillant a déchiré le tube.



Ensuite les foreurs ont enfoncé les deux tubes de soutènement qui avaient été sortis afin d'avoir la colonne forée complète et pouvoir équiper le piézomètre jusqu'à 41,50 m. L'opération a correctement fonctionné, les tubes ont pu être ré-enfoncés sans rotation, sans remettre le marteau pour forer et sans soufflage. C'est probablement la nature argileuse des terrains traversés qui a permis leur maintien sans éboulement.

Fin de la journée à 18 h.

Jeudi 17 mai 2018

Démarrage du chantier à 7 h 30.

La journée débute par l'installation des tubes PVC dans le trou dont les parois sont toujours maintenues par les tubes acier. Le choix est fait de crépiner sur une hauteur maximale de l'ouvrage, exceptés le fond pour assurer la décantation des particules et le haut pour l'étanchéité (cf. coupe ci-après).

Il n'a pas été installé de centreurs sur les tubes PVC destinés à centrer la colonne dans le trou car les foreurs craignaient que cela gêne la mise en place de la silice. La colonne a cependant été calée en surface pour la maintenir centrée dans le trou.

Les sacs de graviers de silice ont été vidés dans le trou autour de la colonne de tubes PVC au fur et à mesure que les tubes acier de soutènement ont été extraits.

Après la mise en place du massif filtrant et avant le soufflage, le niveau d'eau dans le tube PVC était à environ 0.85 m / sol. La mise en place de la silice a fait remonter le niveau d'eau.

Ensuite le développement par air-lift a été réalisé, à partir de 11 h 45. Au bout de 2 h 15 l'eau qui sortait du tube était toujours boueuse, du fait de la nature argileuse des terrains, mais le développement n'a pas été poursuivi.

À 16 h, après la cimentation et l'installation de la tête de l'ouvrage, le fond a été mesuré à 40,30 m par rapport au sol (de l'argile semble s'être accumulée au fond du tube) et le niveau d'eau à 3,43 m.



Illustration 5 : Chantier de foration de Pz3.



Traces d'oxydation et de réduction orange et vertes :



Soudure de deux tubes acier de soutènement :



Illustration 6 : Photographies de la phase de foration de Pz3.



Illustration 7 : Changement de couleur des cuttings avec apparition d'un niveau d'argile couleur verdâtre au cours de la foration de Pz3.



Illustration 8 : Pz3 terminé.

5.1.2. Coupe géologique et technique de l'ouvrage

L'analyse des cuttings récupérés au moins tous les 50 cm et l'observation des venues d'eau ont permis d'établir la coupe géologique de l'ouvrage qui est présentée ci-après. La coupe technique y est associée. Le dossier complet du piézomètre est à l'annexe 1.

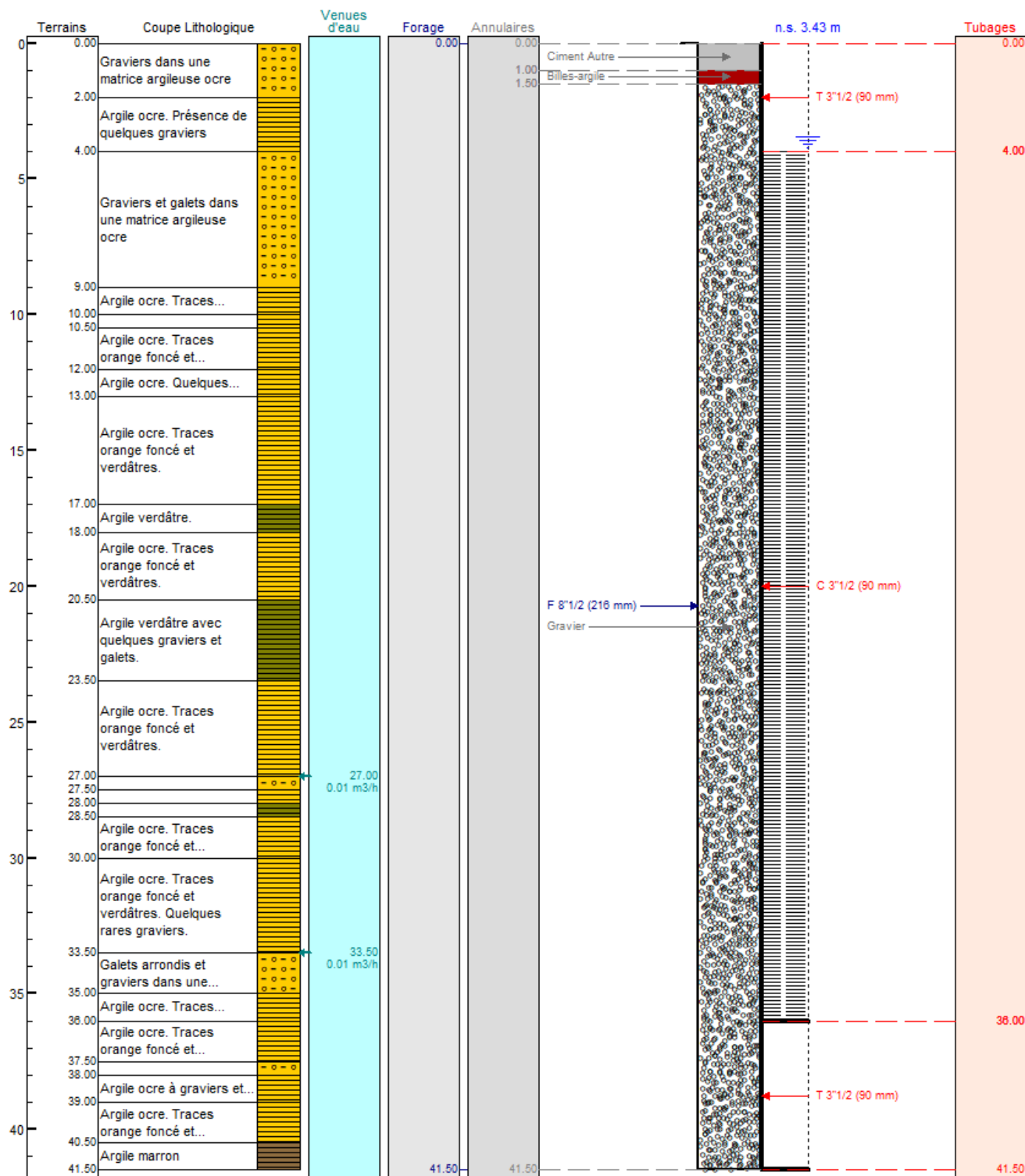


Illustration 9 : Coupe géologique et technique de Pz3.

5.1.3. Interprétation hydrogéologique

Le premier horizon traversé de graviers dans une matrice argileuse ocre correspond tout à fait aux dépôts observés à l'affleurement dans le canal de Petrelle situé le long de l'hippodrome, à 20 m du forage (Illustration 10). Il s'agit de la terrasse alluviale des Fy2.



Illustration 10 : Dépôt de graviers dans une matrice argileuse ocre le long du canal de Petrelle (mât de la foreuse en train de forer Pz3 visible en arrière plan).

Les éléments rocheux rencontrés tout au long de la foration, que ce soient les graviers ou les galets, ne présentent pas d'indice d'altération marqué. Des traces peu marquées d'oxydation sont cependant observées sur certains galets.

D'après l'analyse du contexte géologique menée (rapport phase 1), le niveau d'argile marron compacte rencontré à la fin de la foration, à 40,50 m de profondeur, pourrait correspondre au toit de la terrasse alluvionnaire Fx.

Si cette identification est correcte, cela implique que la délimitation entre les terrasses Fy2 et Fy1 ne peut être faite. Aucun indice tangible ne permet de les distinguer.

La succession de dépôts à forte dominante argileuse sur toute la hauteur du forage et le débit très limité des deux venues d'eau identifiées à la foration signifient que **ce piézomètre ne capte pas l'aquifère à proprement parler**. Les deux venues d'eau identifiées sont localisées sur des niveaux de galets et graviers qui correspondent *a priori* à des lentilles isolées, peu alimentées, puisqu'ils sont peu épais et situés au sein de dépôts d'argile pure.

Une diagraphie de la conductivité électrique et de la température a été réalisée le 18 juillet 2018 sur les vingt-quatre premiers mètres de l'ouvrage (longueur de la sonde). La gamme de conductivité mesurée s'étale de 975 à 1 090 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ce qui est élevé au regard des conductivités mesurées sur la nappe dans les secteurs où elle est directement connectée au cours d'eau (entre 320 et 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ environ). Ces valeurs ne témoignent pas d'une contamination saline, au regard des diagraphies réalisées sur d'autres ouvrages et de la position du piézomètre sur la zone d'étude. La diagraphie montre une augmentation entre 21 m de profondeur et au moins 24 m. Ces profondeurs correspondent à un niveau d'argile verdâtre. Ce niveau est susceptible d'être à l'origine d'une minéralisation plus importante de l'eau mais cela doit être vérifié par la réalisation d'une diagraphie sur la hauteur totale du piézomètre.

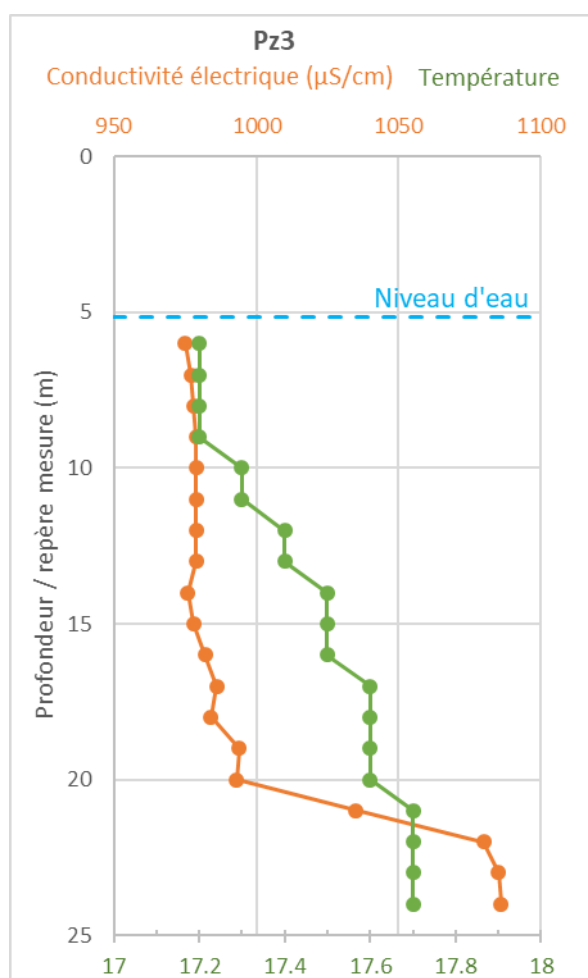


Illustration 11 : Diagraphie de conductivité électrique et température réalisée le 18 juillet 2018 sur Pz3.
 La profondeur a été mesurée par rapport au repère de mesure, situé 70 cm au-dessus du sol.
 Le début des crépines est à 4,70 m de profondeur.

5.2. PIÉZOMÈTRE PZ5

Ce piézomètre a été réalisé entre le 18 et le 23 mai 2018, en double diamètre.

L'objectif de cet ouvrage était de :

- faire une reconnaissance géologique des terrains situés dans la partie nord de la zone d'étude, en rive droite, sur l'aval du système ;
- suivre le niveau piézométrique ainsi que la conductivité électrique pour suivre la dynamique des intrusions salines dans ce secteur dépourvu d'informations sur la nappe.

Le piézomètre a pu être implanté directement au droit du panneau électrique ERT7 réalisé en juillet 2016. Ce panneau montre une large contamination par des intrusions salines de surface (débordement de l'étang et des canaux de drainage) et en profondeur (biseau salé), ce qui limite son interprétation en terme de lithologie.

L'ouvrage a été réalisé en double diamètre afin d'isoler la nappe supposée captive sous un premier horizon de limons. Il a été foré en 425 mm jusqu'à 8,50 m de profondeur puis en 244 mm jusqu'à 29,70 m.

5.2.1. Compte-rendu du chantier de foration

Le déroulement du chantier est détaillé ci-après :

Vendredi 18 mai 2018
Arrivée sur site à 7 h 30. Les machines ont été transférées du site de Pz3 à celui de Pz5 la veille au soir. Début de la foration en diamètre 425 mm à 8 h 40. Un premier horizon de terre limoneuse marron est traversé sur 50 cm, il est humide. Ensuite sont rencontrés les limons gris dans lesquels sont présents quelques galets. Ces limons sont de plus en plus humides en profondeur et apparaissent même vaseux entre 2,30 et 5,50 m. Ils sont tellement vaseux qu'à 2,50 m, à la fin du premier tube acier de soutènement, celui-ci s'est rempli de ce limon vaseux le temps de souder le tube suivant. Ces limons sont ensuite évacués du tube par soufflage avant de poursuivre la foration. À partir de 5,50 m la couleur change et devient ocre. Le terrain correspond à de l'argile, et ce jusqu'à 8,50 m. Ce changement de couleur suggère le passage de la terrasse Fy3 (matrice grise) à Fy2 (matrice ocre). À 8,50 m, à la fin du tube, une petite venue d'eau est observée. Aucun galet n'est remonté mais cette petite arrivée d'eau pourrait correspondre au début de l'aquifère, en cohérence avec ce qui était attendu d'après le profil de géophysique électrique ERT7 (Illustration 1) et un sondage proche (11072X0015). Il est donc décidé d'arrêter la foration en 425 mm à cette profondeur. Le tubage inox est donc installé et la cimentation réalisée au fur et à mesure du retrait du tube acier de soutènement. À 13 h, au cours de la phase de cimentation, le niveau d'eau dans le tube inox est mesuré à environ 0,50 m par rapport au sol.

Mardi 22 mai 2018
Arrivée sur site à 9 h 30. Trois jours se sont écoulés, permettant à la cimentation de bien sécher. Le temps a été beau samedi et dimanche et il a plu lundi. À 10 h 50, le niveau d'eau mesuré dans le tube inox est d'environ 40 cm par rapport au sol. Il est remonté par rapport à vendredi midi. D'après les niveaux d'eau enregistrés en continu sur les piézomètres de la zone d'étude, le niveau de la nappe présente une tendance à la baisse depuis le 16 mai qui s'est poursuivie jusqu'au 22 mai en début d'après-midi, les précipitations du 21 mai n'ayant visiblement pas eu d'effet sur la nappe. L'augmentation du niveau d'eau ici constatée correspondant donc <i>a priori</i> à une mise à l'équilibre de la nappe avec l'ouvrage. Reprise de la foration de l'ouvrage à 11 h, en diamètre 244 mm, à 8.50 m de profondeur. L'argile n'est pas retrouvée, la foration débute directement par une grosse venue d'eau et sont remontés des galets et du sable. L'eau qui remonte est de couleur ocre mais n'est pas argileuse. Ce niveau de galets et sable est suivi jusqu'à la fin du tube, à 11.70 m. La portion de 8.50 m à 11,70 m (correspondant à la fin du deuxième tube de 6 m) est forée de 11 h 00 à 11 h 05. Le troisième tube, allant de 11,70 m à 17,70 m est foré entre 12 h 50 et 13 h 05. Sur le début du troisième tube, ce sont les mêmes sable et galets qui remontent, accompagnés de venues d'eau importantes. Puis à partir de 13,20 m et jusqu'à la fin du forage les terrains traversés sont de l'argile ocre présentant les mêmes traces orange foncé et vertes que sur Pz3 et correspondant <i>a priori</i> à des traces d'oxydation et de réduction. Aucune autre venue d'eau n'est rencontrée. La présence de graviers et de sable est identifiée sur certains niveaux, mais ils ne donnent pas lieu à des venues d'eau. À partir de 13 h il pleut, sans discontinuer. Le quatrième tube, allant de 17,70 m à 23,70 m est foré de 14 h 00 à 14 h 15. Enfin, le cinquième tube est foré de 15 h 05 à 15 h 20.
Mercredi 23 mai 2018
Arrivée à 7 h 30 sur site. Les tiges de foration sont retirées sans encombres du trou. S'en suit l'installation des tubes PVC puis le massif filtrant au fur et à mesure du retrait des tubes acier de soutènement. Le développement à l'air-lift de l'ouvrage est réalisé de 10 h à 14 h 30. L'eau qui sort est claire pendant les deux dernières heures de soufflage. La cimentation et la mise en place de la tête sont ensuite réalisées.



Illustration 12 : Chantier de foration de Pz5.



Illustration 13 : Remontée des limons vaseux dans le tube acier sur Pz5 à la fin du premier tube de 3 m.

Arrivée des argiles ocre à 5,50 m de profondeur après les limons gris :



Galets et sable à matrice ocre :



Foration des niveaux argileux inférieurs :



Illustration 14 : Photographies de la phase de foration de Pz5.

Développement à l'air-lift :



Ouvrage terminé :



Illustration 15 : Photographies de la fin du chantier de Pz5.

5.2.2. Coupe géologique et technique de l'ouvrage

L'analyse des cuttings récupérés au moins tous les 50 cm et l'observation des venues d'eau ont permis d'établir la coupe géologique de l'ouvrage qui est présentée ci-après. La coupe technique y est associée. Le dossier complet du piézomètre est à l'annexe 2.

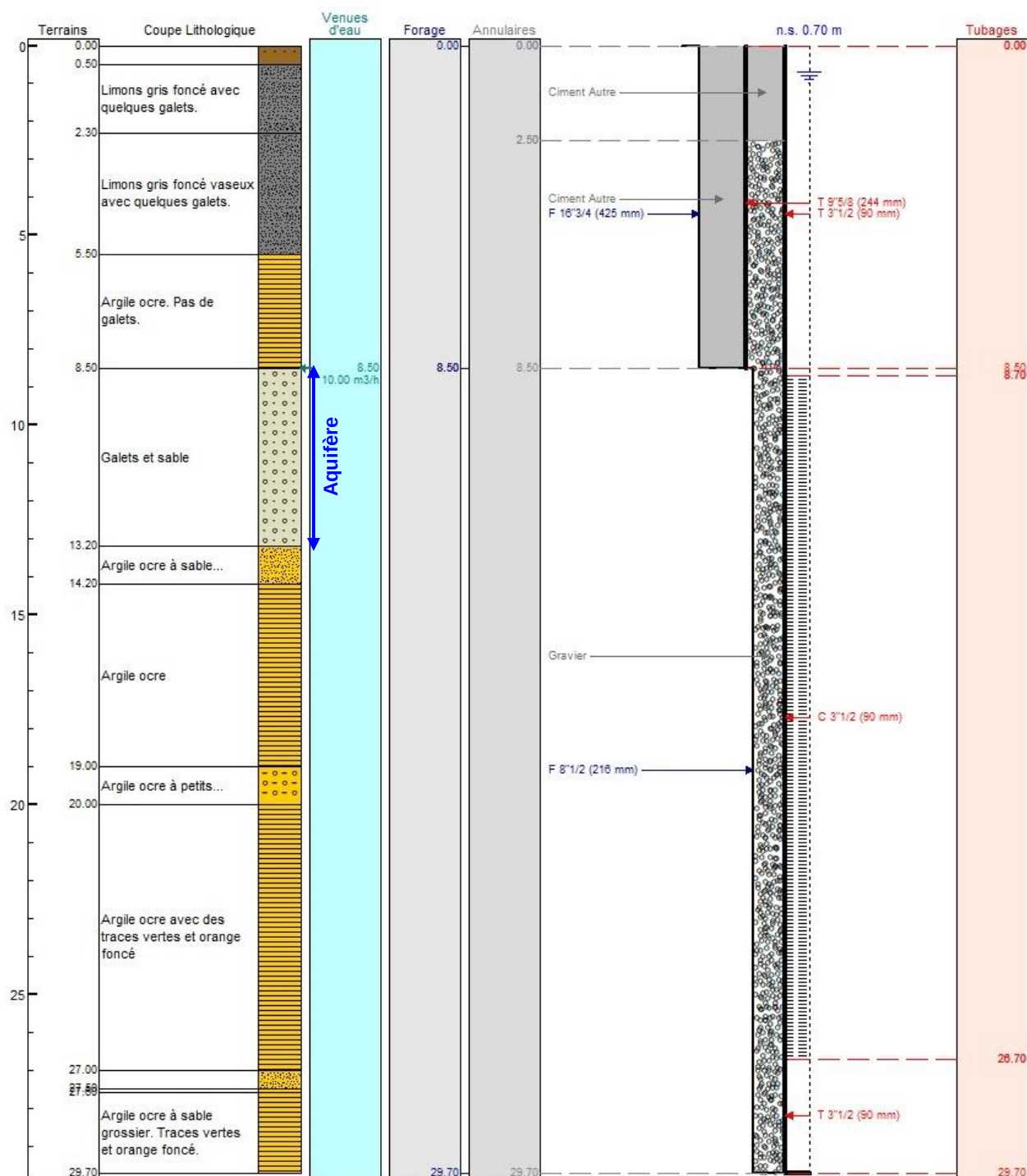


Illustration 16 : Coupe géologique et technique de Pz5.

5.2.3. Interprétation hydrogéologique

La forte venue d'eau rencontrée à 8,50 m de profondeur au contact de l'horizon de sable et galets indique que le niveau productif de l'aquifère est contenu dans cet horizon graveleux. Aucune autre venue d'eau n'a été observée sur la suite du forage donc l'aquifère se limiterait à environ 5 m d'épaisseur.

Bien qu'aucune réelle venue d'eau n'ait été observée, l'aspect très liquide des limons rencontrés entre 2,50 et 5,50 m de profondeur laisse supposer qu'ils renferment une nappe.

Les propriétés hydrodynamiques⁵ de l'aquifère que constitue ces limons sont *a priori* mauvaises avec une perméabilité et une transmissivité⁶ limitées.

Le piézomètre réalisé ne capte pas la nappe des limons, il capte la nappe présente dans l'horizon graveleux ainsi que les argiles, jusqu'à 26,70 m de profondeur par rapport au sol (cf. hauteur de tube crépiné sur la coupe de l'illustration 16).

Le niveau piézométrique de l'aquifère de sable et galets s'établit à environ 0,70 m de profondeur par rapport au sol (le 5 juin 2018) soit bien au-dessus du toit de l'aquifère (qui se situe à 8,50 m de profondeur), ce qui signifie qu'il est captif sous les limons peu perméables.

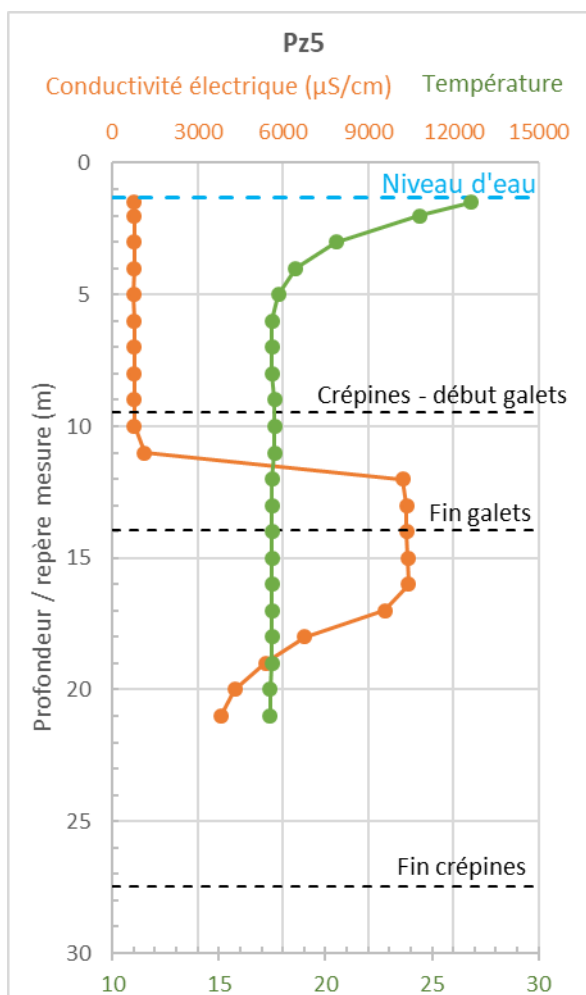
Deux diagraphies de la conductivité électrique et de la température ont été réalisées sur les 21 premiers mètres du piézomètre pendant l'été 2018 (Illustration 17). Elles mettent en évidence une intrusion saline dans l'horizon de sable et galets à partir de 12 m de profondeur par rapport au repère de mesure (soient environ 11,25 m par rapport au sol). Sur la partie supérieure de l'horizon graveleux la conductivité était plus faible et d'environ 760 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en juillet et de 820 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en septembre, marquant cependant une minéralisation élevée au regard de la gamme des valeurs observée au niveau du champ captant d'Acqua Publica (entre 320 et 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Sur la hauteur fortement contaminée par le sel, les valeurs observées sont situées autour de 10 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en juillet et ont progressé à 12 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en septembre. À partir de 17 m de profondeur par rapport au repère, la conductivité électrique diminue. Cela signifie que la partie supérieure des argiles est contaminée par le sel puis la concentration diminue en profondeur. Cela pourrait s'expliquer par la présence de niveaux sablo argileux plus profonds qui contiennent de l'eau douce.

La dynamique de la contamination saline de l'aquifère dans ce secteur sera étudiée, notamment à partir du suivi piézométrique et de la conductivité électrique qui sera mis en place sur cet ouvrage.

⁵ Paramètre hydrodynamique : il s'agit d'un paramètre physique définissant quantitativement le comportement d'un milieu ou d'un corps conducteur vis-à-vis d'un fluide, c'est-à-dire son aptitude à le contenir, à permettre son écoulement et à régir les propagations d'influence.

⁶ La transmissivité est un des paramètres hydrodynamiques d'un aquifère. La transmissivité d'un aquifère représente la capacité d'un aquifère à mobiliser l'eau qu'il contient. Elle se détermine à l'aide de pompes d'essai.

18/07/2018 :



06/09/2018 :

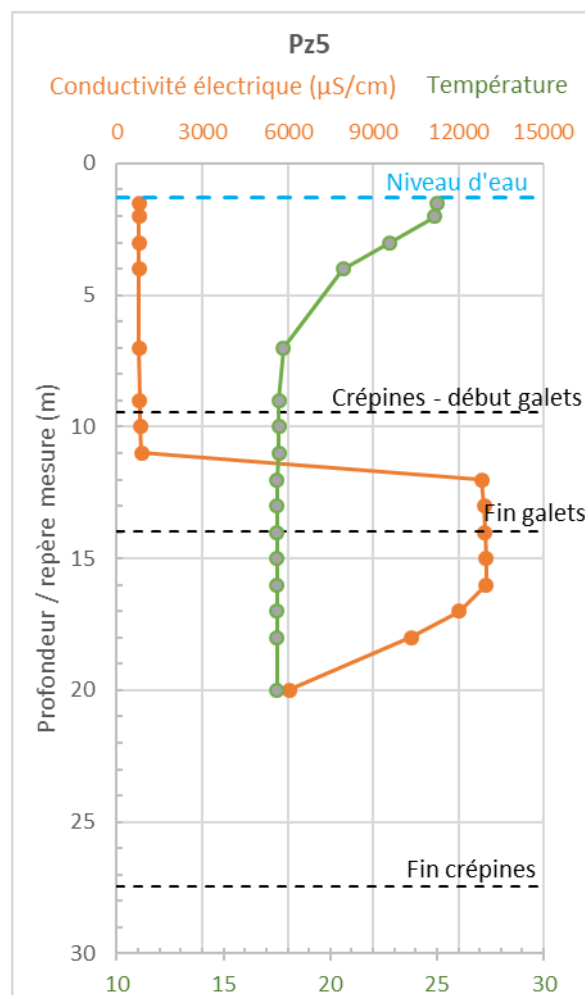


Illustration 17 : Diagraphies de conductivité électrique et de température sur Pz5.

5.3. PIÉZOMÈTRE PZ1

Ce piézomètre a été réalisé lors de la seconde campagne, du 4 au 11 septembre 2018, en deux diamètres successifs.

Les objectifs de cet ouvrage étaient de :

- faire une reconnaissance géologique des terrains situés en aval du champ captant d'Acqua Publica ;
- suivre le niveau piézométrique ainsi que la conductivité électrique pour suivre la dynamique des intrusions salines par biseau salé dans l'aquifère captif exploité.

Le piézomètre a pu être implanté environ 50 m au sud du profil de géophysique électrique « PE » réalisé en 2009 dans le cadre de l'étude de l'hydrosystème de l'Étang de Biguglia (Orofino *et al.*, 2010 ; partenariat BRGM, CG2B, OEC, AE RMC).

L'ouvrage a été réalisé en deux diamètres successifs afin d'isoler la nappe supposée captive sous un premier horizon de limons. Il a été foré en 425 mm jusqu'à 12,70 m de profondeur puis en 244 mm jusqu'à 36,70 m.

5.3.1. Compte-rendu du chantier de foration

Le déroulement du chantier est détaillé ci-après :

Mardi 4 septembre 2018
Arrivée sur le site avec les foreurs à 8 h 15. Cette journée est consacrée à la récupération du matériel laissé par l'équipe de foreurs précédente en mai ainsi qu'à l'organisation du chantier et son installation.
Mercredi 5 septembre 2018
Début de la foration en 425 mm à 10 h. Un premier tube de 3 m est passé et commence par traverser de la terre végétale limoneuse brune où quelques nodules beiges contenant des graviers sont présents. À partir de 2,20 m de profondeur ce sont les limons gris foncés. Jusqu'à 2,60 m, la fin de ce premier tube, le trou est foré à l'air sans injection d'eau et permet de voir clairement que les limons sont légèrement humides mais qu'aucune venue d'eau n'est rencontrée. Fin du premier tube de 3 m à 10 h 07, profondeur de 2,60 m atteinte. Deuxième tube, de 6 m, foré entre 11 h 40 et 11 h 50. Ce sont toujours les limons dans lesquels il est observé la présence de quelques coquillages et très peu de graviers de taille inférieure à 1 cm. Ajout de mousse au milieu du tube pour déboucher l'outil qui a tendance à se colmater un peu avec les limons. Le tube suivant est démarré à 15 h 15 et terminé à 15 h 20. Ainsi, entre 8,50 et 11,50 m, ce sont toujours les mêmes limons gris foncés. Le tube est foré à l'air et l'eau (afin d'éviter le colmatage de l'outil) mais aucune venue d'eau n'est observée. À 16 h 30, un nouveau tube de 2,50 m est démarré. Il est attendu la fin des limons entre 12 et 15 m de profondeur donc il est préféré un tube court pour éviter d'avoir à découper un tube de 6 m de long. L'horizon de limons prend fin à 12,50 m et s'en suit des sables fin gris accompagnés d'une importante venue d'eau. La foration en 425 mm est arrêtée à 12,70 m. le tube acier de soutènement dépasse de 1,30 m du sol. Au fur et à mesure l'eau remonte dans le tube et à 17 h 15 elle se situe à 1,30 m de profondeur par rapport au bord du tube, c'est-à-dire à peu près au niveau du sol. La conductivité électrique de l'eau mesurée à environ 50 cm sous la surface de l'eau, dans le tube, est de 1 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Cette salinité est attribuée, après coup, à l'imbibition des limons par le sel et non à l'aquifère en lui-même (cf. diagraphie ci-après). Le niveau d'eau haut dans le tube pose problème pour la cimentation. Les tiges de foration sont retirées du trou en gardant le tube acier de soutènement dépassant de 1,30 m du sol afin de contenir tout débordement. L'opération est terminée à 18 h 45. L'eau continue de remonter dans le tube. Contact est pris auprès du chef du service Production d'Acqua Publica afin de demander si leur champ captant peut être mis en route afin de rabattre le niveau de la nappe le temps de finaliser la première partie du piézomètre. Acqua Publica accepte la demande, le champ captant sera mis en route le lendemain matin. D'ici là, afin d'éviter le débordement du piézo dans le champ, un bout de tube supplémentaire est soudé et permet de le faire dépasser de 2,24 m du sol.

À 19 h 47, au moment de quitter le chantier, le niveau d'eau est à 1,21 m de profondeur par rapport au bord du tube, soit environ 1 m au-dessus du sol. Il est donc remonté d'environ 1 m en 2 h 30, soient une vitesse d'environ 42 cm/heure.

Ce phénomène d'artésianisme est d'autant plus impressionnant que seuls 20 cm de l'aquifère ont été percés (sable gris).



Bout de tube rajouté avant départ du chantier

Jeudi 6 septembre 2018

Arrivée sur le chantier à 7 h 50. Le niveau d'eau se situe à 1.0 m de profondeur par rapport au bord du tube, soit environ 1,24 m au-dessus du sol. Le débordement a donc été contenu.

Le champ captant d'Acqua Publica est mis en route à 8 h 15 : Suariccia 1 Pompe n° 2 qui débite 380 m³/h et Suariccia 3 Pompe n° 2 qui débite 200 m³/h, soit un débit instantané de 580 m³/h.

Les foreurs vont récupérer du matériel chez un transporteur.

Contact est pris auprès du propriétaire de la parcelle pour discuter de la possibilité de creuser une tranchée d'évacuation de l'eau en cas de débordement. Il propose de mobiliser un de ses employés pour le creusement d'une petite tranchée entre le piézomètre et le canal de drainage de la réserve qui est situé à 3 m. Cette proposition est acceptée avec force et enthousiasme.

En parallèle du creusement de la tranchée à la pelleuse, les foreurs mettent en place une motopompe pour pomper dans le tube de soutènement afin de rabaisser le niveau d'eau et pouvoir débiter la cimentation. L'eau, claire, est évacuée vers le canal de la réserve.

Le creusement de la tranchée est terminé à 11 h.



À 11 h 08, le piézomètre « Dolesi ouest » (croix vert clair à l'extrémité ouest du profil PE sur l'illustration 1) ne déborde plus, témoignant du rabattement de la nappe par la mise en route du champ captant.

Pour anticiper des problèmes d'artésianisme comparables, une tranchée est également creusée sur le futur site d'implantation de Pz2 qui appartient au même propriétaire.

Une fois le niveau d'eau rabattu dans le tube de soutènement, les foreurs découpent le tube acier afin de pouvoir installer le tubage inox. Un trou est également percé dans le tube de soutènement sous le rebord afin d'évacuer l'eau si le niveau remonte.

15 m de tube inox sont descendus, permettant d'obtenir, in fine, un tube qui dépasse du sol de 2.50 m. il est découpé à environ 15 cm au-dessus du sol afin de pouvoir retirer les tubes de soutènement et cimenter.

L'espace annulaire étant rempli d'eau, la cimentation est réalisée en gravitaire et non par injection avec une pompe afin de pouvoir le faire le plus compact possible et s'assurer qu'il coule correctement, jusqu'au fond. Les tubes de soutènement sont retirés au fur et à mesure de la mise en place de la cimentation dans l'espace annulaire.

Vendredi 7 septembre 2018

À l'arrivée sur site, à 7 h 30, le niveau d'eau se maintient au niveau du sol grâce au fonctionnement en continu du champ captant d'Acqua Publica.

Les foreurs pompent avec la motopompe dans l'espace annulaire pour vider l'eau et cela fait remonter un peu de ciment. Donc il n'a pas du tout séché. La cimentation en gravitaire est poursuivie.

Une fois terminée, le chantier est désinstallé pour laisser sécher. À 11 h 30 les machines sont déplacées sur le site de Pz2 pour démarrer sa foration.

Samedi 8 septembre 2018
À 12 h 30, une fois la foration en 425 mm et la cimentation de Pz2 terminées, les machines sont déplacées sur Pz1 pour poursuivre la foration en petit diamètre (244 mm). Le ciment de l'espace annulaire n'est pas complètement sec mais a durci. Il est décidé de poursuivre la foration pour éviter la mise en stand-by du chantier. À 15 h la foration reprend. De 12,70 à 16,20 m ce sont des sables accompagnés de quelques graviers. La nature de la matrice est délicate à identifier car il y a beaucoup d'eau mais la texture de l'eau n'apparaît pas argileuse. Sa couleur est toujours grise. De 16,20 à 16,70 m en revanche, la matrice semble argileuse ou au moins limoneuse au regard de la texture de l'eau. À partir de 16,70 m la couleur change et devient ocre. La lithologie reste la même, à savoir un mélange de sable, graviers et galets accompagnés de venues d'eau. Un niveau plus orangé est observé entre 17,20 et 18 m puis la couleur redevient ocre. La même lithologie de sable, galets et graviers se poursuit et le dernier tube de la journée s'arrête sur 20 cm d'argile avec quelques graviers dans une matrice de couleur ocre, entre 24,50 et 24,70 m. Fin de la journée à 18 h.
Lundi 10 septembre 2018
Arrivée à 8 h sur site. Le champ captant d'Acqua Publica est toujours en route. La foration se poursuit dans les argiles identifiées la veille, jusqu'à 29 m. Les mêmes traces orange foncé et vertes que sur les autres piézomètres sont visibles. La vitesse d'avancement est lente et deux injections de mousse sont effectuées afin de décolmater l'outil. De 29 à 31 m ce sont des argiles à sable, la vitesse d'avancement augmente. À la fin du tube à 30,70 m, le forage ne déborde pas. Le pompage dans les puits du champ captant maintient le niveau de l'aquifère rabattu. À 31 m se produit une grosse venue d'eau avec l'arrivée d'un niveau de sable et galets avec une matrice probablement argileuse au regard de la texture de l'eau qui sort, et toujours de couleur ocre. Il s'agit donc d'un deuxième niveau aquifère. S'en suit un nouveau niveau d'argile, de 33,20 à 34,50 m. Au toit et au mur de cette formation sont présents des sables, mélangés à l'argile. Après ce niveau d'argile c'est à nouveau un horizon de sable et galets dans une matrice ocre probablement argileuse, de 34,50 à 36,70 m, accompagné de venues d'eau. Le sixième tube prend fin à 36,70 m. Une fois tout à l'arrêt, le forage déborde. Le débit de débordement est d'environ 1 à 2 l/s. Il est 11 h. Ce débordement interdit la possibilité de souder le tube acier suivant pour poursuivre la foration. La profondeur « objectif » était de 50 m, mais il est décidé de s'arrêter là.



En l'état, le piézomètre capte deux niveaux aquifères différents, celui entre 12,50 et 24,50 m et celui entre 31 et 36,70 m. L'équipe projet est contactée afin de discuter de cette situation et de statuer sur la façon d'équiper l'ouvrage. Deux solutions sont envisagées : (1) crépiner sur toute la hauteur et ainsi capter les deux niveaux aquifères dont les charges hydrauliques seront ainsi mélangées ou (2) remblayer le fond de l'ouvrage jusqu'au niveau d'argile rencontré entre 24,50 et 31 m pour ne capter que le niveau aquifère supérieur. Dans un premier temps il est décidé de choisir la seconde option et de remblayer.

À partir de 12 h les tiges de foration sont extraites du trou. À 12 h 45 environ le premier tube de soutènement est retiré. À mi-hauteur le collier glisse donc la manœuvre est interrompue pour le refixer. Pendant ce temps d'arrêt l'opportunité est saisie de mesurer le niveau d'eau dans le tube qui dépasse à ce moment-là de 3,78 m du sol. Le niveau mesuré se situe à 86 cm au-dessus du sol. Il est inférieur au niveau d'eau qui a été mesuré le 5 septembre lorsque le niveau aquifère supérieur a été tout juste atteint en forant en 425 mm (le niveau stabilisé était à 1,24 m au-dessus du sol). Cela fait pratiquement 1 h 45 que la foration est arrêtée mais il n'est pas possible ici de savoir si ce niveau à 0,86 m est stabilisé. Si c'est le cas, cela signifie que la charge hydraulique de ce deuxième niveau aquifère est inférieure à celle du premier niveau. Le doute ne peut cependant ici pas être levé.

Une fois ce premier tube de soutènement retiré, et après de nouvelles discussions avec l'équipe projet, il est finalement décidé d'équiper l'ouvrage sur toute la hauteur forée. Cette décision repose sur les éléments de connaissance détaillés dans le paragraphe 5.3.3 ci-après. Le temps de retirer ce premier tube, le fond de l'ouvrage s'est un peu affaissé. En conséquence, la colonne de tubes PVC touche le fond à 33 m de profondeur et non à 36,70. Cette profondeur permet néanmoins de capter le niveau aquifère inférieur sur une hauteur de 2 m (cf. position des crépines sur la coupe de l'illustration 23).

Le massif filtrant est installé puis à 18 h 30 le soufflage pour développer l'ouvrage est mis en place, pendant 1 h. De l'eau claire est obtenue au bout de quelques minutes.



Mardi 11 septembre 2018

À l'arrivée sur site, le développement de l'ouvrage par air-lift est repris, pendant 1 h 30. L'eau restera claire tout au long de l'opération.

Des graviers sont rajoutés dans l'espace annulaire pour compléter ce qui a été tassé par le développement à l'air-lift. Le massif filtrant atteint ainsi 6,70 m de profondeur. Des billes d'argile sont mises afin d'isoler le massif de la cimentation puis la cimentation débute.

Acqua Publica est contraint de mettre à l'arrêt le champ captant à partir de 10 h 15 pour une intervention programmée de longue date. Cela ne gêne pas la finalisation de l'ouvrage, le tube PVC dépasse de 2 m au-dessus du sol et la cimentation est débutée. Aucun nouveau débordement de l'ouvrage ne se produit, la cimentation et l'aménagement de la tête de l'ouvrage se passent sans encombres.



Illustration 18 : Chantier de foration de Pz1.



Illustration 19 : Foration des limons sur Pz1.



Illustration 20 : Cimentation de l'espace annulaire de la portion forée en 425 mm sur Pz1.



Illustration 21 : Foration en petit diamètre de Pz1, profondeur atteinte d'environ 18,50 m.

Cimentation en cours :



Ouvrage terminé :



Illustration 22 : Photographies de la fin du chantier de Pz1.

5.3.2. Coupe géologique et technique de l'ouvrage

L'analyse des cuttings récupérés au moins tous les 50 cm et l'observation des venues d'eau ont permis d'établir la coupe géologique de l'ouvrage qui est présentée ci-après. La coupe technique y est associée. Le dossier complet du piézomètre est à l'annexe 3.

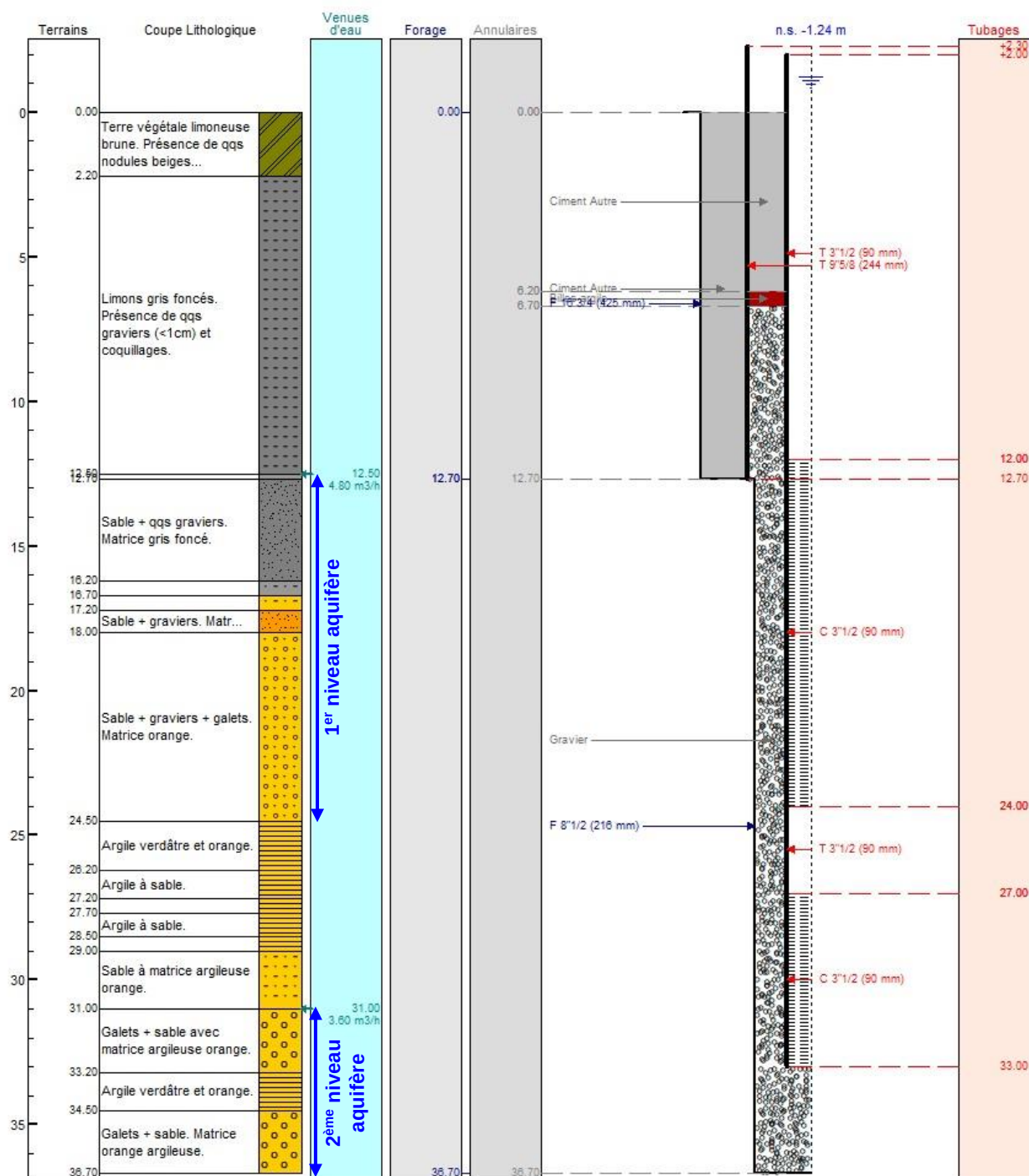


Illustration 23 : Coupe géologique et technique de Pz1.

5.3.3. Interprétation hydrogéologique

Comme attendu, l'aquifère a été rencontré dans des horizons graveleux captif sous 12,50 m de limons. La première venue d'eau a en effet été rencontrée à cette profondeur et le niveau d'eau s'est stabilisé à une hauteur impressionnante de 1,24 m au-dessus du sol lorsque le champ captant d'Acqua Publica n'était pas encore en route.

Donc outre le fait que l'aquifère capté soit captif (niveau d'eau stabilisé au-dessus du toit de la formation aquifère), il est également artésien puisque le niveau d'eau s'établit au-dessus du sol, générant un débordement.

Une deuxième forte venue d'eau a été rencontrée à 31 m de profondeur au niveau d'un nouvel horizon graveleux. Malgré le pompage effectué sur les puits du champ captant d'Acqua Publica, ce deuxième niveau aquifère a généré l'artésianisme de l'ouvrage. Le niveau d'eau correspondant mesuré à la fin de la foration était situé à 0,86 m au-dessus du sol (incertitudes sur la stabilisation de ce niveau).

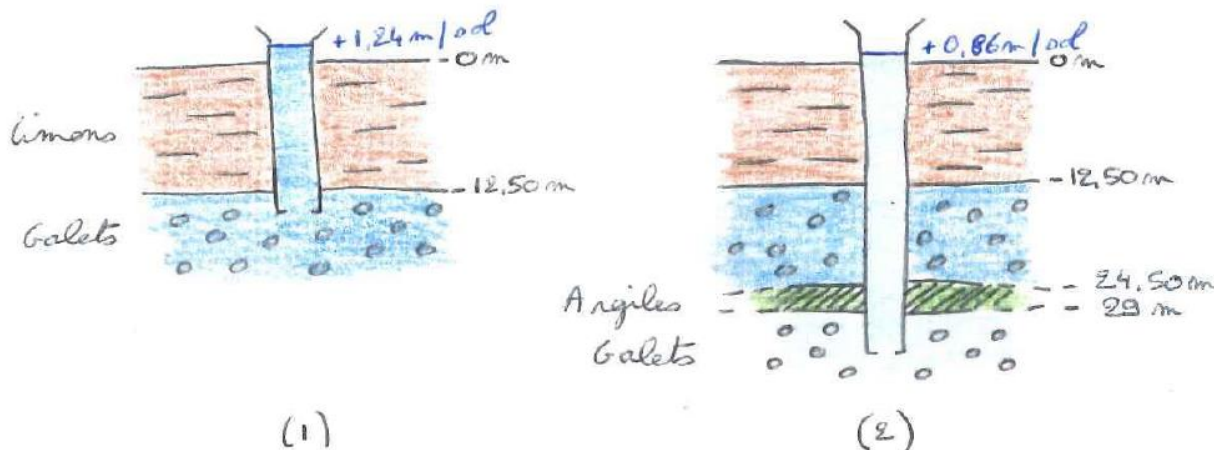


Illustration 24 : Schéma de la situation piézométrique observée sur Pz1 au cours de la foration : (1) à 12,70 m, lorsque le premier niveau aquifère est atteint, (2) à 36,70 m à la fin de la foration, dans le deuxième niveau aquifère. Il est à noter que le tube acier de soutènement ici représenté masque les terrains et les venues d'eau au fur et à mesure de la progression.

La décision d'équiper le piézomètre sur toute la hauteur forée et ainsi de capter les deux niveaux aquifères rencontrés repose sur les éléments de connaissance suivants :

- les profils de géophysique électrique réalisés montrent que le niveau d'argile séparant les deux niveaux aquifères (ici rencontré entre 24,50 et 31 m) n'est pas continu. Cela signifie donc qu'il n'y a pas deux aquifères distincts à proprement parler ;
- d'après l'étude menée par J. Putallaz en 1972, les sondages réalisés en 1970 avait montré que la charge hydraulique du niveau aquifère supérieur était supérieure à celle de l'aquifère inférieur de quelques décimètres (ce qui est cohérent avec les deux niveaux d'eau mesurés lors de la réalisation de Pz1), excepté en période d'étiage sévère où la charge de l'aquifère inférieur avait été observée 20 cm au-dessus de celle de l'aquifère supérieur. Ces observations montrent que la différence de charge entre les deux niveaux est faible et que la charge de l'aquifère supérieur est la plupart du temps la plus haute.

En conséquence :

- la charge hydraulique suivie pourra être considérée représentative de l'aquifère dans son ensemble puisque les différences de charge entre les deux niveaux sont faibles et que le niveau d'argile n'est pas continu et n'est qu'une lentille ;
- l'installation de tubes crépinés sur toute la hauteur permettra un meilleur suivi d'éventuelles intrusions salines car la profondeur d'investigation est plus importante.

La diagraphie de conductivité électrique réalisée dans le piézomètre le 19 septembre 2018 (Illustration 25) montre au niveau du premier niveau aquifère une conductivité électrique très stable de 333 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ces valeurs sont cohérentes avec ce qui était attendu. Dans la partie cimentée du piézomètre qui surmonte l'aquifère, les valeurs de conductivité sont élevées et traduisent une contamination saline. Cette partie de l'ouvrage étant cimentée, les valeurs qui y sont mesurées ne sont pas représentatives du milieu mais elles sont néanmoins liées à une réalité du terrain. Les limons sont effectivement imbibés de sel, comme le prouve la valeur de conductivité électrique mesurée dans la colonne d'eau du forage à la fin de la foration de l'horizon de limons et au début de l'horizon graveleux (cf. compte-rendu du chantier ci-avant).

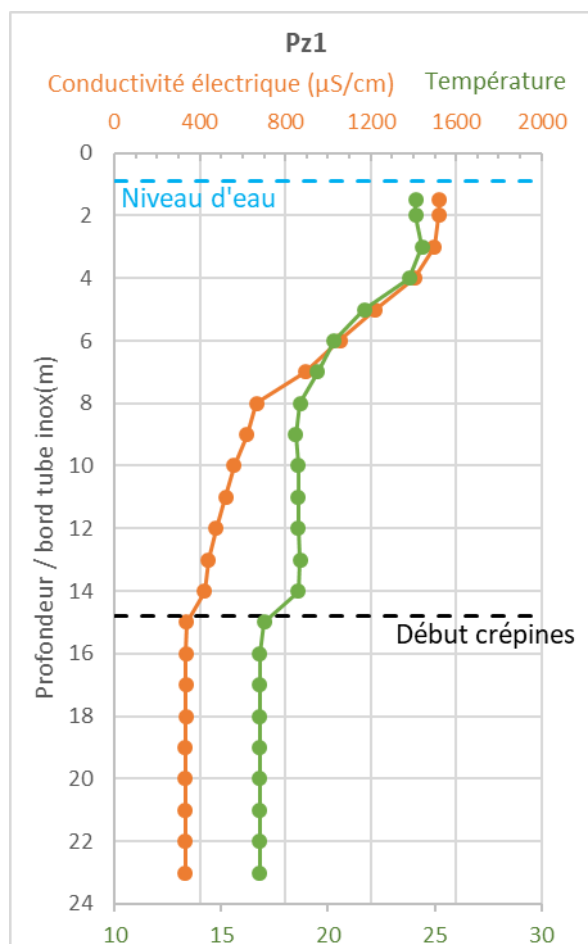


Illustration 25 : Diagraphie de conductivité électrique et de température réalisée dans Pz1 le 19 septembre 2018.

La salinité des limons provient du débordement régulier de l'étang et des canaux de drainage dans le champ en période de hautes eaux et/ou une contamination par le canal directement.

L'aquifère contenu dans le niveau de sable et galets n'est pas contaminé par les limons salés qui le surmontent du fait d'une charge hydraulique supérieure dans l'aquifère par rapport à celle des limons (Illustration 26). Ces différences de charge induisent des phénomènes de drainance verticale ascendante de l'aquifère vers les limons (du milieu à charge élevée vers le milieu à charge plus faible). Cependant, en cas de fort rabattement du niveau de la nappe de l'horizon graveleux, des phénomènes de drainance verticale descendante pourraient se produire et engendrer la contamination de l'aquifère. Dans cette configuration, la survenance d'une contamination saline par la propagation du biseau salé serait néanmoins le problème majeur.

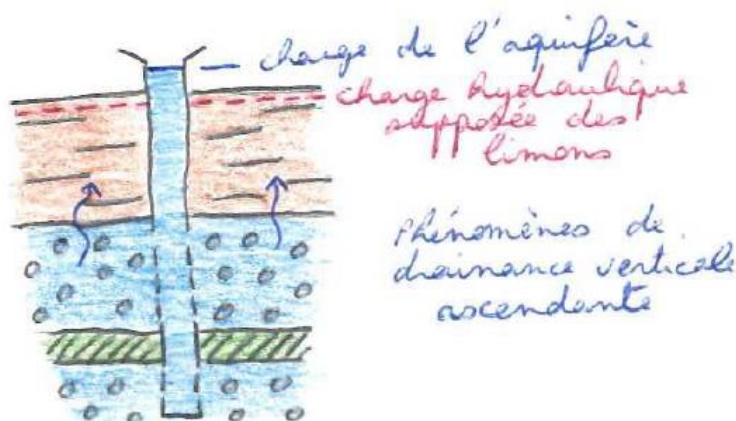


Illustration 26 : Schéma des différences de charge hydraulique supposées entre les limons et l'aquifère.

5.4. PIÉZOMÈTRE PZ2

Ce piézomètre a été réalisé en parallèle de Pz1, du 7 au 13 septembre 2018, en double diamètre.

L'objectif de cet ouvrage était principalement de faire une reconnaissance d'une crête supposée de la terrasse alluviale ancienne constituant le substratum de l'aquifère, identifiée par géophysique (profil ERT 2). La réalité de cette crête induirait une faible épaisseur de l'aquifère dans ce secteur et l'acquisition de cette connaissance permettra d'ajuster au mieux le modèle géologique 3D.

Le piézomètre a pu être implanté directement au droit du profil ERT 2 (Illustration 1).

L'ouvrage a été réalisé en double diamètre afin d'isoler la nappe supposée captive sous un premier horizon de limons. Il a été foré en 425 mm jusqu'à 4,30 m de profondeur puis en 244 mm jusqu'à 20,50 m.

5.4.1. Compte-rendu du chantier de foration

Comme évoqué dans le compte-rendu de réalisation de Pz1 ci-avant, une tranchée a été creusée par le propriétaire de la parcelle en prévision de la gestion des eaux issues du piézomètre, le mardi 6 septembre. Elle permet d'évacuer les eaux vers le Fossé de Borgogna (Illustration 27).



Illustration 27 : Tranchée creusée au niveau du futur emplacement de Pz2 pour évacuer les eaux vers le Fossé de Borgogna.

Le déroulement du chantier est détaillé ci-après :

Vendredi 7 septembre 2018
Après avoir terminé la cimentation de la première partie du piézomètre Pz1, les travaux sur Pz2 sont démarrés. Cette organisation permet à la cimentation de Pz1 de sécher tout en continuant à mobiliser les hommes et les machines. Après installation du chantier, la foration démarre à 15 h 00. Après 1 m de terre limoneuse beige sèche, les limons sont atteints. Ils sont marrons et présentent des traces d'oxydation orange. La foration se fait à l'air + l'eau donc l'eau injectée masque un peu la réelle teneur en eau des limons mais ils semblent être un peu humides. À partir de 4 m les cuttings changent de couleur et deviennent gris foncés. De 4 à 4,30 m il s'agit de sable, sans galets. Une petite venue d'eau est observée. Elle semble limitée car l'eau ne remonte pas dans le tube une fois la foration interrompue mais décision est prise d'interrompre ici la foration en diamètre 425 mm car l'aquifère semble avoir été atteint. Il est 15 h 25. Un tube inox de 6 m de long est installé, cela permet de le faire dépasser d'environ 1,70 m du sol et ainsi parer à tout débordement. À 16 h 05, le niveau d'eau mesuré dans le tube se situe à environ 1,90 m de profondeur par rapport au sol. L'aquifère semble donc bien avoir été atteint. La cimentation du tube inox est réalisée puis finalisée le samedi 8 septembre au matin.

Mardi 12 septembre 2018

Les quelques jours écoulés depuis samedi ont permis à la cimentation de bien sécher. Le niveau d'eau dans le tube inox se situe à 0,80 m de profondeur par rapport au sol à l'arrivée sur site.

La foration en petit diamètre est débutée à 9 h 45. Elle débute directement à 4,30 m par des limons gris foncés dans lesquels sont présents quelques coquillages, et ce jusqu'à 5,80 m. Il n'y a pas de graviers ou galets et le sable sur lequel la foration gros diamètre s'est arrêtée n'a pas été revu. La couleur des cuttings est de plus en plus foncée entre les limons à 4 m, le sable entre 4 et 4,30 m puis les limons à 5 m ; elle passe du marron au gris foncé.

De 5,80 à 9,30 m, ce sont toujours des limons gris foncés, contenant quelques rares galets (cf. photo à l'annexe 4). Il n'y a pas eu d'arrivée d'eau, la petite venue d'eau observée à 4,30 m sur laquelle la foration gros diamètre a été arrêtée ne correspondait donc pas à l'aquifère.

En revanche, à 9,30 m la lithologie change et une grosse venue d'eau est observée. Ce sont des galets et du sable dans une matrice limoneuse grise. Cet horizon se poursuit jusqu'à 11,70 m avec une texture qui apparaît de moins en moins limoneuse et de plus en plus sableuse (cf. photo à l'annexe 4).

Ensuite vont se succéder des horizons de couleur et de lithologie qui varient de façon importante jusqu'à 20,50 m de profondeur.

À 11,70 m, changement de couleur. La couleur passe du gris foncé à la couleur ocre. L'horizon traversé correspond à de l'argile à sable et quelques graviers de petite taille, jusqu'à 11,90 m.

À 11,90 m la couleur change un peu et devient orange foncé. Il s'agit de sable et galets présentant un cortex d'altération (peu développé) dans une matrice argileuse, et ce jusqu'à 12,10 m.

À 12,10 m il est observé une venue d'eau au toit d'un horizon de galets et graviers (sans matrice argileuse) présentant un cortex d'altération qui se poursuit jusqu'à 13,30 m.

De 13,30 à 14,80 m il s'agit d'argile à sable de couleur orange plus foncé que l'horizon de galets et graviers précédent. Il n'y a pas de venue d'eau.

De 14,80 à 15,50 m c'est un horizon de sable fin présentant quelques nodules blancs friables. La couleur est beige clair et rappelle le sable fin d'une plage.

À 15,50 m il est observé une venue d'eau et un changement de couleur au contact d'un horizon de sable et galets. Les éléments rocheux présentent un indice d'altération (plus visible sur les serpentinites que sur les metabasaltes) et la matrice est de couleur orange brun (cf. photo à l'annexe 4).

À 17,50 m cet horizon aquifère s'interrompt par un niveau d'argile compact sans éléments rocheux de couleur marron foncé jusqu'à 18,30 m (cf. photo à l'annexe 4).

À 17,80 m de profondeur, à la fin d'un tube, le soufflage réalisé quelques minutes dans le tube fait remonter une eau parfaitement claire.

Entre 18,30 et 18,50 m il s'agit d'un horizon de transition d'argile compact à sable, toujours de la même couleur.

De 18,50 à 19,00 m est observé un niveau d'argile à sable de couleur orange.

À 19 m il y a une venue d'eau au contact d'un horizon de sable et galets altérés dont la couleur est orange.

Il se poursuit jusqu'à 20,20 m, puis entre 20,20 et 20,50 m (fin de l'ouvrage) ce sont des argiles compact ocre (traces d'oxydation orange et de réduction verdâtres) dans lesquels se trouvent des sables et galets altérés.

La foration est terminée à 11 h 30.

Quelques minutes de soufflage sont réalisées dans le tube avant retrait des tiges de foration, l'eau qui remonte est claire.

Après retrait des tiges de foration, le tubage PVC est installé. Ce sont des tubes crépinés à partir de 8,50 m de profondeur jusqu'au fond de l'ouvrage afin de capter l'ensemble des venues d'eau.

Ensuite le massif filtrant est installé.

Mercredi 13 septembre 2018

Un soufflage à air-lift est réalisé pendant 2 h 30, l'eau est parfaitement claire du début à la fin.

À 10 h 30, après arrêt du soufflage, le massif filtrant est complété pour compenser le tassement engendré par le soufflage. Il remonte à 2,90 m de profondeur par rapport au sol.

Environ 40 cm de billes d'argile sont mis en place puis la cimentation est réalisée.

L'ouvrage, équipé de sa tête, est terminé dans la journée.



Illustration 28 : Foration en gros diamètre des limons sur Pz2.



Illustration 29 : Phase de foration en petit diamètre sur Pz2.



Illustration 30 : Soufflage dans le tube à la fin de la foration de Pz2.



Illustration 31 : Photographies de Pz2 terminé.

5.4.2. Coupe géologique et technique de l'ouvrage

L'analyse des cuttings récupérés au moins tous les 50 cm et l'observation des venues d'eau ont permis d'établir la coupe géologique de l'ouvrage qui est présentée ci-après. La coupe technique y est associée. Le dossier complet du piézomètre est à l'annexe 4.

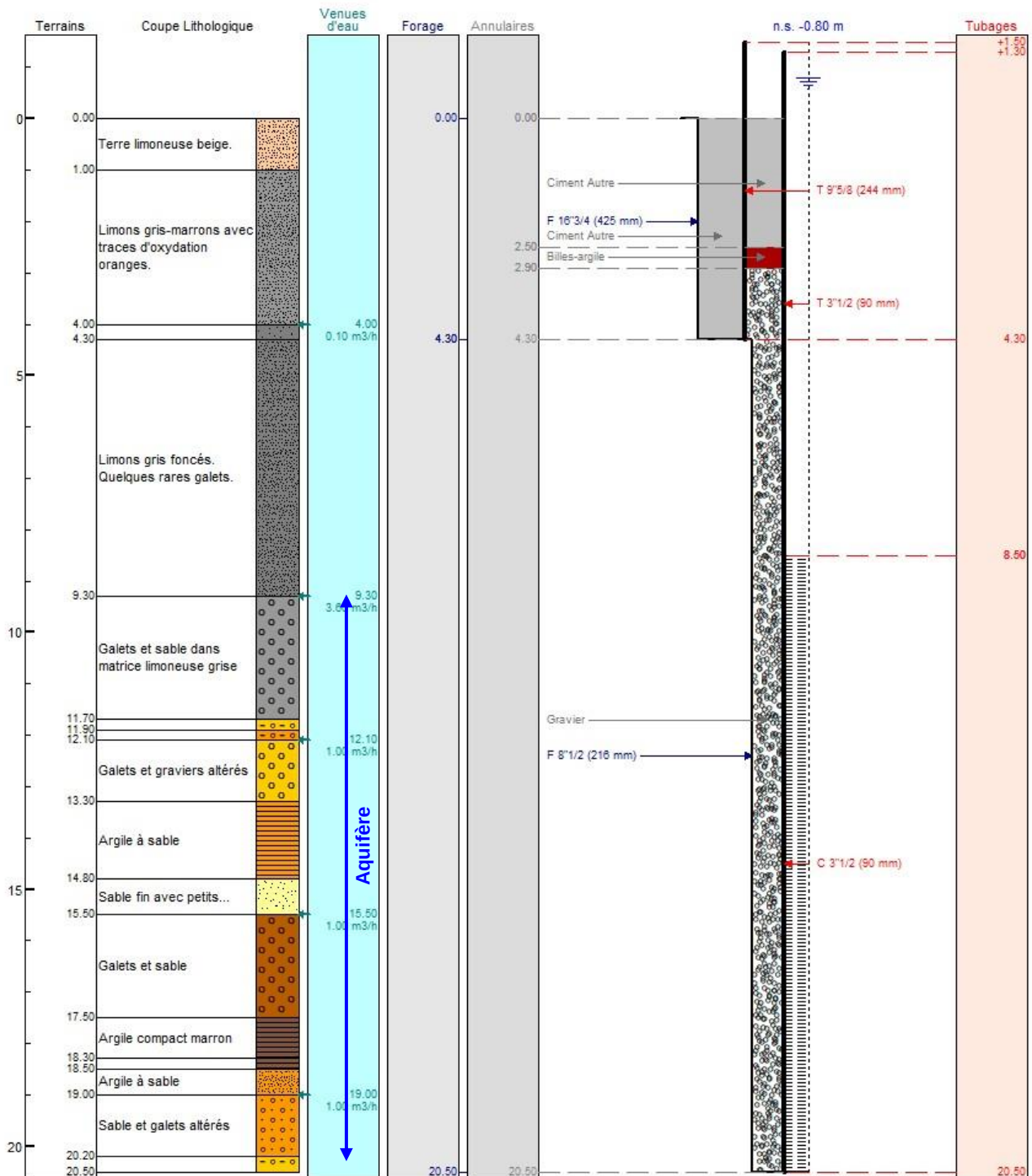


Illustration 32 : Coupe géologique et technique de Pz2.

5.4.3. Interprétation hydrogéologique

Tout comme Pz5 et Pz1, et comme attendu, les premiers terrains traversés correspondent aux limons gris foncés (9,30 m d'épaisseur ici contre 12,50 m sur Pz1 et 5,50 m sur Pz5). Une venue d'eau d'un débit très faible a été rencontrée au sein de ces limons, au contact d'une passée de sable, mais il ne s'agit pas de l'aquifère à proprement parler. Celui-ci a été rencontré dans l'horizon de galets et sable sous-jacent et les limons de surface le rendent captif.

Plusieurs venues d'eau ont ensuite été identifiées au contact d'horizons de sable et galets qui sont séparés par des niveaux argileux.

Contrairement aux autres piézomètres réalisés (Pz1, Pz3 et Pz5), les différents niveaux rencontrés au-delà de 13 m de profondeur présentent des variations importantes de couleur et des indices d'altération sont observés sur les éléments rocheux. Ces caractéristiques traduisent une histoire géologique plus complexe que dans les autres secteurs investigués. La codification de ces différents horizons en termes de stratigraphie sera proposée dans le rapport traitant de l'élaboration du modèle géologique 3D de l'aquifère.

Des tubes crépinés ont été installés à partir de 8,50 m de profondeur par rapport au sol jusqu'au fond du piézomètre afin de capter l'ensemble des venues d'eau.

La diagraphie de conductivité électrique réalisée sur l'ouvrage le 19 septembre 2018 (Illustration 33) montre des valeurs stables autour de 395 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au droit des crépines jusqu'à 18 m de profondeur par rapport au bord du tube (donc environ 16,50 m par rapport au sol). La conductivité diminue ensuite à partir de l'horizon d'argile compacte marron et se stabilise autour de 320 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au droit de la venue d'eau rencontrée au niveau du dernier horizon de sable et galets. En l'état actuel des connaissances de l'aquifère et ne disposant que d'une unique diagraphie, réalisée à l'étiage, ces variations de conductivité en profondeur ne peuvent être expliquées.

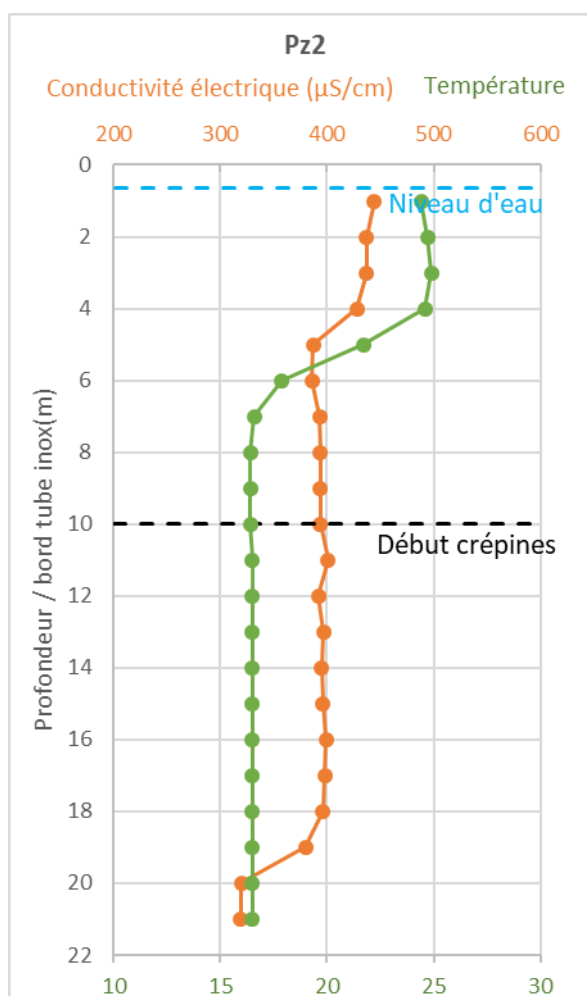


Illustration 33 : Diagraphie de conductivité électrique et de température réalisée dans Pz2 le 19 septembre 2018.

5.5. PIÉZOMÈTRE PZ4

Ce piézomètre a été réalisé lors de la seconde campagne, du 17 au 20 septembre 2018, en diamètre unique.

L'objectif de cet ouvrage était de :

- faire une reconnaissance géologique des terrains du Lido ;
- suivre les intrusions salines sur la limite aval du système.

Le piézomètre a été implanté environ 1 km au sud-ouest du profil de géophysique électrique « PC » réalisé en 2009 dans le cadre de l'étude de l'hydrosystème de l'Étang de Biguglia (Orofino *et al.*, 2010 ; partenariat BRGM, CG2B, OEC, AE RMC).

L'ouvrage a été réalisé en diamètre unique, la nappe ayant été supposée libre dans ce secteur.

5.5.1. Conditions et contraintes d'implantation du piézomètre

Des difficultés ont été rencontrées pour l'implantation de ce piézomètre. Les parcelles du Lido situées dans l'emprise de la zone d'étude (Illustration 1) font l'objet d'usages qui sont peu compatibles avec la réalisation de ce type de travaux (centre équestre, camping, habitations, ...).

Après contact du propriétaire d'une ultime parcelle située en bordure sud de la délimitation de la zone d'étude, un accord a été obtenu pour l'implantation de l'ouvrage sur la parcelle, au bord de la route de la Marana. Une convention d'occupation de terrain pour la création et le suivi d'un piézomètre a été établie entre le BRGM et le propriétaire (référéncée SG/JAC/JUR n° 2018/342).

Le site retenu d'un commun accord est très proche de réseaux enterrés (téléphone, eau, assainissement). Une déclaration de projet de travaux et déclaration d'intention de commencement de travaux (DT et DICT) conjointe a été réalisée afin d'informer les exploitants de ces réseaux du projet d'implantation du piézomètre et éviter leur endommagement (dossier de consultation n° 2018090602098T). Les retours des différents exploitants concernés par l'emprise du chantier ont permis de confirmer que le site d'implantation choisi du piézomètre ne touche aucun des réseaux enterrés le long de la route et se situe à plus de 3 m de distance.



Illustration 34 : Site d'implantation de Pz4.

Le chantier de réalisation de l'ouvrage se situant sur le bas-côté de la chaussée (sans empiètement sur la voie de circulation), le maire de la commune de Biguglia a pris un arrêté municipal « portant restriction temporaire de la circulation sur le cordon lagunaire » (n° 69/2018). Cet arrêté chargeait le BRGM de la mise en place d'une signalisation réglementaire. Ainsi, le BRGM a fait l'acquisition de panneaux avertisseurs de travaux et de barrières de chantier pour le délimiter ; ils ont été installés dès la mise en place du chantier puis retirés une fois les opérations terminées.



Illustration 35 : Signalisation du chantier de Pz4.

Enfin, un manuel de sécurité a été rédigé par le BRGM identifiant notamment les différents intervenants du BRGM sur le chantier, les risques associés aux opérations de réalisation du piézomètre et les mesures préventives à adopter pour les éviter.

5.5.2. Compte-rendu du chantier de foration

Le déroulement du chantier est détaillé ci-après :

Lundi 17 septembre 2018

La matinée est dédiée à l'installation du chantier.

Juste avant le début de la foration, grosse averse orageuse avec éclairs, pendant 20 min.

La foration du premier tube débute à 14 h 50.

La coupe lithologique débute par un horizon de 2,50 m d'épaisseur de sable fin marron. La couleur change progressivement vers le gris, et le sable devient un peu moins fin. Ce sable fin gris est observé jusqu'à 19,10 m de profondeur. Quelques rares galets de taille pluricentimétrique sont ponctuellement observés. Ils sont émoussés et de lithologie variable d'origine granitique (photo ci-dessous).



À 18 m de profondeur un fin niveau de limons est rencontré et se traduit par la présence de « petites boules » de texture un peu collante au sein du sable fin. L'épaisseur de ce niveau semble très limitée et est estimée à 10 cm (de 18 à 18,10 m de profondeur).

Jusqu'à 19,20 m de profondeur aucune venue d'eau n'est constatée mais l'eau injectée à la foration pour faciliter l'évacuation des cuttings est salée. Il est également à noter que la vitesse instantanée d'avancement est rapide.

À 19,20 m de profondeur, une venue d'eau est d'observée d'un débit d'environ 1 l/s accompagnée d'un changement de nature de dépôt. Le sable gris est grossier et n'est plus fin et il est associé à des graviers et des galets émoussés non altérés. Ces éléments sont à la fois d'origine hercynienne et alpine. Ces dépôts sont observés jusqu'à 21,90 m.

Ensuite le sable redevient fin, accompagné des graviers et galets (photo annexe 5), jusqu'à 23,50 m. À la fin du tube, il est tenté la mesure de la profondeur du niveau d'eau dans le tubage mais cela n'est pas possible. La sonde bipe de façon anarchique, laissant supposer que l'eau est sableuse, et la surface de l'eau n'est pas visible depuis le haut. Le soufflage dans le tube (donc sans injection d'eau) à la fin de l'opération fait remonter de l'eau en surface. La conductivité électrique de cette eau est mesurée à trois reprises et donne les valeurs suivantes : 10 040, 9 860 et 10 440 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Elle est donc salée.

Mardi 18 septembre 2019

Il n'est pas possible de tenter une mesure du niveau d'eau car la veille les foreurs ont mis en place le tube acier et la tige de forage pour être prêts à forer le matin.

La foration reprend et se poursuit avec du sable fin gris, jusqu'à 26,50 m de profondeur. Quelques galets émoussés sont observés, ils sont relativement peu abondants mais pas rares. Ces éléments sont d'origine alpine et hercynienne.

Entre 26,50 et 26,70 m, il n'y a que du sable fin gris, sans galets. Puis de nouveau, jusqu'à 28 m, des galets sont présents.

Entre 28 et 29,20 m il remonte très peu de choses. Des « billes » de limons sont observées avec des restes de bois. Certains morceaux sont bien préservés et d'autres sont carbonisés. L'eau qui remonte présente un aspect argileux. L'ensemble de ces éléments d'observation fait penser à un niveau de tourbe.

Sous ce probable horizon de tourbe, un horizon de graviers et galets est rencontré avec une matrice de sable gris fin peu abondante. Au contact de ces dépôts, une petite venue d'eau est observée, d'un débit estimé à 1 m³/h. le tube se termine à 29,40 m de profondeur.

L'eau remontée par simple soufflage à la fin de la foration est d'environ 6 700 à 6 900 µS/cm de conductivité. Le sable remonté dernièrement n'est pas salé au goût. Après l'arrêt du soufflage, le niveau d'eau est mesuré à environ 3 m de profondeur par rapport au sol.

La vitesse de progression de ce premier tube de la journée a été très lente (environ 45 minutes) du fait de la présence en abondance du sable fin. L'adjonction de mousse a été nécessaire trois fois.

De 29,40 à 29,90 m c'est à nouveau du sable gris fin avec des galets dont l'origine semble exclusivement alpine.

Ensuite, il est observé du sable fin gris mélangé à un sable plus grossier et des graviers mais sans galets, de 29,90 à 31,50 m. Quelques coquillages sont également observés.

De 31,0 à 32,50 m il s'agit de sable grossier gris avec des graviers et galets d'origine exclusivement alpine.

À 32,50 m de profondeur, changement de couleur et grosse arrivée d'eau ! La couleur passe du gris au orange foncé. Cette couleur persiste quelques secondes puis évolue vers l'orange/beige. Il s'agit de graviers et galets sans sable, d'origine exclusivement alpine. À la transition il n'est pas observé d'argile pouvant être le marqueur d'un paléosol, seulement une teinte orange foncé. Ce faciès sera observé jusqu'à la fin du forage à 41,40 m.

À 35,50 m de profondeur, à la fin de l'avant-dernier tube, la conductivité électrique de l'eau remontée par soufflage seul est d'environ 10 000 µS/cm. Le niveau d'eau mesuré dans le tube après quelques minutes de repos, avant l'installation du tube suivant, est situé à 0,50 m par rapport au sol. La vitesse de progression de ce tube était normale, à la faveur des éléments rocheux présents.

Lors de la mise en place du dernier tube permettant de forer les terrains entre 35,50 et 41,50 m, il s'est brusquement formé une cavité au contact du tube acier, derrière la machine. Le trou faisait environ 50 cm de diamètre en surface, 1 m de profondeur et s'élargissait en profondeur sur environ 1,50 m de diamètre en direction des vérins arrières gauche et droit de la machine.

Les opérations ont immédiatement été stoppées et attache a été prise auprès de deux géotechniciens experts du BRGM pour discuter de la suite à donner aux opérations (poursuivre la foration du dernier tube comme prévu, ou s'arrêter).

Plusieurs hypothèses sont élaborées sur l'origine de la formation de cette cavité, sans qu'aucune ne soit privilégiée, et sans exclure une possible conjonction de ces différents facteurs envisagés :

- l'horizon de tourbe rencontré de 28 à 29.20 m est peu consistant et est susceptible de créer du vide ;
- les vibrations de la machine peuvent avoir entraîné la liquéfaction du sable fin, très abondant jusqu'à 32 m de profondeur, et ainsi créer du vide ;
- un mauvais remblai de subsurface (le bitume était posé sur 30 cm de sable fin beige).

Il n'a pas été observé d'eau dans le trou formé donc cela signifie que l'eau présente dans le tube acier de soutènement n'est pas remontée à l'extérieur du tube.

Il a été décidé de poursuivre les opérations qui se sont déroulées de la façon suivante :

- rebouchage de la cavité formée par les cuttings. Tout d'abord les cuttings les plus grossiers (galets et graviers), puis le sable lorsqu'il n'y avait plus que ces matériaux disponibles ;
- les foreurs ont poursuivi l'installation du tube suivant (soudure) ;
- avant la reprise de la foration, un simple soufflage est opéré afin de faire remonter l'eau présente dans le tube et voir si la cavité se reforme dans les mêmes proportions. Après plusieurs minutes de soufflage il ne se produit rien de particulier donc le dernier tube installé est foré ;
- la surface du sol se creuse un peu au cours de la suite de la foration mais les foreurs la comble sans que cela ne reprenne la même ampleur.



Il est observé de constants apports d'eau au cours de la foration du dernier tube témoignant la présence d'un aquifère. Le débit au soufflage est estimé à 10 l/s (36 m³/h).

À la fin de ce dernier tube qui atteint 41,50 m de profondeur, l'eau remontée par soufflage présente une conductivité de 11 900 µS/cm. Elle est parfaitement claire. Après quelques minutes de repos, le niveau d'eau est mesuré à 1,50 m de profondeur par rapport au sol.

Contrairement à ce qu'il était attendu, les observations faites au cours de la foration montrent que l'aquifère recherché a été rencontré à partir de 32,50 m de profondeur et qu'il est captif sous les formations de sable fin qui le surmontent. Dans ce type de configuration, l'idéal aurait été de réaliser un ouvrage en double diamètre (comme Pz5, Pz1 et Pz2) afin de pouvoir cimenter les formations surmontant l'aquifère à proprement parler pour les isoler. Afin de limiter autant que faire se peut la mise en relation des horizons avec venue d'eau rencontrés dans la partie sableuse (à 19,20 m et 29,20 m), avec l'aquifère, il est décidé la mise en place d'une cimentation « intermédiaire ».

Ainsi, après retrait des tiges de foration et mise en place du tube PVC, le massif filtrant est installé en face du tube crépiné, de 32,50 à 41,50 m. Cependant, le volume des sacs de silice a été mal évalué et la silice est remontée plus haut que prévu dans l'espace annulaire, jusqu'à 24,20 m de profondeur (cf. coupe ci-après). Des billes d'argile ont ensuite été versées dans le trou pour surmonter les graviers et isoler le massif filtrant du ciment, sur environ 50 cm d'épaisseur. Ensuite une cimentation « intermédiaire » a été réalisée, sur environ 2 m de haut.

Mercredi 19 septembre 2018

La complétion de l'espace annulaire s'est poursuivie sur le ciment séché par l'ajout de silice, jusqu'à 6 m de profondeur.

Ensuite il a été procédé à 2 h de soufflage par air-lift. L'eau s'est maintenue parfaitement claire tout le long de l'opération.

Environ 50 cm de billes d'argile ont été ajoutés puis du ciment jusqu'en haut. Les foreurs ont ensuite réalisé la tête de l'ouvrage, dans les règles de l'art.

Jeudi 20 septembre 2018

La matinée a été dédiée à la fin du rangement du chantier puis le départ des foreurs.



Illustration 36 : Foration dans le sable fin gris de Pz4.



Illustration 37 : Soudure de deux tubes acier de soutènement pendant la foration de Pz4.



Illustration 38 : Soufflage à la fin d'un tube, dans la partie aquifère de Pz4.



Illustration 39 : Photographies de Pz4 terminé.

5.5.3. Coupe géologique et technique de l'ouvrage

L'analyse des cuttings récupérés au moins tous les 50 cm et l'observation des venues d'eau ont permis d'établir la coupe géologique de l'ouvrage qui est présentée ci-après. La coupe technique y est associée. Le dossier complet du piézomètre est à l'annexe 5.

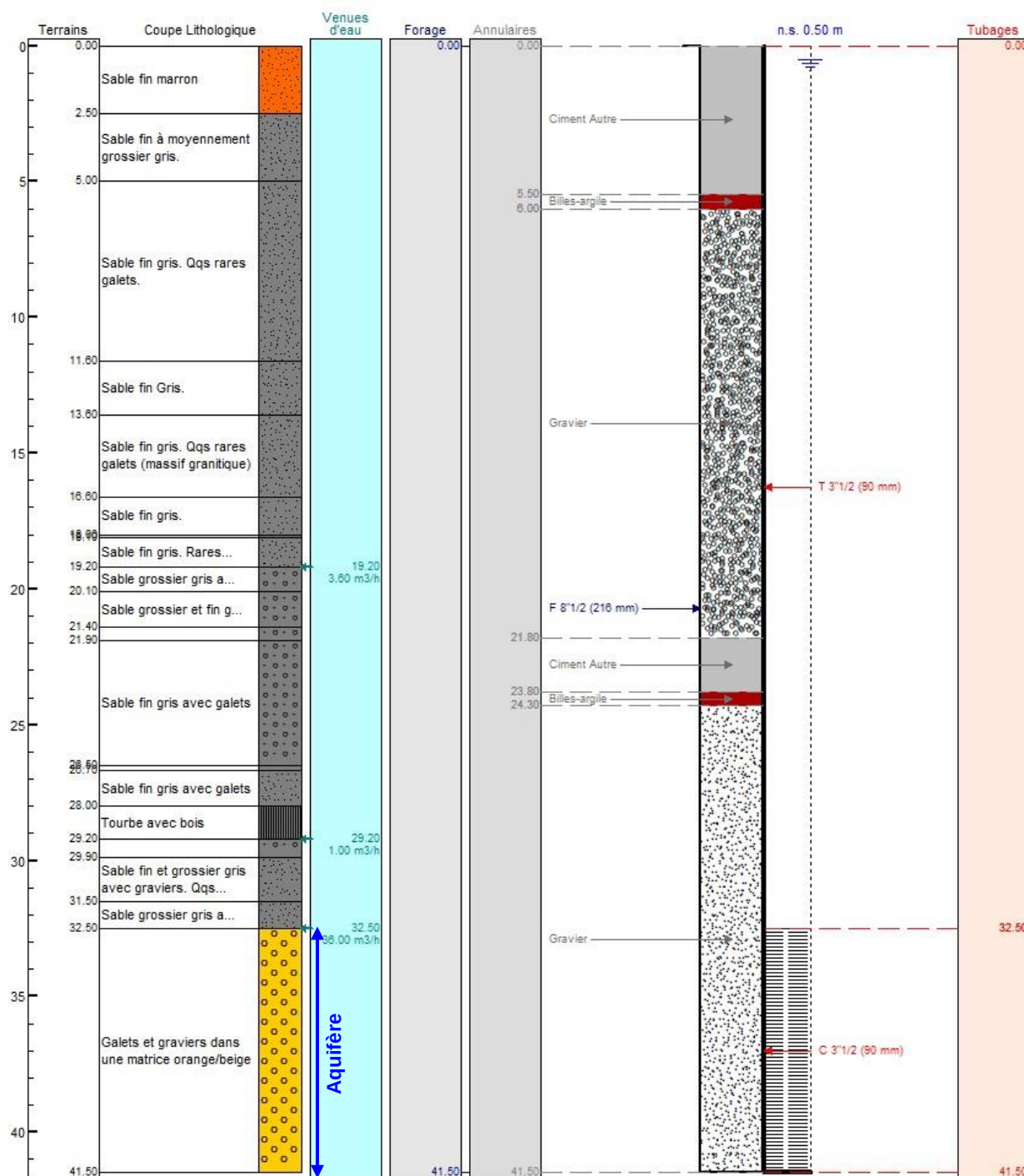


Illustration 40 : Coupe géologique et technique de Pz4.

5.5.4. Interprétation hydrogéologique

Il était initialement attendu environ 15 m de sable fin dunaire puis les galets et graviers d'une terrasse alluviale du Bevinco. Finalement, ce sont 32,50 m de sable fin gris qui ont été rencontrés, avec une abondance plus ou moins importante de galets. Deux petites venues d'eau ont été identifiées au sein de cette formation mais ne témoignent pas de la présence de niveaux aquifères à proprement parler. L'aquifère se situe dans la formation de galets et graviers rencontrée à partir de 32,50 m et il se retrouve ainsi en charge sous le sable fin. La

nature des éléments rocheux, la matrice de couleur orange/beige et les fortes venues d'eau observées au sein de cette formation indiquent qu'il s'agit de l'aquifère du Bevinco.

Cette observation de l'aquifère du Bevinco au niveau du Lido de la Marana est une première. Les investigations géophysiques réalisées en 2009 dans le cadre de l'étude sur les interactions de l'Étang de Biguglia (Orofino *et al.*, 2010) n'avaient pas permis de mettre en évidence la géométrie des dépôts et la présence de l'aquifère du fait des intrusions salines.

Ces nouvelles données signifient que l'aquifère du Bevinco qui est en charge sous les limons du côté ouest de l'étang se poursuit sous l'étang puis sous le Lido au niveau duquel les limons n'ont pas été retrouvés mais où il se situe en charge sous le sable fin (coupe de l'illustration 41 localisée sur l'illustration 42). Ces limons ont *a priori* été érodés lors de la dernière transgression du niveau marin.

Les galets d'origine granitique trouvés au sein du sable fin gris témoignent de dépôts issus d'apports sédimentaires en provenance du Golo (le bassin versant du Bevinco n'est occupé que par des formations d'origine alpine, exceptés les contreforts de la tête du bassin versant, le Monte Astu, où des granitoïdes existent).

Ces observations corroborent la thèse d'une formation du Lido à partir des apports sédimentaires issus du Golo. Une baie préexistante s'est progressivement retrouvée isolée de la mer par le dépôt de sable fin d'origine fluviatile constituant ainsi l'actuel Étang de Biguglia séparé de la mer par le cordon lagunaire.

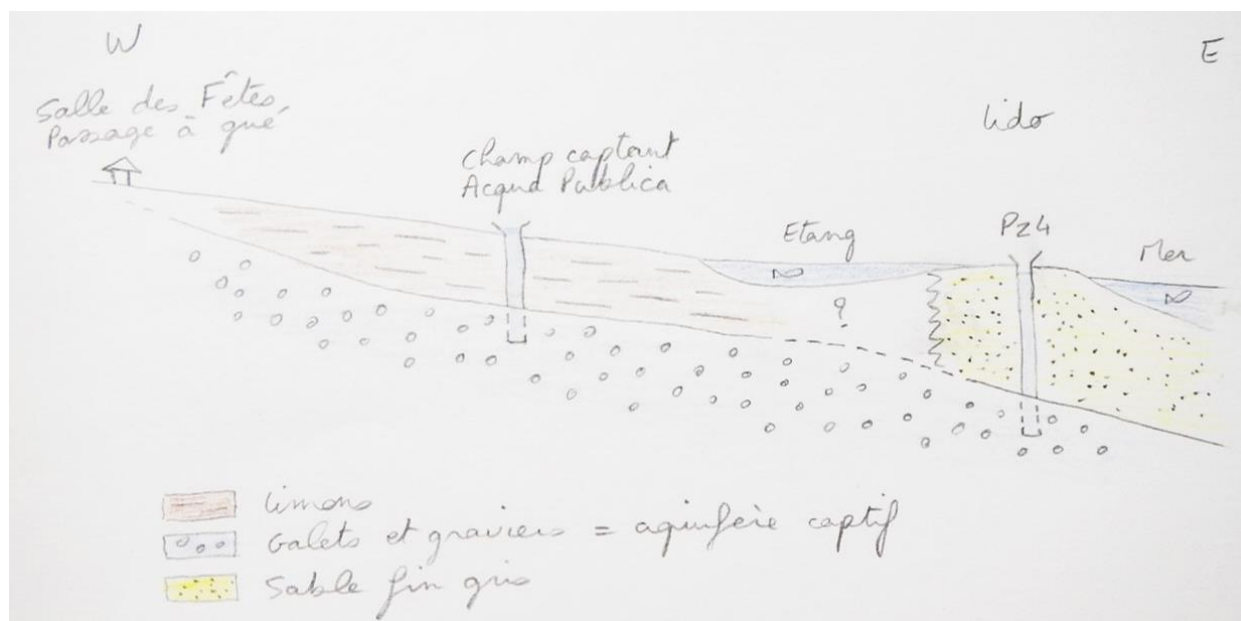


Illustration 41 : Coupe hydrogéologique interprétative simplifiée de la plaine du Bevinco entre la salle des fêtes de Biguglia et le Lido de la Marana.

Il était attendu une petite venue d'eau entre 0 et 3 m de profondeur au regard de l'eau douce captée dans le puits « Casone » (cf. Illustration 42, 11072X0016/CASONE) situé à 250 m à vol d'oiseau de Pz4, mais cela n'a pas été le cas. Le niveau d'eau dans le puits était situé à 1,90 m de profondeur par rapport au sol le 5 septembre 2018 avec une conductivité électrique de 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 20,9 °C.

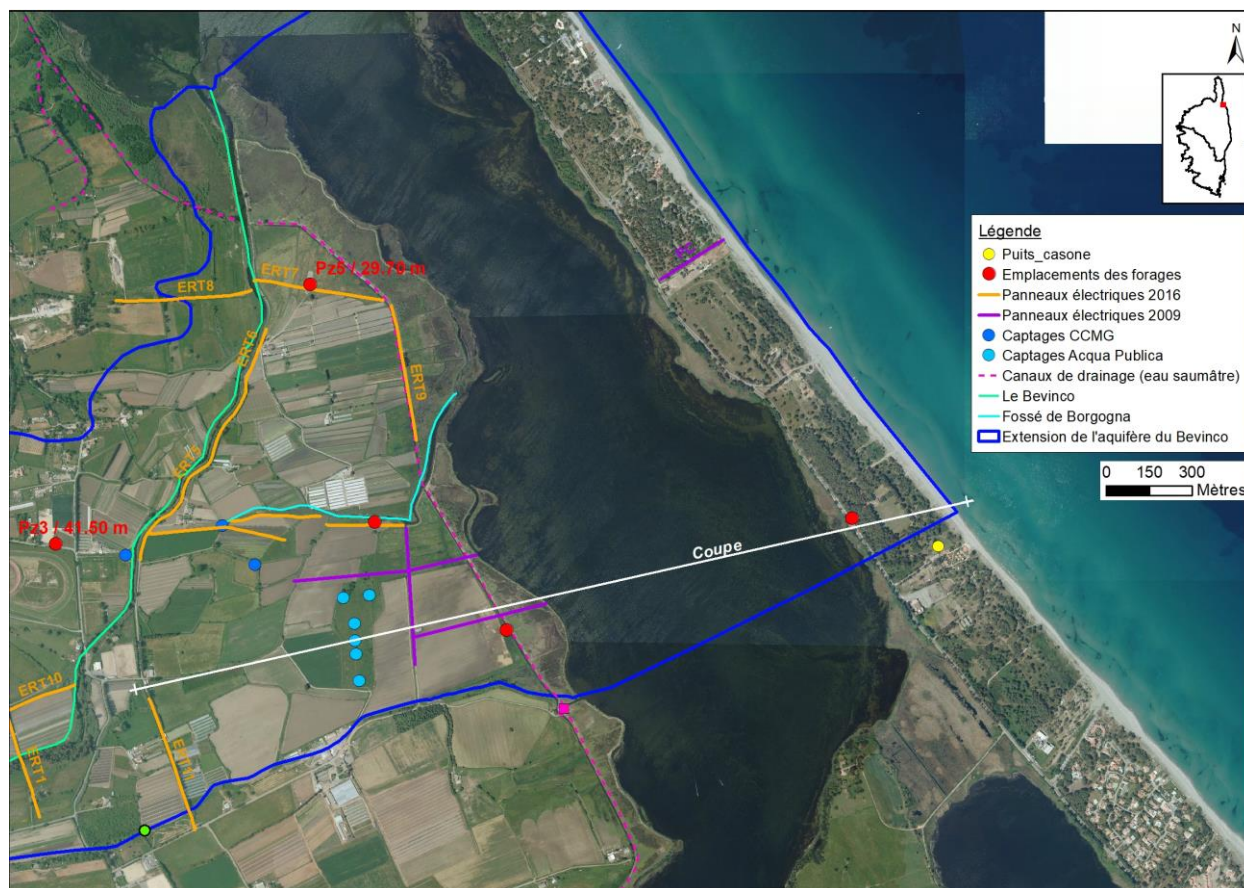


Illustration 42 : Localisation de la coupe hydrogéologique interprétative passant par Pz4 et du puits « Casone ».

La conductivité électrique était de $11\,900\ \mu\text{S}/\text{cm}^7$ dans l'eau remontée par soufflage à la fin de la foration du piézomètre. Cette valeur témoigne de la salinisation de cette partie aval de l'aquifère du Bevinco. L'origine de la salinisation reste à déterminer :

- soit par la pénétration de l'eau de mer dans les terrains. Il s'agirait alors du biseau salé, au niveau de la zone de transition entre l'eau douce amenée par l'aquifère du Bevinco et l'eau salée de la mer (Illustration 43) ;
- soit en provenance de l'Étang de Biguglia, via l'infiltration de son eau saumâtre vers l'aquifère sous-jacent du Bevinco au travers des terrains sur lesquels se situe l'étang et dont la nature (et donc la perméabilité) n'est pas connue.

Il est à noter que dans le cas du biseau salé, l'épaisseur de la zone de transition est fonction des caractéristiques géologique et hydrodynamique de l'aquifère (perméabilité, diffusivité, flux d'eau douce) (Cooper *et al.*, 1964; Custodio, 1985). En outre, l'épaisseur de la zone de transition tend à varier sous l'influence de facteurs extérieurs qui modifient l'équilibre entre la charge d'eau douce et la charge d'eau de mer, comme la marée (Kim *et al.*, 2006), la variation de la recharge de l'aquifère (Custodio, 1985) et la présence de pompes par forages.

⁷ Pour comparaison, la conductivité électrique de l'eau de la Méditerranée est d'environ $55\,000\ \mu\text{S}/\text{cm}$.

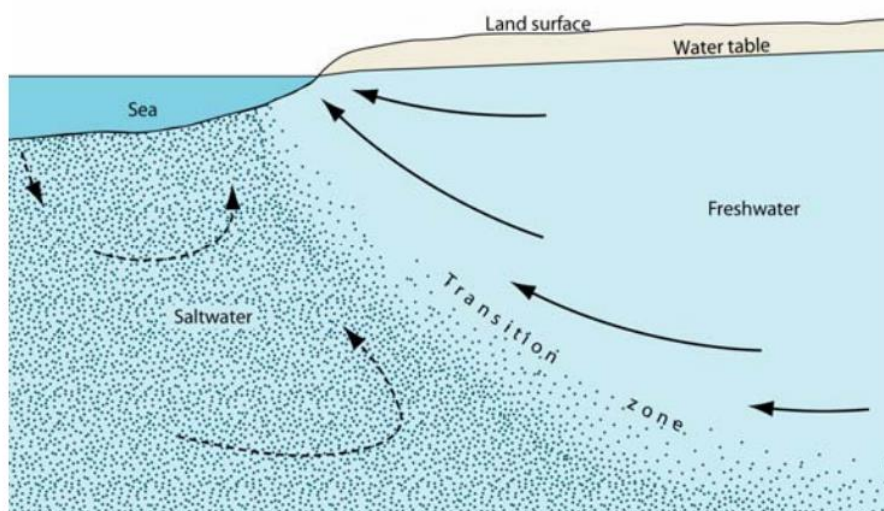


Illustration 43 : Vue en coupe d'une zone de transition eau douce/eau de mer et de l'organisation des écoulements dans un aquifère côtier homogène (d'après Cooper et al., 1964; dans Barlow, 2003, De Montety, 2008).

6. Conclusion

Cinq piézomètres ont pu être réalisés sur la nappe alluviale du Bevinco au cours de deux campagnes de foration distinctes, en mai et septembre 2018. Les résultats obtenus viennent étayer et consolider les connaissances existantes sur la géométrie de l'aquifère du Bevinco et son fonctionnement hydrogéologique. Les objectifs de reconnaissance initiaux sont remplis.

Ces nouvelles données vont être exploitées pour améliorer l'interprétation des profils de géophysique électrique, en particulier ceux au droit desquels ils ont été implantés :

- ERT 2 à partir des données de Pz2 ;
- ERT 7 à partir des données de Pz5 ;
- le profil PE à partir des données de Pz1.

Ces coupes géologiques vont également être directement intégrer à l'ensemble des coupes disponibles pour réaliser le modèle géologique 3D de l'aquifère du Bevinco.

Enfin, ces cinq ouvrages vont être équipés de sondes piézométriques permettant le suivi des niveaux piézométriques de l'aquifère ainsi que sa conductivité électrique et sa température pour ainsi contribuer à la compréhension du fonctionnement hydrodynamique de l'aquifère et la dynamique des intrusions salines.

7. Bibliographie

S. Orofino, A. Blondel, N. Frissant, S. Lanini, C. Prognon, A. Winckel (2010) - Étude des interactions entre les eaux souterraines, les eaux de surface et l'étang de Biguglia - Rapport final - Tranche 1, rapport BRGM/RP-59068-FR, 150 p., 87 ill., 3 ann.

Annexe 1

Dossier complet du piézomètre Pz3

DOSSIER TECHNIQUE

PZ3

Entreprise:	PROJET BEVINCO
Client:	BRGM
Maître d'oeuvre:	BRGM
	20600 BASTIA
Exploitant:	
	20600 BASTIA

Code National BSS :

N° Déclaration ** :

Police de l'eau * :

* Numéro de déclaration au titre de la police de l'eau

** N° d'enregistrement de déclaration préalable

Lieu de l'ouvrage : Stade EFB

20620 BIGUGLIA

Coordonnées : Longitude 0 Latitude 0 Altitude : 0.00 m

Zone Lambert 1 carto métrique

Nombre de forages : 5

Date début de l'ouvrage : 15/05/2018

Resp. M. Ouvrage :

Date fin de l'ouvrage : 17/05/2018

Resp. M. Oeuvre :

Machine : Forasud

Resp. Chantier : M. ANTUNES

Date début pompage :

Niveau statique non perturbé : 4.50 m

Date fin de pompage :

Débit Maxi. d'essai : 0.00 m3/h

Nombre de nappes identifiées :

Rabatement correspondant : 0.00 m

Notes :

PROJET BEVINCO

TRONCONS de L'OUVRAGE**PZ3**

Client:	BRGM
Maître d'oeuvre:	BRGM
Lieu de l'ouvrage :	Stade EFB
	20620 BIGUGLIA

LITHOLOGIE

De	à	Libellé
0.00	2.00	Graviers dans une matrice argileuse ocre
2.00	4.00	Argile ocre. Présence de quelques graviers
4.00	9.00	Graviers et galets dans une matrice argileuse ocre
9.00	10.00	Argile ocre. Traces orange foncé et verdâtre.
10.00	10.50	Argile ocre. Traces orange foncé et verdâtre. Quelques rares graviers.
10.50	12.00	Argile ocre. Traces orange foncé et verdâtre.
12.00	13.00	Argile ocre. Quelques rares graviers. Traces orange foncé et verdâtres
13.00	17.00	Argile ocre. Traces orange foncé et verdâtres.
17.00	18.00	Argile verdâtre.
18.00	20.50	Argile ocre. Traces orange foncé et verdâtres.
20.50	23.50	Argile verdâtre avec quelques graviers et galets.
23.50	27.00	Argile ocre. Traces orange foncé et verdâtres.
27.00	27.50	Galets et graviers dans une matrice argileuse ocre.
27.50	28.00	Argile ocre. Traces orange foncé et verdâtres
28.00	28.50	Argile verdâtre
28.50	30.00	Argile ocre. Traces orange foncé et verdâtres.
30.00	33.50	Argile ocre. Traces orange foncé et verdâtres. Quelques rares graviers.
33.50	35.00	Galets arrondis et graviers dans une matrice argileuse ocre. Les éléments rocheux ne semblent pas altérés.
35.00	36.00	Argile ocre. Traces orange foncé et verdâtres. Quelques rares graviers.
36.00	37.50	Argile ocre. Traces orange foncé et verdâtres.
37.50	38.00	Galets arrondis et graviers dans une matrice argileuse ocre.
38.00	39.00	Argile ocre à graviers et galets arrondis.
39.00	40.50	Argile ocre. Traces orange foncé et verdâtres.
40.50	41.50	Argile marron

FORAGE

De	à	Ø"	Ømm	Mode de forage	Fluide de forage
0.00	41.50	8"1/2	216.00	M.f.t.	Air

* Reconnaissance

ARRIVEES D'EAU

Profondeur (m)	Débit (m3/heure)
27.00	0.01
33.50	0.01

Epais.=Épaisseur (mm) Ecra.=Résist. à l'écrasement (bar) Slot (mm) Granul.=Granulométrie Min/Max (mm)

PAGE: 2

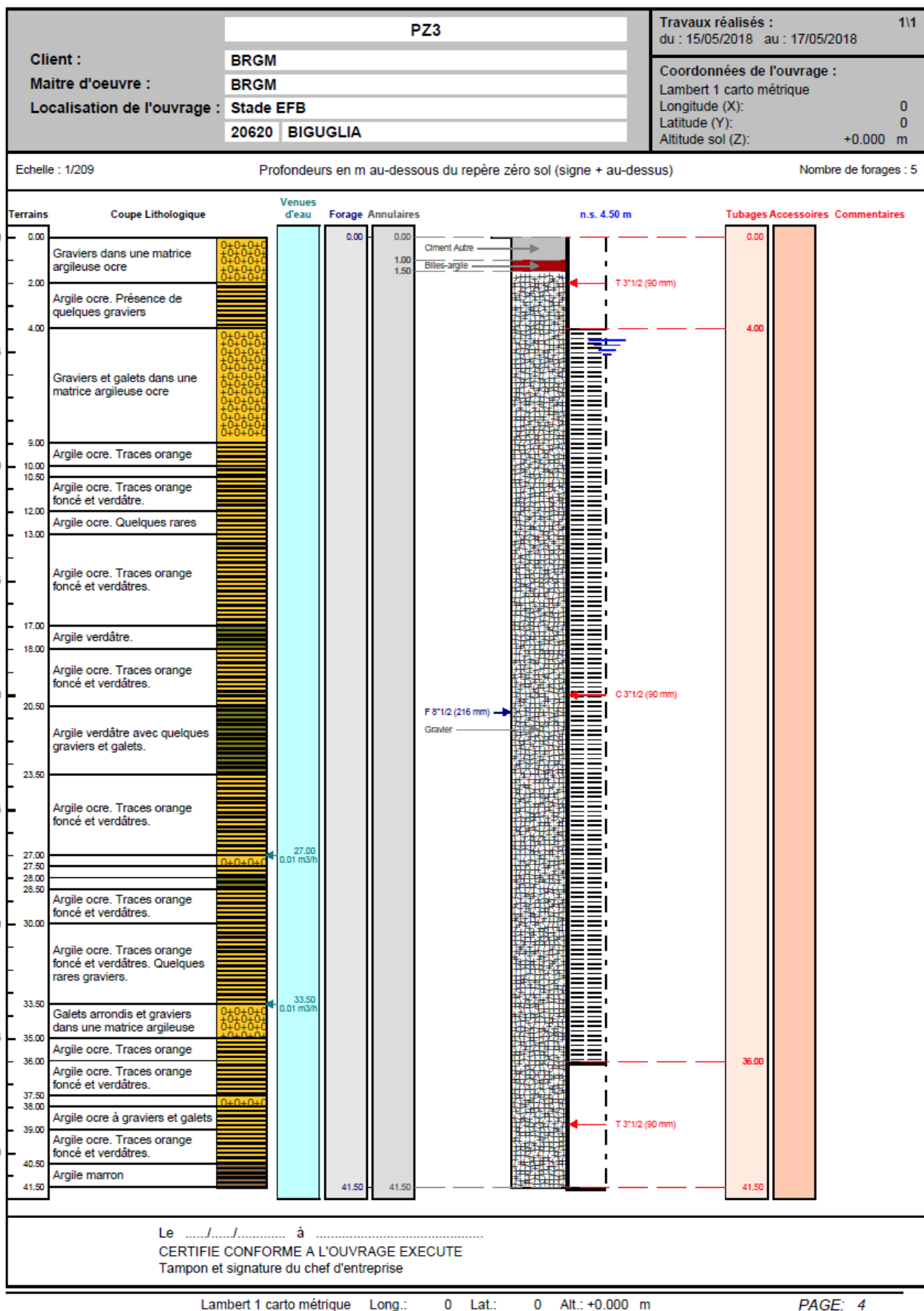
PROJET BEVINCO

TUBAGE

De	à	Ø"	Ømm	Epais.	Ecra.	Nature du tubage	Type	Slot	Vide %
0.00	4.00	3"1/2	90.00	0.00		P.v.c.	Tube-plein		
4.00	36.00	3"1/2	90.00	0.00		P.v.c.	Crepine fentes		
36.00	41.50	3"1/2	90.00	0.00		P.v.c.	Tube-plein		

REPLISSAGE

De	à	Ø"	Ømm	Matériau	Nature	Méthode de pose	Texture	Gra. (mm)	Vol. m3
0.00	1.00	3"1/2	90.00	Ciment	Autre	Autre			
1.00	1.50	3"1/2	90.00	Billes-argile	Sopranite				
1.50	41.50	3"1/2	90.00	Gravier	Autre	Autre	Autre		



Annexe 2

Dossier complet du piézomètre Pz5

DOSSIER TECHNIQUE

PZ5

Entreprise:	PROJET BEVINCO
Client:	BRGM
Maître d'oeuvre:	BRGM
Exploitant:	20600 BASTIA
	20600 BASTIA

Code National BSS :

N° Déclaration ** :

Police de l'eau * :

* Numéro de déclaration au titre de la police de l'eau

** N° d'enregistrement de déclaration préalable

Lieu de l'ouvrage : Biguglia

Coordonnées : Longitude 0 Latitude 0 Altitude : 0.00 m
Zone Lambert 1 carto métrique

Nombre de forages : 5

Date début de l'ouvrage : 18/05/2018

Resp. M. Ouvrage :

Date fin de l'ouvrage : 22/05/2018

Resp. M. Oeuvre :

Machine :

Resp. Chantier :

Date début pompage :

Niveau statique non perturbé : 0.70 m

Date fin de pompage :

Débit Maxi. d'essai : 0.00 m3/h

Nombre de nappes identifiées :

Rabatement correspondant : 0.00 m

Notes :

PROJET BEVINCO

TRONCONS de L'OUVRAGE**PZ5**

Client:	BRGM
Maître d'oeuvre:	BRGM
Lieu de l'ouvrage :	Biguglia

LITHOLOGIE

De	à	Libellé
0.00	0.50	Terre limoneuse marron.
0.50	2.30	Limons gris foncé avec quelques galets.
2.30	5.50	Limons gris foncé vaseux avec quelques galets.
5.50	8.50	Argile ocre. Pas de galets.
8.50	13.20	Galets et sable
13.20	14.20	Argile ocre à sable grossier
14.20	19.00	Argile ocre
19.00	20.00	Argile ocre à petits graviers
20.00	27.00	Argile ocre avec des traces vertes et orange foncé
27.00	27.50	Argile ocre à sable grossier
27.50	27.60	Lit à galets et graviers
27.60	29.70	Argile ocre à sable grossier. Traces vertes et orange foncé.

FORAGE

De	à	Ø"	Ømm	Mode de forage	Fluide de forage
0.00	8.50	16"3/4	425.00	M.f.t.	Air
8.50	29.70	8"1/2	216.00	M.f.t.	Air

* Reconnaissance

ARRIVEES D'EAU

Profondeur (m)	Débit (m3/heure)
8.50	10.00

TUBAGE

De	à	Ø"	Ømm	Epais.	Ecra.	Nature du tubage	Type	Slot	Vide %
0.00	8.50	9"5/8	244.00	0.00		P.v.c.	Tube-plein		
0.00	8.70	3"1/2	90.00	0.00		P.v.c.	Tube-plein		
8.70	26.70	3"1/2	90.00	0.00		P.v.c.	Crepine fentes		
26.70	29.70	3"1/2	90.00	0.00		P.v.c.	Tube-decanteur		

REEMPLISSAGE

De	à	Ø"	Ømm	Matériau	Nature	Méthode de pose	Texture	Gra. (mm)	Vol. m3
0.00	2.50	3"1/2	90.00	Ciment	Autre	Gravitaire			

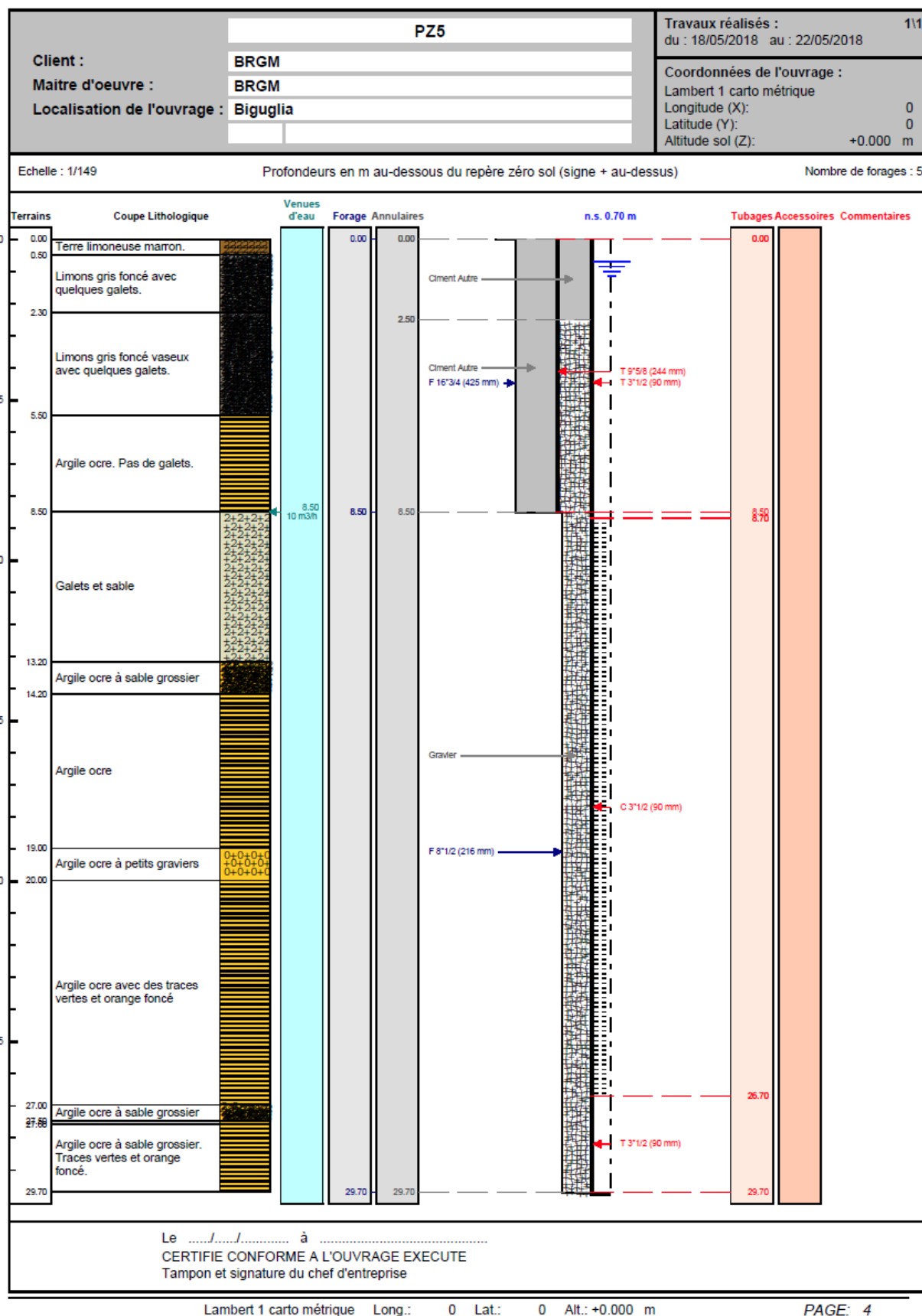
Epais.=Epaisseur (mm) Ecra.=Résist. à l'ecrasement (bar) Slot (mm) Granul.=Granulométrie Min/Max (mm)

PAGE: 2

PROJET BEVINCO

REPLISSAGE (suite)

De	à	Ø"	Ømm	Matériau	Nature	Méthode de pose	Texture	Gra. (mm)	Vol. m3
0.00	8.50	9"5/8	244.00	Ciment	Autre	Sous pression			
2.50	29.70	3"1/2	90.00	Gravier	Autre	Autre	Autre		



Annexe 3

Dossier complet du piézomètre Pz1 et photographies des cuttings

DOSSIER TECHNIQUE

PZ1

Entreprise:	PROJET BEVINCO
Client:	BRGM
Maître d'oeuvre:	BRGM
	20600 BASTIA
Exploitant:	
	20600 BASTIA

Code National BSS :

N° Déclaration ** :

Police de l'eau * :

* Numéro de déclaration au titre de la police de l'eau

** N° d'enregistrement de déclaration préalable

Lieu de l'ouvrage : Biguglia

Coordonnées : Longitude 0 Latitude 0 Altitude : 0.00 m
Zone Lambert 1 carto métrique

Nombre de forages : 5

Date début de l'ouvrage : 04/09/2018 Resp. M. Ouvrage :

Date fin de l'ouvrage : 11/09/2018 Resp. M. Oeuvre :

Machine : Resp. Chantier :

Date début pompage : Niveau statique non perturbé : -1.24 m

Date fin de pompage : Débit Maxi. d'essai : 0.00 m3/h

Nombre de nappes identifiées : Rabattement correspondant : 0.00 m

Notes :

PROJET BEVINCO

TRONCONS de L'OUVRAGE**PZ1**

Client:	BRGM
Maître d'oeuvre:	BRGM
Lieu de l'ouvrage :	Biguglia

LITHOLOGIE

De	à	Libellé
0.00	2.20	Terre végétale limoneuse brune. Présence de qqs nodules beiges contenant des graviers.
2.20	12.50	Limons gris foncés. Présence de qqs graviers (<1cm) et coquillages.
12.50	12.70	Sable fin gris avec qqs graviers cm arrondis.
12.70	16.20	Sable + qqs graviers. Matrice gris foncé.
16.20	16.70	Sable + graviers. Matrice argileuse gris foncé.
16.70	17.20	Sable + graviers. Matrice argileuse orange.
17.20	18.00	Sable + graviers. Matrice orange foncé.
18.00	24.50	Sable + graviers + galets. Matrice orange.
24.50	26.20	Argile verdâtre et orange.
26.20	27.20	Argile à sable.
27.20	27.70	Argile verdâtre et orange.
27.70	28.50	Argile à sable.
28.50	29.00	Argile verdâtre et orange.
29.00	31.00	Sable à matrice argileuse orange.
31.00	33.20	Galets + sable avec matrice argileuse orange.
33.20	34.50	Argile verdâtre et orange.
34.50	36.70	Galets + sable. Matrice orange argileuse.

FORAGE

De	à	Ø"	Ømm	Mode de forage	Fluide de forage
0.00	12.70	16"3/4	425.00	M.f.t.	Air
12.70	36.70	8"1/2	216.00	M.f.t.	Air

* Reconnaissance

ARRIVEES D'EAU

Profondeur (m)	Débit (m3/heure)
12.50	4.80
31.00	3.60

TUBAGE

De	à	Ø"	Ømm	Epais.	Ecra.	Nature du tubage	Type	Slot	Vide %
-2.00	12.00	3"1/2	90.00	0.00		P.v.c.	Tube-plein		
-2.30	12.70	9"5/8	244.00	0.00		Inox-aisi-304	Tube-plein		
12.00	24.00	3"1/2	90.00	0.00		P.v.c.	Crepine fentes		

Epais.=Epaisseur (mm) Ecra.=Résist. à l'écrasement (bar) Slot (mm) Granul.=Granulométrie Min/Max (mm)

PAGE: 2

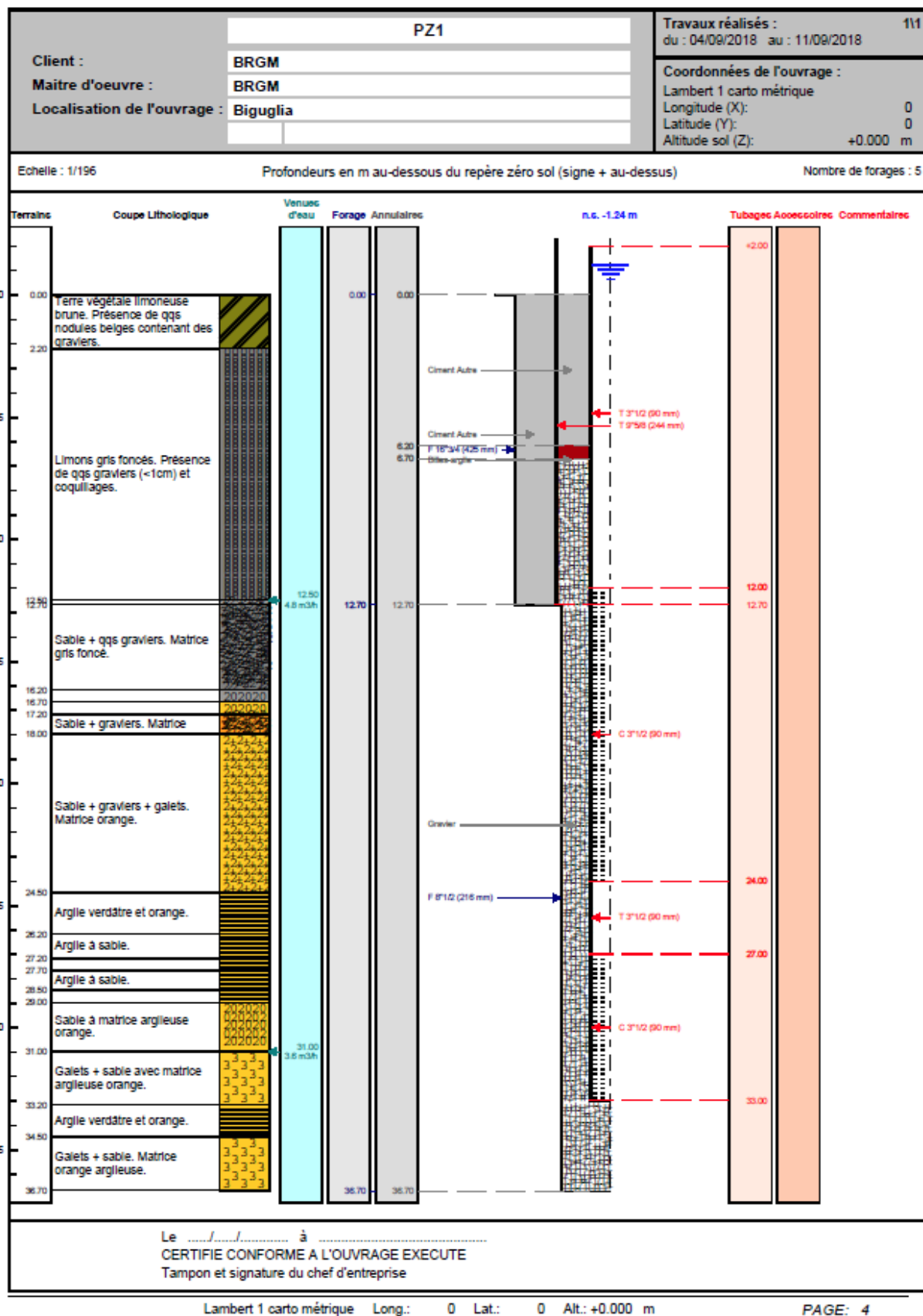
PROJET BEVINCO

TUBAGE (suite)

De	à	Ø"	Ømm	Epais.	Ecra.	Nature du tubage	Type	Slot	Vide %
24.00	27.00	3"1/2	90.00	0.00		P.v.c.	Tube-plein		
27.00	33.00	3"1/2	90.00	0.00		P.v.c.	Crepine fentes		

REPLISSAGE

De	à	Ø"	Ømm	Matériau	Nature	Méthode de pose	Texture	Gra. (mm)	Vol. m3
0.00	6.20	3"1/2	90.00	Ciment	Autre	Gravitaire			
6.20	6.70	3"1/2	90.00	Billes-argile		Autre			
0.00	12.70	Ø"5/8	244.00	Ciment	Autre	Gravitaire			
6.70	36.70	3"1/2	90.00	Gravier	Autre	Gravitaire	Autre		



Cuttings prélevés à
6 m : limons gris
foncés avec
quelques graviers
et coquillages.



Cuttings prélevés à
14 m : sables gris
foncés avec
quelques graviers.



Cuttings prélevés à
19 m : galets et
graviers dans une
matrice ocre.



Cuttings prélevés
entre 24.70 et
26.20 m : argiles
ocres avec traces
oranges et
verdâtres.



Annexe 4

Dossier complet du piézomètre Pz2 et photographies des cuttings

DOSSIER TECHNIQUE

PZ2

Entreprise:	PROJET BEVINCO
Client:	BRGM
Maître d'oeuvre:	BRGM
	20600 BASTIA
Exploitant:	
	20600 BASTIA

Code National BSS :

N° Déclaration ** :

Police de l'eau * :

* Numéro de déclaration au titre de la police de l'eau

** N° d'enregistrement de déclaration préalable

Lieu de l'ouvrage : Biguglia

Coordonnées : Longitude 0 Latitude 0 Altitude : 0.00 m
Zone Lambert 1 carto métrique

Nombre de forages : 5

Date début de l'ouvrage : 07/09/2018 Resp. M. Ouvrage :

Date fin de l'ouvrage : 15/09/2018 Resp. M. Oeuvre :

Machine : Resp. Chantier :

Date début pompage : Niveau statique non perturbé : -0.80 m

Date fin de pompage : Débit Maxi. d'essai : 0.00 m3/h

Nombre de nappes identifiées : Rabattement correspondant : 0.00 m

Notes :

PROJET BEVINCO

TRONCONS de L'OUVRAGE

PZ2

Client:	BRGM
Maître d'oeuvre:	BRGM
Lieu de l'ouvrage :	Biguglia

LITHOLOGIE

De	à	Libellé
0.00	1.00	Terre limoneuse beige.
1.00	4.00	Limons gris-marrons avec traces d'oxydation oranges.
4.00	4.30	Sable gris foncé.
4.30	9.30	Limons gris foncés. Quelques rares galets.
9.30	11.70	Galets et sable dans matrice limoneuse grise
11.70	11.90	Argile à sable et graviers
11.90	12.10	Sable et galets altérés à matrice argileuse
12.10	13.30	Galets et graviers altérés
13.30	14.80	Argile à sable
14.80	15.50	Sable fin avec petits nodules blancs friables
15.50	17.50	Galets et sable
17.50	18.30	Argile compact marron
18.30	18.50	Argile compact à sable
18.50	19.00	Argile à sable
19.00	20.20	Sable et galets altérés
20.20	20.50	Argile compact orange avec traces oxydation à sable et galets

FORAGE

De	à	Ø"	Ømm	Mode de forage	Fluide de forage
0.00	4.30	16"3/4	425.00	M.f.t.	Air
4.30	20.50	8"1/2	216.00	M.f.t.	Air

* Reconnaissance

ARRIVEES D'EAU

Profondeur (m)	Débit (m3/heure)
4.00	0.10
9.30	3.60
12.10	1.00
15.50	1.00
19.00	1.00

TUBAGE

De	à	Ø"	Ømm	Epais.	Ecra.	Nature du tubage	Type	Slot	Vide %
-1.50	4.30	9"5/8	244.00	0.00		Inox-aisi-304	Tube-plein		

Epais.=Epaisseur (mm) Ecra.=Résist. à l'écrasement (bar) Slot (mm) Granul.=Granulométrie Min/Max (mm)

PAGE: 2

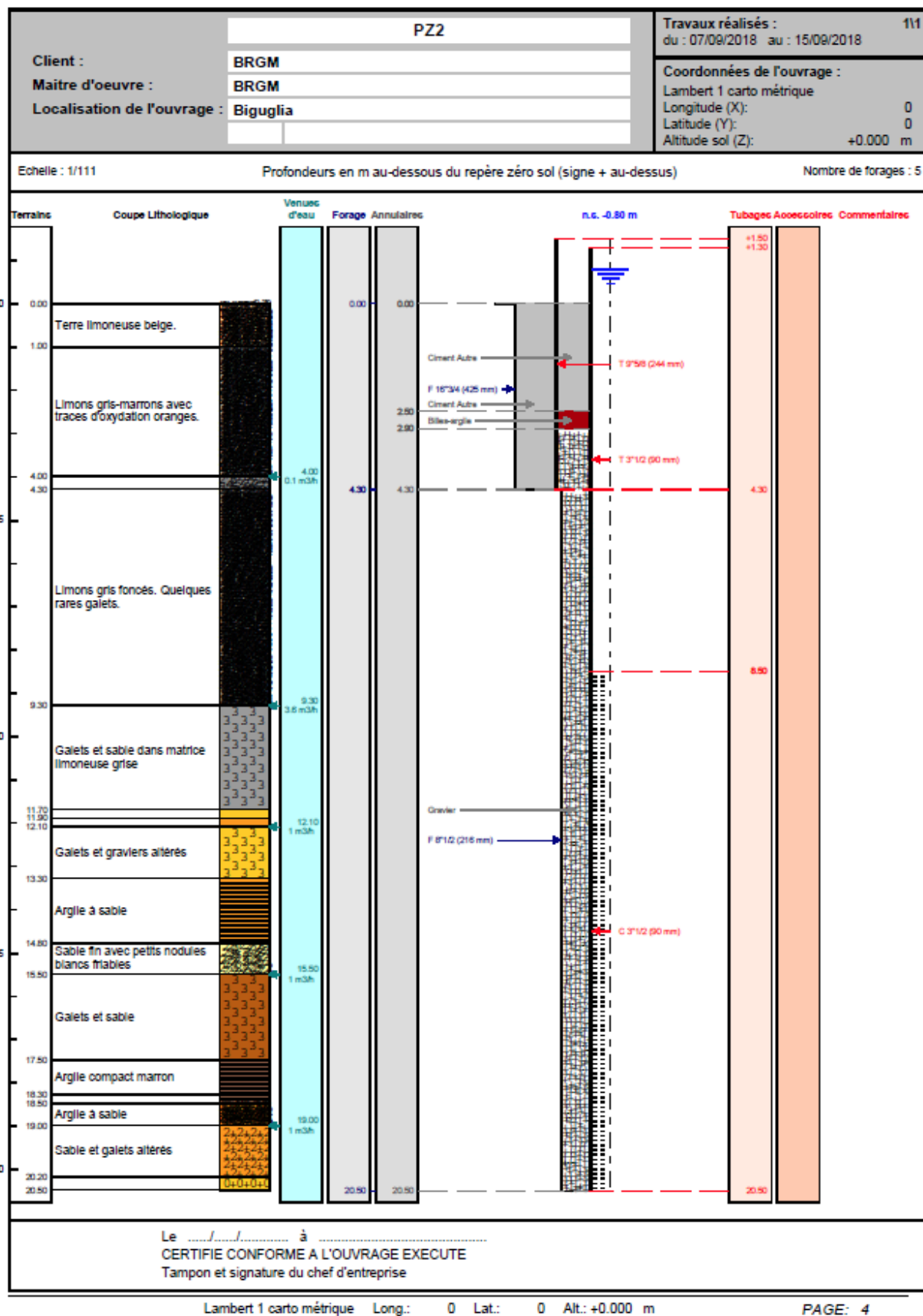
PROJET BEVINCO

TUBAGE (suite)

De	à	Ø"	Ømm	Epais.	Ecra.	Nature du tubage	Type	Slot	Vide %
-1.30	8.50	3"1/2	90.00	0.00		P.v.c.	Tube-plein		
8.50	20.50	3"1/2	90.00	0.00		P.v.c.	Crepine fentes		

REPLISSAGE

De	à	Ø"	Ømm	Matériau	Nature	Méthode de pose	Texture	Gra. (mm)	Vol. m3
0.00	2.50	3"1/2	90.00	Ciment	Autre	Gravitaire			
2.50	2.90	3"1/2	90.00	Billes-argile	Sopranite				
0.00	4.30	9"5/8	244.00	Ciment	Autre	Gravitaire			
2.90	20.50	3"1/2	90.00	Gravier	Autre	Gravitaire	Autre		



Cuttings prélevés
à 6.50 m : limons
gris foncé.



Cuttings prélevés
à 10 m : galets et
sable dans une
matrice limoneuse
gris foncé.



Cuttings prélevés
entre 15.70 et
17.50 m : galets et
sable, matrice
orange brun.



Cuttings prélevés
entre 17.50 et
17.80 m : argile
compact marron.



Annexe 5

Dossier complet du piézomètre Pz4 et photographies des cuttings

DOSSIER TECHNIQUE

PZ4

Entreprise:	PROJET BEVINCO
Client:	BRGM
Maître d'oeuvre:	BRGM
	20600 BASTIA
Exploitant:	
	20600 BASTIA

Code National BSS :

N° Déclaration ** :

Police de l'eau * :

* Numéro de déclaration au titre de la police de l'eau

** N° d'enregistrement de déclaration préalable

Lieu de l'ouvrage : Biguglia

Coordonnées : Longitude 0 Latitude 0 Altitude : 0.00 m
Zone Lambert 1 carto métrique

Nombre de forages : 5

Date début de l'ouvrage : 17/09/2018

Resp. M. Ouvrage :

Date fin de l'ouvrage : 19/09/2018

Resp. M. Oeuvre :

Machine :

Resp. Chantier :

Date début pompage :

Niveau statique non perturbé : 0.50 m

Date fin de pompage :

Débit Maxi. d'essai : 0.00 m3/h

Nombre de nappes identifiées :

Rabattement correspondant : 0.00 m

Notes :

PROJET BEVINCO

TRONCONS de L'OUVRAGE**PZ4**

Client:	BRGM
Maître d'oeuvre:	BRGM
Lieu de l'ouvrage :	Biguglia

LITHOLOGIE

De	à	Libellé
0.00	2.50	Sable fin marron
2.50	5.00	Sable fin à moyennement grossier gris.
5.00	11.60	Sable fin gris. Qqs rares galets.
11.60	13.60	Sable fin Gris.
13.60	16.60	Sable fin gris. Qqs rares galets (massif granitique)
16.60	18.00	Sable fin gris.
18.00	18.10	Limon gris
18.10	19.20	Sable fin gris. Rares galets de lithologie variée.
19.20	20.10	Sable grossier gris avec graviers et galets (hercynien + alpin).
20.10	21.40	Sable grossier et fin gris avec graviers et galets
21.40	21.90	Sable grossier gris avec graviers et galets
21.90	26.50	Sable fin gris avec galets
26.50	26.70	Sable fin gris
26.70	28.00	Sable fin gris avec galets
28.00	29.20	Tourbe avec bois
29.20	29.90	Galets et graviers dans matrice sable fin gris
29.90	31.50	Sable fin et grossier gris avec graviers. Qqs coquillages.
31.50	32.50	Sable grossier gris avec graviers et galets
32.50	41.50	Galets et graviers dans une matrice orange/beige

FORAGE

De	à	Ø"	Ømm	Mode de forage	Fluide de forage
0.00	41.50	8"1/2	216.00	M.f.t.	Air

* Reconnaissance

ARRIVEES D'EAU

Profondeur (m)	Débit (m3/heure)
19.20	3.60
29.20	1.00
32.50	36.00

TUBAGE

De	à	Ø"	Ømm	Epais.	Eora.	Nature du tubage	Type	Slot	Vide %
0.00	32.50	3"1/2	90.00	0.00		P.v.c.	Tube-plein		

Epais.=Epaisseur (mm) Eora.=Résist. à l'écrasement (bar) Slot (mm) Granul.=Granulométrie Min/Max (mm)

PAGE: 2

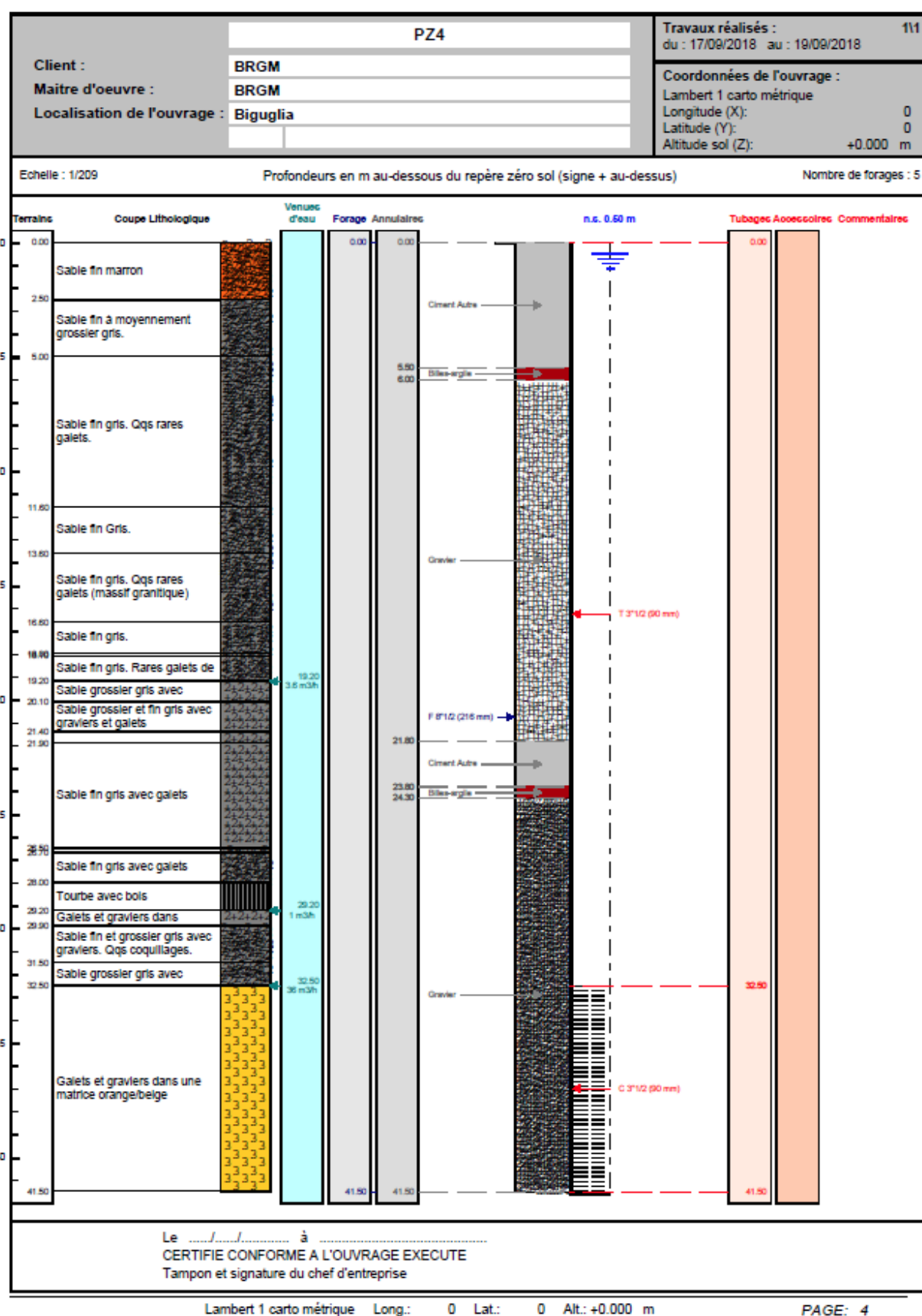
PROJET BEVINCO

TUBAGE (suite)

De	à	Ø"	Ømm	Epais.	Ecra.	Nature du tubage	Type	Slot	Vide %
32.50	41.50	3"1/2	90.00	0.00		P.v.c.	Crepine fentes		

REPLISSAGE

De	à	Ø"	Ømm	Matériau	Nature	Méthode de pose	Texture	Gra. (mm)	Vol. m3
0.00	5.50	3"1/2	90.00	Ciment	Autre	Autre			
5.50	6.00	3"1/2	90.00	Billes-argile	Sopranite				
6.00	21.80	3"1/2	90.00	Gravier	Autre	Autre	Autre		
21.80	23.80	3"1/2	90.00	Ciment	Autre	Autre			
23.80	24.30	3"1/2	90.00	Billes-argile	Sopranite				
24.30	41.50	3"1/2	90.00	Gravier	Autre	Autre	Autre		



Cuttings prélevés
à 8.80 m : sable
fin gris.



Cuttings prélevés
entre 21.90 et
23.50 m : sable fin
gris avec graviers
et galets
émoussés issus
des massifs alpin
et hercynien. Les
galets de couleur
violette sont des
ignimbrites issues
du massif du
Cinto.



Cuttings prélevés
à entre 28 et
29.20 m : niveau
de tourbe avec
restes de bois,
certains sont bien
préservés et
d'autres
carbonisés.



Cuttings prélevés
entre 35.50 et
37 m : graviers et
galets d'origine
alpine
exclusivement
dans une matrice
non argileuse de
couleur
orange/beige.





Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction Régionale du BRGM en Corse

Immeuble Agostini
ZI de Furiani

20600 – Bastia - France

Tél. : 04 95 58 04 33