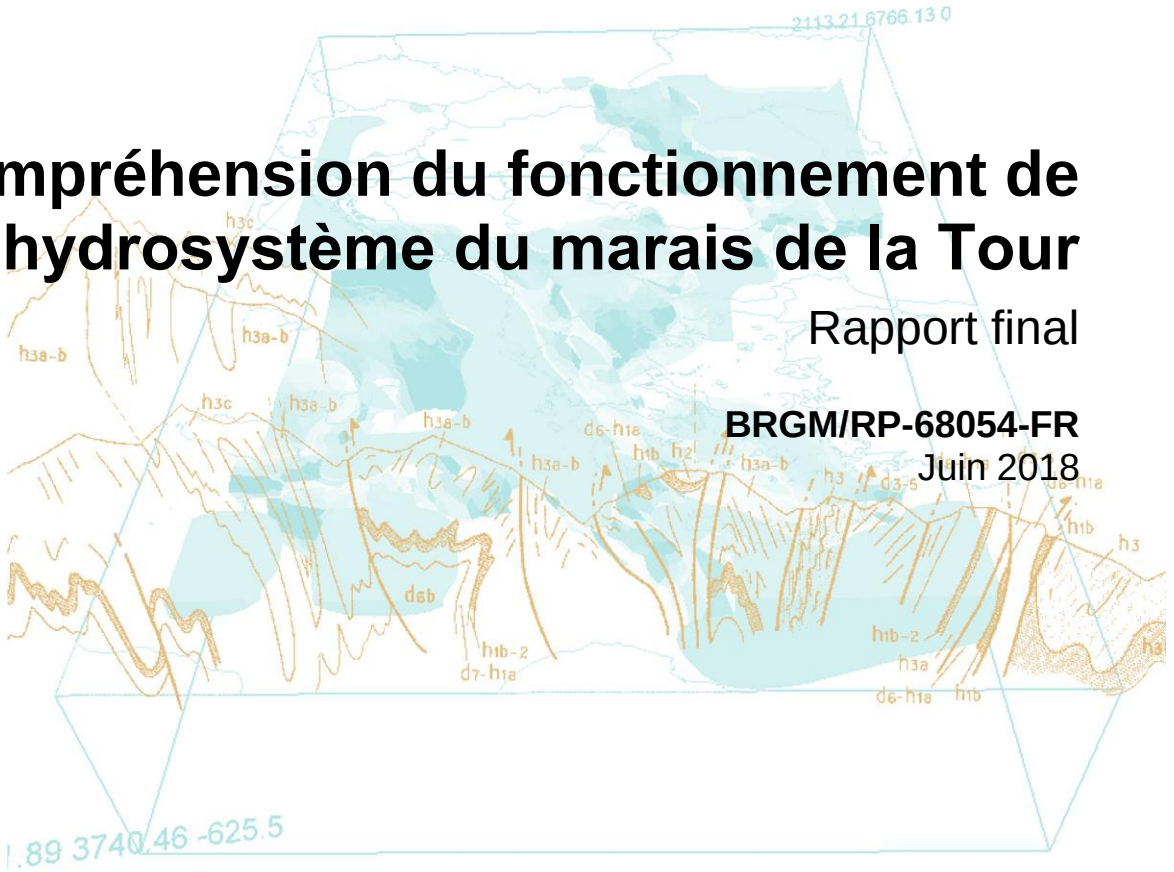


Document public

Compréhension du fonctionnement de l'hydrosystème du marais de la Tour

Rapport final



BRGM/RP-68054-FR
Juin 2018

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Document public

Compréhension du fonctionnement de l'hydrosystème du marais de la Tour

Rapport final

BRGM/RP-68054-FR/
Juin 2018

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 2016-2018

S. OROFINO, C. CARTANNAZ, B. CLOZEL, F. CRASTES DE PAULET, M. TIRMONT

Vérificateur :	**Approbateur :**
Nom : C. AUTERIVES	Nom : S. BUSCHAERT
Fonction : Hydrogéologue	Fonction : Directeur Régional
Date : le 26-06-2018	Date : le 27-06-2018
Signature :	Signature :

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

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Mots-clés : Hydrogéologie, marais, zone humide, alluvions, piézomètres, Rhône-Alpes, la Tour du Pin

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

Orofino S., Cartannaz C., Clozel B., Crastes de Paulet F., Tirmont M. (2018) – Compréhension du fonctionnement de l'hydrosystème du marais de la Tour. Rapport final. BRGM/RP-68054-FR, 157 p., 63 ill.,5 ann.

© BRGM, **2018**, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Ce rapport rend compte de l'ensemble du projet consistant à comprendre le fonctionnement de l'hydrosystème du marais de la Tour (38).

La Communauté de communes les Vals du Dauphiné (CCVD), anciennement Communauté de communes des Vallons de la Tour (CCVT), vise à préserver les sites dont elle est le gestionnaire au titre de sa compétence en Environnement. Parmi eux se trouve la zone humide des Marais de la Tour.

L'objet de ce projet est de :

- Définir les différents compartiments de l'hydrosystème.
- Caractériser le fonctionnement de chaque compartiment en étudiant en particulier ses conditions de recharge.
- Caractériser les relations entre les différents compartiments.
- Proposer des pistes de gestion du marais, en particulier en termes d'alimentation hydrique.
- Etudier l'existence d'une pollution des eaux souterraines par une ancienne zone de décharge.

Le présent rapport rend ainsi compte de l'ensemble des travaux menés :

- Synthèse bibliographique : nombreuses études environnementales sur le secteur mais pas d'étude hydrogéologique
- Synthèse géologique : explication de la mise en place du marais et caractérisation des terrains à l'aide d'investigations à la tarière à main
- Synthèse hydrogéologique : présentation des référentiels hydrogéologiques et exploitations des bases de données thématiques
- Investigations de terrain : création d'un réseau de piézomètres et qualitomètres ayant permis de suivre les variations des niveaux de la nappe, mise en place de stations hydrologiques et réalisation de jaugeages afin d'établir un bilan des eaux transitant par les rivières, production de cartes piézométriques de hautes et basses eaux, analyse d'échantillons d'eau souterraine pour préciser la contamination supposée des eaux souterraines par une ancienne décharge.

Les résultats des investigations réalisées permettent de connaitre les principales caractéristiques, géologiques et hydrogéologiques, du marais.

Nous pouvons ainsi observer une géologie assez homogène des terres du marais, qui se développe dans un horizon humique superficiel, parfois tourbeux de quelques décimètres à 1 mètre d'épaisseur, surmontant un niveau argileux pouvant atteindre plusieurs mètres avant d'observer des passes sableuses ou sablo-limoneuses aquifères (aquifère multicouches). Les alluvions sablo-graveleuses de la Bourbre sont retrouvées plus profondément (non reconnues par nos investigations superficielles).

L'analyse de la piézométrie du marais permet de mettre en évidence un comportement différent selon la saison. En hautes eaux, les eaux s'écoulent globalement le long de la Bourbre, d'est en ouest, selon un gradient de l'ordre de 4 ‰ et avec un dénivelé de 2 m entre l'amont et l'aval du marais. En période d'étiage, l'écoulement est beaucoup plus compliqué à cartographier puisque

le dénivelé amont-aval se réduit à 50 cm et que les apports latéraux (alimentation par les sources de versants) peuvent induire des pentes de 6 ‰.

Les campagnes de mesure de la conductivité ont permis d'identifier une grande variabilité de ce paramètre entre les points de mesure, probablement due aux conditions de circulation des eaux qui, en augmentant le temps de contact eau-sol, augmente considérablement la valeur de la conductivité. Des valeurs moyennes des différents compartiments de l'hydrosystème peuvent cependant être avancées, avec une variation notable entre des conditions de hautes et basses eaux : entre 570 et 630 µS/cm pour la Bourbre, 650 à 800 µS/cm pour les piézomètres (les forages profonds de 20 m présentent les valeurs les plus basses et constantes) hormis dans la partie sud-est du marais (PZ01, PZ03 et PZ05) ou les valeurs dépassent les 1 000 µS/cm et illustrent de faibles vitesses de circulation.

Le Qualitomètre B, affichant une conductivité assez élevée (>1 000 µS/cm), a été identifié comme étant impacté par une pollution, en provenance très probable de l'ancienne décharge, qui serait à l'origine de la dégradation de gravats de démolition. Si l'origine de cette pollution était confirmée, ceci viendrait à valider la faisabilité d'un transfert des éventuels polluants contenus dans les remblais vers les eaux souterraines.

Le calcul des corrélations entre les différents ouvrages suivis révèle une excellente corrélation entre la majorité des piézomètres réalisés par le BRGM et les mares du marais. Cette corrélation est moins prononcée avec la rivière avec laquelle un décalage temporel est identifié.

Les conclusions révèlent un défaut d'alimentation du marais, déjà identifié par l'ONF (2009). Les mares sont en partie alimentée par les eaux météoriques mais également par un aquifère de subsurface contenu dans une formation caractérisée par une alternance de niveaux plus ou moins sablo-limono-argileux. En cas de mauvaise recharge hivernale de l'aquifère, les mares peuvent rester à sec pendant un cycle hydrologique complet. La Bourbre, rivière principale du secteur, est largement déconnectée du reste du marais dans sa partie orientale (amont hydraulique). Elle ne participe donc pas à l'alimentation de celui-ci.

Le BRGM recommande de mettre en place un dispositif de recharge forcé du marais afin d'en maintenir les principales fonctionnalités en cas de sécheresse. Ce dispositif peut être composé d'une prise d'eau dans la Bourbre (secteur de l'ancienne décharge, amont hydraulique) et d'un réseau de fossés maintenant une présence hydraulique superficielle permanente afin de soutenir l'aquifère pendant l'étiage. Les fossés en place peuvent également être plus ou moins obstrués.

Enfin, le BRGM conseille à la CCVD de poursuivre le suivi des niveaux d'eau de manière à capitaliser de la donnée qui pourrait s'avérer précieuse dans le cadre d'études futurs.

Sommaire

Table des matières

1. Contexte de l'étude 11

1.1. MAITRE D'OUVRAGE : LA COMMUNAUTE DE COMMUNES LES VALS DU DAUPHINE (CCVD) 11

1.2. LES OBJECTIFS GENERAUX 11
1.2.1. Le SDAGE Rhône - Méditerranée 11
1.2.2. Le SAGE BOURBRE 11
1.2.3. Le Plan de gestion de la Zone Humide des Marais de la Tour 12

1.3. LES OBJECTIFS DE LA MISSION 12

2. Synthèse bibliographique 15

2.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE 15

2.2. HISTOIRE DU MARAIS 15

2.3. ETUDES DEJA MENEES 15
2.3.1. Hydrologie 15
2.3.2. Occupation des sols, faune, flore 18
2.3.3. Géologie et hydrogéologie 20

2.4. OUVERTURE : MANQUES POUR LA COMPREHENSION DE L'HYDROSYSTEME 20

3. Contexte environnemental et géologique 21

3.1. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL 21
3.1.1. Description de la zone humide 21
3.1.2. Zoom sur l'activité agricole 22

3.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE 24
3.2.1. Formations géologiques du secteur 24
3.2.2. Description lithologique 26
3.2.3. Morphologie glaciaire 29
3.2.4. BSS 29

3.3. ETAT DES CONNAISSANCES AVANT LE PROJET 32
3.3.1. Informations issues de la Banque du Sous-Sol (BSS) 32
3.3.2. Informations issues du portail ADES 35

3.4. REFERENTIELS HYDROGEOLOGIQUES 38

3.4.1. MESO 38
3.4.2. BD LISA 39

4. Investigations de terrain 45

4.1. REPERAGES DU MARAIS 45
4.1.1. Ecoulements de surface pérennes 45
4.1.2. Ecoulements temporaires 47
4.1.3. Les mares artificielles 47
4.1.4. Prélèvements et rejet des entreprises de la ZAC 50

4.2. FORATION DES PIEZOMETRES ET QUALITOMETRES 51
4.2.1. Piézomètres 51
4.2.2. Qualitomètres 54

4.3. SONDAGES A LA TARRIERE 54

4.4. RESEAU PIEZOMETRIQUE 56
4.4.1. Instrumentation des stations 56
4.4.2. Chroniques piézométriques 58

4.5. APPROCHE DE LA PERMEABILITE 66
4.5.1. Slug test 66
4.5.2. Pompage d'essai 67

4.6. JAUGEAGES 69
4.6.1. Principe de mesures 69
4.6.2. Courbe de tarage 72
4.6.3. Chroniques de débit 74
4.6.4. Bilan entrées/sorties 75

4.7. MESURES DE CONDUCTIVITE 77

4.8. ANALYSE DE LA QUALITE DE L'EAU 81
4.8.1. Prélèvements 81
4.8.2. Analyses 81
4.8.3. Résultats 82

4.9. ANALYSES DES SOLS 85
4.9.1. Principe et mesures 85
4.9.2. Observations 86

5. Interprétations hydrogéologiques 89

5.1. ANALYSE DES CHRONIQUES 89
5.1.1. Corrélations croisées 89
5.1.2. Remise en eau de la mare de la CCVD 93
5.1.3. Bilan des débits 96

5.2. ANALYSE DE LA CONDUCTIVITE.....98

5.3. CARTES PIEZOMETRIQUES.....99

5.4. ANALYSE DE LA QUALITE DE L'EAU 103

6. Conclusions et recommandations 105

7. Bibliographie 111

Liste des illustrations

Illustration 1 : Carte des écoulements de surface [HYDRATEC, 2010] 17

Illustration 2 : Débits caracteristiques des principaux écoulements [HYDRATEC, 2010]..... 18

Illustration 3 : Carte d'occupation des sols [ONF, 2009] 19

Illustration 4 : Etat des lieux agricoles du marais (Chambre d'Agriculture, 2006)..... 23

Illustration 5 : Carte géologique du secteur (Source : BRGM)Paléoenvironnement des dépôts :25

Illustration 6 : Extensions et retraits du glacier du Rhône (feuille Bourgoin-Jallieu : rectangle noire) 26

Illustration 7 : Coupe géologique du secteur 30

Illustration 8 : Contexte géomorphologique du secteur alentour au marais de La Tour-du-Pin. Pente en degré avec masquage des données inférieures à 2 degrés (couche géologique en couleur visible sur les zones plates inférieures à 2° et MNT des pentes lorsque la pente dépasse 2°). MNT au pas de 25 m. Contexte hydrogéologique..... 31

Illustration 9 : Ouvrages souterrains au droit du marais au lancement du projet (Source : BRGM)33

Illustration 10 : Inventaire des points de la BSS à proximité du marais 34

Illustration 11 : Inventaire des points d'eau (PE) ADES à proximité du marais 36

Illustration 12 : Chronique piézométrique du PE 07238X0110/F 36

Illustration 13 : Statistiques piézométriques du PE 07238X0110/F (Source : ADES) 37

Illustration 14 : Caractéristiques chimiques des aquifères à proximité du marais (Diagramme de Piper) (Source : BRGM)..... 38

Illustration 15 : MESO V2 autour du marais (Source : BRGM) 40

Illustration 16 : LISA autour du marais (Source : BRGM) 42

Illustration 17 : LISA (entités complémentaires) autour du marais (Source : BRGM)..... 43

Illustration 18 : Ecoulement venant des collines molassiques, ruisseau du Cornu (Source : BRGM) 45

Illustration 19 : Localisation des écoulements superficiels (Source : BRGM)..... 46

Illustration 20 : Exutoire d'un fossé d'évacuation des eaux pluviales (Source : BRGM) 47

Illustration 21 : Mare Veolia asséchée en 2017 (Source : BRGM) 48
Illustration 22 : Mares artificielles asséchées au cœur du marais (Septembre 2017 -Source : BRGM) 49
Illustration 23 : Ecoulements de subsurface alimentant le bassin d'expansion des crues de la Bourbre (Source : BRGM) 50
Illustration 24 : Localisation des piézomètres et qualitomètres BRGM (Source : BRGM, IGN) .. 52
Illustration 25 : Reportage photographique sur le fonçage des piézomètres (Source : BRGM) . 53
Illustration 26 : Sondage à côté de PZ02 (Source : BGRM) 55
Illustration 27 : Constitution du réseau de mesures du marais (Source : BRGM, IGN) 57
Illustration 28 : Chronique piézométrique des piézomètres BRGM en rive droite de la Bourbre (PZ06 et PZ09) 59
Illustration 29 : Chronique piézométrique des piézomètres BRGM au cœur du marais, secteur est (PZ01, PZ02, QualitometreA et QualitometreB) 60
Illustration 30 : Chronique piézométrique des piézomètres BRGM au cœur du marais, secteur ouest (PZ05, PZ07 et PZ10) 61
Illustration 31 : Chronique du niveau d'eau de la Bourbre (amont et aval) et du canal 62
Illustration 32 : Chronique piézométrique des piézomètres BRGM au sud de l'autoroute (PZ03, PZ04 et PZ08) 63
Illustration 33 : Chronique piézométrique des piézomètres Véolia (mare et champ) 64
Illustration 34 : Chronique des niveaux des mares et précipitations (EchB CCVD et Veolia) 65
Illustration 35 : Schéma de principe du slug test, illustration d'après le rapport BRGM/82-SGN-943-EAU [Petit et al., 1982] 66
Illustration 36 : Tableau de synthèse des slug tests réalisés sur les piézomètres BRGM (Source : BRGM) 67
Illustration 37 : Chronique de pompages du forage Ferrari 69
Illustration 38 : Photographies des trois sections de jaugeages (Source : BRGM) 70
Illustration 39 : Localisation des 6 sections de jaugeage (21/06/2017) 71
Illustration 40 : Courbes de tarages de la Bourbre 73
Illustration 41 : Chronique de débit de la station Bourbre amont 74
Illustration 42 : Chronique de débit de la station Bourbre aval 74
Illustration 43 : Chronique de débit de la station Canal Mouturier 75
Illustration 44 : Profil en long de la ligne d'eau de la Bourbre au droit du marais (22/11/2017) .. 76
Illustration 45 : Comparaison des résultats des jaugeages 76
Illustration 46 : Comparaison entre la chronique du PZ02 (en noir) et le bilan des débits (en rouge) 77
Illustration 47 : Cartographie de la conductivité dans le marais en conditions de basses eaux (Source : BRGM) 79
Illustration 48 : Cartographie de la conductivité dans le marais en conditions de hautes eaux (Source : BRGM) 80
Illustration 49 : Paramètres physico-chimiques de terrain en période de Hautes Eaux (HE) et Basses Eaux (BE). (Source : BRGM) 82

Illustration 50 : Concentrations des principaux éléments majeurs et quelques éléments mineurs pour les 6 prélèvements (en vert, concentrations se distinguant des autres). (Source : BRGM) 83
Illustration 51 : Diagramme de Piper des analyses du marais (Source : BRGM) 84
Illustration 52 : Préparation du sol et réalisation d'une mesure avec le spectromètre portatif de fluorescence X (Source : BRGM) 86
Illustration 53 : Mesures en plomb des sols situés à proximité des principaux piézomètres (Source : BRGM) 87
Illustration 54 : Mesures en zinc des sols situés à proximité des principaux piézomètres (Source : BRGM) 88
Illustration 55 : Coefficients de corrélation maximums entre chaque station 90
Illustration 56 : Décalage temporel entre les séries pour la corrélation maximale (jours) 91
Illustration 57 : Corrélogramme croisé entre le PZ02 et le QualitomètreA..... 93
Illustration 58 : Chronique des niveaux de la mare CCVD, Bourbre, PZ022 et précipitations 95
Illustration 59 : Relations nappe-rivière, rive gauche 97
Illustration 60 : Relations nappe-rivière, rive droite 98
Illustration 61 : Carte piézométrique de hautes eaux (Source : BRGM) 101
Illustration 62 : Carte piézométrique de basses eaux (Source : BRGM) 102
Illustration 63 : Schéma de synthèse des recommandations du BRGM 109

Liste des annexes

Annexe 1 BSS - logs validés 113
Annexe 2 Photographies et coupes des piézomètres et des qualitomètres foncés par le BRGM123
Annexe 3 Sondages à la tarière à main 137
Annexe 4 Fiches de terrain..... 147
Annexe 5 Analyse des eaux 153

1. Contexte de l'étude

1.1. MAITRE D'OUVRAGE : LA COMMUNAUTE DE COMMUNES LES VALS DU DAUPHINE (CCVD)

La Communauté de communes les Vals du Dauphiné (CCVD), anciennement Communauté de communes des Vallons de la Tour (CCVT), est composée de 37 communes dans le Nord Isère.

Compte tenu de la compétence « Environnement » des Vallons et dans le cadre de son projet de territoire, la Communauté de communes vise à préserver les sites dont elle est le gestionnaire. Parmi eux se trouve la zone humide des Marais de la Tour.

La Communauté de communes a choisi de s'engager dans une démarche de préservation des zones humides sur son territoire. Elle a par ailleurs adopté la Charte d'engagement de l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse qui fixe des principes de la politique encouragée.

Elle a ainsi piloté l'élaboration du Plan de gestion des Marais de la Tour en associant l'ensemble des acteurs concernés. Ce plan et le programme d'aménagement associé ont été approuvés en 2012, et sont depuis mis en œuvre de manière opérationnelle sur le territoire.

L'une des actions du plan consiste à « Connaître le fonctionnement hydraulique de surface des Marais de La Tour », afin d'en restaurer les fonctionnalités. C'est dans ce cadre que s'inscrit ce projet.

Cette action est d'ailleurs inscrite au Contrat de Rivière 2010-2016 du bassin versant de la Bourbre porté par le Syndicat Mixte d'Aménagement du Bassin de la Bourbre (SMABB). Cette action (cf. fiche n° B1-1-22) vise les objectifs suivants :

- Acquérir une connaissance précise du fonctionnement des marais ;
- Restaurer les fonctions hydrauliques de la zone humide.

1.2. LES OBJECTIFS GENERAUX

1.2.1. Le SDAGE Rhône - Méditerranée

Le projet s'inscrit dans les orientations du SDAGE Rhône-Méditerranée :

- 6A : Agir sur la morphologie et le décloisonnement pour préserver et restaurer les milieux aquatiques

- 6A-01 : Agir sur l'espace de bon fonctionnement des milieux et les boisements alluviaux

1.2.2. Le SAGE BOURBRE

Les préconisations du SAGE Bourbre qui s'appliquent au projet sont :

PVEU 6 : Agir pour la reconquête de fonctionnalité et la gestion patrimoniale des zones humides

- 6b : renforcer et encourager sur les zones humides la mise en place d'outils de gestion et de protection ;

- 6c : Mettre en œuvre la stratégie de restauration issue du schéma de vocation de la zone humide

La zone humide des marais de la Tour est identifiée dans le SAGE comme une zone stratégique de bassin où les espaces utiles à enjeux caractérisés (EUEC) ont été validés par la CLE (Octobre 2013).

1.2.3. Le Plan de gestion de la Zone Humide des Marais de la Tour

Les objectifs à atteindre dans le cadre du plan de gestion pour la réhabilitation des Marais de la Tour sont les suivants :

- Restaurer le fonctionnement hydromorphologique de la Bourbre et les fonctionnalités de la zone humide ;

- Maintenir et diversifier les différents milieux humides (prairies humides, mares, boisements humides, …) afin de préserver / restaurer une mosaïque d'habitats bénéfiques à la biodiversité animale et végétale ;

- Réhabiliter les milieux dégradés (fermeture, banalisation, contamination d'espèces envahissantes, suppression des dysfonctionnements hydrauliques, …) ;

- Identifier et rétablir les zones de connexions ;

- Maîtriser le foncier.

1.3. LES OBJECTIFS DE LA MISSION

Différentes études hydrauliques ont été menées au cours de ces dernières années sur le territoire des Vals du Dauphiné et sur le bassin versant de la Bourbre. Les maîtres d'ouvrage et les objectifs des études étant différents, cela a conduit à une hétérogénéité des données.

Ainsi, il était nécessaire de dresser un état des lieux précis et fiable compatible avec le projet de restauration des marais, notamment la partie concernant le fonctionnement hydraulique de la zone humide. Cette compréhension est un prérequis indispensable à l'élaboration du plan de gestion du site récemment labellisé ENS[1].

En effet, le plan de gestion actuel comporte un volet hydraulique composé des mesures suivantes :

- Renaturation de la Bourbre dans les marais de la Tour : tronçon canalisé du Pont Rouge au seuil de la RD1 ;
- Création d'une zone naturelle de stockage de l'eau ;
- Rétablissement des connexions hydrauliques entre le secteur NORD et le secteur SUD (coupure par A43) et entre les ruisseaux des coteaux et la zone humide ;
- Suivi et entretien des ouvrages hydrauliques.

Par la compréhension du fonctionnement de la zone humide et par l'identification des dysfonctionnements existants, l'étude devrait ainsi permettre de proposer les grandes pistes de

[1] Espace Naturel Sensible

réflexions nécessaires à la définition des actions préconisées dans le futur plan de gestion du site.

L'étude sera ainsi un préalable à l'élaboration du Plan de Préservation et d'Interprétation (PPI) du site, dans le cadre de sa labellisation en ENS. Ce PPI s'appuiera sur le plan de gestion existant, qu'il complétera par des diagnostics mis à jour et par un nouveau programme d'actions défini dans la continuité du premier.

2. Synthèse bibliographique

2.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE

Le secteur étudié se situe dans le département de l'Isère (38) à une cinquantaine de kilomètres au sud-est de Lyon, en direction de Chambéry. Il s'inscrit au cœur de la vallée de la Bourbre qui s'écoule d'est en ouest, dominée par des collines de quelques centaines de mètres d'altitude.

La zone humide des Marais de la Tour s'étend plus précisément sur 3 communes du territoire de l'intercommunalité (Cessieu, Rochetoirin et Saint-Jean-de-Soudain). Sa superficie est de 174 ha. Elle est traversée principalement par la Bourbre et le canal Mouturier. Le réseau hydrographique est complété par les affluents de la Bourbre et par divers fossés et réseaux de drainage.

Le marais, qui s'étire selon un axe est-ouest, est séparé longitudinalement par l'autoroute A43. L'autoroute, fondée sur remblais, sépare ainsi une plus grosse moitié au nord, qui inclut la Bourbre et le canal Mouturier, de la partie sud constituée d'une succession de parcelles boisées et de prairies.

2.2. HISTOIRE DU MARAIS

Lors des deux derniers siècles, les marais de la Tour-du-Pin ont subi de nombreuses transformations. Zone insalubre, marécageuse, synonyme de maladie, au XIX^{ème} siècle, les marais ont été drainés, et peu à peu transformés [Riollet, 2002 ; La Tour prend garde, *non daté*]. À l'origine, la zone humide était développée en rive droite de la Bourbre. Les premiers aménagements furent la construction de canaux et de drains au début du XIX^{ème} siècle par des forçats, puis les travaux continuèrent à la fin du XIX^{ème} siècle avec l'endiguement de la rivière et l'élargissement de son lit. La zone devenue salubre grâce à l'assèchement du marais fût progressivement transformée en parcelles agricoles et forestières. Ce sont encore à l'heure actuelle les principales activités implantées sur la zone.

2.3. ETUDES DEJA MENEES

Les études utilisées pour le présent rapport sont de 3 types :

- Hydrologique, avec les études du Canal Mouturier et de la Bourbre menées respectivement par les bureaux d'étude IRH [2015] et HYDRATEC [2010] ;
- Généraliste, avec l'étude des fonctionnalités du marais (faune, flore et d'occupation des sols) par l'ONF [2009] ;
- Géologique, avec plusieurs études au niveau de l'ISDND Véolia par les bureaux d'études CSD AZUR [2010], Disthène [2011, 2012], Ecotope [2015] et EGIS [2015] et les études menées sur les remblais de l'ancienne décharge, à l'est de la zone par BURGEAP [2012].

2.3.1. Hydrologie

a) La Bourbre

Au droit de la Tour-du-Pin, la Bourbre draine un bassin versant de 120 km². Ce bassin versant a une forme allongée, d'une longueur d'environ 35 km pour 4 km de largeur en moyenne. Sa pente est relativement faible, de l'ordre de 1,3 %, voire très faible au droit du marais où la pente de la

rivière est inférieure à 0,05 %. En rive gauche, la Bourbre reçoit les ruisseaux de Bas-Cuirieu et du Bas-Mornas. Ce sont des ruisseaux non pérennes qui alimentent les fossés et biefs du marais en drainant les écoulements venant du versant sud. Rive droite, au droit de la zone, le canal Mouturier reçoit les principaux affluents venant des versants nord (Illustration 1).

Les débits caractéristiques de crues ont été modélisés [Hydratec, 2010]. Les résultats sont visibles sur l'Illustration 2. Ces modèles ont été contraints par les deux dernières crues remarquables, en 1988 et 1993. Les débits de pointe de ces crues classées décennales étaient respectivement de 35 $m^3.s^{-1}$ et de 30 $m^3.s^{-1}$.

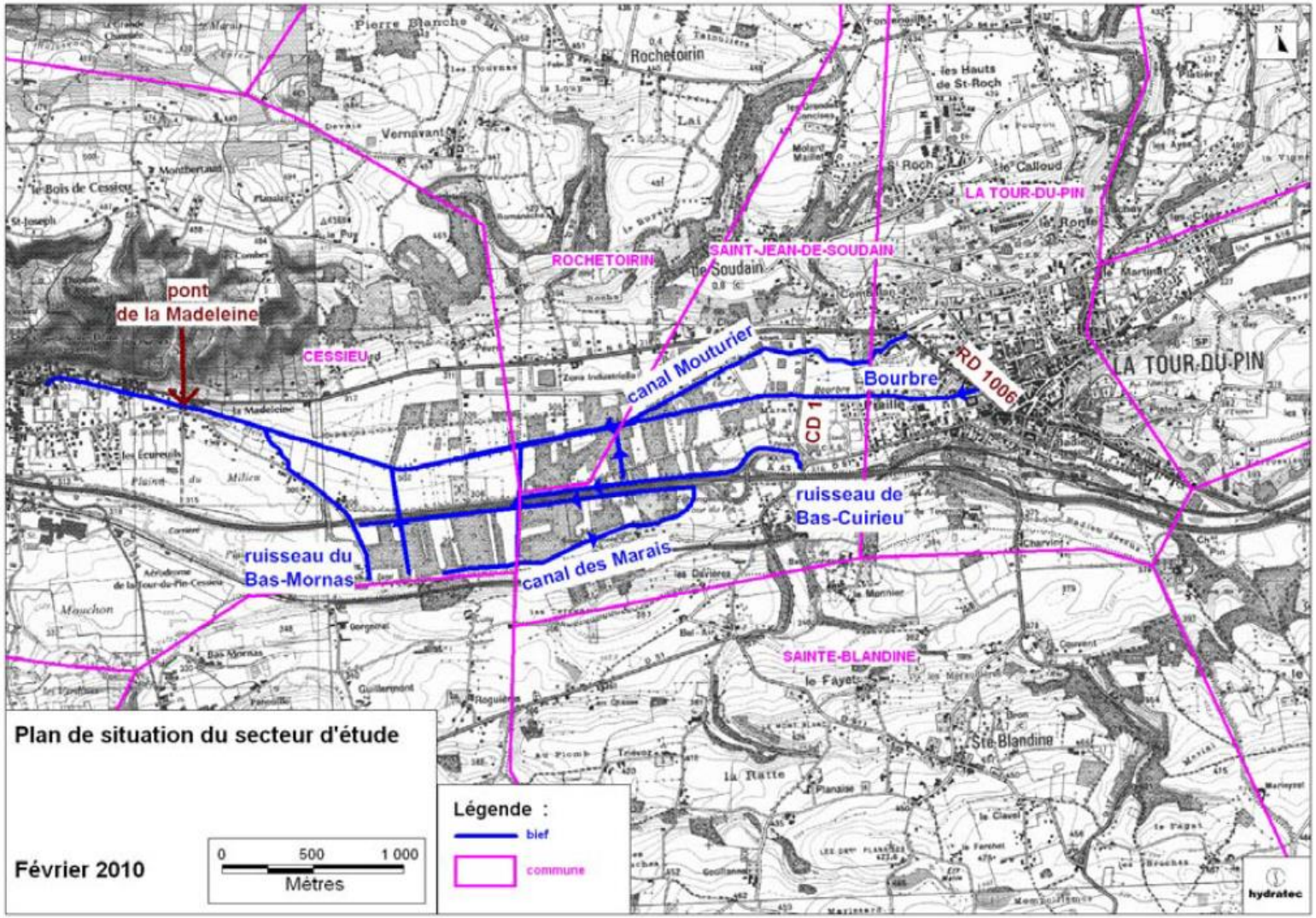


Illustration 1 : Carte des écoulements de surface [HYDRATEC, 2010]

Rivière	Lieu	Surface du BV	Débit décennal	Débit centennal
		km²	m³/s	m³/s
Bourbre	Tour du Pin (aval RD1006)	120	25	50
	Cessieu	150	20	40
Canal du Mouturier	Aval RD1006	5.3	2.1	4.1
	Amont confluence	10.4	3.5	7.1
Bas-Cuirieu	Aval A43	6,3	2	4.4
Canal des Marais		2,4	0.5	1

Illustration 2 : Débits caracteristiques des principaux écoulements [HYDRATEC, 2010]

b) Le canal Mouturier

Le canal Mouturier fait 8 km de long et est alimenté toute l'année par une prise d'eau sur la Bourbre au niveau de la commune de Saint-Clair-de-la-Tour. Il reçoit aussi les écoulements venant des versants au nord du bassin versant de la Bourbre, ainsi qu'une partie des eaux pluviales de La Tour-du-Pin. La prise d'eau sur la Bourbre est effectuée à partir d'une vanne d'alimentation. La cote inférieure de la vanne étant plus basse que le niveau du seuil, les écoulements de la Bourbre sont orientés vers le canal en basses eaux, ce qui pose des problèmes de soutien à l'étiage durant les années sèches.

2.3.2. Occupation des sols, faune, flore

Plusieurs espèces protégées d'amphibiens, de reptiles et de papillons ont été recensées sur la zone. Quelques plantes protégées sont aussi présentes, mais concurrencées par une flore invasive abondante. On retrouve notamment la Renouée du Japon sur les remblais artificiels et le long des cours d'eau, et des Solidages géants dans les parties boisées à l'est de la zone. Il est à noter que le Solidage géant est une espèce-marqueur d'un assèchement du site.

Le marais est caractérisé par la présence de parcelles agricoles à l'ouest (champs et pâturages) et des parcelles boisés à l'est (Illustration 3). La décharge Véolia (ISDND[2]) présente au sud-ouest de la zone humide (nommée « extension Véolia » sur l'Illustration 3) a été mise en service en 2010. Les mesures de compensation ont engendré la création d'une mare sur les parcelles cadastrales 171 à 180. On note aussi la présence d'une décharge remblayée à l'amont de la zone (vers le centre de La Tour-du-Pin).

L'autoroute A43 crée une coupure au sein du marais, et semble pouvoir jouer un rôle de barrière hydraulique. Les drains et fossés contraignent les flux d'eau de ruissellement en période de pluie et empêchent l'infiltration en privilégiant l'alimentation directe de la rivière.

[2] Installations de Stockage de Déchets Non Dangereux

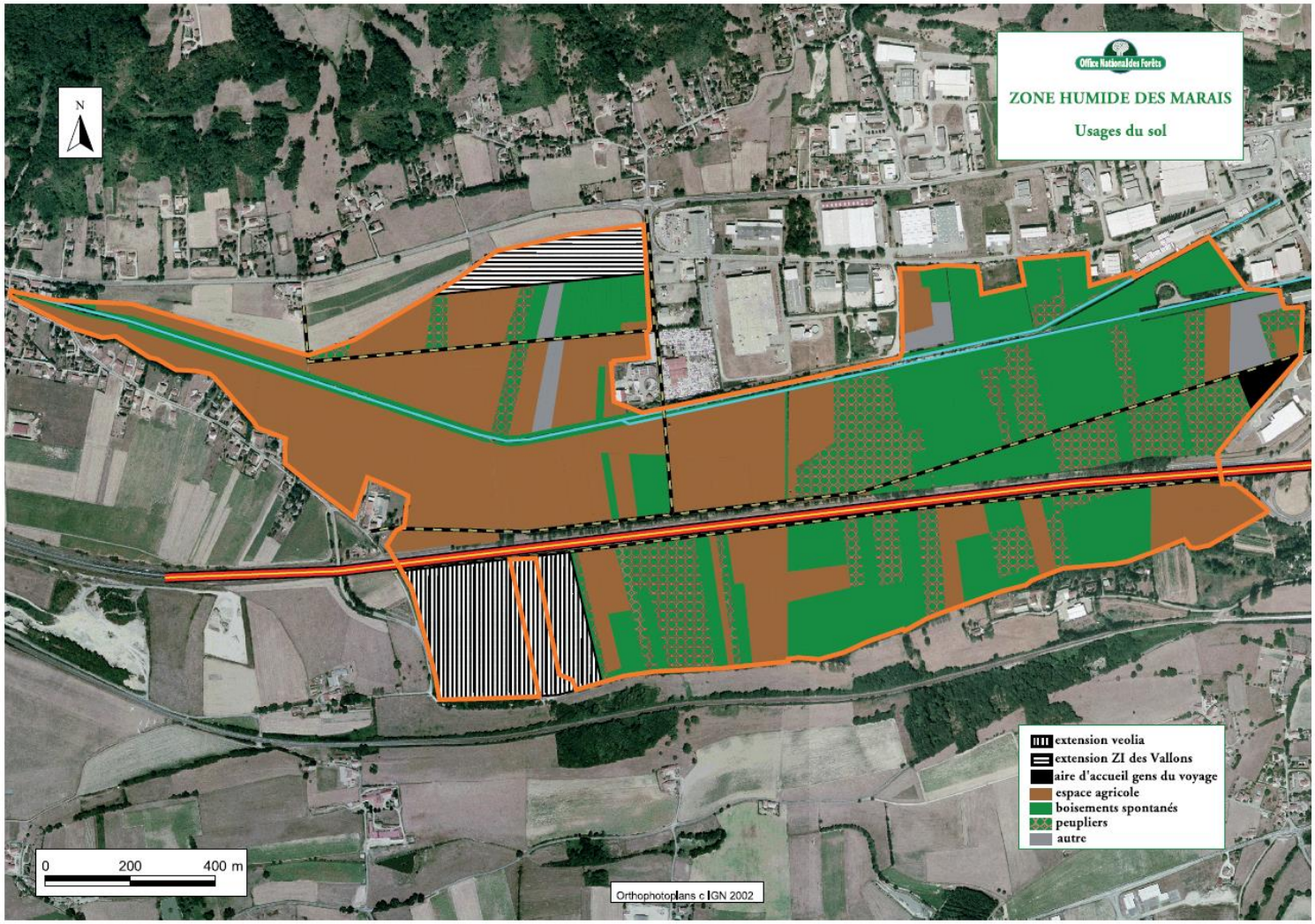


Illustration 3 : Carte d'occupation des sols [ONF, 2009]

2.3.3. Géologie et hydrogéologie

a) Géologie de la zone

Les coupes des piézomètres du réseau de surveillance de l'ISDND confirment la présence d'une éponte argileuse d'une épaisseur d'environ 10 m, surmontant des terrasses alluviales sableuses et sablo-graveleuses aquifères à l'extrémité sud-ouest du marais. La nappe alluviale est en charge sous les argiles, comme le démontrent certains piézomètres artésiens de ce réseau. La nappe contenue dans le substratum molassique est *a priori* connectée aux formations quaternaires, et alimente la plaine alluviale.

b) Remblais

Les remblais de la décharge en amont du marais sont constitués de limons argileux noirs et de tourbe. Ils recouvrent des ordures ménagères très diverses et accumulées ici depuis plusieurs décennies. Les analyses *in situ* ont mis en évidence une pollution conséquente en HCT (Hydrocarbures Totaux) et PCB (polychlorobiphényles) [BURGEAP, 2012]. Il y a aussi une forte concentration en COT (Carbone Organique Total), mais celle-ci peut être relativisée au vu de la lithologie des remblais, constitués de matériaux naturellement riches en carbone organique.

2.4. OUVERTURE : MANQUES POUR LA COMPREHENSION DE L'HYDROSYSTEME

Aucune étude ne traite précisément du fonctionnement de l'hydrosystème, et notamment des interactions entre les eaux superficielles et les eaux souterraines. Même si la lithologie est connue grâce notamment à l'implantation de l'ISDND Véolia, aucune investigation géologique n'a eu lieu au cœur même du marais.

La question de la chenalisation de la Bourbre et ses conséquences vis-à-vis de l'alimentation de la zone humide n'a pas non plus été abordée. Est-ce qu'il y a une déconnexion entre la rivière et sa nappe d'accompagnement (due à une imperméabilisation du chenal) ?

La présence de la décharge en amont de la zone humide pose aussi des questions. Y-a-t-il une diffusion des polluants dans la nappe ?

3. Contexte environnemental et géologique

3.1. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL

3.1.1. Description de la zone humide

La zone humide des Marais a subi depuis plusieurs décennies de nombreux aménagements : drainage, rectification du cours de la Bourbre, urbanisation, remblais, etc. Toutes ces modifications ont considérablement diminué les rôles et fonctions hydrologiques de cette zone, particulièrement ses rôles dans le soutien des étiages et l'épuration des eaux. La Bourbre, traversant d'est en ouest la zone humide des Marais de la Tour, a également fait l'objet de divers aménagements tels que l'endiguement et le creusement de canaux rectilignes en lieu et place du lit mineur de la Bourbe. A ce niveau du cours d'eau, la zone humide constitue un champ d'expansion des crues permettant de contenir un volume d'eau important au cours des périodes particulièrement pluvieuses et protégeant par là même les habitations et autres constructions situées à proximité.

La zone humide présente des milieux remarquables et leur gestion est encadrée par le règlement du SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion de l'Eau) de la Bourbre. A ce titre, la zone humide a intégré le réseau des Espaces Naturels Sensibles (ENS) Locaux en juillet 2014, et fait l'objet d'une convention avec le Conseil Départemental de l'Isère.

L'état des lieux de la zone humide réalisée par l'ONF en 2009 liste les atouts suivants :

- Une surface importante, dont on peut considérer qu'un tiers est en évolution naturelle.
- Une grande diversité d'habitats naturels ou semi-naturels, et des espèces de valeur patrimoniale.
- Des sources de coteaux, alimentées par les nappes profondes des collines molassiques qui assurent un approvisionnement en eau pérenne et de bonne qualité, bien qu'insuffisante.
- Une exploitation globalement peu agressive pour les milieux. L'espace agricole possède encore des surfaces en herbe importantes, la sylviculture pratiquée repose le plus souvent sur les espèces autochtones. Les populiculteurs utilisent peu d'intrants et nombre de peupleraies sont cultivées en mélange avec les essences spontanées.
- Une ripisylve en bon état et correctement entretenue.

Pourtant, selon ce même diagnostic, le marais ne semble pas être dans un bon état de conservation en raison des faits suivants :

- Les quantités d'eau apportées par le réseau hydrographique de surface ont été jugées insuffisantes pour garantir l'intégrité des fonctionnalités du marais ;
- Les drains ouverts jadis pour améliorer la valeur agronomique des terres, et plus récemment à l'occasion des aménagements en périphérie (Centre de Stockage des Déchets, Zone Industrielle des Vallons…), accélèrent le ressuyage des sols et raccourcissent les périodes d'engorgement ;
- Le niveau de la nappe alluviale semble en baisse ;
- La qualité des eaux de la Bourbre est mauvaise, particulièrement en période d'étiage ;
- L'autoroute A43 crée une coupure physique et fonctionnelle qui fait que le marais fonctionne désormais avec deux sous entités quasi indépendantes ;

- Les aménagements réalisés ou en cours de réalisation amputent le marais de surfaces non négligeables : Zone Industrielle des Vallons, Centre de Stockage de Déchets, station d'épuration …;
- Le site recèle plusieurs zones de déchets remblayés, dont la nature et les conditions de stockage constituent une menace pour le milieu ;
- Les espèces patrimoniales sont représentées par un faible nombre d'individus.

Face à ces constats, une action de connaissance du fonctionnement hydraulique du marais semble indispensable à la préconisation de mesures efficaces pour restaurer ses fonctionnalités.

3.1.2. Zoom sur l'activité agricole

Les surfaces agricoles, localisées sur l'Illustration 4, représentent **65 ha** (environ 37 % de la surface totale). Dix exploitations sont concernées par le périmètre de projet. Globalement, et comme l'indique la carte ci-dessous, les espaces agricoles sont dominants dans la partie ouest et formés d'îlots de grande taille, alors que la partie est de la zone humide est principalement composée d'espaces boisés, seules quelques petites parcelles agricoles subsistent.

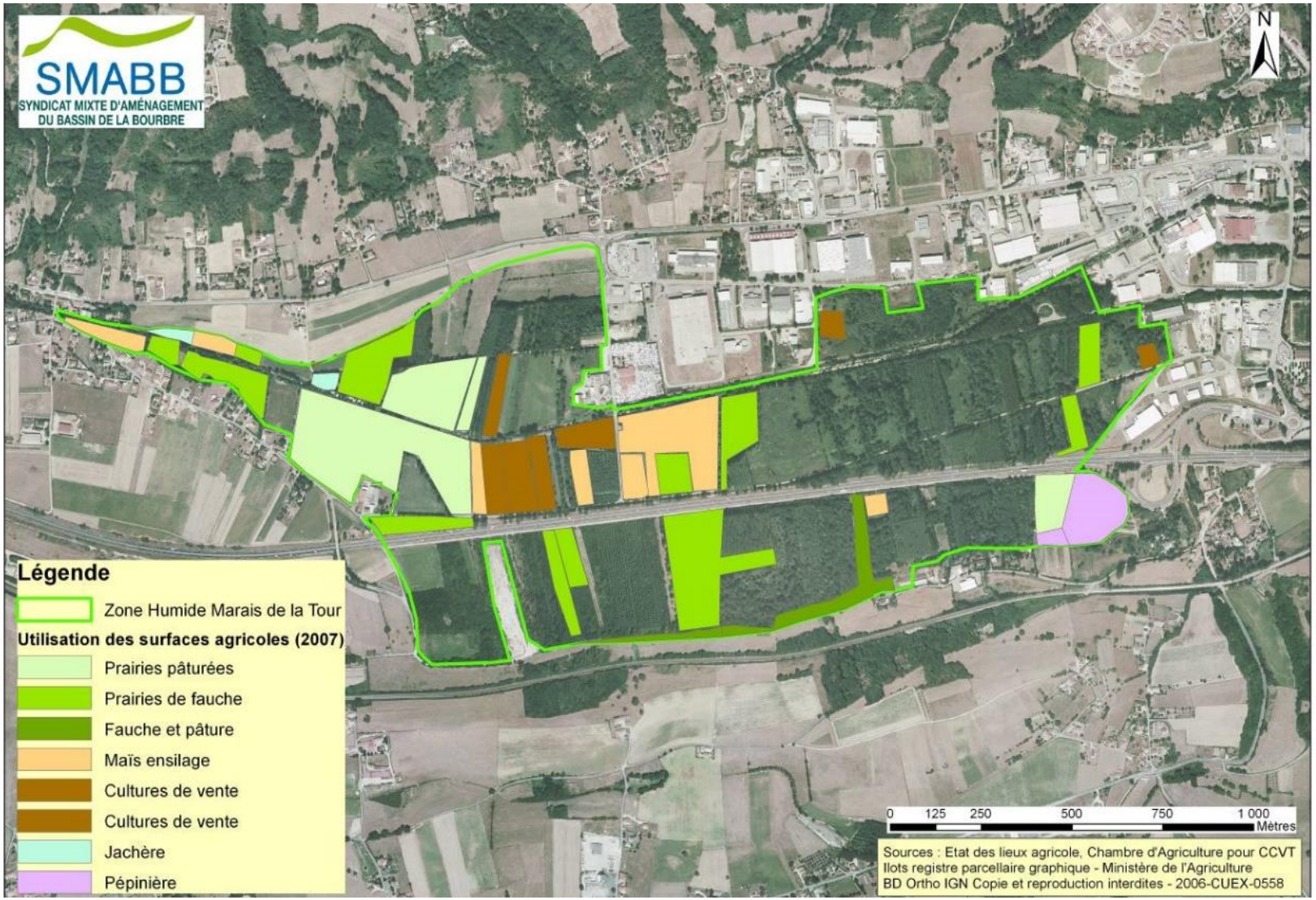


Illustration 4 : Etat des lieux agricoles du marais (Chambre d'Agriculture, 2006)

L’élevage est le système prédominant (neuf exploitations) et joue un rôle essentiel dans la gestion des espaces ouverts.

Plus de la moitié des espaces agricoles du marais est valorisée par la pâture ou la fauche de prairies. Les rendements sont bons (deux fauches par an contre une sur les prairies en coteaux). Les apports en matières fertilisantes minérales sont peu élevés (inférieurs à 30 unités d'azote minéral par hectare), mais souvent complétés par des apports organiques (fumier ou compost). Les bons rendements en herbe sont également dus à la bonne qualité agronomique du marais et à la présence d'eau.

Ces prairies sont indispensables aux exploitations puisqu'elles permettent de produire de l'herbe pour la pâture à proximité immédiate des bâtiments d'élevage. De plus, une prairie exploitée permet d'éviter que la parcelle soit colonisée par des arbustes. La fermeture du milieu réduit en effet, à court et moyen terme, la biodiversité de la zone humide. La diversité de gestion des prairies (pâture, fauche, fauche et pâture) permet la genèse d'habitats écologiques hétérogènes qui conviennent à un large panel d'espèces animales et végétales.

Il existe également des parcelles cultivées en céréales, globalement difficiles à exploiter du fait des conditions pédoclimatiques, et dont les surfaces sont en recul au fil des années au profit d’espaces boisés.

En conclusion, bien que la zone humide présente naturellement une forte vulnérabilité vis-à-vis des transferts de polluants vers la ressource en eau (du fait de la proximité de la nappe alluviale sub-affleurante et des connexions de la Bourbre avec un réseau important de fossés et de ruisseaux), l’exploitation agricole telle que menée actuellement ne représente pas une menace.

3.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE

3.2.1. Formations géologiques du secteur

Le *substratum* du secteur est composé par les molasses tortoniennes (Illustration 5) sur lesquelles reposent les formations superficielles de type glaciaire (moraines d’âge würmiennes accompagnées de leur dépôts fluvio-glaciaires et de cônes de déjection suite aux retraits du glacier). Ensuite, des dépôts gravitaires comme des colluvions et éboulis remobilisent l’ensemble. Enfin, les alluvions fluvio-glaciaires passent progressivement aux alluvions actuelles et récentes.

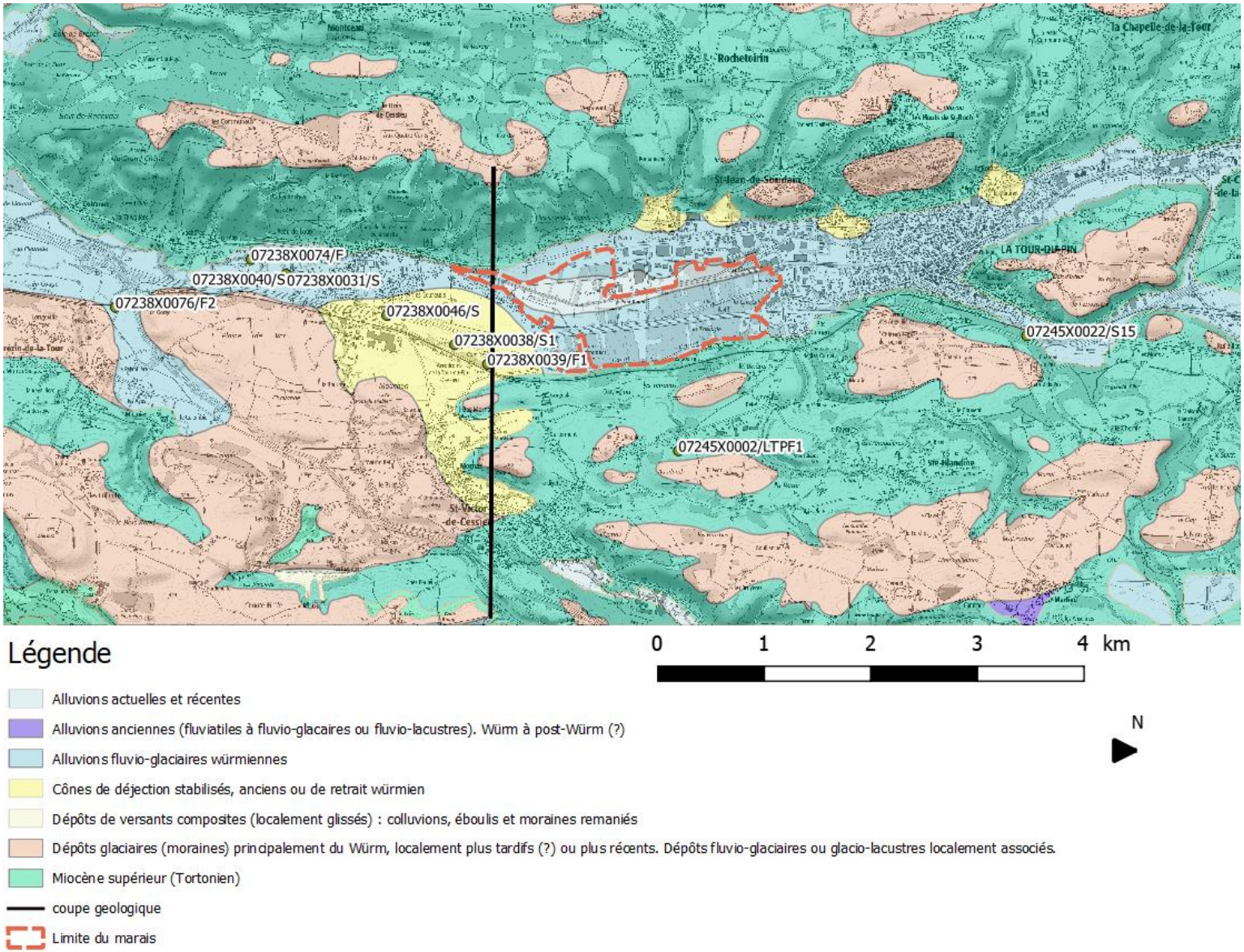


Illustration 5 : Carte géologique du secteur (Source : BRGM)Paléoenvironnement des dépôts :

Pendant l'Helvétien (16 à 11,6 millions d'années), sur les terres émergées s'est développée une faune de mammifères dont on retrouve des témoins dans les remplissages des fissures de quelques lambeaux calcaires. A partir de l'Helvétien puis au Tortonien (11,6 à 7,2 millions d'années), une large transgression, partie du bras de mer périalpin, envahit le bas-Dauphiné. Les sédiments sont des sables fins, micacés et calcaires, consolidés en molasse dont les éléments sont d'origine alpine. La série miocène montre vers le haut le passage à un régime saumâtre (début des affleurements autour de la Tour-du-Pin) puis une formation conglomératique envahit la série tertiaire depuis la bordure subalpine à l'est. Elle se termine en biseau dans les collines situées à la périphérie de Bourgoin.

Au quaternaire, le glacier du Rhône atteint son maximum au Riss (380 000 à 130 000 ans) (stade 1) pour couvrir Lyon et s'arrêter sur les contreforts des Mont du Lyonnais et du Mont d'Or (Illustration 6). Les différentes phases de retrait du glacier vers l'est laissent des indices et morphologies particuliers (Kame, moraines, blocs erratiques, crêtes, mardelles, etc…) et les stades 6 et 7 wurmiens (Würm : 100 000 à 10 000 ans) marquent les dépôts autour de La Tour-du-Pin.

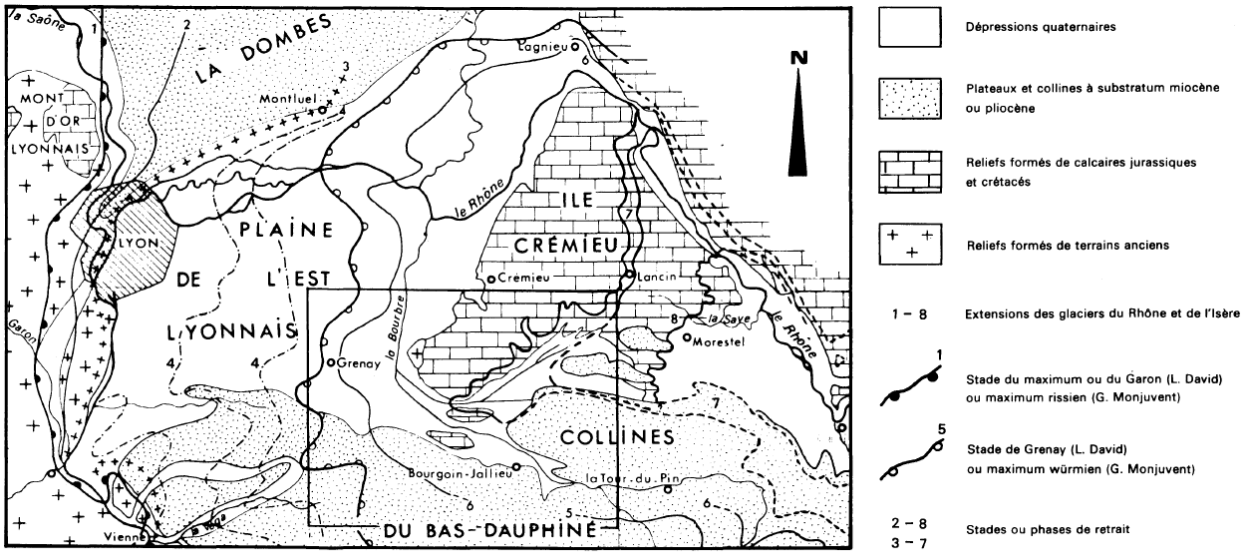


Fig. 8 - Extensions et retraits du glacier du Rhône sur le feuille Bourgoin et les feuilles adjacentes
Extrait de R. Enay, 1981 (modifié)

Illustration 6 : Extensions et retraits du glacier du Rhône (feuille Bourgoin-Jallieu : rectangle noire)

3.2.2. Description lithologique

D'après la notice de la carte géologique de Bourgoin-Jallieu :

Tortonien : Les niveaux stratigraphiquement les plus bas sont sableux. Ils contiennent *Nassa michaudi*, caractéristique des faciès saumâtres du Miocène supérieur. En ce qui concerne l'épaisseur de l'ensemble de la formation, on peut estimer à 250 m la partie sus-jacente aux niveaux à *Nassa michaudi*. Dispersés dans la masse sableuse apparaissent quelques niveaux à galets parmi lesquels dominent les roches cristallines. Superposés dans la plupart des cas à ces faciès sableux et à galets apparaissent des niveaux argileux qui ne sont pas à altitude constante. Dans la partie est de la carte, il apparaît deux niveaux superposés. Un niveau supérieur, bien caractérisé dans l'abrupt de la colline de Cessieu, est jalonné par une ligne de sources (à 425 m d'altitude, fond de la vallée à 300 m). Un deuxième niveau (non retrouvé sur la carte géologique) qui semble plus bas dans la formation est présent dans le secteur de Nivolas-Vermelle.

Les affleurements argileux au sein de la molasse peuvent être de grande épaisseur. La formation donne alors lieu à des exploitations (de type non précisé dans la notice de la carte). Tel est le cas à Nivolas-Vermelle où une analyse minéralogique a été effectuée par le laboratoire de sédimentologie du département des Sciences de la Terre, Université Claude Bernard, Lyon. Les pourcentages en minéraux argileux sont les suivants : illite 30%, chlorite 25%, montmorillonite 45%.

La partie supérieure de la formation est envahie par des niveaux à galets consolidés, associés à des niveaux sableux et gréseux. Les galets de calcaires sont les plus abondants mêlés à des galets de quartzite, quartz laiteux, roches cristallines altérées, radiolarites, roches métamorphiques. Quelques rares éléments d'argiles de taille décimétrique sont présents. Les galets calcaires sont impressionnés montrant des cupules de dissolution.

Formations quaternaires

Complexes morainiques Wurmiens

Sous l'appellation moraines sont rassemblés tous les terrains alluviaux liés directement au glacier à l'exception des alluvions fluvio-glaciaires où l'intervention des eaux courantes de fusion est prépondérante. La moraine est d'une façon générale un sédiment hétérogène et hétérométrique, constitué de blocs, cailloux et graviers emballés dans une matrice sablo-argileuse et calcaire. Deux faciès principaux sont représentés :

- la moraine argileuse ou argile à blocaux de caractère hétérométrique depuis l'argile jusqu'aux blocs erratiques et à galets calcaires cassés et striés fréquents. Elle tire son origine principale des moraines d'ablation du glacier vivant. Elle est souvent superposée au faciès ci-dessous décrit mais correspond aussi aux moraines de fond ;
- la moraine caillouteuse ou moraine à éléments calibrés qui a une structure en lits réguliers dont les éléments sont calibrés et orientés mais ne présente pas de stratification entrecroisée. Peuvent exister aussi des formations sous-glaciaires, des kames.

Le complexe morainique wurmien présente des accumulations d'épaisseur variable. Epaisses de plusieurs dizaines de mètres dans la partie ouest, elles s'amincissent pour devenir pelliculaires dans la partie sud-est de la feuille, là où les reliefs anté-glaciaires étaient plus élevés. Ainsi, au sud-est de Bourgoin (zone d'étude de La Tour-du-Pin), la moraine ne dépasse guère un mètre d'épaisseur. Dans ce secteur, en certaines zones, ne subsistent que quelques placages reconnaissables à la seule présence de galets striés.

Gx6. Stade de la Bourbre. Après avoir stationné sur les reliefs constituant l'ossature du stade de Grenay (stade 5 dont les dépôts sont à l'ouest du secteur de La Tour-du-Pin), le glacier stationne sur les collines limitées par l'actuelle vallée de la Bourbre.

Gx7. Stade de Lancin (R. Enay). Appuyés aux reliefs calcaires parfois enveloppés de moraines plus anciennes, les dépôts morainiques frontaux du stade de Lancin n'ont été individualisés que récemment (R. Enay, 1981). Le glacier en recul n'a plus alors la puissance nécessaire pour franchir l'obstacle de l'Ile Crémieu comme il avait pu le faire au cours des stades plus anciens. Au niveau de La Tour-du-Pin, les dépôts sont de très faible épaisseur (inférieurs à 1 m).

Gx8. Stade de Morestel. Le stade de retrait suivant correspond au stade de Morestel. Les formations glaciaires liées à ce stade échappent aux limites du secteur d'étude de La Tour-du-Pin mais sont à l'origine des nappes alluviales qui composent la vallée de la Bourbre.

Nappes alluviales fluvio-glaciaires Wurmiennes

A partir de ces fronts glaciaires correspondant à des stades de retrait successifs, d'importantes nappes alluviales fluvio-glaciaires se sont développées vers l'aval, en remplissant les vallées ou dépressions de la région. Leur composition peut être résumée comme suit :

- à la base, au fond de la vallée, des dépôts glaciaires, moraines de faciès argileux datant de la phase immédiatement antérieure ;
- au-dessus, des dépôts liés au complexe glaciaire, de faciès très irrégulier en fonction des avancées et des reculs successifs du front glaciaire : moraines de tous faciès, glacio-lacustre, fluvio-glaciaire, etc. ;
- au sommet, en surface de la plaine, le caractère fluvio-glaciaire s'accentue : les eaux de fusion ont lessivé la partie supérieure des dépôts puis, à mesure que le glacier s'éloignait, elles ont apporté et étalé des alluvions fluvio-glaciaires de plus en plus distales.

L'écoulement de l'eau en nappe a conduit à des surfaces initialement planes le plus souvent bien conservées. La pente de ces nappes est plus élevée que celles des alluvions fluviatiles. Elle dépend de l'éloignement du front glaciaire par rapport au collecteur rassemblant l'ensemble des eaux.

FGx8. Fluvio-glaciaire du stade de Morestel. Les nappes alluviales issues du stade Gx8 dit de Morestel sont nettement individualisées dans la vallée de la Bourbre à l'Est de Bourgoin-Jallieu. La pente des nappes attribuées au FGx8 varie de 3 à 13‰ (0,75°).

Alluvions fluviatiles post-wurmiennes

Fy. Alluvions post-wurmiennes. Les alluvions post-wurmiennes existent dans les vallées témoins du réseau hydrographique récent. C'est le cas de la vallée de la Bourbre. Elles se sont mises en place après le retrait complet du glacier wurmien. Sont incluses dans ces alluvions des formations alluviales modernes, notamment dans les vallées des petites rivières actuelles. Il n'est pas possible de les individualiser sur la carte. Les alluvions post-wurmiennes sont caractérisées par des formations de nature variée : sables, graviers, limons, tourbes. L'ensemble sables, limons, tourbes est superposé aux nappes de raccordement fluvio-glaciaire. J.-B. Boissier, géologue à l'EPIDA (Etablissement public d'Aménagement de la ville nouvelle de l'Isle-d'Abeau), a indiqué (Elmi et al., 1986), pour le périmètre d'étude de l'EPIDA, la répartition des limons, sables et tourbes, les reconnaissances ayant au maximum 3 m de profondeur. Les sables sont fins et homogènes (90 % d'éléments de 0,3 mm de diamètre). Les limons sont plus ou moins argileux, la partie la plus importante étant peu argileuse. Des études sur la tourbe ont été effectuées pour la région de La Verpillière, à partir de sondages exécutés par la Société anonyme de l'industrie de la tourbe. Les fossiles animaux et végétaux présents dans la tourbe ont été étudiés. Les périodes successives de formation mises en évidence sont les suivantes :

- Période du Bouleau-Pin
- Période du Pin
- Période du Noisetier
- Période du Chêne
- Période de l'arbre

L'étude paléontologique et pollinique comparée à celles effectuées dans les pays scandinaves conduit à penser que l'installation des tourbières daterait de 7 000 ans avant notre ère. Si les exploitations de tourbe ont eu une certaine importance au niveau historique, elles sont

abandonnées depuis environ 1950. En ce qui concerne l'épaisseur des formations post-wurmiennes, les données figurant sur la carte correspondent à une épaisseur maximum de 3 m pour les limons, sables et tourbes. D'après les sondages analysés par G. Mazenot et J. Gourc (1939), l'épaisseur de ces trois faciès est de 9 m au maximum. Un parallèle pourrait être fait sur les marais de la Tour-du-Pin mais avec une composante argileuse plus importante.

En ce qui concerne les matériaux graveleux proprement dits sur lesquels reposent les limons, sables et tourbes on sait classiquement qu'ils ont plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, reconnus notamment dans le cadre des sondages effectués pour la recherche d'eau.

Cônes de déjection torrentiels. Formés dès le départ du glacier wurmien, ces cônes torrentiels peuvent exister à la base des ravins. Les matériaux les constituant sont d'origine locale.

Eboulis par gélivation (groises). Quelques-uns sont encore actifs, mais beaucoup sont actuellement stabilisés et couverts de végétation. Pour l'essentiel, ils sont postérieurs au retrait du glacier wurmien et ont été formés dans les conditions périglaciaires de la période fini-wurmienne.

3.2.3. Morphologie glaciaire

L'ensemble des terrains s'inscrit dans le grand dispositif d'avancée des glaciers alpins au Quaternaire jusque dans la région lyonnaise. La disposition générale des terrains (relief, plateau) est héritée d'une topographie antéglaciaire (probablement d'âge messinien), les formations glaciaires ainsi que leur morphologie sont caractéristiques. La morphologie sur le secteur de La Tour-du-Pin montre des cônes de déjection (Illustration 7) qui forment des promontoires en éventail débordant sur la plaine alluviale parfaitement visibles dans le relief (illustration 8). A l'ouest de La Tour-du-Pin au niveau de la plaine, une légère cuvette (dans laquelle s'est installé le marais) s'est formée suite à la mise en place du cône de déjection principal (au sud de Cessieu). Suivant une coupe longitudinale de la plaine, des ressauts topographiques (zone au pente supérieure à 2° dans le fond de la vallée sur l'Illustration 8) sont visibles sur la bordure est du village de La Tour-du-Pin et à 1 km à l'ouest de Cessieu de sorte que les dépôts fluvio-glaciaires appartiennent à une même unité. L'origine de ces ressauts est probablement due au creusement du glacier.

3.2.4. BSS

Neuf sondages ont pu être étudiés de manière fiable (cf. annexe 1). Leur analyse a permis de tracer la coupe géologique de l'Illustration 7, localisée par le trait noir sur l'Illustration 5.

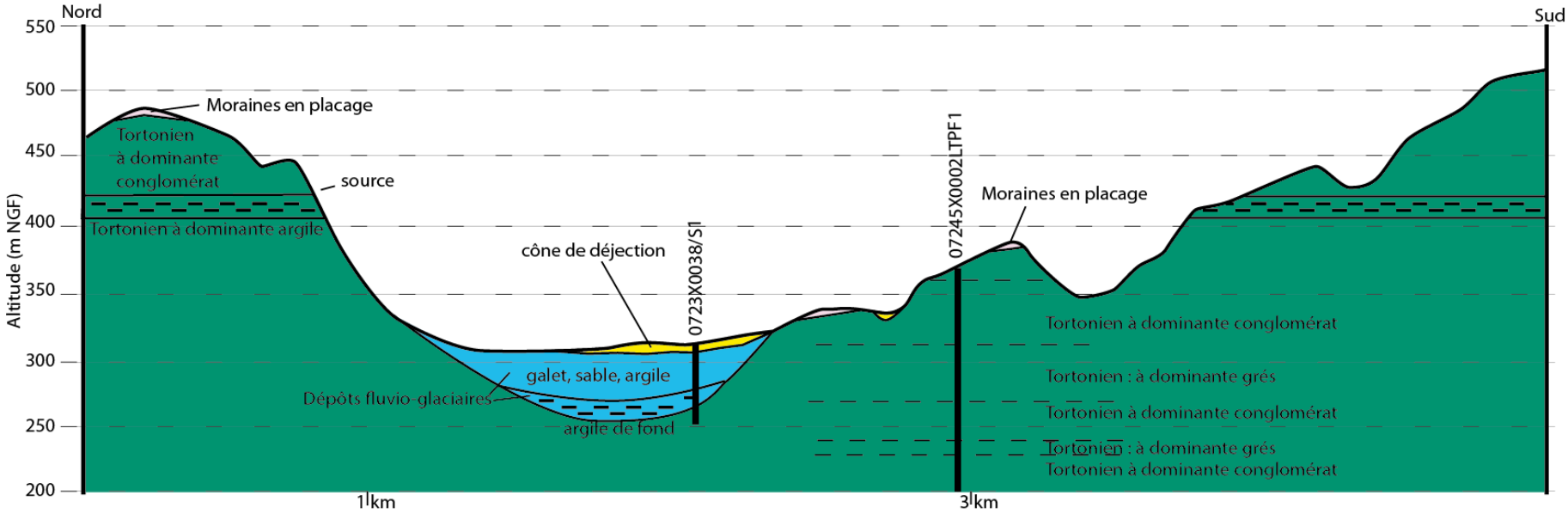


Illustration 7 : Coupe géologique du secteur

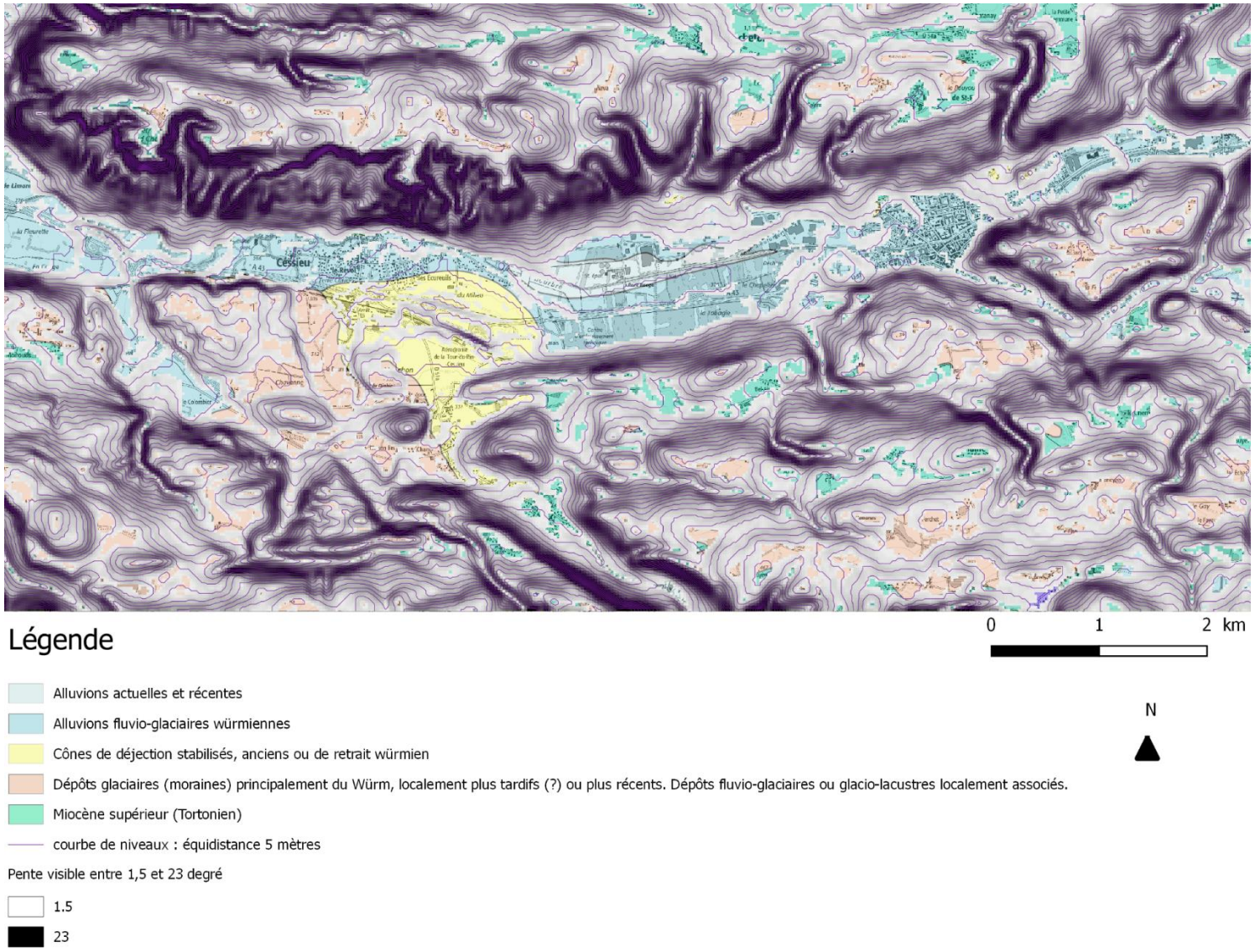


Illustration 8 : Contexte géomorphologique du secteur alentour au marais de La Tour-du-Pin. Pente en degré avec masquage des données inférieures à 2 degrés (couche géologique en couleur visible sur les zones plates inférieures à 2° et MNT des pentes lorsque la pente dépasse 2°). MNT au pas de 25 m. Contexte hydrogéologique

3.3. ETAT DES CONNAISSANCES AVANT LE PROJET

3.3.1. Informations issues de la Banque du Sous-Sol (BSS)

La BSS est la base de données, organisée et gérée par le BRGM, conservant les informations liées aux ouvrages souterrains (forages, sondages, puits et sources…) du territoire national. Elle est accessible sur Infoterre.

La consultation de cette base révèle l'existence de très peu d'ouvrages souterrains déclarés, conduisant ainsi à une faible connaissance géologique du secteur (cf. Illustration 9).

Nous avons ainsi dénombré 17 ouvrages souterrains déclarés antérieurement au projet BRGM-CCVD. Ces ouvrages sont symbolisés en rouge et nommés d'A à Q sur l'illustration de manière à améliorer la lisibilité générale par rapport à l'affichage du code BSS. Les ouvrages symbolisés en bleu sont ceux réalisés par le BRGM dans le cadre de l'étude.

L'Illustration 10 liste les différents ouvrages BSS localisés à proximité immédiate du marais.

L'analyse des dossiers des forages révèle des profondeurs d'ouvrages allant de 3 à 70 m. Cependant, la profondeur moyenne d'investigation est de l'ordre d'une vingtaine de mètres, ce qui est suffisant compte tenu de nos objectifs de compréhension

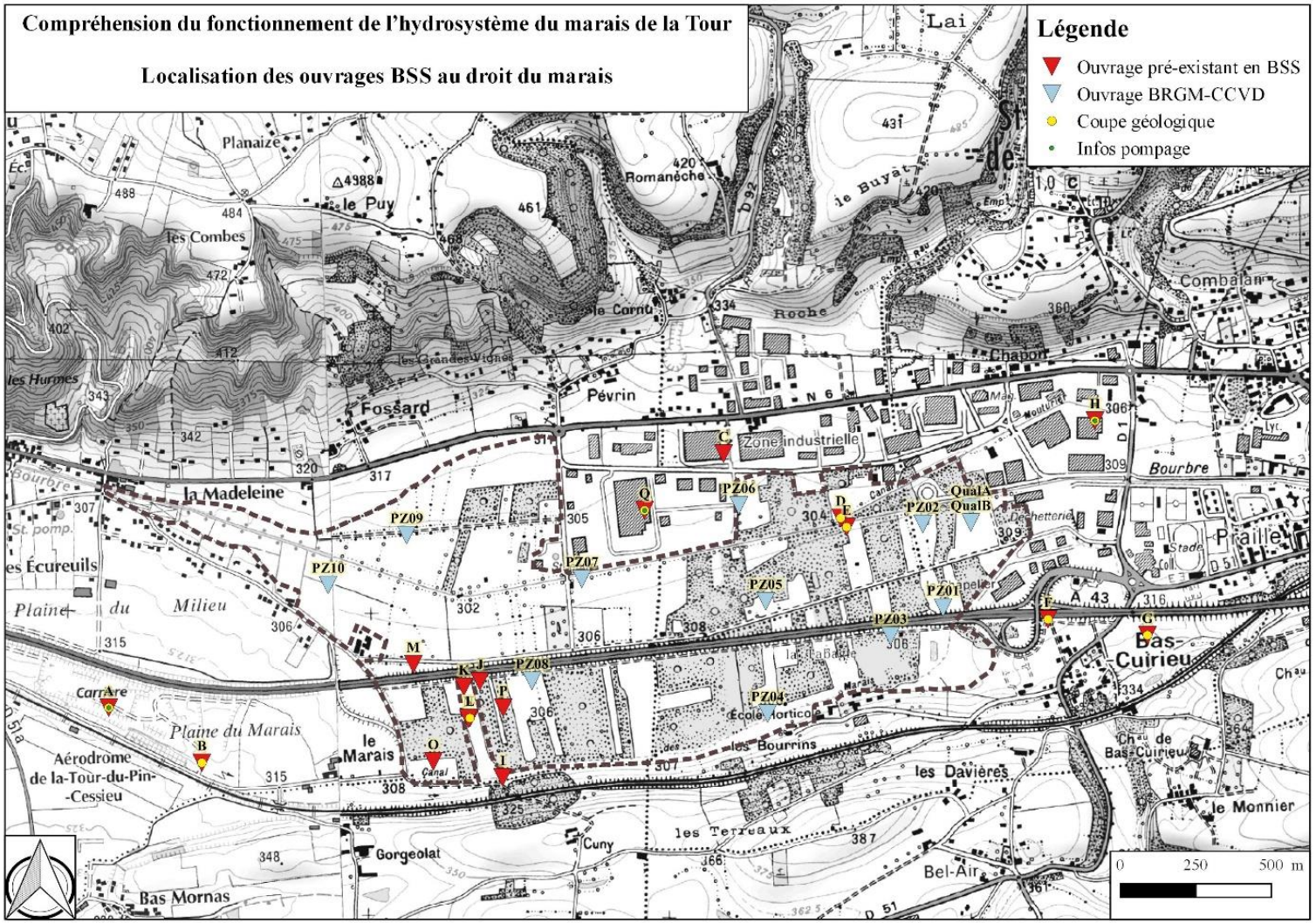


Illustration 9 : Ouvrages souterrains au droit du marais au lancement du projet (Source : BRGM)

Référence sur l'illustration	Indice BSS	Désignation BSS	X L93	Y L93	Nature	Profondeur (m)
A	07238X0038	S1	886193	6498307	SONDAGE	70
B	07238X0039	F1	886501	6498124	SONDAGE	70
C	07245X0008	S1	888228	6499148	SONDAGE	3.25
D	07245X0009	S2	888616	6498935	SONDAGE	11.05
E	07245X0010	S3	888636	6498905	SONDAGE	10.65
F	07245X0011	S4	889303	6498600	SONDAGE	3.5
G	07245X0012	S5	889632	6498547	SONDAGE	15
H	07245X0027	S	889458	6499258	SONDAGE	13.5
I	07245X0039	PZ1	887497	6498076	PIEZOMETRE	
J	07245X0040	PZ2	887422	6498394	PIEZOMETRE	
K	07245X0041	PZ3	887369	6498376	PIEZOMETRE	
L	07245X0042	PZ4	887389	6498272	PIEZOMETRE	14
M	07245X0043	PZ5	887201	6498451	PIEZOMETRE	
N	07245X0044	PZ4BIS	887384	6498270	PIEZOMETRE	
O	07245X0045	PZ6	887268	6498129	PIEZOMETRE	
P	07245X0046	PZ7	887499	6498306	PIEZOMETRE	
Q	BSS002PZVB	X	887967	6498961	FORAGE	27.5
PZ01	BSS003QMPU	X	888955	6498639	PIEZOMETRE	7.7
PZ02	BSS003QMPY	X	888888	6498916	PIEZOMETRE	7.5
PZ03	BSS003QMQC	X	888781	6498545	PIEZOMETRE	6.04
PZ04	BSS003QMRI	X	888374	6498288	PIEZOMETRE	6.05
PZ05	BSS003QMSC	X	888368	6498660	PIEZOMETRE	6.7
PZ06	BSS003QMSG	X	888279	6498978	PIEZOMETRE	5.9
PZ07	BSS003QMSW	X	887759	6498734	PIEZOMETRE	7.8
PZ08	BSS003QMTQ	X	887594	6498396	PIEZOMETRE	6.9
PZ09	BSS003QMRM	X	887179	6498879	PIEZOMETRE	5.95
PZ10	BSS003QMSA	X	886919	6498714	PIEZOMETRE	7.9
QualA	BSS003QMSK	X	889048	6498970	PIEZOMETRE	6.95
QualB	BSS003QMTE	X	889047	6498921	PIEZOMETRE	7

Illustration 10 : Inventaire des points de la BSS à proximité du marais

L'analyse des coupes géologiques intéressantes (Illustration 10) qui ont pu être récupérées dans la BSS nous révèle les informations suivantes :

- Sur les 70 premiers mètres, à l'ouest du marais (forages A et B), on observe une succession d'horizons hétérogènes allant de gravelo-sableux à argileux. Si ces niveaux présentent une épaisseur moyenne de moins de 5 m, ils peuvent cependant parfois atteindre une puissance de plus de 10 m. Cette configuration est propice à l'apparition d'aquifère multicouches, dont les différents niveaux aquifères sont plus ou moins connectés les uns avec les autres.
- La coupe du forage L (réalisé au droit du site de Véolia) montre la présence majoritaire d'argiles sur les 10 premiers mètres de profondeur, avec seulement quelques horizons

sableux peu épais. La coupe est cependant peu détaillée. D'après le figuré utilisé, il semblerait que du sable moins argileux soit rencontré de 10 à 14 m de profondeur. Ce profil correspond cependant à celui observé au point QualB où 7 m d'argile surmontent des sables fins et des graviers jusqu'à 25 m de profondeur.

- Les points D et E situés seulement quelques centaines de mètres plus à l'est présentent un profil bien différent puisque seul du sable jaunâtre est rencontré jusqu'à 10 m de profondeur sous l'horizon limoneux superficiel de moins d'1 m d'épaisseur. Les points F, G et H, situés encore plus à l'est, sont moins profonds mais n'identifient pas d'argiles superficielles.

Ceci tend à démontrer une forte hétérogénéité des terrains, tant horizontalement que verticalement. De plus, il semblerait que la partie est du marais (amont hydraulique) présente des horizons perméables sableux, qui se retrouveraient sous, ou remplacés par, des niveaux argileux dans la moitié ouest du marais.

Des informations sur 3 pompages d'essai sont également fournies dans les dossiers BSS et seront discutées dans la section 4.5.2 de la présente note.

3.3.2. Informations issues du portail ADES

ADES est la banque nationale d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines qui rassemble sur un site internet public (ades.eaufrance.fr) des données quantitatives et qualitatives relatives aux eaux souterraines. Les ouvrages décrits sont identifiés comme étant des Points d'Eau (noté PE).

L'Illustration 11 présente la localisation des ouvrages ADES les plus proches du site. Il apparaît ainsi que peu de PE existent à proximité immédiate du marais.

Un piézomètre est toutefois implanté dans les alluvions de la Bourbre. Il s'agit du forage 07238X0110/F localisé à Nivolas-Vermelle (38) qui se trouve être un PE suivi par le BRGM dans le cadre du réseau piézométrique DCE national. Il possède une chronique de plus de 10 ans qui montre une baisse du niveau de la nappe depuis 2015 pour atteindre des valeurs historiquement basses en 2017 (cf. Illustration 12). L'aquifère affiche un **cycle annuel classique avec des hautes eaux en mars et des basses eaux bien marquées en septembre**. Le marnage annuel ne dépasse pas les deux mètres d'amplitude.

L'Illustration 13 présente les conditions hydrogéologiques observées sur ce PE au cours de l'année 2017 au regard des années précédentes. Ce graphique exploite des valeurs décadaires et permet de visualiser l'année en cours par rapport aux années antérieures qui sont représentées à l'aide des courbes enveloppes avec les valeurs minimales et maximales.

Nous pouvons constater que l'année hydrologique 2016-2017 est une année exceptionnellement sèche par rapport aux 10 années précédentes.

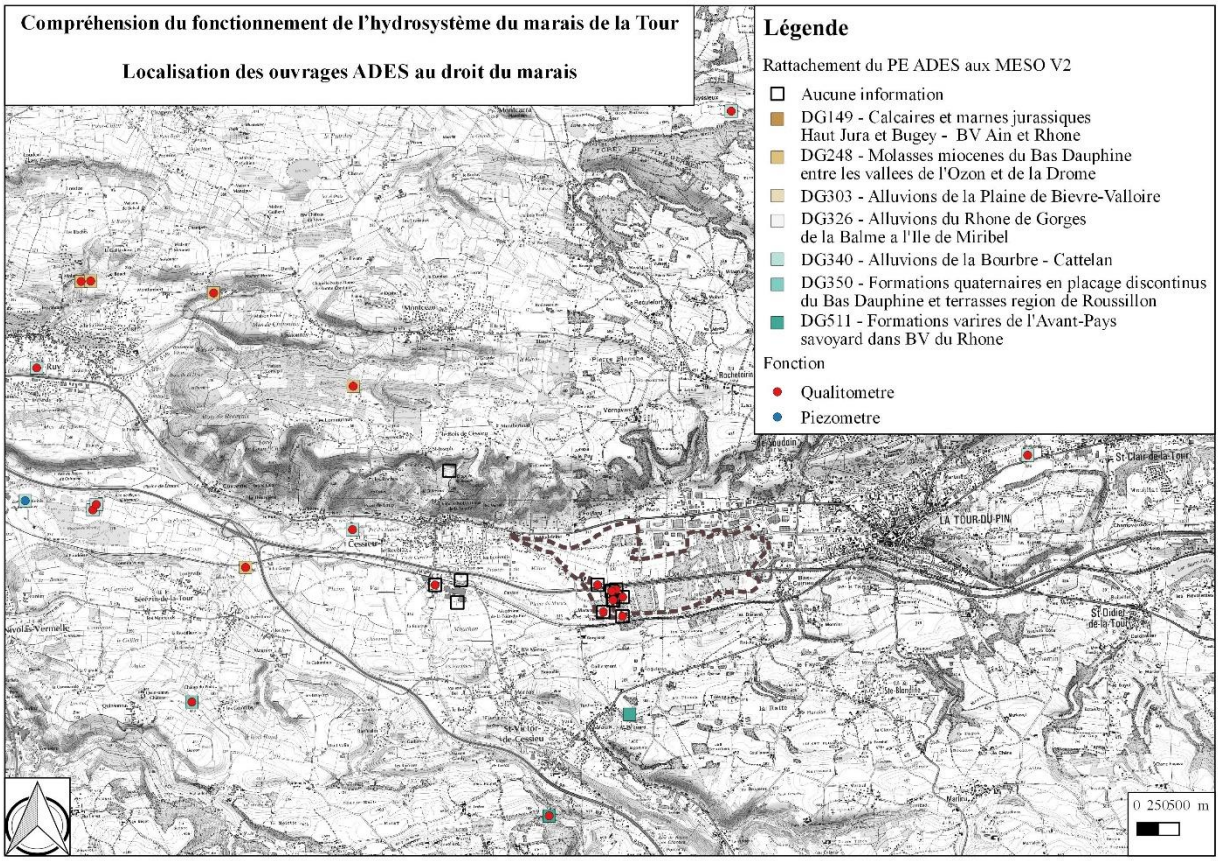


Illustration 11 : Inventaire des points d'eau (PE) ADES à proximité du marais

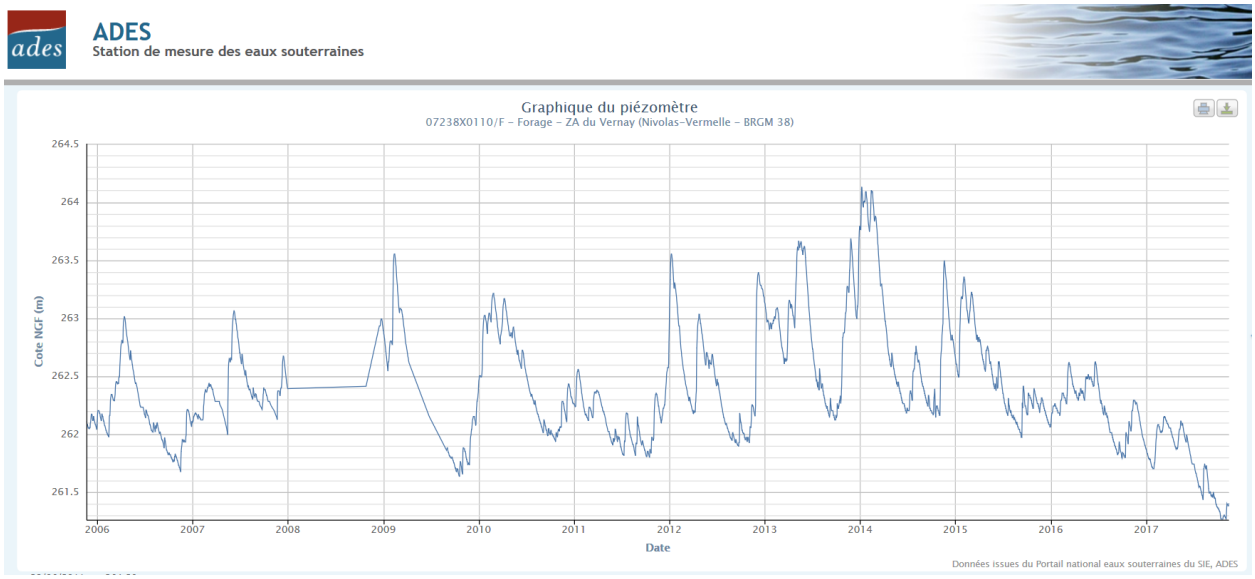


Illustration 12 : Chronique piézométrique du PE 07238X0110/F

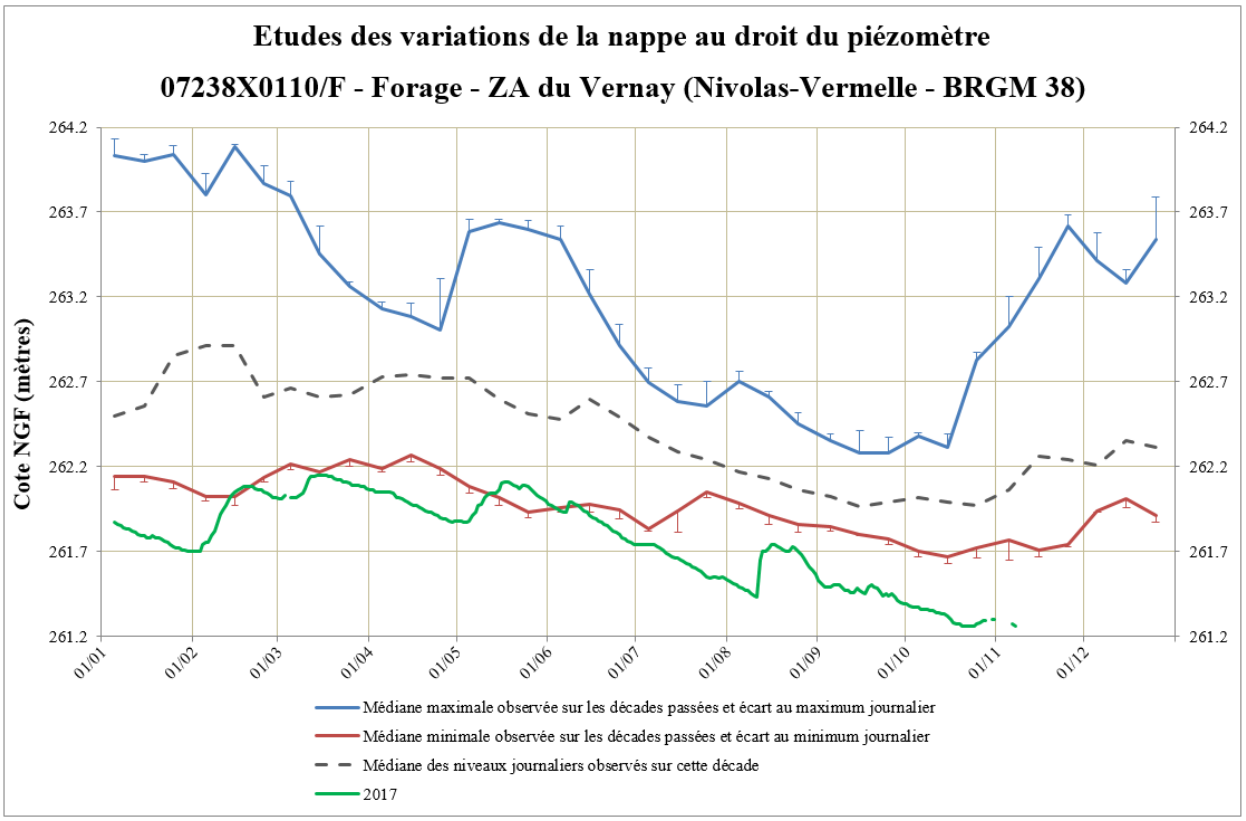


Illustration 13 : Statistiques piézométriques du PE 07238X0110/F (Source : ADES)

En termes de qualités des eaux, seuls les ouvrages de Véolia offrent des informations à proximité immédiate du site. Ces informations sont néanmoins localisées à l'aval hydraulique du site et chaque PE ne dispose que d'une analyse de très peu de substances et de plus de 10 ans d'ancienneté. Ces informations ne sont pas réellement utilisables.

Afin de permettre une caractérisation chimique de base des différents aquifères de la zone, nous avons donc réalisé un diagramme de Piper en intégrant tous les ouvrages présents dans un rayon de 15 km autour du site (cf. Illustration 14). Il apparait ainsi que les différents aquifères concernés par les analyses de cette centaine de PE, que l'on considère les alluvions de la Bourbre ou la molasse, présentent une chimie des eaux relativement proche avec un type d'eau bicarbonatée calcique et magnésienne commun.

Ces informations seront comparées à celles recueillies lors de cette étude.

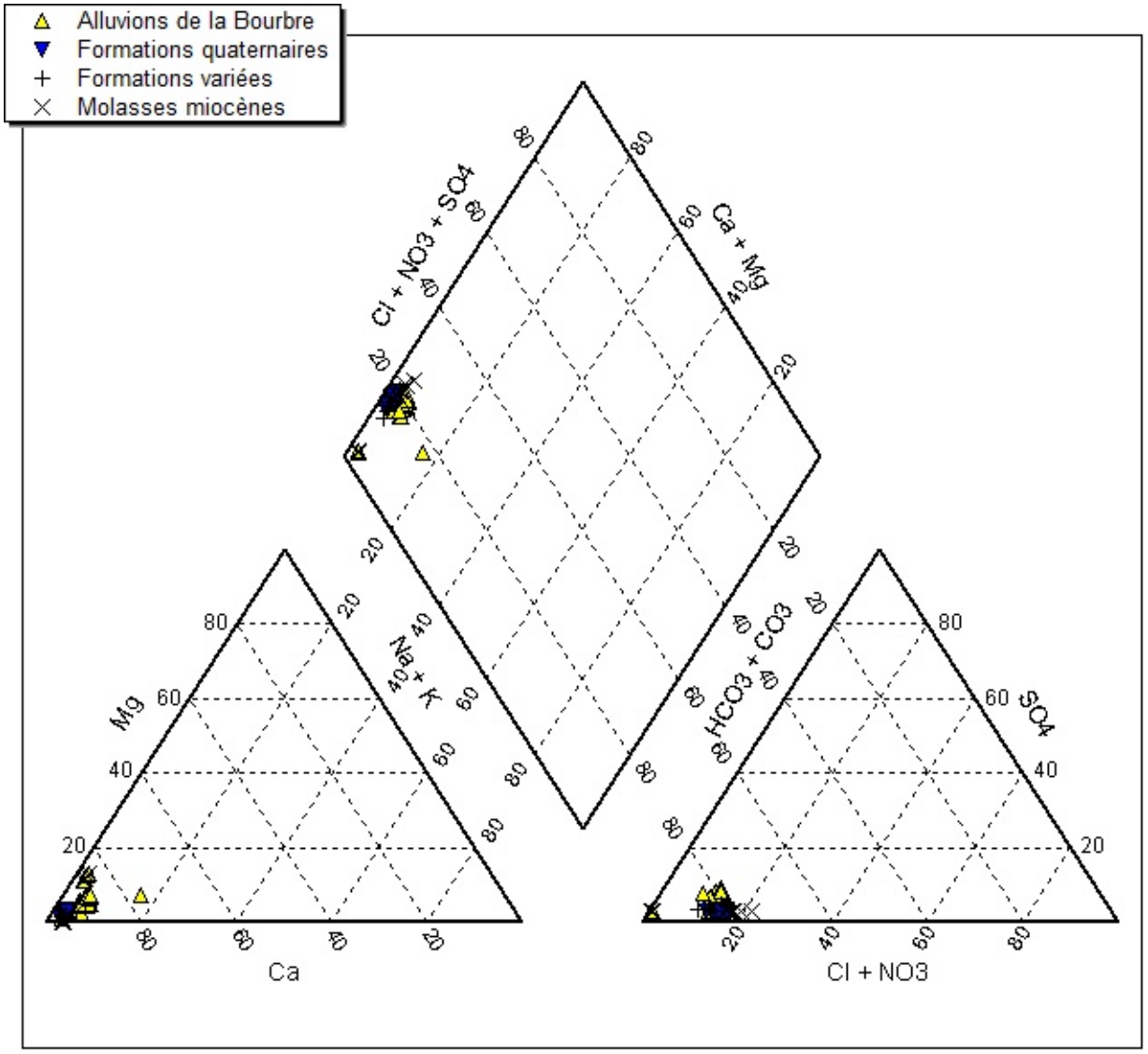


Illustration 14 : Caractéristiques chimiques des aquifères à proximité du marais (Diagramme de Piper) (Source : BRGM)

3.4. REFERENTIELS HYDROGEOLOGIQUES

3.4.1. MESO

Le référentiel des Masses d'Eaux SOuterraines (MESO) caractérise des ensembles hydrogéologiques destinés à être des unités d'évaluation de la directive cadre sur l'eau (DCE-2000/60/CE) dont l'objectif est de parvenir à un bon état de la ressource.

La Directive Cadre Eau introduit en effet la notion de « masses d'eau souterraine » qu'elle définit comme « un volume distinct d'eau souterraine à l'intérieur d'un ou de plusieurs aquifères » (article 5 et Annexe II) ; un aquifère représentant « une ou plusieurs couches souterraines de roches ou d'autres couches géologiques d'une porosité et d'une perméabilité suffisantes pour permettre soit un courant significatif d'eau souterraine, soit le captage de quantités importantes d'eau souterraine ».

La connaissance des référentiels permet, couplée à la chimie des eaux, d'exploiter au mieux les résultats d'analyse des eaux du marais, qui seront réalisées dans le cadre de cette étude, en les confrontant aux caractéristiques chimiques des autres masses d'eau souterraine. Dans certains cas, cette méthode peut permettre la mise en évidence de mélanges ou de conditions d'alimentation particulières du marais.

L'

Illustration 15 présente les MESO pouvant être en relation avec le marais. Trois ensembles majeures peuvent ainsi être identifiés :

- DG340 : les alluvions de la Bourbre qui sont localisées au droit même du marais
- DG248 et DG511 : les formations molassiques et conglomérats de Voreppe qui constituent les collines et le substratum des alluvions
- DG350 : les différents placages quaternaires pouvant être identifiés un peu partout dans le secteur, essentiellement dans les collines.

3.4.2. BD LISA

Le référentiel hydrogéologique BDLISA (Base de Données des LImites des Systèmes Aquifères) est un outil national qui permet de localiser les données relatives à l'eau souterraine. BDLISA vise à mettre à disposition, sur l'ensemble du territoire métropolitain et de l'outre-mer (à l'exception de Mayotte), une cartographie des entités hydrogéologiques.

La BDLISA correspond à un découpage du territoire national en entités hydrogéologiques (formations géologiques aquifères ou non) délimitées à 3 niveaux de détail suivant des règles élaborées dans le cadre d'une méthodologie nationale :

- Le niveau national (niveau 1 NV1) fournit une représentation nationale des grands ensembles hydrogéologiques. Il met en évidence leur distribution spatiale et leur importance en tant que ressource quantitative. C'est le support d'études d'orientation à l'échelle nationale. La gamme d'échelle d'utilisation cartographique est comprise entre le 1/500 000 et le 1/1 000 000 ;
- Le niveau régional (niveau 2 NV2) permet une représentation régionale ou par bassin des entités hydrogéologiques à une échelle de l'ordre du 1/250 000. Il doit permettre une qualification des systèmes aquifères au regard de leur importance en tant que ressource régionale, de leur vulnérabilité (à la sécheresse, aux pollutions) ;
- Le niveau local (niveau 3 NV3) correspond à la représentation la plus détaillée du référentiel, à une échelle de l'ordre du 1/50 000. Il identifie l'ensemble des entités connues, en s'appuyant sur les deux niveaux précédents et en les complétant, dans certaines zones, par l'identification des unités aquifères locales. Il constitue le support d'études ponctuelles permettant d'améliorer les connaissances hydrogéologiques (carte piézométrique, modélisation…).

Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé le niveau 3 afin d'avoir la représentation la plus fine possible des aquifères.

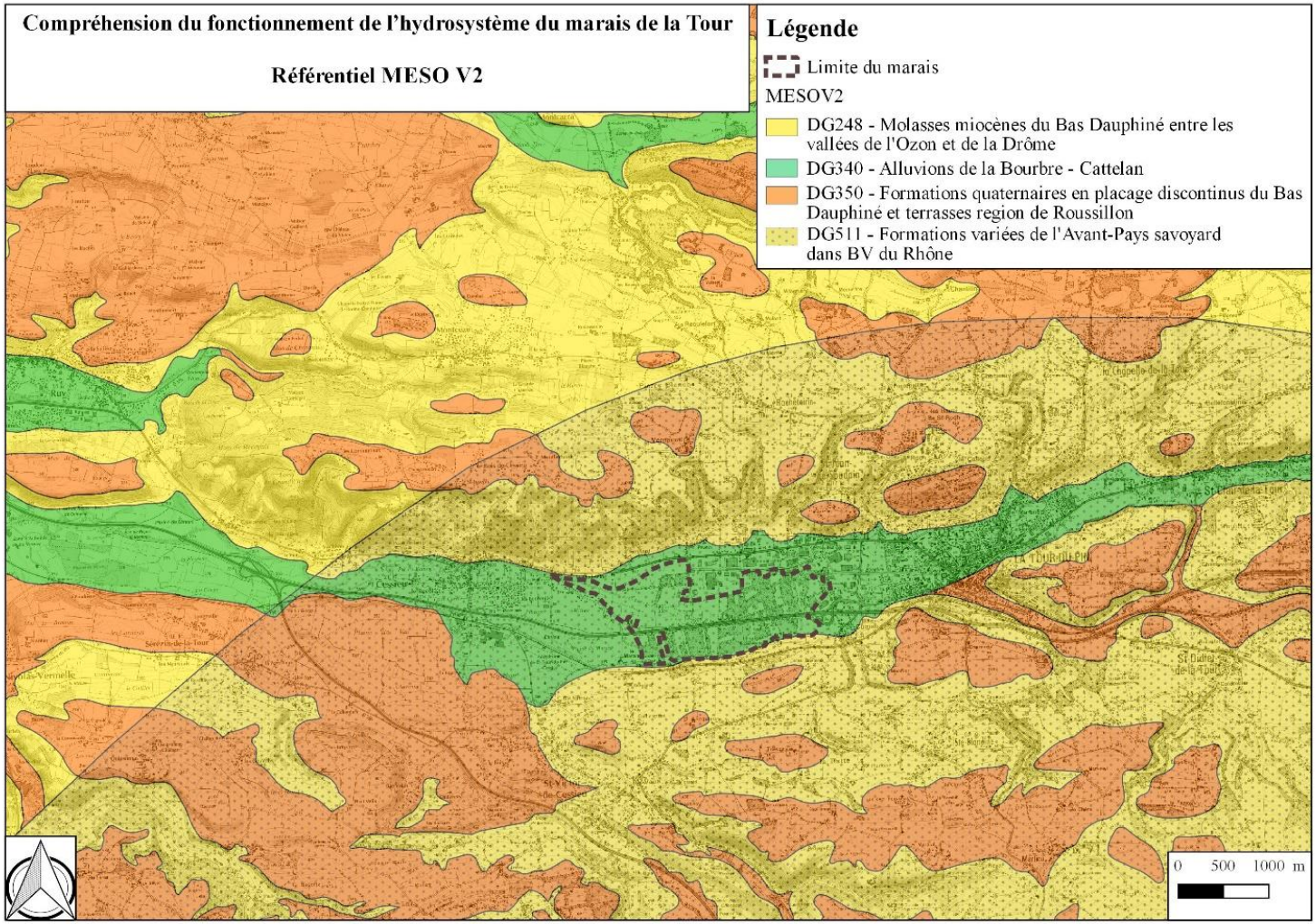


Illustration 15 : MESO V2 autour du marais (Source : BRGM)

L'Illustration 16 présente les entités hydrogéologiques majeures rencontrées autour du marais. Nous dénombrons ainsi 3 aquifères différents :

- Les alluvions de la Bourbre (code LISA 760AA12) ;
- Les formations molassiques du Bas-Dauphiné (521AU00) ;
- Les conglomérats de Voreppe (521AV00, formation apparentée à la molasse) ;

La connaissance des référentiels permet une nouvelle fois, couplée à la chimie des eaux, d'exploiter au mieux les résultats d'analyse des eaux du marais, qui seront réalisées dans le cadre de cette étude, en les confrontant aux caractéristiques chimiques des autres aquifères. Dans certains cas, cette méthode peut permettre la mise en évidence de mélanges ou de conditions d'alimentation particulières du marais.

L'Illustration 17 localise les entités hydrogéologiques secondaires. Ces entités sont souvent très localisées ou compartimentées. Elles dépendent de formations géologiques superficielles, comme des alluvions fluviatiles anciennes formant des terrasses plus ou moins déconnectées de la plaine alluviale ou des placages quaternaires d'origine glaciaire déposés par les glaciers sur les collines molassiques. Ce type de formation affleure dans la zone du marais et constitue, en quelques sortes, le contenant de la zone humide. Ce sont dans ces formations que seront identifiés les limons et autres zones argileuses à lentilles sableuses dans les premiers mètres des sondages.

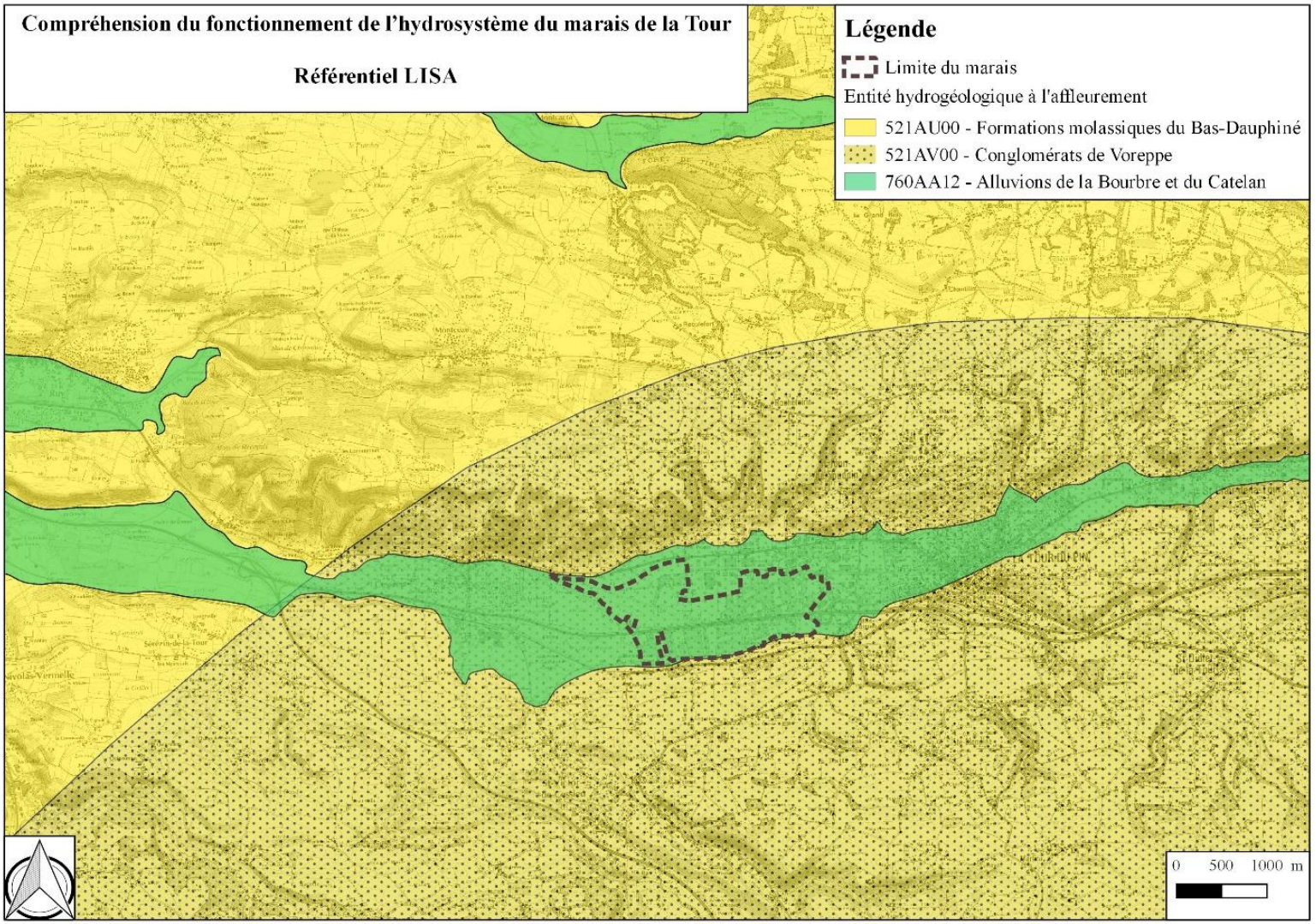


Illustration 16 : LISA autour du marais (Source : BRGM)

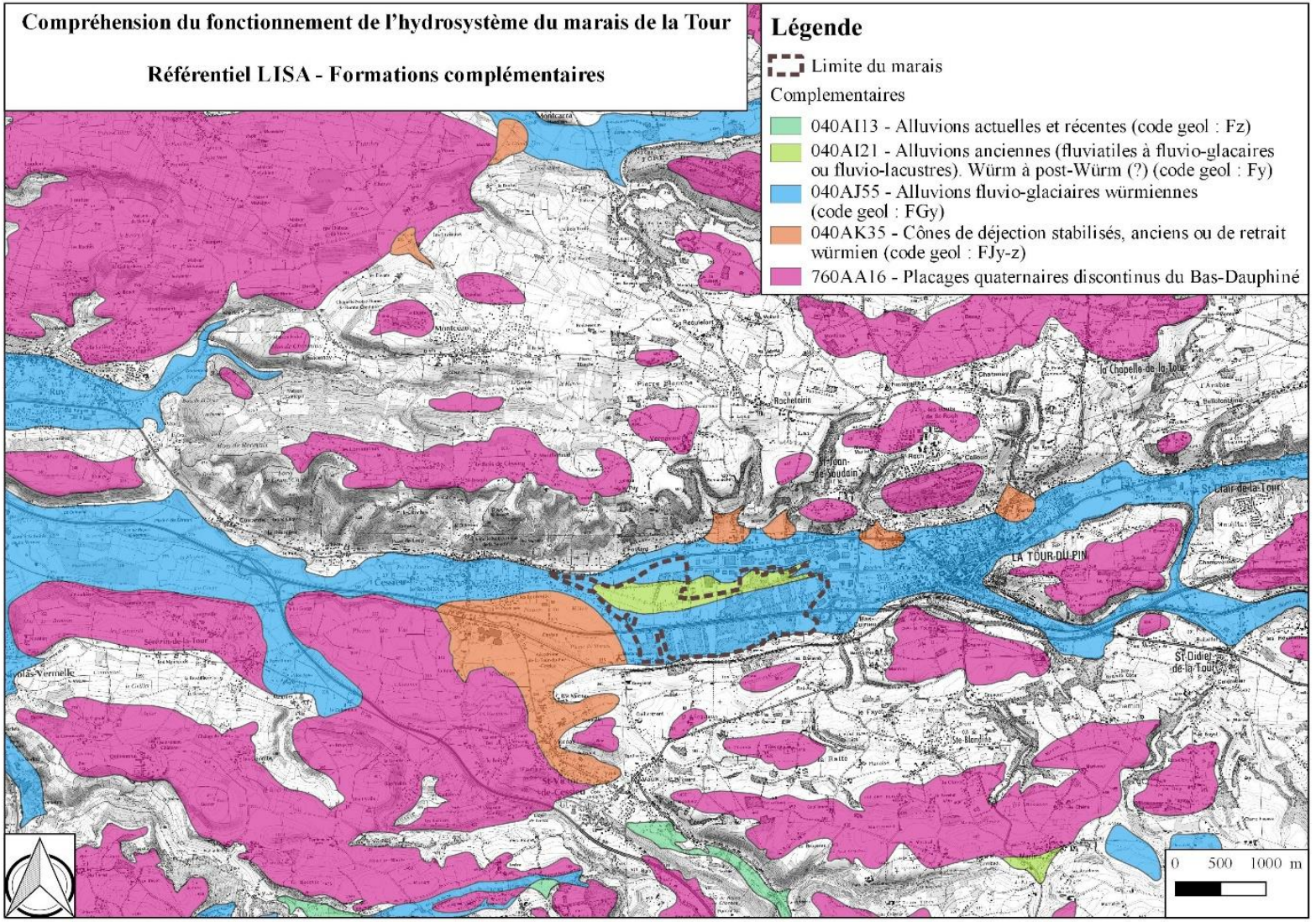


Illustration 17 : LISA (entités complémentaires) autour du marais (Source : BRGM)

4. Investigations de terrain

4.1. REPERAGES DU MARAIS

De fréquentes visites de terrain ont permis d'identifier divers écoulements selon les conditions météorologiques ou la localisation dans le marais. Ces informations sont consignées dans les paragraphes suivants. La Bourbre et le canal Mouturier sont bien entendu écartés de ces observations puisqu'ils font l'objet d'un suivi différent.

L'Illustration 19 localise les principales observations réalisées sur les différents fossés et dépressions pouvant être en eau ou secs. Il est important de noter que cette cartographie, valable en mai 2016 après une période pluvieuse, n'a pas été ré-observée depuis juillet 2016. En effet, les niveaux n'ont pas cessé de diminuer depuis l'étiage 2016, allant jusqu'à l'assèchement des mares les plus importantes à la fin octobre 2017 (Véolia et mares au cœur de la zone du marais vers les piézomètres BRGM PZ02 et PZ05).

4.1.1. Ecoulements de surface pérennes

Il y a un écoulement pérenne au nord du marais, longeant le PZ06, venant des collines molassiques pour se jeter dans le canal Mouturier (Illustration 18). La source de cet écoulement est à environ 430 m d'altitude.

Les coteaux au nord et au sud sont riches en émergences qui ont des orientations N-S et viennent se jeter dans le canal Mouturier pour les émergences au nord et dans les réseaux de fossés et drains pour les émergences venant du sud.



Illustration 18 : Ecoulement venant des collines molassiques, ruisseau du Cornu (Source : BRGM)

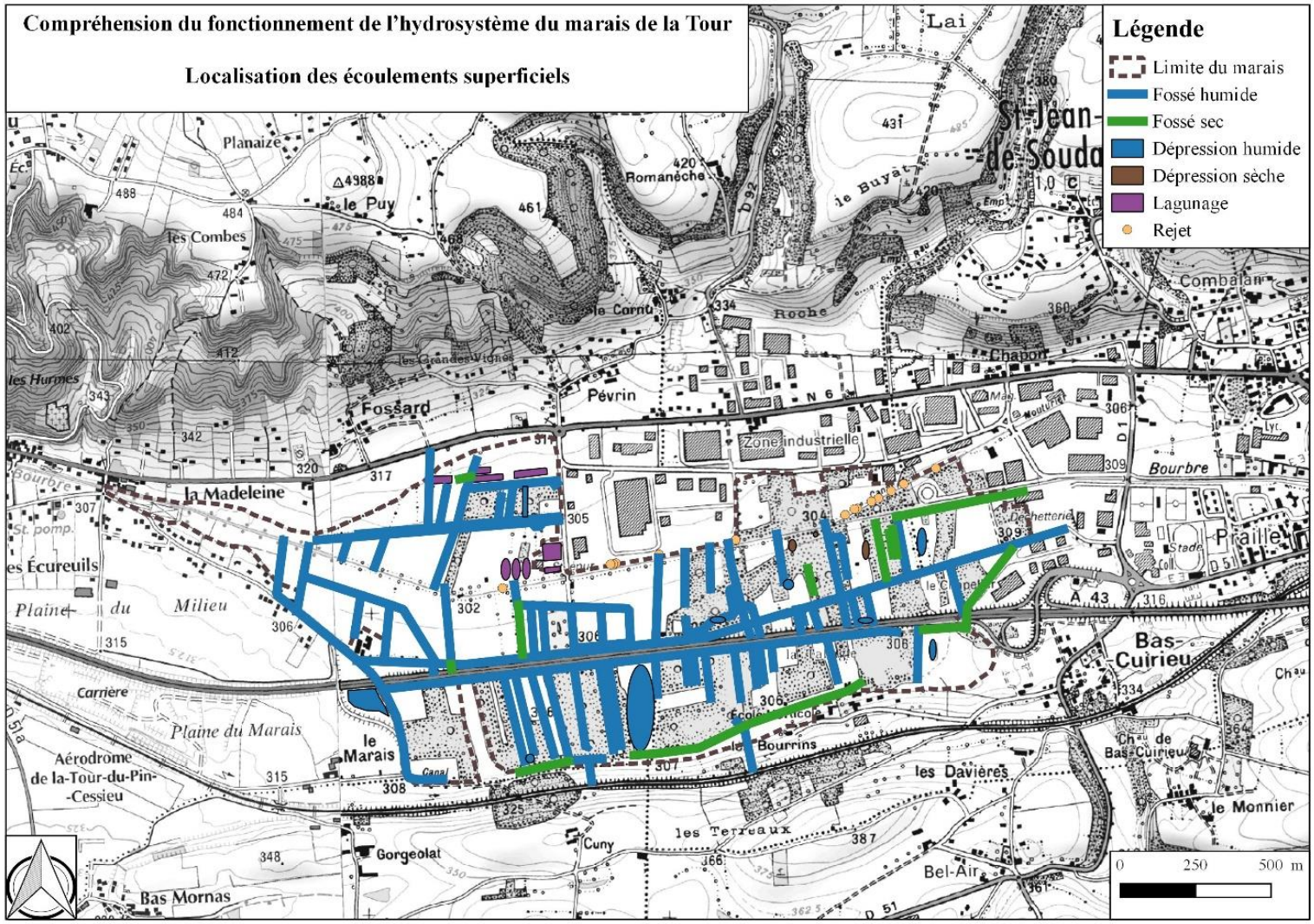


Illustration 19 : Localisation des écoulements superficiels (Source : BRGM)

4.1.2. Ecoulements temporaires

Une série de fossés est identifiée au cœur même du marais et fait office de réseau d'évacuation des eaux pluviales de la ZAC à l'est de la zone. Ces fossés peuvent certainement servir au drainage du marais lors de périodes où le niveau piézométrique est plus élevé de l'ordre de 1 à 2 m. En revanche, au cours de la période d'étude, l'écoulement y a été bref et peu fréquent, présent uniquement lors des gros épisodes pluvieux.

Le fossé principal est celui collectant les eaux pluviales au niveau de l'aire d'accueil des gens du voyage, à l'est du marais. Cet écoulement se jette dans la Bourbre au cœur du marais (Illustration 20).



Illustration 20 : Exutoire d'un fossé d'évacuation des eaux pluviales (Source : BRGM)

4.1.3. Les mares artificielles

Plusieurs mares ont été creusées au cours des années passées. Elles relèvent de différentes actions :

- Mesures compensatoires pour la mare de Véolia, au sud de l'autoroute (entre PZ04 et PZ08). C'est de loin la plus grande mare du secteur. Initialement il était prévu 3 petites mares mais le creusement a été trop profond et a visiblement dépassé le niveau argileux qui maintenait la nappe captive, induisant une inondation de la totalité de la parcelle et

une connexion des 3 mares. Cette mare était presque totalement asséchée en octobre 2017 (cf. Illustration 21) ;

- Création de milieux favorables au développement d'amphibiens, au cœur du marais par la CCVT. Ces 3 mares se sont asséchées pour la première fois au cours de l'année 2017 : la grande mare près du PZ05 s'est asséchée seulement en fin d'été 2017 alors que les 2 plus petites près du PZ02 étaient asséchées dès septembre 2016. Ces mares sont présentées sur l'Illustration 22 où on peut voir l'une d'elles équipée d'un enregistreur numérique afin de suivre la remontée du niveau de l'eau au cours des prochaines hautes eaux 2017-2018 ;
- Mesure compensatoire pour le bassin d'expansion des crues, bassin réalisé en 2017 à proximité de PZ06. Ce bassin est resté en eau pendant quelques mois avant l'été où il s'est asséché. Il est potentiellement alimenté par la nappe phréatique et par les écoulements pérennes venant du versant nord (Illustration 18, Illustration 23). Depuis décembre 2017, ce bassin est à nouveau en eau.

Ces mares sont localisées à proximité de piézomètres réalisés par le BRGM dans le cadre de cette étude. La prolongation de la période de suivi va potentiellement permettre d'étudier conjointement les variations des niveaux d'eau dans les piézomètres et dans les mares si celles-ci reviennent en eau au cours de l'hiver.



Illustration 21 : Mare Veolia asséchée en 2017 (Source : BRGM)



Illustration 22 : Mares artificielles asséchées au cœur du marais (Septembre 2017 -Source : BRGM)

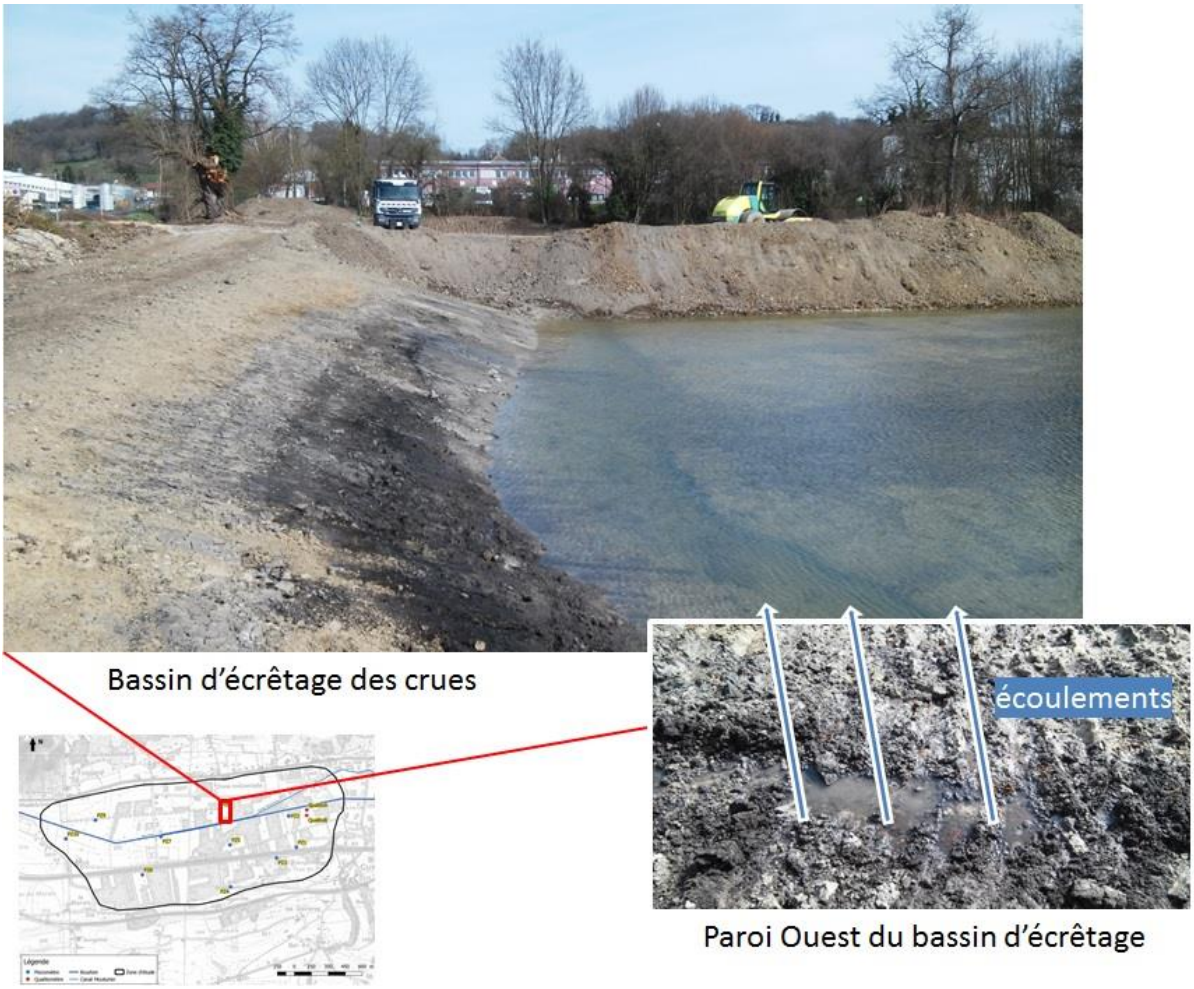


Illustration 23 : Ecoulements de subsurface alimentant le bassin d'expansion des crues de la Bourbre (Source : BRGM)

4.1.4. Prélèvements et rejet des entreprises de la ZAC

Deux industriels prélèvent de grandes quantités d'eau à proximité immédiate du marais :

- L'entreprise Ferrari, spécialisée dans la fabrication de matériaux composites flexibles, prélève 650 000 mètres cubes par an dans les alluvions. L'entreprise utilise l'eau à des fins de refroidissement et la rejette intégralement dans le canal Mouturier. Un projet est à l'étude pour recycler entièrement l'eau prélevée et fonctionner en circuit fermé.
- L'entreprise Porcher, spécialisée dans les textiles techniques innovants, prélève 220 000 mètres cubes par an dans la nappe alluviale avant traitement par l'industriel et rejet dans le réseau collectif d'eaux usées.

Ces prélèvements, malgré leur importance, ne sont pas identifiés dans les chroniques piézométriques acquises dans le marais. Ils semblent ainsi être sans impact direct sur l'hydrosystème du marais, preuve de la forte productivité de la nappe des alluvions de la Bourbre.

4.2. FORATION DES PIEZOMETRES ET QUALITOMETRES

4.2.1. Piézomètres

Dix piézomètres ont été mis en place pour mesurer l'évolution du niveau de la nappe alimentant la zone humide. Ces piézomètres ont été implantés de part et d'autre de la Bourbre et de l'autoroute (cf. Illustration 24), dans les alluvions quaternaires. Les ouvrages font entre 6 et 8 m de profondeur (cf. Illustration 10).

Les ouvrages sont présentés en photo dans l'annexe 2.

La campagne de forages s'est déroulée du 12/09/2016 au 14/09/2016.

Les piézomètres ont été foncés par le BRGM à l'aide d'un marteau piqueur. Une pointe en acier de 7 cm de diamètre, dite pointe perdue puisqu'elle reste au fond du trou, est fixée à un tube acier de 5 cm de diamètre et va traverser les formations superficielles grâce à la percussion du marteau. La vitesse d'avancement du fonçage est, en partie, liée à la lithologie rencontrée : rapide pour les formations argileuses, plus lente pour les formations graveleuses. Ces vitesses de descentes, associées à l'analyse des sondages faits en parallèle à la tarière, ont été corrélées pour interpréter les coupes lithologiques des ouvrages.

Les piézomètres ont été équipés de tube PEHD de 2.5 cm de diamètre, crépinés sur le dernier mètre (ouverture de 1 mm). Un massif filtrant constitué de graviers de calibre 2/4 a été mis en place. La tête a été protégée à l'aide d'un capot PVC (de 110 ou 300 mm), cimenté assez largement autour du forage pour le protéger des infiltrations venant de la surface.

L'Illustration 25 présente le matériel et les différentes étapes du fonçage des piézomètres.

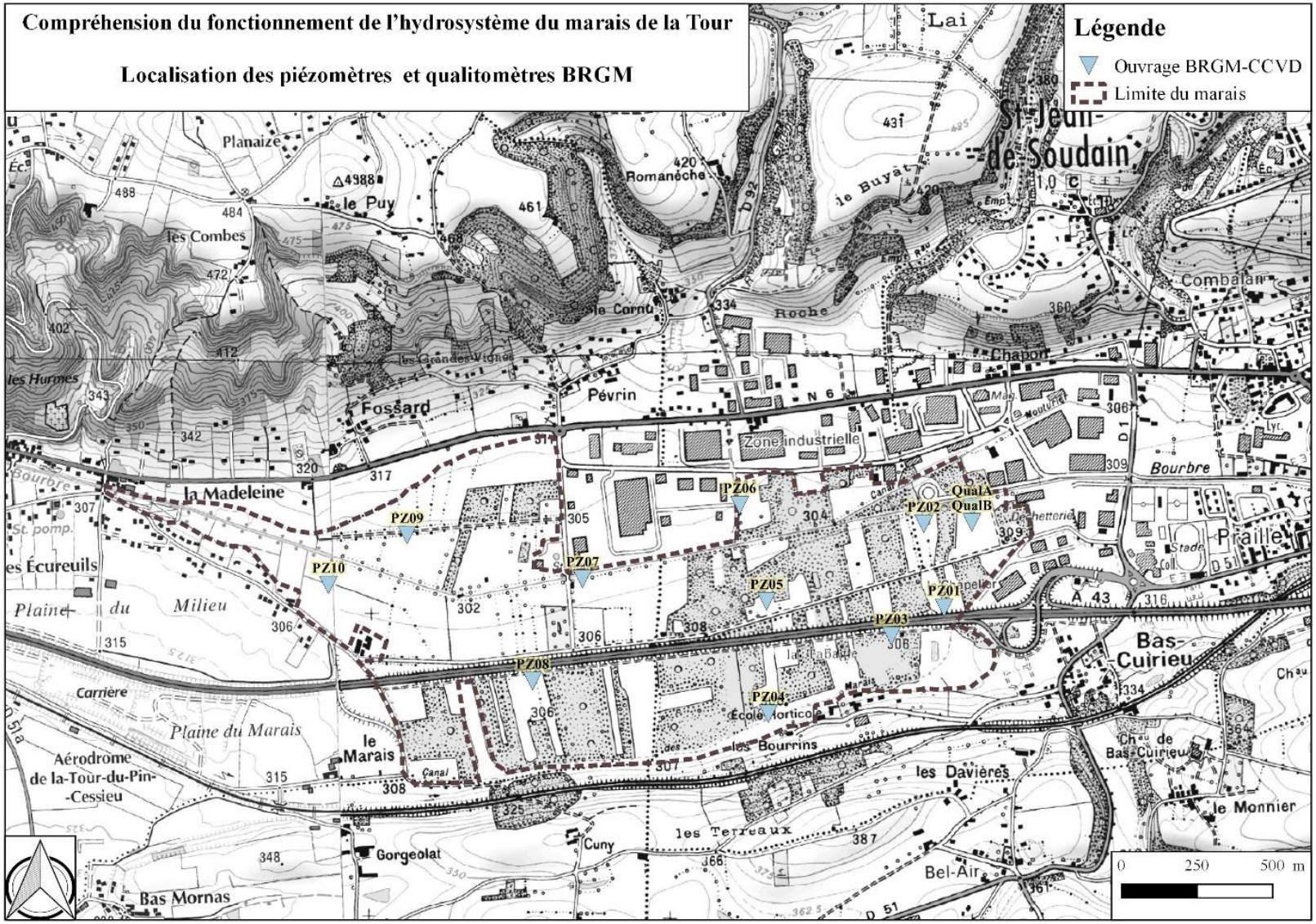


Illustration 24 : Localisation des piézomètres et qualitomètres BRGM (Source : BRGM, IGN)



Illustration 25 : Reportage photographique sur le fonçage des piézomètres (Source : BRGM)

4.2.2. Qualitomètres

Deux qualitomètres (QualA, QualB) ont été mis en place à l'est de la zone d'étude, dans un pré à vaches à proximité de la zone de décharge remblayée (cf. Illustration 24). L'objectif de ces ouvrages est d'analyser la qualité des eaux souterraines en aval hydraulique de la décharge afin de vérifier une éventuelle contamination des eaux souterraines. En effet, les études précédentes n'ayant procédées qu'à des analyses de sols, nous n'avons à ce jour aucune information concernant l'existence d'une éventuelle pollution de la nappe phréatique.

Les forages ont été effectués le 29/11/2016. Les qualitomètres ont été foncés jusqu'à 7 m de profondeur de la même manière que les piézomètres. Ils ont été équipés de tubes PEHD de 25 mm de diamètre et sont crépinés sur le dernier mètre (ouverture 1 mm). Un massif filtrant a été mis en place, surmonté d'un bouchon de Bentonite pour bien imperméabiliser l'ouvrage des infiltrations superficielles. Un coffret scellé vient coiffer et sécuriser l'ouvrage. Il permet en outre la pose d'un enregistreur numérique afin de suivre les variations du niveau de la nappe. Ces 2 ouvrages servent donc également de piézomètres.

4.3. SONDAGES A LA TARRIERE

Le fonçage est une méthode intrusive, sans remontée d'échantillons de sol (*cuttings* de foration). Lors de l'implantation des piézomètres, nous n'avons donc pas pu appréhender les formations traversées autrement qu'en fonction de la vitesse de fonçage. Pour caractériser les premiers mètres, des sondages à la tarière manuelle ont été effectués à proximité de chacun des ouvrages. Les coupes des sondages sont disponibles en Annexe 3.

Au cœur du marais, subsiste, dans les premiers centimètres, un horizon humique voire tourbeux de plusieurs centimètres d'épaisseur, notamment à proximité du PZ02

Les terrains sont majoritairement argilo sableux voire franchement argileux à passées sableuses, au sud de l'autoroute (PZ08, PZ04, PZ03) et au cœur du marais (PZ05).

A l'est, au niveau de PZ02 et des deux qualitomètres le sous-sol est constitué de sables moyens de plusieurs mètres d'épaisseur sous une couche d'argile bleue compacte d'une puissance d'environ 1,5 m (Illustration 26).

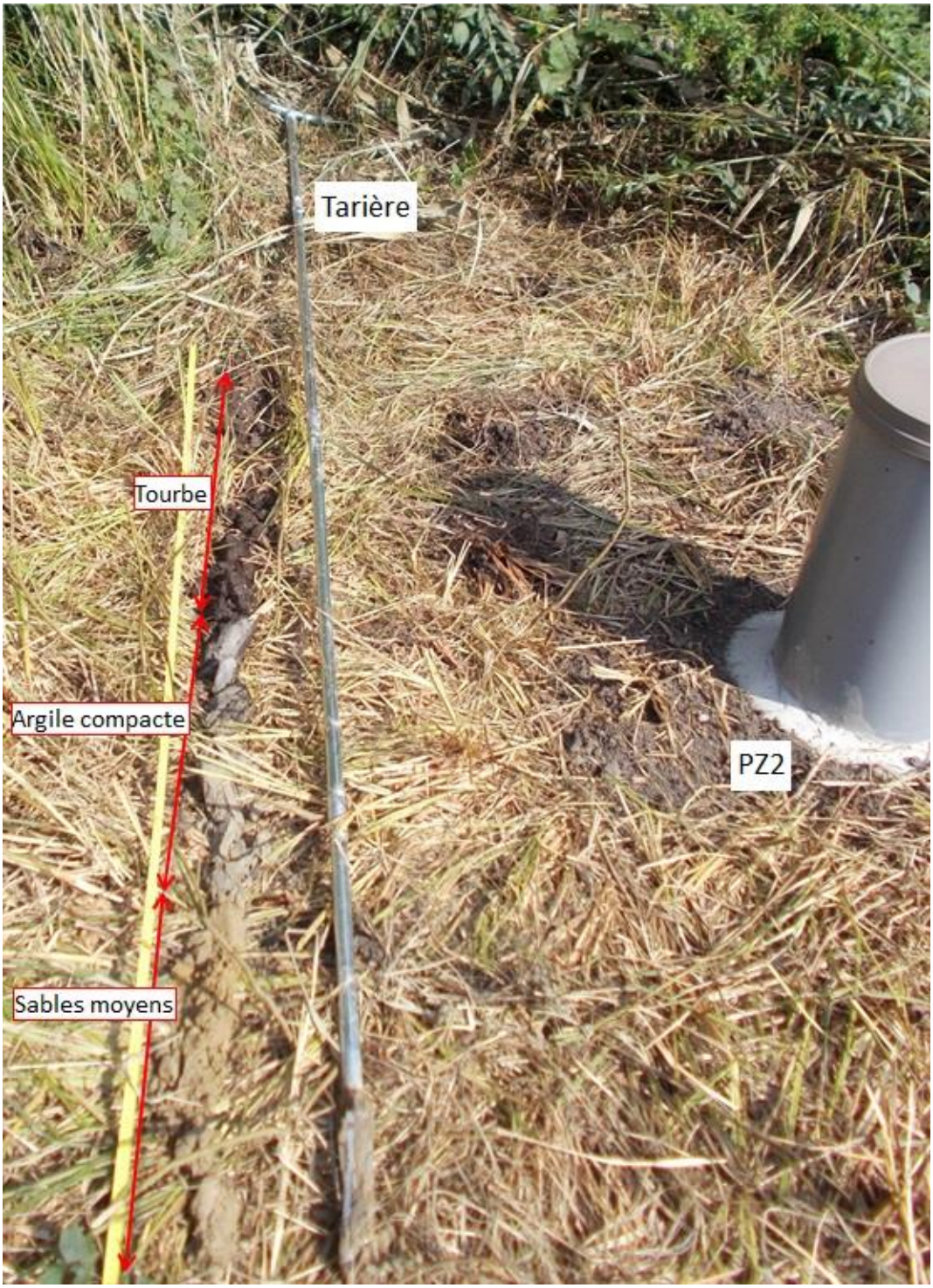


Illustration 26 : Sondage à côté de PZ02 (Source : BGRM)

A l'ouest, sous une fine couche d'argile sableuse les terrains sont constitués de gros blocs dans une matrice argilo sableuse. Les blocs sont globalement calcaires et bien arrondis (gravier roulé de la Bourbre).

4.4. RESEAU PIEZOMETRIQUE

4.4.1. Instrumentation des stations

Pour suivre le plus précisément possible les variations du niveau de la nappe alimentant la zone humide, les ouvrages ont été équipés de sondes de pression. Les sondes installées sont des Orpheus Mini (OTT), permettant l'enregistrement du niveau piézométrique ainsi que de la température. Le pas de temps d'acquisition est de 5 minutes pour la mesure du niveau d'eau et de 1 heure pour la mesure de la température. Ce pas de temps court permet d'établir une chronique des variations piézométriques fines et donc de mesurer la réactivité de l'hydrosystème vis-à-vis des évènements météorologiques.

Au total, 20 sondes sont déployées dans la zone d'étude (cf. Illustration 27).

Elles sont installées au niveau de :

- 10 piézomètres BRGM,
- 2 qualitomètres BRGM,
- 3 forages appartenant à Véolia,
- 1 forage d'alimentation de l'entreprise Serge Ferrari,
- 4 échelles limnimétriques : 2 pour la Bourbre, 1 pour le canal Mouturier et 1 mare.

A ces stations de mesures numériques, viennent s'ajouter 8 points de mesures manuelles, principalement positionnés sur des fossés mais également 2 autres sur la Bourbre.

Le réseau de suivi complet comprend ainsi 28 points de mesure répartis sur l'ensemble de la zone du marais.

Afin de pouvoir exploiter au mieux les données recueillies, ces points ont fait l'objet d'une opération de nivellement par le BRGM (détermination de l'altitude NGF des repères de manière à pouvoir comparer les différents ouvrages).

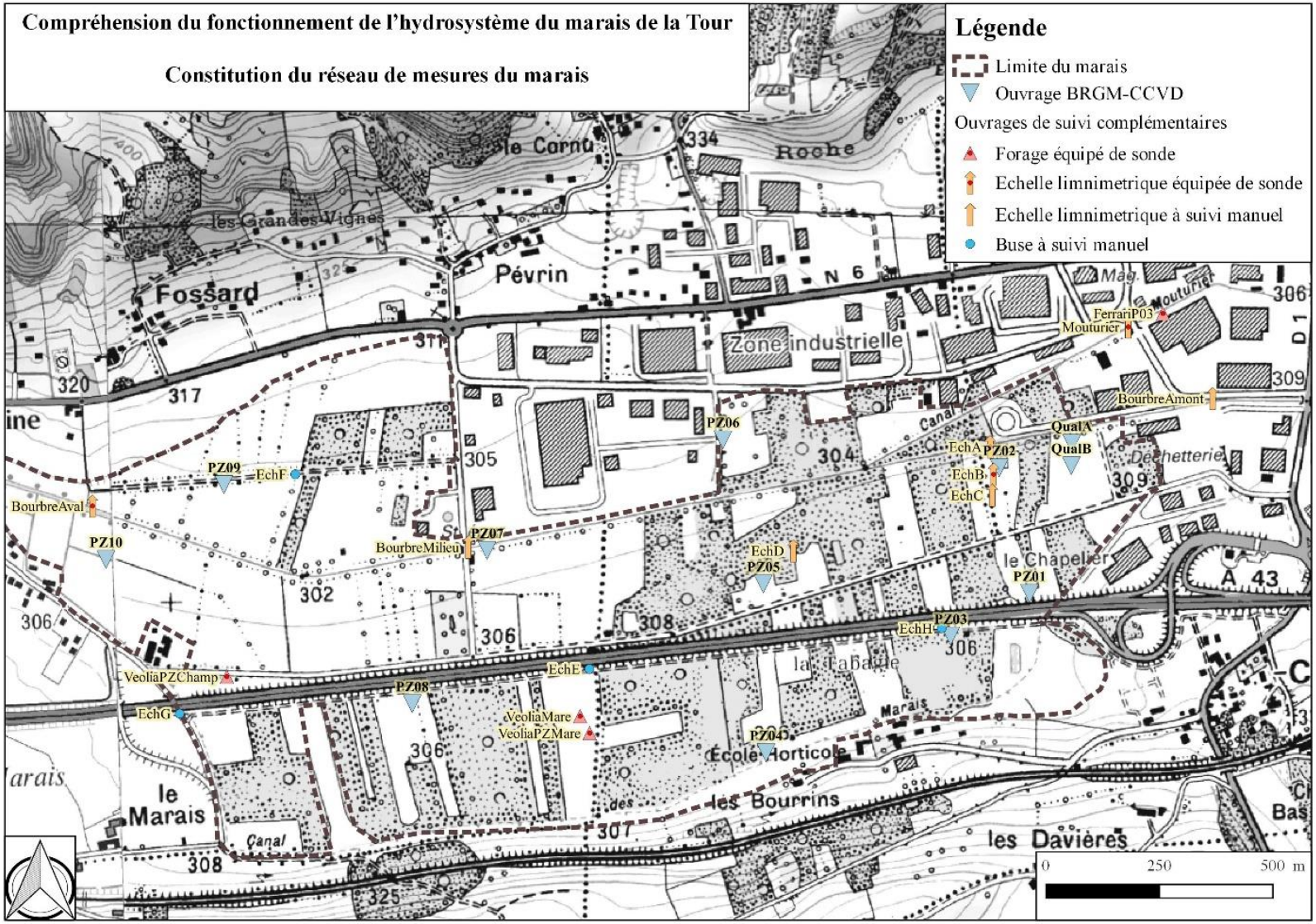


Illustration 27 : Constitution du réseau de mesures du marais (Source : BRGM, IGN)

4.4.2. Chroniques piézométriques

Les stations avec enregistreur numérique sont relevées mensuellement par un opérateur BRGM afin d'éviter au maximum la perte de données en cas de panne ou de dégradation du matériel entre 2 passages. Les chroniques ainsi récupérées sont ensuite compilées avec les chroniques passées pour permettre de visualiser l'ensemble des variations des niveaux d'eau depuis la mise en place du réseau. Aucune panne importante n'est venue nuire à la collecte des données qui sont ainsi très nombreuses à être traitées.

Compte tenu des conditions hydrologiques particulières du cycle 2016/2017, le BRGM a proposé de poursuivre le suivi 6 mois de plus en espérant pouvoir observer une recharge de l'aquifère. Ce suivi complémentaire a été fructueux et a permis d'observer correctement la recharge des différents compartiments de l'hydrosystème et en particulier le remplissage des 2 mares creusées récemment qui s'étaient asséchées dès le début de l'étude (échelle B suivie par une sonde).

Les illustrations suivantes présentent les chroniques des différents points d'eau suivis dans le cadre de ce projet (regroupés selon leur localisation, le compartiment de l'hydrosystème ou la forme du signal enregistré…). Ces données seront interprétées dans le paragraphe 5.1.

Afin d'en faciliter la lecture et de permettre la comparaison entre points de suivi, l'ensemble des graphiques est réalisé avec la même échelle en altitude.

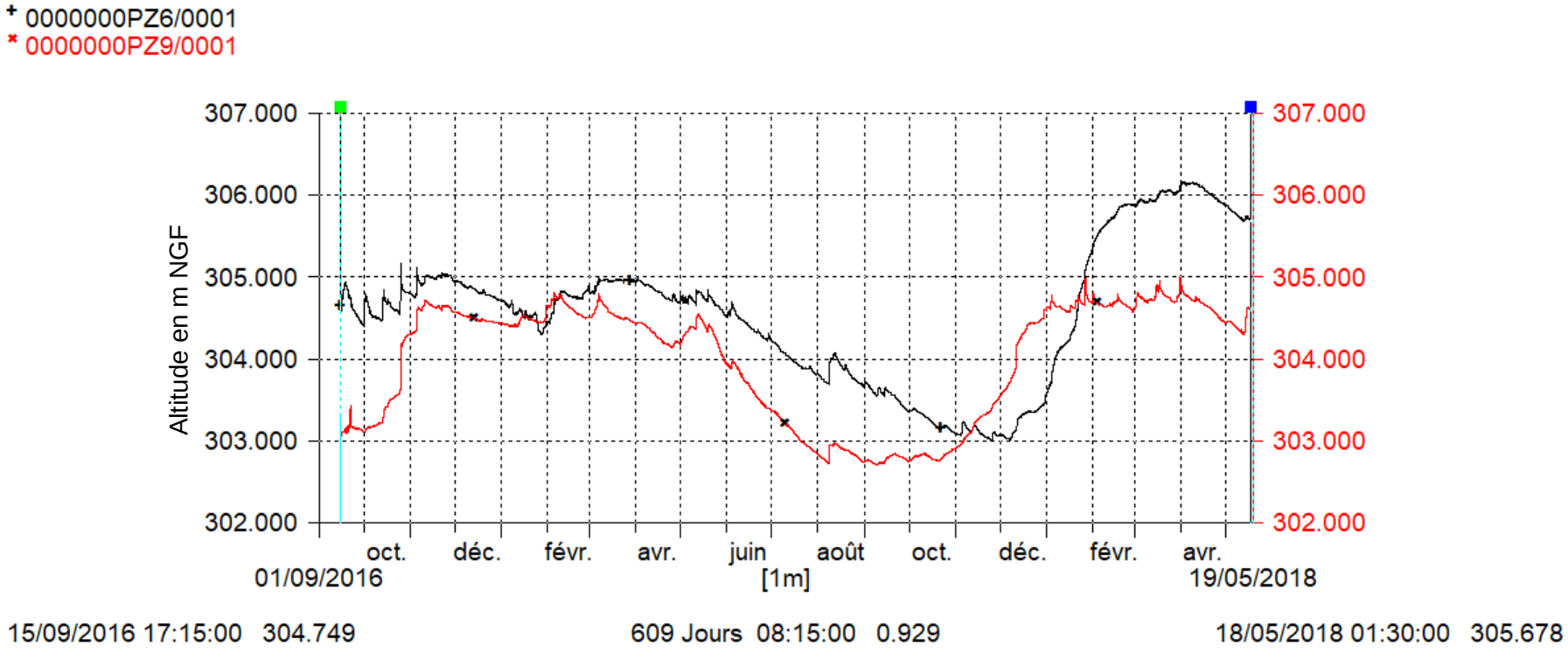


Illustration 28 : Chronique piézométrique des piézomètres BRGM en rive droite de la Bourbre (PZ06 et PZ09)

Outre les variations saisonnières de grandes amplitudes, on observe de petits pics pouvant identifier des précipitations ou crues de cours d'eau.

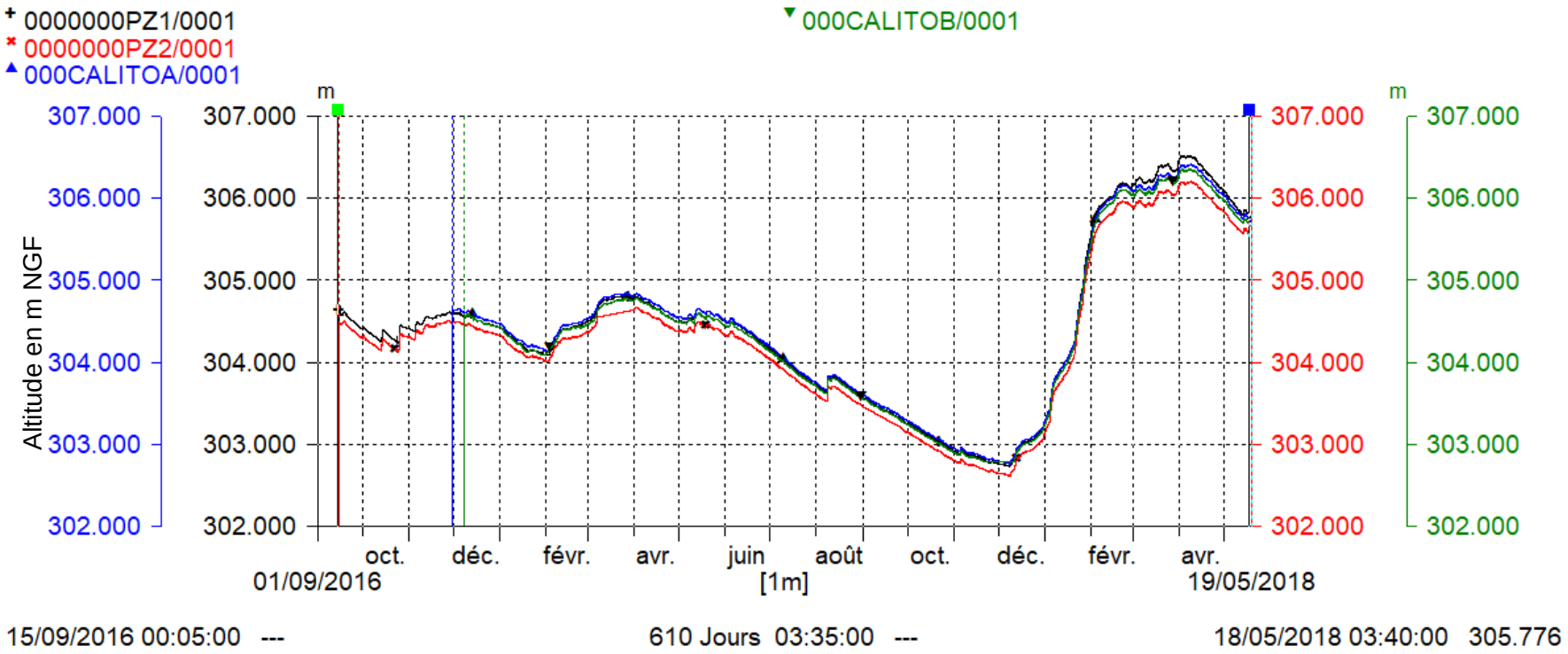


Illustration 29 : Chronique piézométrique des piézomètres BRGM au cœur du marais, secteur est (PZ01, PZ02, QualitometreA et QualitometreB)

Sur ces chroniques, on observe essentiellement les variations saisonnières.

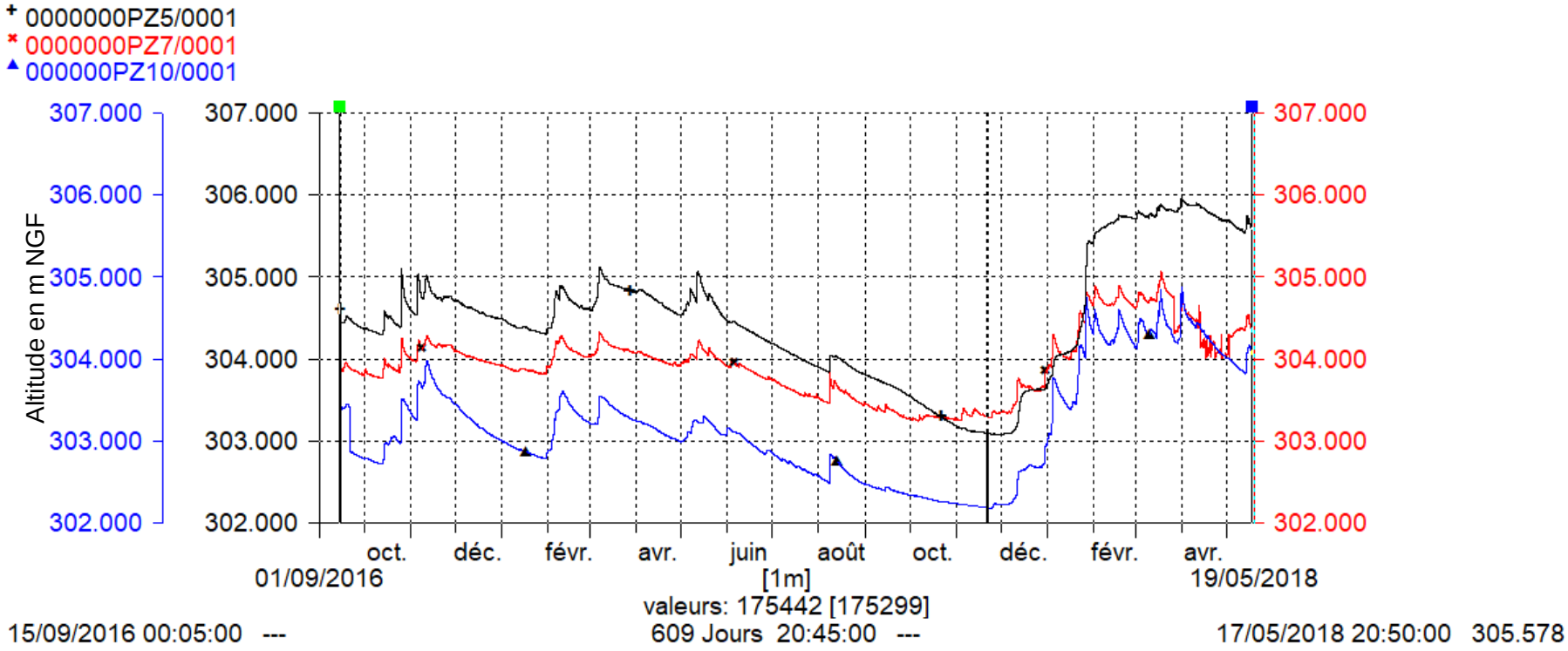


Illustration 30 : Chronique piézométrique des piézomètres BRGM au cœur du marais, secteur ouest (PZ05, PZ07 et PZ10)

Outre les variations saisonnières de grandes amplitudes, on observe de petits pics pouvant identifier des précipitations ou crues de cours d'eau.

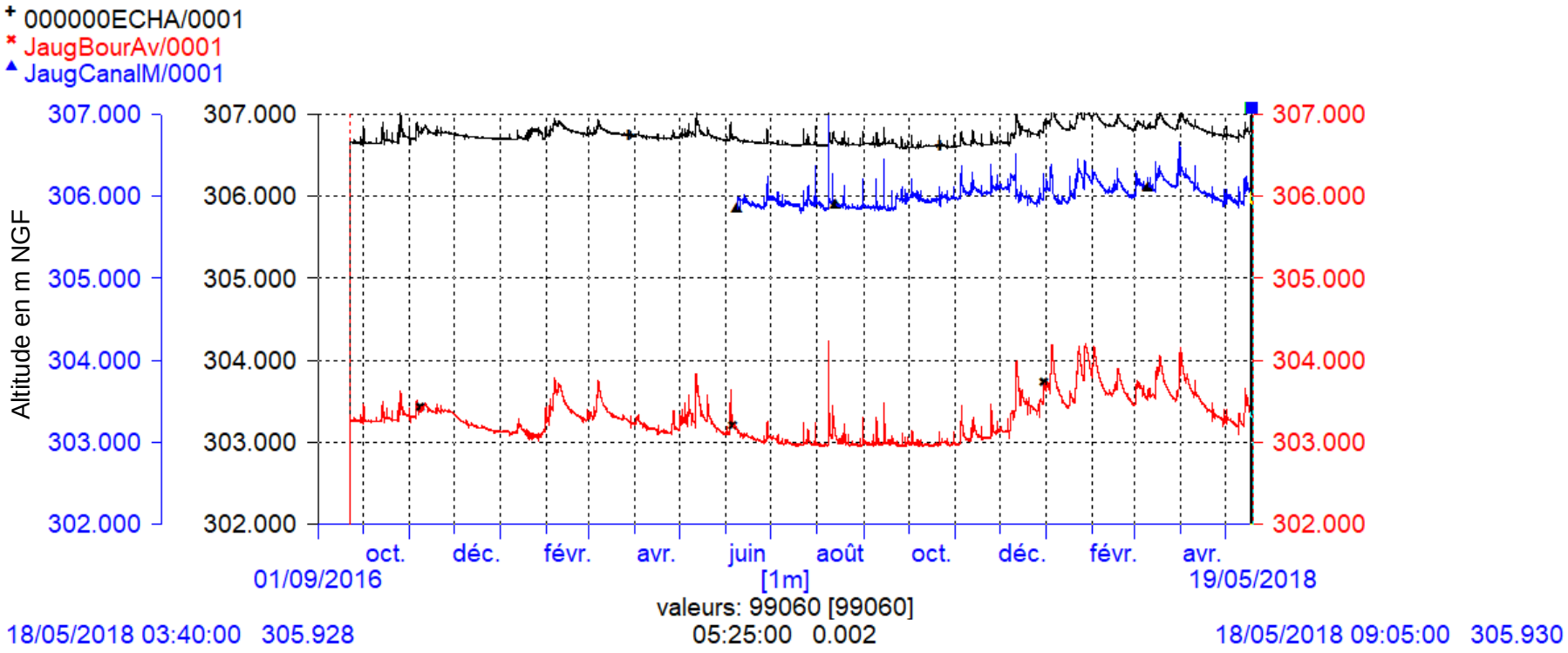


Illustration 31 : Chronique du niveau d'eau de la Bourbre (amont et aval) et du canal

Chaque crue est bien représentée sur ces chroniques, desquelles on identifie clairement une période de niveaux assez bas, sur 2016 et 2017 et une période de hautes eaux débutant au mois de décembre 2017.

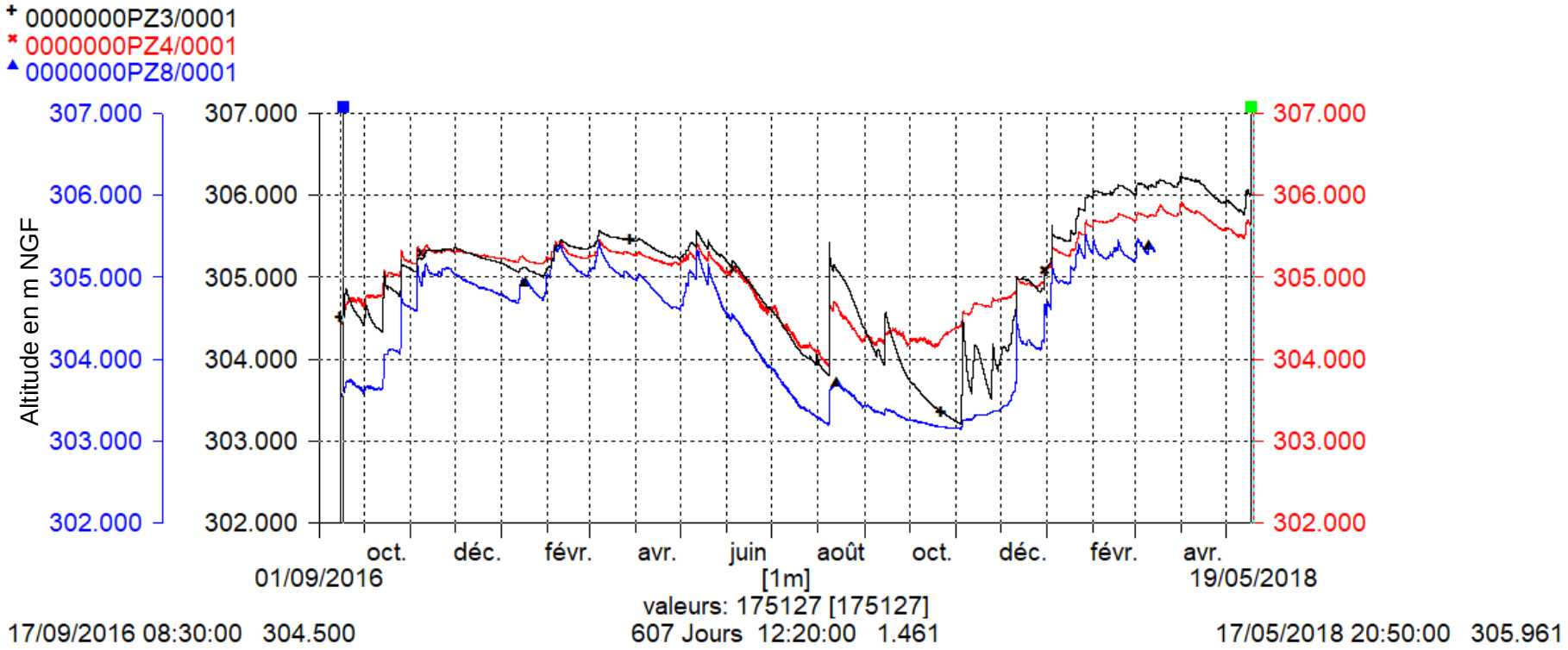


Illustration 32 : Chronique piézométrique des piézomètres BRGM au sud de l'autoroute (PZ03, PZ04 et PZ08)

Outre les variations saisonnières de grandes amplitudes, on observe de petits pics pouvant identifier des précipitations ou crues de cours d'eau.

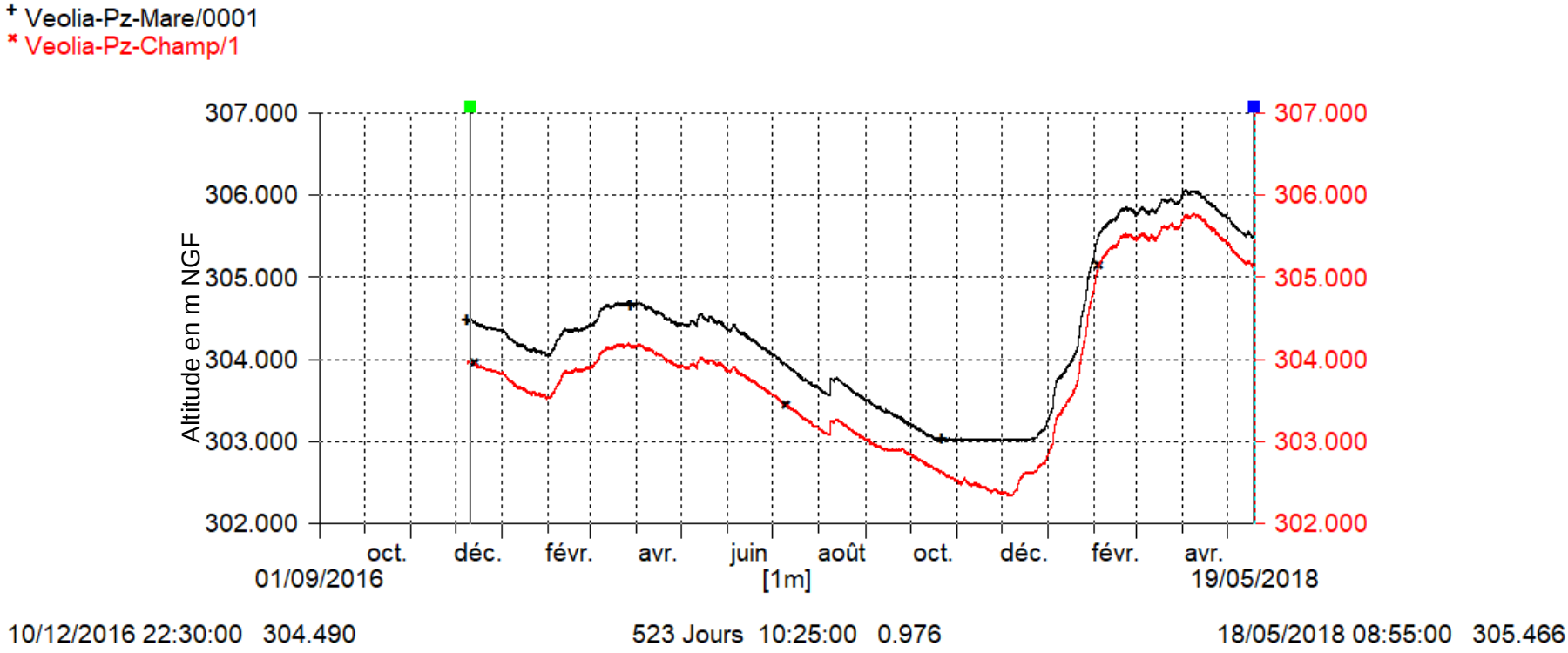


Illustration 33 : Chronique piézométrique des piézomètres Véolia (mare et champ)

Sur ces piézomètres plus profonds, on observe principalement les variations saisonnières.

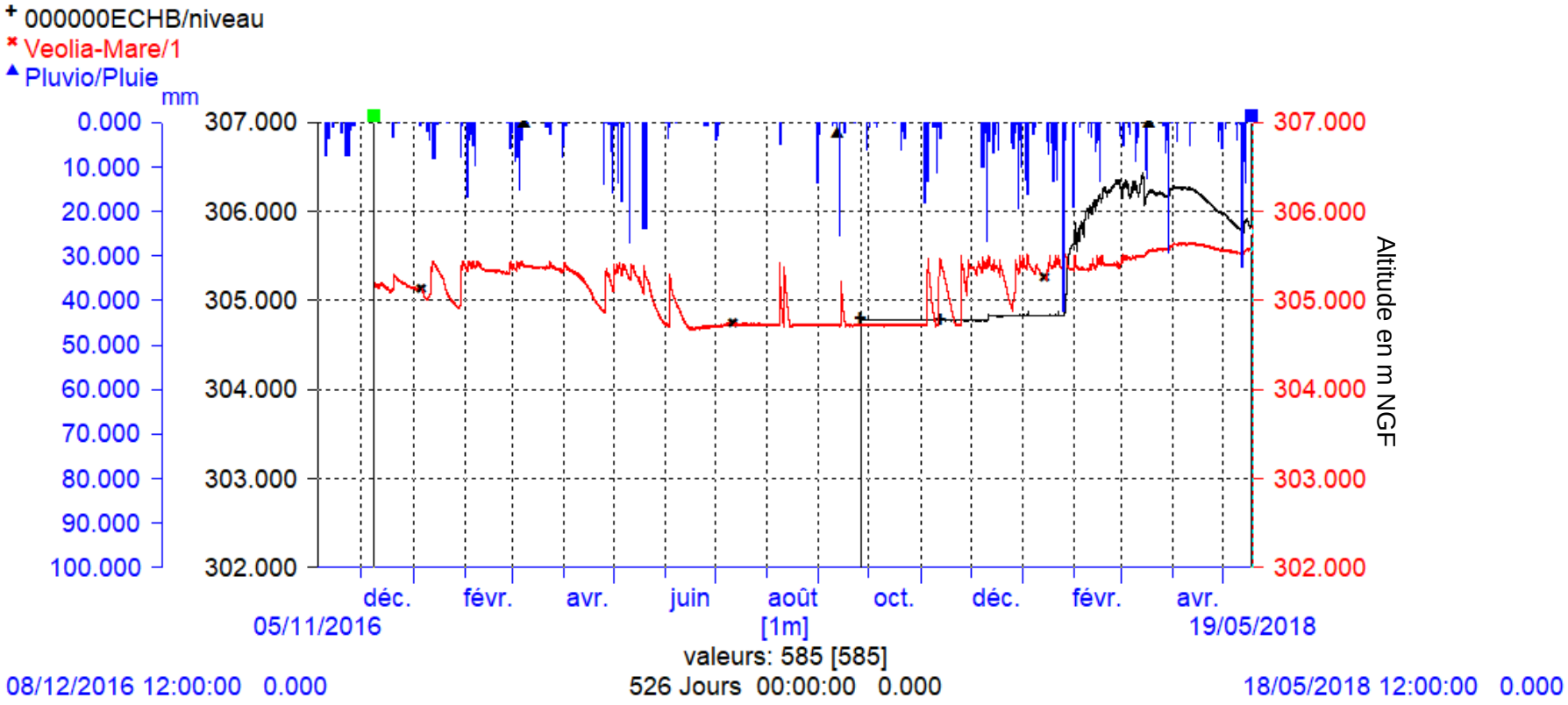


Illustration 34 : Chronique des niveaux des mares et précipitations (EchB CCVD et Veolia)

La grande mare de Véolia a été suivie à l'aide d'un tubage crépiné mis en place par Véolia. La stabilité observée entre juin 2017 et décembre 2017 correspond à la période où le niveau de la mare était trop bas pour être mesuré.

4.5. APPROCHE DE LA PERMEABILITE

Aucune information concernant les caractéristiques hydrodynamiques au droit du marais n'étant disponible en bibliographie, nous avons dû procéder à différents essais afin d'estimer au mieux la perméabilité de la zone.

4.5.1. Slug test

a) Principe et méthode

Le *slug test* (ou choc hydraulique) permet d'approcher la perméabilité locale aux alentours d'un ouvrage. Cela consiste à suivre l'évolution de la charge hydraulique en fonction du temps après avoir fait varier la charge initiale (Illustration 35).

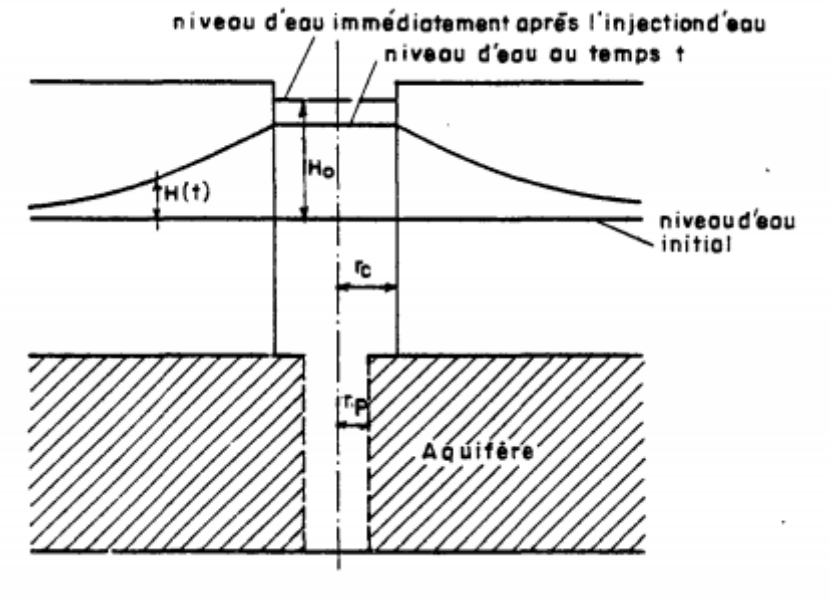


Illustration 35 : Schéma de principe du slug test, illustration d'après le rapport BRGM/82-SGN-943-EAU [Petit et al., 1982]

La méthode utilisée ici est celle de Bouwer & Rice [1976]. Bien que peu précise, cette méthode permet tout de même d'approcher l'ordre de grandeur de la perméabilité locale K (en $m.s^{-1}$) au niveau de quelques ouvrages du réseau piézométrique de l'étude. Dans notre cas, elle permet assurément de comparer les ouvrages entre eux et de renseigner sur l'homogénéité ou l'hétérogénéité des terrains.

b) Résultats

Les *slug tests* ont été effectués sur huit ouvrages les 9 et 12 février 2017. L'opération a été doublée sur la plupart des points afin de vérifier la reproductibilité et s'assurer de la robustesse des résultats.

Nom	K ($m.s^{-1}$) Slug Tests
PZ01	5.10^{-5}
PZ02	4.10^{-5}
PZ03	2.10^{-7}
PZ04	2.10^{-6}
PZ06	3.10^{-4}
PZ07	5.10^{-5}
PZ10	4.10^{-5}
QualA	1.10^{-5}

Illustration 36 : Tableau de synthèse des slug tests réalisés sur les piézomètres BRGM (Source : BRGM)

La perméabilité est relativement homogène au cœur du marais, proche de 10^{-5} $m.s^{-1}$.

Au sud du marais, au pied des versants, les PZ03 et PZ04, sont implantés dans des formations plus imperméables (10^{-6} et 10^{-7} $m.s^{-1}$). Ces résultats sont en accord avec les formations rencontrées lors des sondages : argile compacte au sud et argile sableuse au cœur du marais.

Si ces perméabilités peuvent paraitre faibles, elles permettent néanmoins de pomper à 500 L/h dans les qualitomètres BRGM sans induire de rabattement, permettant d'effectuer les prélèvements qui ont été analysés.

4.5.2. Pompage d'essai

Un pompage d'essai permet de calculer les paramètres hydrodynamiques d'un aquifère, tels que la perméabilité et la porosité. Ces paramètres traduisent la productivité de l'aquifère et permettent ainsi une comparaison entre les différentes ressources.

La réalisation d'un forage et d'un pompage d'essais avait été proposée en option de ce projet mais non retenue en première instance. En effet, le coût relativement important de l'opération, au regard de l'intérêt direct de cette action pour l'aide à la compréhension du fonctionnement de l'hydrosystème du marais nous avait incité à nous rapprocher des industriels locaux équipés de forages. L'enquête de terrain nous a permis d'identifier 2 ouvrages d'importance, alimentant les usines des entreprises de Ferrari et Porcher.

L'entreprise Serge Ferrari (Illustration 27) a autorisé le BRGM à installer des sondes d'acquisition dans ses 2 forages. Après un suivi de 2 mois, nous avons pu constater qu'un des forages n'était plus opérationnel du fait de son probable colmatage. Une sonde a donc été laissée sur le forage principal de l'entreprise, équipé de 4 pompes en service. Le pompage étant quasi-permanent par l'entreprise du fait de son besoin de fluide de refroidissement pour ses machines, nous avons laissé le matériel installé de manière à suivre les variations de niveau engendrées par les quelques arrêts de pompes qui devaient se produire au cours des mois de suivi (coupure pour les jours fériés, maintenance…). Pour information, le volume moyen extrait annuellement par l'entreprise Ferrari est de l'ordre de 500 000 m^3 par an, ce qui équivaut à un pompage permanent au débit constant de 50 m^3/h. Ce volume est rejeté directement dans le canal Mouturier à un débit variant avec les conditions d'exploitation de l'usine.

Cette chronique de près de 6 mois nous permet d'observer l'impact de ce pompage sur la nappe des alluvions de la Bourbre. L'Illustration 37 présente la chronique complète ainsi qu'un zoom sur une période importante (près de 10 j) d'arrêt du pompage pendant les fêtes de Noël 2017.

La chronique révèle une très forte réactivité de l'aquifère puisque suite à un arrêt de pompage, on observe une remontée de la nappe quasi-instantanée. On observe ainsi régulièrement sur la chronique une remontée de 90 cm en moins de 5 min (durée égale au pas d'acquisition de nos données). Une telle réactivité fait que l'impact de cet ouvrage ne se reporte pas sur les éventuels ouvrages voisins. D'un point de vue pratique, malgré la forte exploitation de la nappe à des fins industrielles, nous n'observerons pas de dépression de celle-ci à l'échelle du secteur et donc du marais.

D'une manière plus globale, la réactivité de l'aquifère permet de visualiser simultanément des courbes parallèles représentant la nappe au repos (courbe bleue), le rabattement induit par 1 pompe (courbe verte), le rabattement induit par 2 pompes en action simultanée (courbe jaune), le rabattement induit lors du fonctionnement de 3 pompes du forage (courbe orange) et le rabattement induit lorsque les 4 pompes sont en action (courbe rouge). Ces 5 courbes sont totalement parallèles, ce qui révèle la pleine productivité de l'aquifère et de l'ouvrage, ainsi qu'une exploitation en dessous du débit critique de ce dernier. Le rabattement dans le forage est ici directement proportionnel au débit pompé dans l'ouvrage : on parle de débit spécifique.

Dans le cas de ce forage le débit spécifique est de l'ordre de 30 m³/h/m de rabattement. Cette estimation se base sur un débit global de pompage de l'ordre de 100 m³/h lorsque les 4 pompes fonctionnent simultanément, induisant un rabattement proche de 3,5 m.

Ce débit spécifique est caractéristique d'un aquifère productif. Ces éléments sont en cohérence avec ceux trouvés en BSS concernant les ouvrages de l'Illustration 9 :

- Forage H : 07245X0027/S. des essais révèlent un débit spécifique de 120 m³/h/m.
- Forage Q : BSS002PZVB. Des essais révèlent un débit spécifique de 230 m³/h/m.

Les documents existants ne précisent pas la durée de ces essais et les ouvrages n'ont pas été retrouvés sur le terrain (anciens donc probablement détruits).

Le forage A (07238X0038/S1) présente des informations partielles et divergentes notamment sur sa profondeur (70 ou 250 m). Le dossier indique cependant la réalisation d'un pompage à 110 m³/h, débit proche de celui des autres ouvrages testés sur le secteur.

Les 6 mois de suivi ont permis de couvrir une période très intéressante hydrologiquement dans la mesure où nous avons pu y observer une période d'étiage très forte, pendant laquelle toutes les mares du marais étaient asséchées, et une période de hautes eaux avérée. Le marnage observé au cours de cette période est de près de 7 m, dont la moitié est à imputer au pompage.

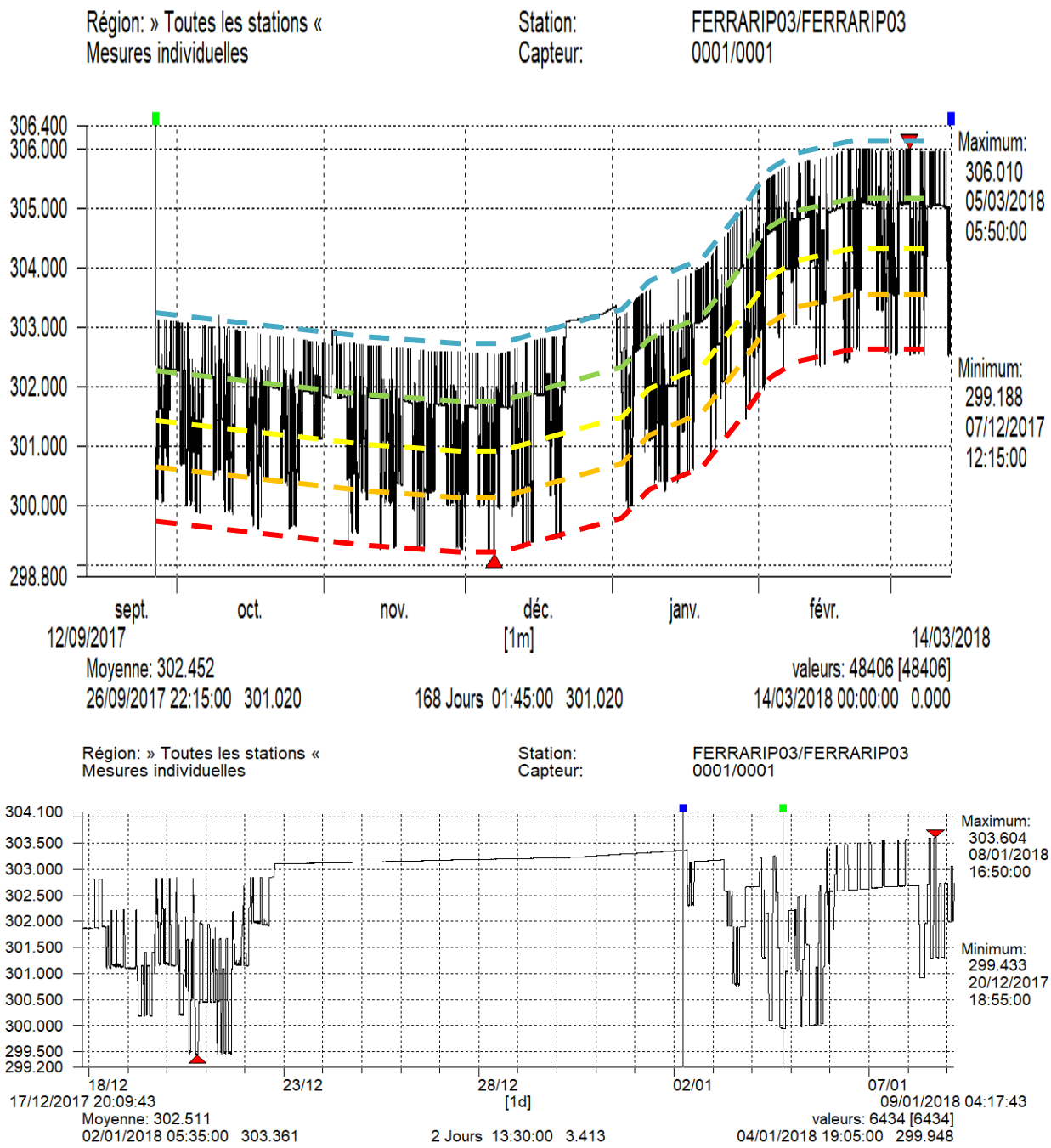


Illustration 37 : Chronique de pompages du forage Ferrari

4.6. JAUGEAGES

4.6.1. Principe de mesures

Une opération de jaugeage consiste en la mesure du débit instantané d'un cours d'eau.

Les vitesses du courant sont mesurées à plusieurs endroits le long d'une section de rivière déterminée. Il suffit ensuite d'intégrer les vitesses à la section pour obtenir le débit du cours d'eau. Cette mesure peut permettre d'estimer un bilan entrées/sorties de l'hydrosystème du marais vis-à-vis des écoulements superficiels.

Pour quantifier les entrées, deux jaugeages sont nécessaires en amont du marais, un au niveau de la Bourbre et un au niveau du canal Mouturier. Les sorties sont quantifiées à partir d'un emplacement de jaugeage en aval du marais, au niveau de la Bourbre (Illustration 38).



Illustration 38 : Photographies des trois sections de jaugeages (Source : BRGM)

En complément de ces jaugeages réguliers, réalisés dans différentes conditions hydrologiques, le BRGM a également réalisé une campagne de jaugeage en 6 points afin d'évaluer les éventuels échanges entre les compartiments de l'hydrosystème, l'idée étant de tout simplement apporter des éléments de réponse à la question récurrente : le cours d'eau draine-t-il ou alimente-t-il la nappe ou le marais ?

L'Illustration 39 présente la localisation des 6 sections de jaugeage.

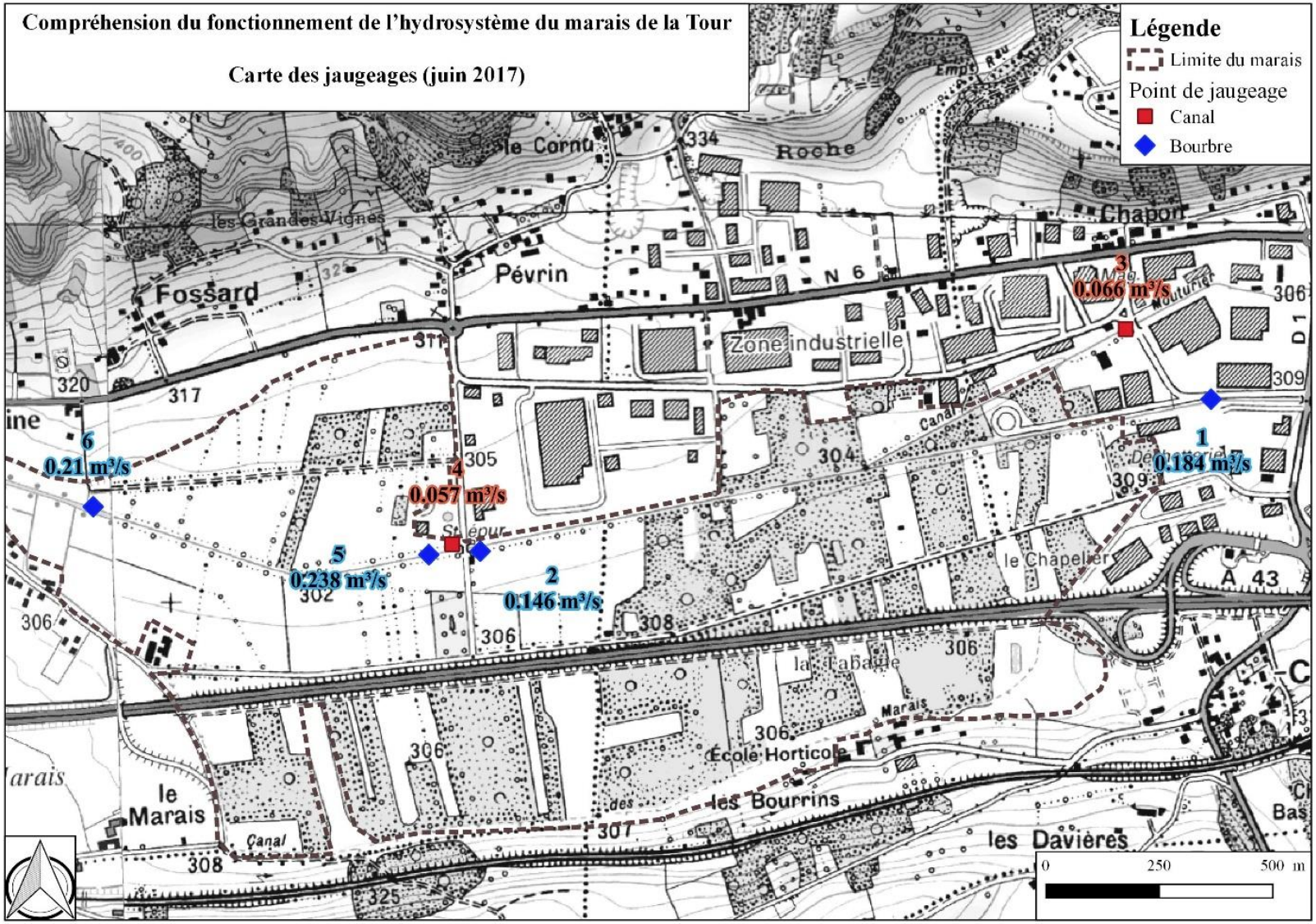


Illustration 39 : Localisation des 6 sections de jaugeage (21/06/2017)

Pour cette opération, 6 jaugeages ont été réalisés sur la Bourbre et le canal Mouturier afin, notamment, de vérifier la cohérence des mesures et identifier d'éventuels apports ou pertes d'eau dans les écoulements superficiels. Il est à noter qu'à cette période, aucun autre écoulement superficiel n'est visible dans le marais, fossés et mares sont asséchés. Les seuls écoulements observables concernent ainsi bien la Bourbre et le canal Mouturier. Les 6 stations retenues sont composées des 3 stations de jaugeage habituelles situées aux extrémités de la zone d'étude (points 1, 3 et 6), complétées de 3 stations réparties à proximité immédiate de la confluence des 2 cours d'eau, soit 1 point sur le canal à 30 m à l'amont de la confluence (point 4), 1 point sur la Bourbre à 150 m de la confluence (point 2) et un dernier point, à l'aval de la confluence, avant le rejet de la STEP (point 5).

L'analyse des débits mesurés ainsi permet de mettre en évidence la très faible variation des débits sur le territoire d'étude. En effet, la somme des débits observés à l'amont de la zone d'étude se retrouve à 95 % au niveau de la confluence entre le Bourbre et le canal. Nous noterons également que le débit de la Bourbre à l'étiage (180 l/s), reste 3 fois supérieur à celui du canal (60 l/s).

Cette opération de jaugeage montre une certaine déconnexion entre les eaux de la Bourbre (et du canal Mouturier) et les eaux souterraines dans le secteur du marais.

4.6.2. Courbe de tarage

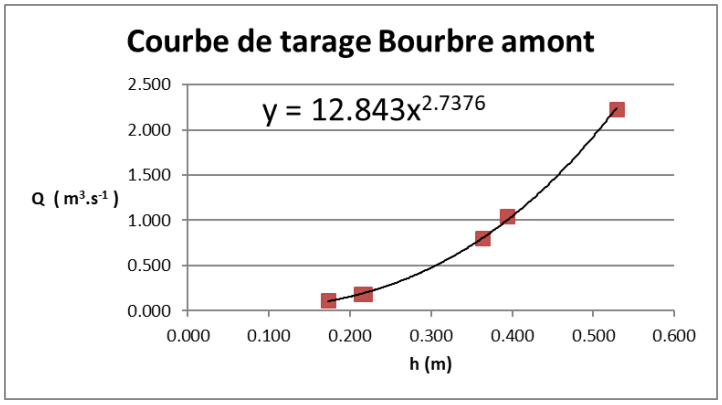
Les courbes de tarages sont obtenues en représentant l'ensemble des jaugeages réalisés sur une section de cours d'eau en fonction des différentes hauteurs mesurées. Elles permettent de faire la relation entre la hauteur d'eau et le débit instantané au niveau de la section de jaugeage. A partir de cette courbe, une mesure manuelle ou une chronique de variations des niveaux peuvent être converties en valeur ponctuelle ou en chronique de variations du débit.

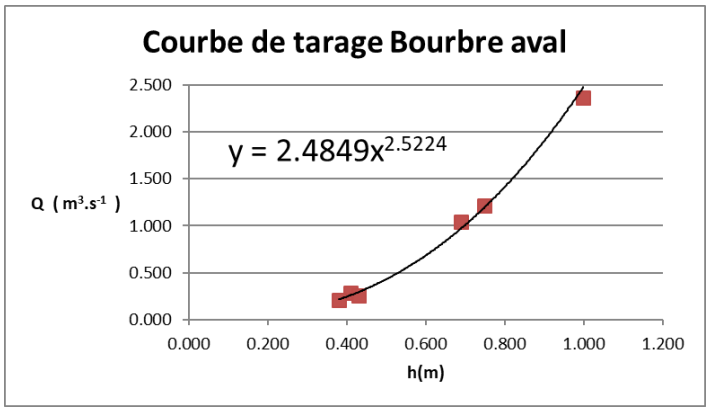
Les équations des courbes sont de type puissance (Illustration 40).

Pour les cours d'eau suivis, leurs formules sont :

- Bourbre Amont : $Q = 12{,}843.h^{2{,}7376}$
- Bourbre Aval : $Q = 2{,}4849.h^{2{,}5224}$
- Canal Mouturier : $Q = 0{,}1854.h^{0{,}3895}$

Avec Q, le débit en ($m^3.s^{-1}$) et h hauteur d'eau (en m), il est possible de tracer les courbes de tarage de la Bourbre représentées sur l'Illustration 40.





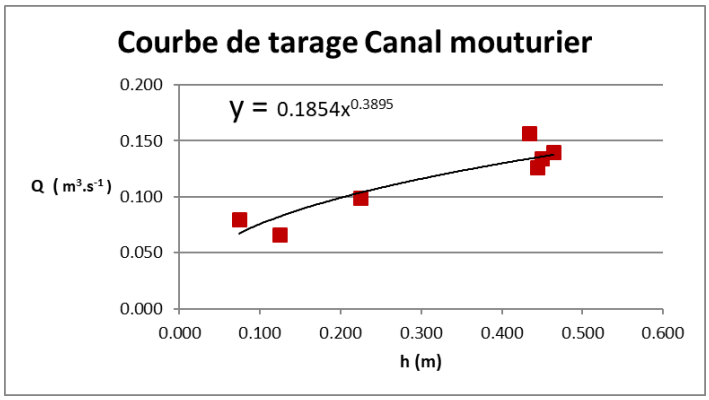


Illustration 40 : Courbes de tarages de la Bourbre

Les courbes de tarage permettent de convertir les chroniques de niveau de ces cours d'eau en chroniques de débit. Il faut cependant prendre ces résultats avec précaution car si les courbes de tarage de la Bourbre affichent un coefficient de détermination de plus de 99%, celui de la courbe du canal n'est que de 81 %. Les points définissant la courbe de tarage sont beaucoup plus dispersés autour de celle-ci. Ceci est dû au caractère turbulent de l'écoulement dans la zone de jaugeage mais également et principalement aux rejets effectués par l'entreprise Ferrari dans le canal, qui peuvent varier de 50% en quelques minutes au cours de l'opération de jaugeage, venant largement corrompre les résultats. Le débit moyen de pompage, estimé à 50 m³/h soit 15 l/s, correspond à une fraction non négligeable de l'écoulement du canal, en particulier en période d'étiage. En effet, les jaugeages de juin 2017 révèlent un débit de l'ordre de 60 l/s. Les rejets de Ferrari peuvent donc représenter facilement 25% du débit. L'arrêt et/ou le lancement des pompes de l'entreprise peut donc engendrer des modifications très significative du débit.

4.6.3. Chroniques de débit

Les chroniques de débit ainsi obtenues sont représentées sur les illustrations suivantes. Pour améliorer la visibilité des courbes, ces chroniques ne sont pas représentées en valeurs instantanées mais en moyennes journalières. Il convient de garder en mémoire que si les niveaux mesurés restent précis quelle que soit leur valeur, les débits affichés ne sont que des valeurs calculées grâce à la courbe de tarage qui a été élaborée à l'aide de quelques jaugeages. Les opérations de jaugeage étant impossibles en période de hautes eaux ou de crues, le calcul des forts débits est donc marqué par une forte incertitude.

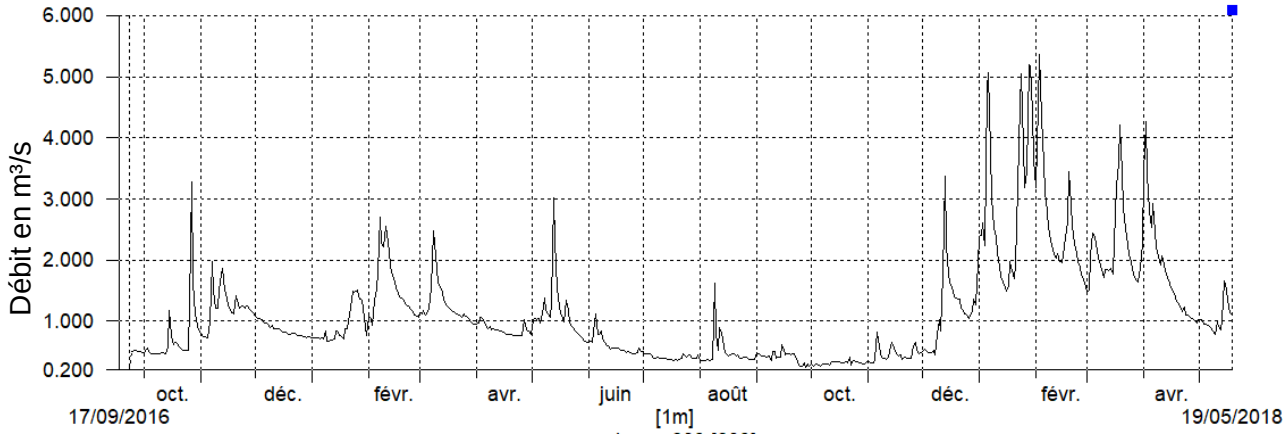


Illustration 41 : Chronique de débit de la station Bourbre amont

Les débits sont très variables et d'une amplitude importante puisqu'on a pu observer des débits d'étiage à 0,25 m³/s soit 250 l/s et des crues en période de hautes eaux allant jusqu'à 5,6 m³/s.

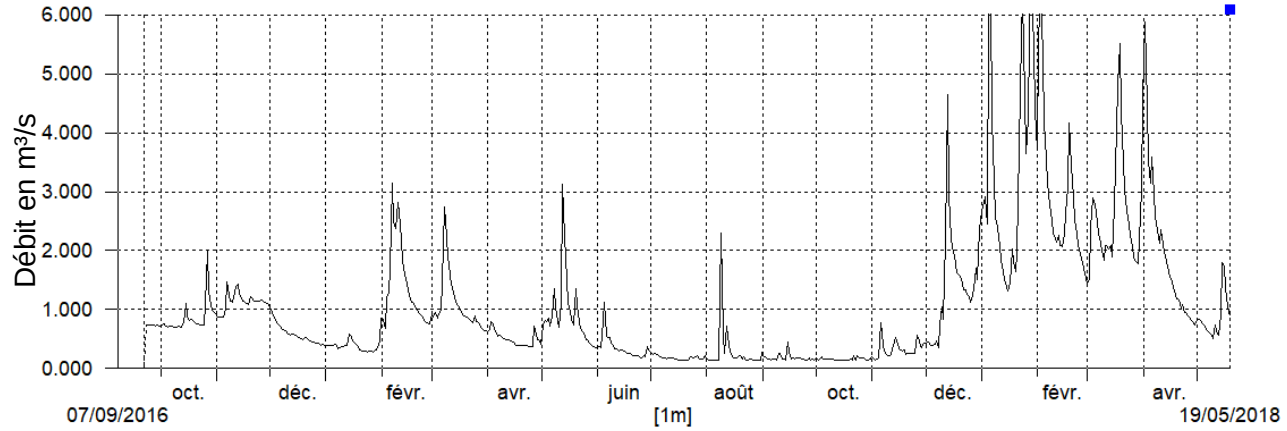


Illustration 42 : Chronique de débit de la station Bourbre aval

Les débits sont évidemment très variables également et d'une amplitude importante puisqu'on a pu observer des débits d'étiage à 0,15 m³/s soit 150 l/s et des crues en période de hautes eaux allant jusqu'à 7 m³/s.

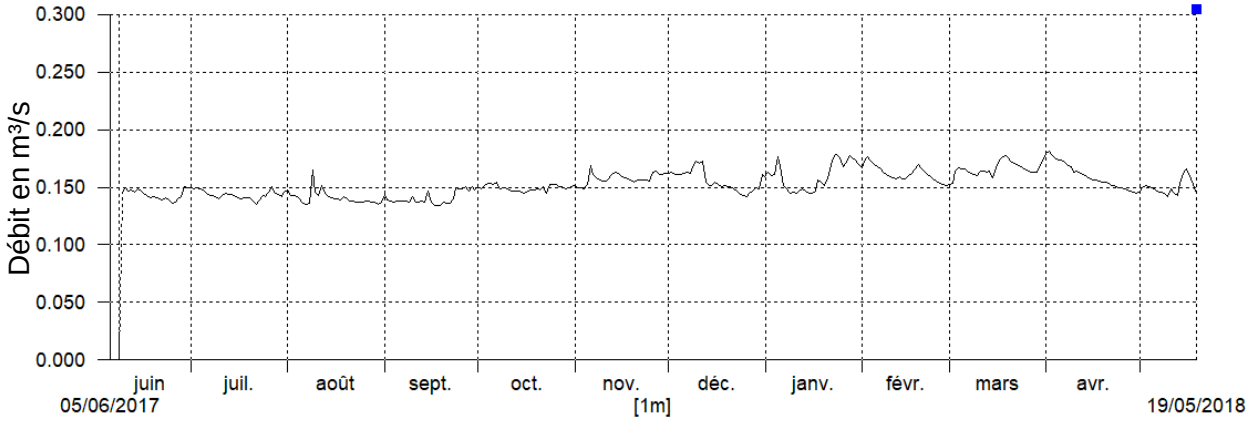


Illustration 43 : Chronique de débit de la station Canal Mouturier

Les débits du canal Mouturier sont assez peu variables et restent de l'ordre de 0,15 m³/s soit 150 l/s

Ce type de représentation ne diffère que très peu de la représentation des hauteurs d'eau réalisée sur l'Illustration 31. La conversion des hauteurs en débit ne fait qu'étirer les courbes selon l'axe Y lors des pics de crues.

4.6.4. Bilan entrées/sorties

L'étude du lit du cours d'eau permet de réaliser une observation potentiellement importante pour les relations entre les compartiments de l'hydrosystème. En effet, le lit de la Bourbre est très caillouteux dans sa partie située à l'amont du PZ07. Il y est composé essentiellement de galets de taille centimétrique à décimétrique présentant une forte calcification superficielle (encroûtement du lit avec potentialité de colmatage plus ou moins important de celui-ci, réduisant de fait les échanges avec les eaux souterraines dans ce secteur). Dans sa partie située à l'aval de ce même piézomètre, le lit de la Bourbre devient, presque sans transition, sableux puis vaseux.

Le BRGM a procédé à la réalisation d'un profil en long du cours d'eau, en mesurant précisément l'altitude de la lame d'eau s'écoulant dans le lit.

Il apparaît ainsi clairement sur l'Illustration 44 l'existence de 2 pentes d'écoulement de la rivière. La partie du cours d'eau située à l'amont du PZ07 présente une pente très forte, de l'ordre de 3 pour mille, contrairement à la suite de son cours où la pente devient très faible, de l'ordre de 0,1 pour mille, soit 30 fois moins qu'à l'amont du piézomètre. Cette particularité topographique contribue inévitablement à entretenir les deux faciès observés : un lit caillouteux grossier dans le tronçon à forte pente induisant des vitesses élevées et donc un charriage fort, et un lit vaseux dans son tronçon à très faible pente où les vitesses sont naturellement plus lentes et permettent la sédimentation des matières en suspension dans le lit.

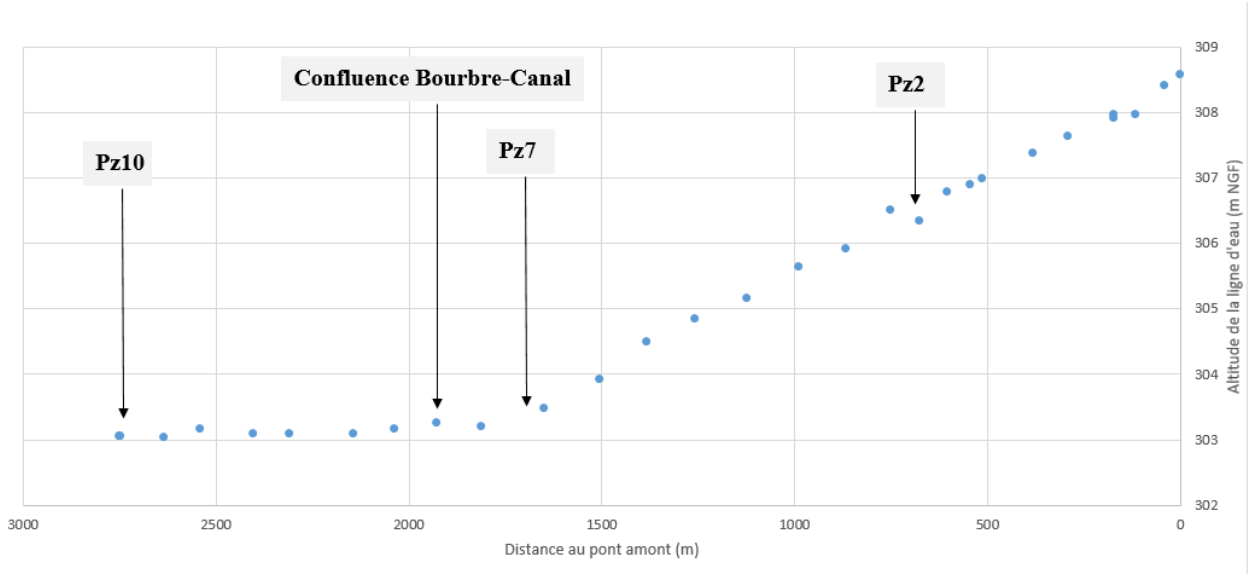


Illustration 44 : Profil en long de la ligne d'eau de la Bourbre au droit du marais (22/11/2017)

En termes de réflexion concernant le bilan entrées-sorties de l'hydrosystème, cette configuration est très favorable à des échanges entre le cours d'eau et la nappe. D'après ces éléments, la Bourbre devrait (pourrait) alimenter la nappe dans sa partie amont, et serait en mesure de la drainer dans sa partie aval. Il n'en est rien dans le cas présent. Comme nous le détaillerons dans le chapitre 1, le tracé des cartes piézométriques et l'analyse des chroniques montrent que le cours d'eau est perché au-dessus de la nappe dans sa partie amont, sans impact mesurable sur les eaux souterraines.

L'opération de jaugeage sur 6 stations tend à confirmer ces observations puisque la somme des débits entrants équivaut, aux incertitudes près, au débit sortant.

L'Illustration 45 présente un tableau avec les résultats des principaux jaugeages réalisés pour l'élaboration des courbes de tarage.

	Débit Canal (m^3/s)	Débit Bourbre amont (m^3/s)	Débit Bourbre aval (m^3/s)	Bilan entrée – sortie (m^3/s)	Différence entrée – sortie (%)
22/09/2016	0.099	0.183	0.290	-0.008	3
15/11/2016	0.140	1.043	1.217	-0.034	2.9
01/02/2017	0.134	0.801	1.045	-0.111	11.8
07/02/2017	0.126	2.231	2.359	-0.001	0.1
22/11/2017	0.157	0.115	0.258	0.014	5.1

Illustration 45 : Comparaison des résultats des jaugeages

Ce tableau illustre les variations de débit observables sur les 2 cours d'eau. Dans 4 cas sur 5, la différence observée entre les débits entrants et les débits sortants est de moins de 6 %. Les résultats sont d'autant plus fiables que les débits sont importants (hors crues) car la mesure est alors moins perturbée par les obstacles proches du point de mesure tels que les branchages au bord de rives ou les blocs de roche créant des perturbations de l'écoulement et venant fausser la mesure.

La différence entre les débits d'entrée et de sortie reste de toute façon inférieure à l'incertitude sur la mesure du débit lui-même. Ces résultats tendent ainsi à corroborer les autres observations indiquant le peu de relation directe entre la Bourbre (et le canal) et les eaux souterraines du marais, en particulier dans son tronçon supérieur et en période d'étiage. Les analyses de chroniques, développées dans le chapitre 5.1, viendront préciser ces observations.

Outre la comparaison des jaugeages, il est intéressant d'analyser le bilan des chroniques de débit en le comparant à une chronique piézométrique. L'Illustration 46 permet ainsi de comparer les variations de niveau dans le PZ02 (courbe noire) avec la chronique de bilan des débits (courbe rouge). Cette dernière chronique est obtenue en soustrayant du débit de la station Bourbre aval (sortie du marais), les débits entrants dans le marais (Bourbre amont et Canal Mouturier).

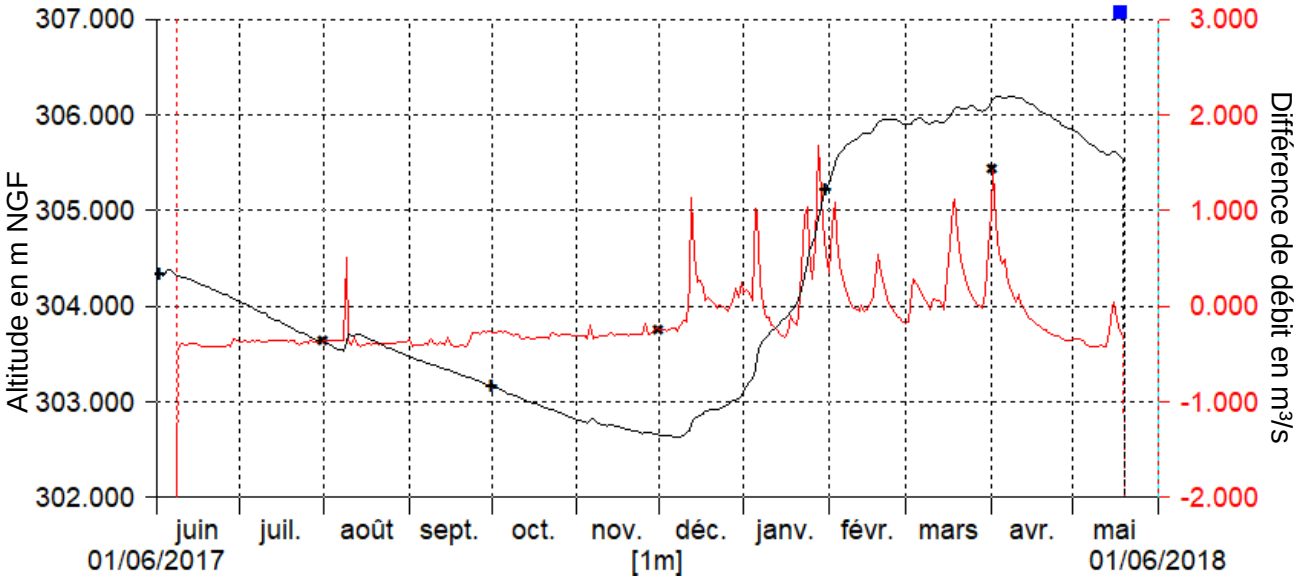


Illustration 46 : Comparaison entre la chronique du PZ02 (en noir) et le bilan des débits (en rouge)

Ce graphique permet de visualiser des conditions d'étiage sévère de juin à décembre 2017 avec une baisse du niveau dans le piézomètre, et une période de hautes eaux commençant mi-décembre 2017, marquée par la remontée des eaux dans l'ouvrage. A compter d'avril 2018, les niveaux repartent à la baisse et marque le début de l'étiage. Le point remarquable concerne le bilan des débits puisque, sur ce cycle hydrologique, il apparait systématiquement que le bilan est déficitaire mais stable en période d'étiage (valeur du bilan négative mais variant peu) et excédentaire en période de hautes eaux, avec des valeurs fluctuant largement au gré des crues, indiquant probablement un calcul des valeurs de débits extrêmes peu fiable.

4.7. MESURES DE CONDUCTIVITE

Remarque : les valeurs de conductivité reportées dans le rapport sont exprimées en µS/cm et corrigées pour une température de 25°C.

La conductivité de l'eau a été mesurée sur chaque forage de suivi, ainsi que dans les différents compartiments de l'hydrosystème du marais, afin d'en étudier ses caractéristiques. Les données de terrain les plus importantes sont disponibles en Annexe 4.

Les mesures faites en novembre 2017 (Illustration 47), en condition de basses eaux, montrent que :

- La conductivité des eaux superficielles (incluant les mares, fossés…) varie entre 390 et 750 µS/cm ;
- La conductivité des eaux souterraines (toute profondeur confondue) est comprise entre 580 et 1400 µS/cm.

Les mesures faites en mars 2018 (Illustration 48), en condition de hautes eaux, montrent que :

- La conductivité des eaux superficielles (incluant les mares, fossés…) varie entre 565 et 790 µS/cm ;
- La conductivité des eaux souterraines (toute profondeur confondue) est comprise entre 455 et 2100 µS/cm.

Concernant les eaux souterraines, situées dans les compartiments superficiels du terrain et suivies par les piézomètres BRGM, il apparait que les conductivités les plus élevées s'observent dans le secteur est/sud-est du marais (PZ01, PZ02, PZ03 et PZ05).

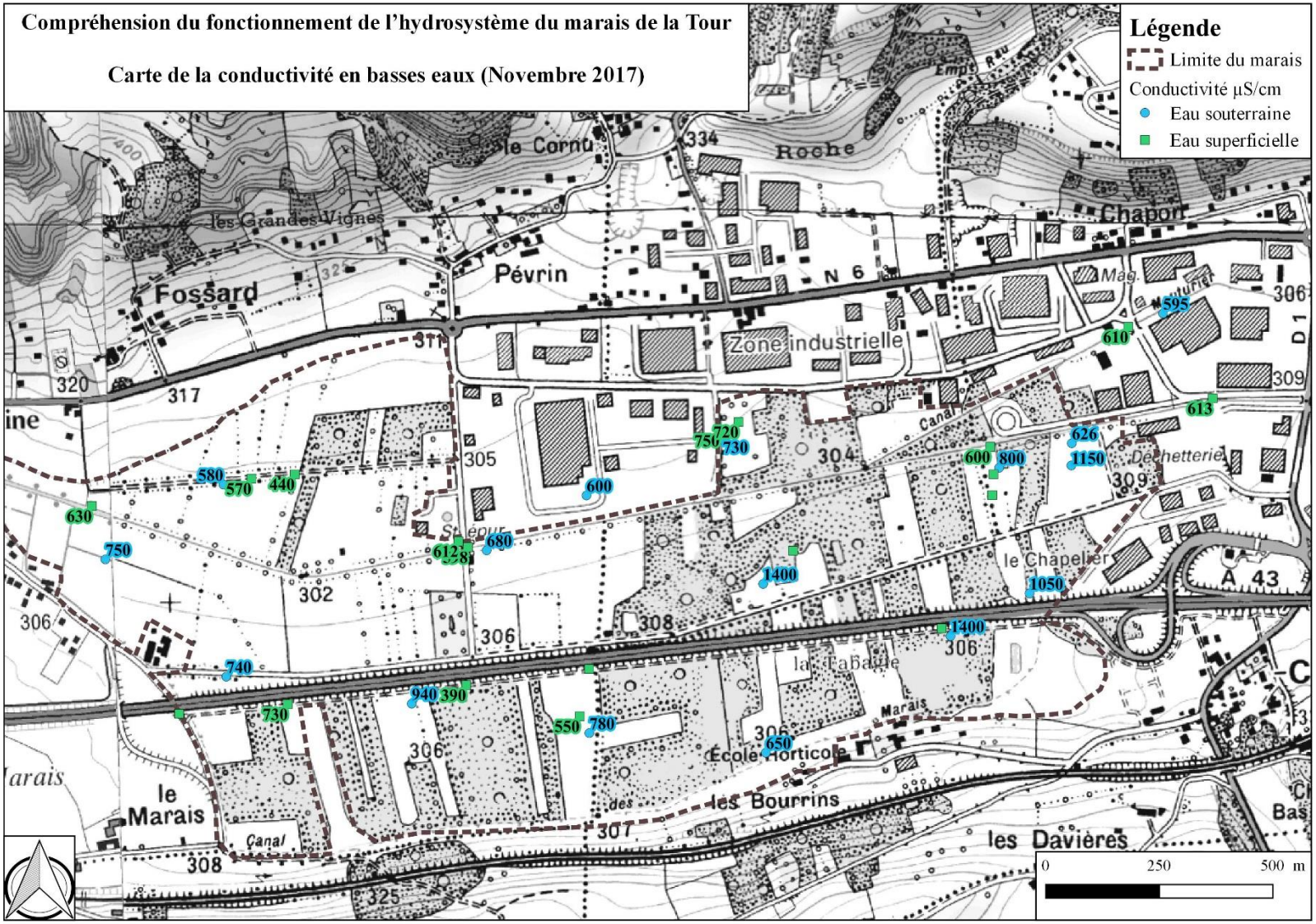


Illustration 47 : Cartographie de la conductivité dans le marais en conditions de basses eaux (Source : BRGM)

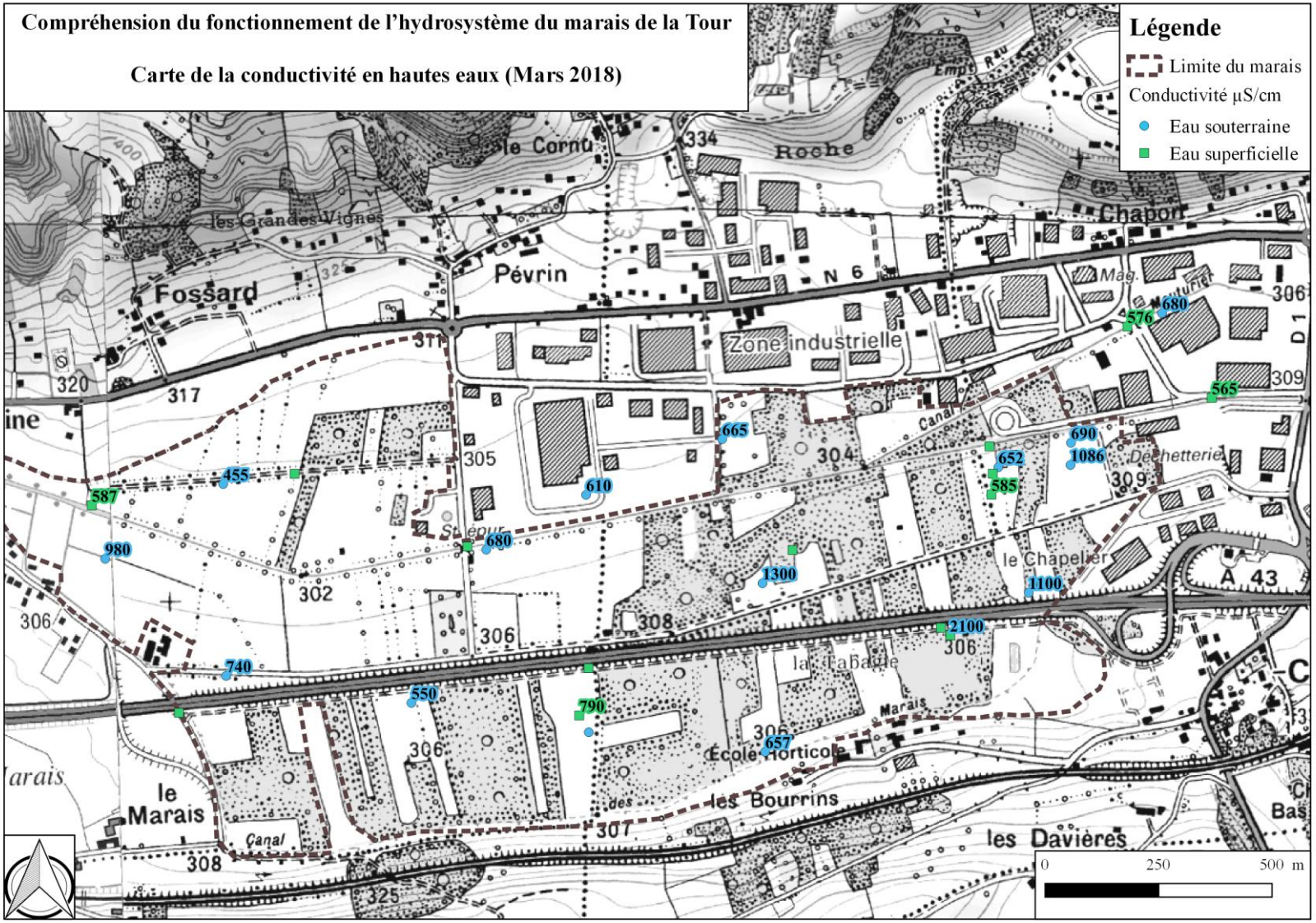


Illustration 48 : Cartographie de la conductivité dans le marais en conditions de hautes eaux (Source : BRGM)

4.8. ANALYSE DE LA QUALITE DE L'EAU

Afin d'apporter des réponses chiffrées quant à la contamination des eaux souterraines par les déchets entreposés historiquement sur la bordure est du marais, il a été procédé à 2 campagnes de prélèvements et d'analyses des eaux des qualitomètres BRGM.

Pour compléter ces analyses, le BRGM a réalisé également des prélèvements en différents points du marais afin d'améliorer les connaissances de la chimie du site et pouvoir identifier d'éventuels mélange des eaux.

4.8.1. Prélèvements

Des prélèvements d'eau souterraine (ESOUT) ont été réalisés :

- à l'aval hydraulique de la décharge dans les qualitomètres BRGM (QualA et QualB) en rive gauche de la Bourbre, afin d'identifier d'éventuelles pollutions,

- à deux autres endroits hors influence de la décharge, l'un en rive gauche de la Bourbre (VeoliaPZChamp) et l'un en rive droite (PZ06), afin d'avoir une connaissance du fond géochimique de la zone.

Des prélèvements d'eau superficielle (ESU) ont également été réalisés dans la Bourbre, en amont et en aval du marais, au niveau des stations de mesures sur le cours d'eau (BourbreAmont et BourbreAval).

Ces prélèvements ont été effectués conformément à la norme NF X31-615[3].

Les points de prélèvements sont présentés sur l'Illustration 27.

Il a été réalisé 2 campagnes de prélèvements pour cette étude :

- Une campagne en condition de « hautes eaux » le 23/03/2017. Compte tenu des conditions hydrogéologiques anormalement basses, les prélèvements ont été réalisés après 2 jours de pluie.
- Une campagne en condition de basses eaux avérées le 26/09/2017.

4.8.2. Analyses

Lors des campagnes de prélèvement, les paramètres physico-chimiques suivants ont été relevés sur le terrain : pH, Eh, conductivité à 25°C et oxygène dissous. Les échantillons d'eau prélevés ont été conditionnés, envoyés et réceptionnés sous 24h par le prestataire analytique (conformément à la norme NF X31-615).

[3] NF X31-615 (maj 15/12/2017) Qualité du sol — Méthode de détection et de caractérisation des pollutions — Réalisation d'un forage de contrôle ou de suivi de la qualité de l'eau souterraine au droit et autour d'un site potentiellement pollué.

Les analyses portaient, pour l'ensemble des prélèvements, sur les principaux métaux et les éléments majeurs (anions et cations). Les qualitomètres A et B ont fait spécifiquement l'objet d'une recherche d'un très grand nombre de composés organiques : composés organohalogénés volatils (dont trichloréthylène…), pesticides, hydrocarbures, composés organiques mono-aromatiques volatils (benzène, …).

La seconde campagne a vu son programme légèrement réduit et les ouvrages PZ06 et VeoliaPZChamp n'ont pas été reprélevés compte tenu de leur signature chimique proche de celle du qualitomètre QualA, visiblement non impacté par la décharge.

4.8.3. Résultats

Les paramètres physico-chimiques de terrain mesurés lors des prélèvements du 23 mars 2017 (Hautes Eaux) et du 26 septembre 2017 (Basses Eaux) sont présentés dans le tableau suivant (Illustration 49).

			Conductivité 25°C (µS/cm)	Oxygène dissous (mg/l)	pH	Eh (mV)	Température (C°)
Hautes Eaux	Eaux superficielles	BourbreAmont	554	9,91	8,31	218	9,6
		BourbreAval	601	11,35	8,11	271	9,4
	Eaux souterraines	PZ06	656	2,46	7,378	228,5	6,7
		VeoliaPZChamp	724	4,98	7,01	308,7	12,5
		Qual A	674	7,42	7,165	157	12,5
		Qual B	1515	2,7	6,755	149,9	12,8
Basses Eaux	Eaux superficielles	BourbreAmont	419	9,9	8,34	205,7	14,3
		BourbreAval	733	9,04	8,04	217,1	16,4
	Eaux souterraines	Qual A	498	9,2	7,64	200	13,8
		Qual B	996	5,42	6,86	265,8	13,7

Illustration 49 : Paramètres physico-chimiques de terrain en période de Hautes Eaux (HE) et Basses Eaux (BE). (Source : BRGM)

Différentes observations peuvent être réalisées :

- **Concernant les eaux superficielles**, il est remarqué qu'en période de hautes eaux, le prélèvement sur la Bourbre aval présentait une conductivité légèrement supérieure à celle du prélèvement réalisé à l'amont, la différence de conductivité se renforce en période de basses eaux. L'influence d'un « apport » de conductivité élevée dont la signature serait davantage diluée en période de hautes eaux qu'en période de basses eaux pourrait expliquer l'augmentation de conductivité observée sur le prélèvement aval. Cet apport contributeur plus significatif en période de basses eaux pourrait également expliquer l'augmentation de température de 2°C entre l'amont et l'aval.
- Les autres paramètres des eaux superficielles évoluent peu entre la période de HE et BE (faible baisse de l'oxygène dissous et du potentiel d'oxydoréduction liée à l'augmentation de température et de la vie aquatique).

- **Concernant les eaux souterraines**, le Qualitomètre B présentait un dépassement de la valeur seuil (VS – 1 100 µS/cm) telle que définit dans l'annexe II de la circulaire du 23

décembre 2012[4] pendant la période de hautes eaux. Le prélèvement réalisé sur ce même qualitomètre en période de basses eaux présente une conductivité qui reste proche de la valeur de la circulaire.

- Les eaux des deux qualitomètres en période de basses eaux sont plus oxygénées qu'en périodes de hautes eaux.
- La température de la nappe a augmenté d'environ 1°C entre hautes eaux (HE) et basses eaux (BE) et traduit l' « amortissement » attendu de la part des eaux souterraines.

Les concentrations des principaux éléments majeurs et de quelques éléments traces sont présentées dans le tableau suivant (Illustration 50, NB : les bordereaux des résultats analytiques sont présentés en annexe 5).

			Ca (mg/l)	HCO3 (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	COD (g/l)	Na (mg/l)	N03 (mg/l)	Sr (µg/l)	B (µg/l)	Fe (µg/l)	Mn (µg/l)	Al (µg/l)	Ba (µg/l)	P (µg/l)
Hautes Eaux	Eaux superficielles	BourbreAmont	108	307	13	14	2,1	6,3	14	331	11	61	44	17	22	44
		BourbreAval	113	307	26	15	2,6	15	13	335	11	61	13	15	21	48
	Eaux souterraines	PZ06	135	375	31	30	0,58	17	17	450	16	11	0,5	9	24	0
		VeoliaPZChamp	117	310	34	18	1,6	19	30	363	16	257	360	376	16	31
		Qual A	130	376	12	20	1,2	11	17	414	24	24	407	23	33	15
		Qual B	348	486	12	431	5,5	21	48	1032	384	114	114	181	65	27
Basses Eaux	Eaux superficielles	BourbreAmont	104	265	14	19	1,8	6,8	11	310	10	82	15	28	23	51
		BourbreAval	111	315	66	22	2,8	41	9,2	311	22	86	16	29	21	78
	Eaux souterraines	Qual A	128	365	13	17	1,3	9,2	9,3	368	25	< LD	146	< LD	30	< LD
		Qual B	279	507	16	292	5,1	22	59	877	429	< LD	33	< LD	53	< LD

Illustration 50 : Concentrations des principaux éléments majeurs et quelques éléments mineurs pour les 6 prélèvements (en vert, concentrations se distinguant des autres). (Source : BRGM)

Sur la base des éléments majeurs, le diagramme de Piper qui intègre les résultats des 2 campagnes d'analyses est présenté sur l'Illustration 51. Il apparait nettement que les eaux du marais, aussi bien superficielles que souterraines, présentent des caractéristiques chimiques proches de celles des eaux des différents aquifères voisins (cf. Illustration 14).

Seul le qualitomètre QualB présente une chimie différente et cela quelle que soit la période (HE, BE), et est potentiellement impacté par la pollution des eaux due à la décharge proche. Plus précisément, la chimie des prélèvements réalisés sur le qualitomètre QualB se distingue par des teneurs plus élevées en calcium (et strontium associé), magnésium, sulfate, nitrate, bore et carbone organique dissous. Certains de ces éléments dépassent les valeurs seuils (VS) telles que définies dans l'annexe II de la circulaire du 23 décembre 2012 : sulfates (VS : 250mg/L), nitrates (VS : 50 mg/L).

L'importance et la nature de la contribution spécifique du Qualitomètre B a été estimée, pour chaque période, en soustrayant aux résultats de mesure des différents éléments majeurs du Qualitomètre B, la moyenne des concentrations de tous les autres prélèvements qui est considérée comme la moyenne de fond. Selon leur bilan molaire, le calcium et le SO_4 en excès pourraient provenir de la dissolution de sulfates de calcium tels que l'anhydrite ou le gypse, composés présents dans des produits de démolition comme les gravats.

L'eau prélevée dans la partie aval de la Bourbre en période de basses eaux présente des concentrations en sodium et chlorure expliquant l'augmentation de conductivité observée sur le

[4] Circulaire du 23 décembre 2012 relative à l'application de l'arrêté du 17 décembre 2008 établissant les critères d'évaluation et les modalités de détermination de l'état des eaux souterraines et des tendances significatives et durables de dégradation de l'état chimique des eaux souterraines

terrain. La présence d'une station d'épuration des eaux usées située à l'amont du point de prélèvement des eaux superficielles Bourbre Aval pourrait expliquer à la fois cet apport en sel et l'augmentation de température observée entre les prélèvements amont/aval.

Concernant les métaux ou éléments mineurs, les éléments suivants ont été recherchés : Ag, As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, Te, Tl et V. Ils n'ont été quantifiés dans aucun des prélèvements des eaux souterraines comme superficielles (le laboratoire ne procédant pas à la quantification tant que la quantité est très largement inférieure à la norme eau potable). Le mercure a également été recherché sans succès sur les qualitomètres A et B (<LQ de 0.015 µg/L). Seuls les éléments Al, Ba, Fe, Mn, Sr, B, Zn et Se ont été détectés et quantifiés.

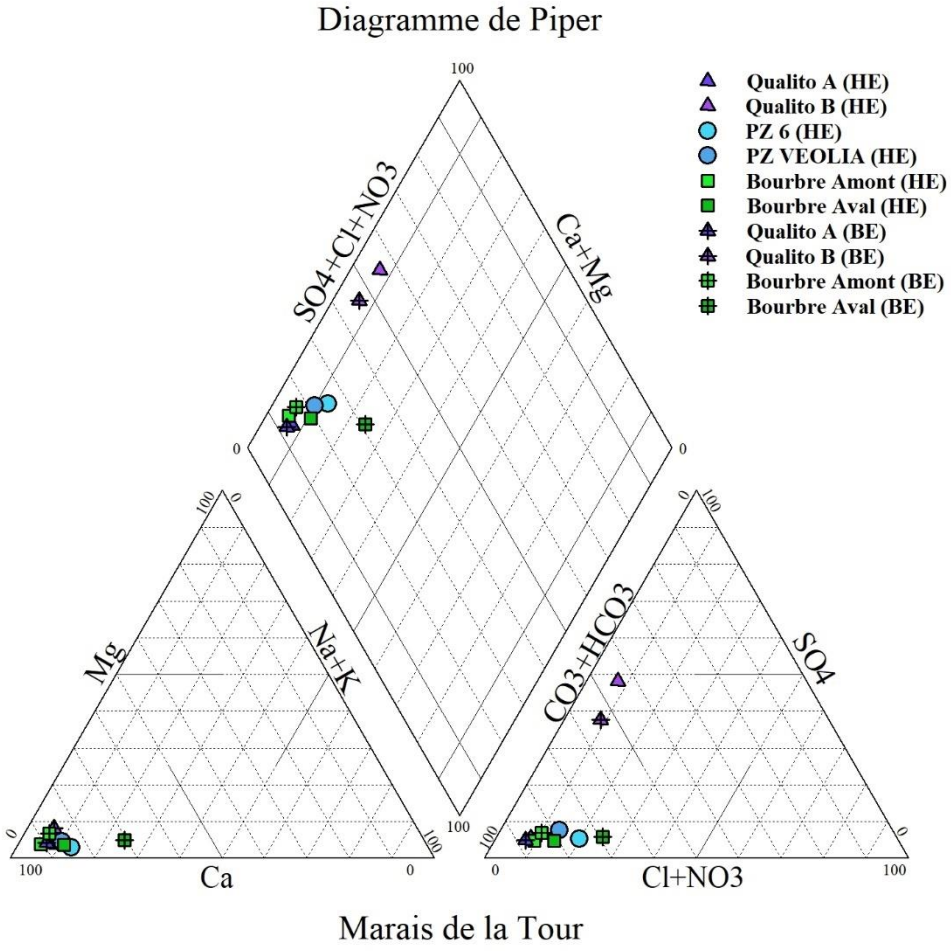


Illustration 51 : Diagramme de Piper des analyses du marais (Source : BRGM)

Les valeurs seuil en fer, en manganèse et en aluminium (VS respectivement de 200 µg/L, 50 µg/L et 200 µg/L) sont dépassées sur le PZ06. Ces concentrations ne peuvent être liées à la corrosion du tubage (réalisé en PEHD) et les conditions de pH et d'oxydoréduction ne distinguent pas significativement ce piézomètre des autres. Une source de ces éléments, située en amont, où des matériaux et des conditions physico-chimiques particulières ont permis la solubilisation est à rechercher.

La valeur seuil du manganèse est également dépassée pour les deux qualitomètres A et B en période de hautes eaux et seulement pour le qualitomètre A sur les basses eaux. L'origine de ce

dépassement observé pour trois des quatre piézomètres analysés lors de la première campagne, pourrait potentiellement être naturelle. Elle reste à conforter.

Le qualitomètre B se distingue également par sa concentration en bore (B) et en carbone organique dissous (COD). Le prélèvement réalisé en basses eaux présente également du sélénium (37 µg/L, la VS étant de 10 µg/L).

Le bore est connu pour être utilisé largement dans les détergents, antiseptiques ou pour la lutte contre les cafards, généralement sous la forme d'acide borique. La présence de bidons (décrite dans l'étude BURGEAP [2012] relative à la caractérisation des remblais en zone humide) contenant ces produits pourrait expliquer la concentration plus élevée en bore pour le qualitomètre B par rapport aux autres piézomètres. Ce même rapport mettait en évidence des dépassements ponctuels en mercure, plomb, sélénium, fraction soluble et sulfates sur les lixiviats de « sols » de la décharge réalisés pour évaluer l'acceptabilité de ces « sols » en ISDI (installations de stockage de déchets inertes). Il est notable que toutes les formes anioniques décrites ci-dessus dont le sélénium (oxyanion) sont retrouvées au niveau du qualitomètre B.

Concernant les nombreux composés organiques analysés, un peu de trichloroéthylène (TCE), un solvant chloré, a été quantifié pour les qualitomètres A et B à hauteur respectivement de 0,3 µg/L en HE (0,2 µg/L en BE) et 5,4 µg/L en HE (2,7 µg/L en BE). Les concentrations en TCE du qualitomètre A constituent le bruit de fond de ce composé anthropique ubiquiste, et se distinguent des concentrations observées sur le qualitomètre B, qui bien qu'inférieures à la VS de 10 µg/L, traduisent un impact non nul.

4.9. ANALYSES DES SOLS

Il a été décidé, à l'occasion d'une campagne de terrain de relevé piézométrique fin juillet 2017, de réaliser quelques mesures qualitatives des sols à l'aide d'un appareil de fluorescence X portatif qui permet de mesurer sur le terrain, un ensemble d'éléments dont des métaux et métalloïdes, en quelques minutes.

Les sols analysés l'ont été pour l'essentiel à toute proximité des piézomètres (mais en dehors de la zone impactée par la mise en place du piézomètre). D'autres mesures ont été réalisées dans un rayon proche de ces mêmes piézomètres sur la base d'observation visuelle (par exemple, terre de couleur différente) ou pour tester l'influence d'un contexte (proximité de l'autoroute).

4.9.1. Principe et mesures

Le spectromètre portable émet un rayonnement X en direction de l'échantillon à analyser (dans le cas présent, les herbes sont dégagées, les premiers centimètres de sol sont démottés, homogénéisés et tassés et le spectromètre est appliqué à même le sol - Illustration 52) et provoque une excitation énergétique des électrons internes des éléments de l'échantillon (couches électroniques K, L, M -pour les éléments de numéro atomique supérieur à 57-). Les éléments passent du niveau énergétique fondamental à un niveau énergétique excité puis retournent spontanément dans leur état fondamental par transitions électroniques (réarrangement ou désexcitation). Ce « retour » est accompagné par l'émission de photons X (photons X secondaires = fluorescence) spécifiques de chaque élément chimique. Les teneurs des éléments sont obtenues par déconvolution de ce spectre d'énergie émis lors du phénomène de désexcitation.

Ce spectromètre permet potentiellement d'analyser les éléments traces métalliques suivants : chrome, manganèse, fer, cobalt, nickel, cuivre, zinc, arsenic, plomb, mercure, étain, antimoine.

Pour ces différents éléments, la limite de détection dépend de l'élément, de la matrice et des autres éléments aussi présents pouvant être à l'origine d'interférence, de la préparation de l'échantillon et du temps de mesure. La limite de détection varie de 10 à 500 $mg.kg^{-1}$ de Matière Sèche MS suivant ces paramètres. En contrepartie des avantages qu'apporte la possibilité de faire des analyses non destructrices et rapides, il convient de garder à l'esprit les limites qui y sont associées. Elles sont généralement dues à des problèmes d'interférences entre les spectres d'émission des différents éléments constituant le sol (aspect chimique) ou à des aspects physiques de la matrice (hétérogénéité de l'échantillon, porosité, influence de l'humidité).

Les limites de détection de certains des éléments cités précédemment ainsi que des interférences liées à la forte concentration en fer, font que seuls l'arsenic, le plomb, le cuivre, le zinc, et le fer peuvent être mesurés par ce modèle de spectromètre. Parmi les éléments pouvant être exploités car présentant suffisamment de mesures supérieures à la limite de quantification de l'appareil, seuls le plomb et le zinc ont été systématiquement mesurés.

Un descriptif complet des avantages et limites d'un modèle proche peut être trouvé dans le rapport BRGM/RP-53377-FR [Laperche, 2005].



Illustration 52 : Préparation du sol et réalisation d'une mesure avec le spectromètre portatif de fluorescence X (Source : BRGM)

4.9.2. Observations

26 mesures ont été réalisées. Les résultats sont présentés sur les Illustration 53 (pour le plomb) et Illustration 54 (pour le zinc) suivantes. A gauche sont présentées les valeurs et la taille des symboles a été définie sur la base de la répartition de ces 26 mesures en percentile ($25^{ème}$, $50^{ème}$, $90^{ème}$, $95^{ème}$ percentiles et > $95^{ème}$ percentile) afin de faire ressortir les teneurs les plus élevées.

Les sols qui présentent les concentrations les plus élevées (en plomb, comme en zinc), se révèlent être les sols mesurés au plus près du qualitomètre B, ainsi qu'entre le qualitomètre B et le qualitomètre A, à toute proximité de la décharge. Ils révèlent soit une influence ancienne des matériaux qui ont été stockés dans la décharge qui soit par envolement, lessivage, suintement ont touché le champ voisin, soit une influence encore actuelle, d'une couverture de décharge présentant des teneurs élevées en ces éléments.

Une mesure à proximité de l'autoroute, au nord de PZ03, montre une concentration moins forte qu'à proximité de la décharge mais néanmoins plus élevée relativement aux autres mesures. Elle traduit l'influence des émissions routières liées à l'autoroute toute proche (en particulier, très caractéristique pour le zinc présent dans les pneus).

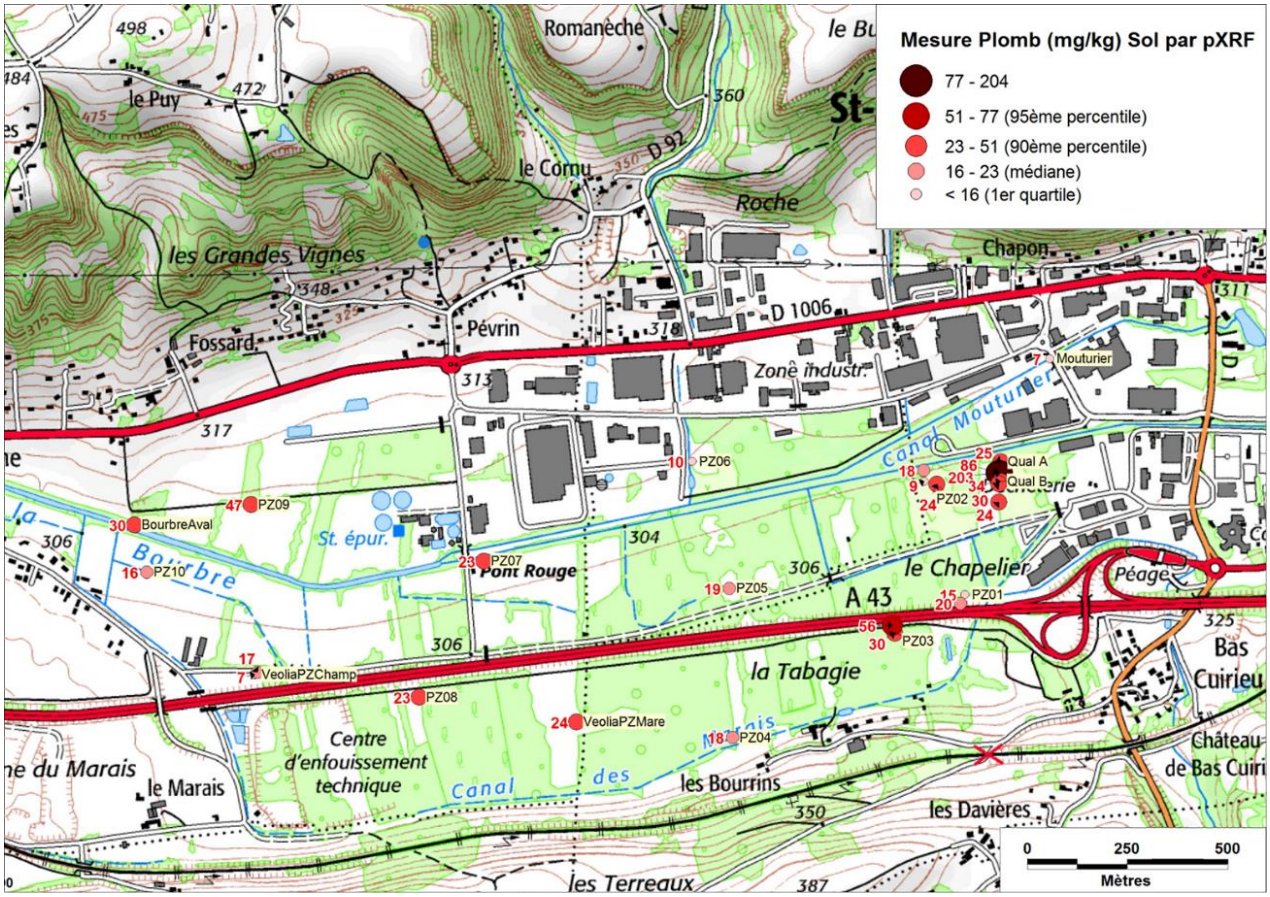


Illustration 53 : Mesures en plomb des sols situés à proximité des principaux piézomètres (Source : BRGM)

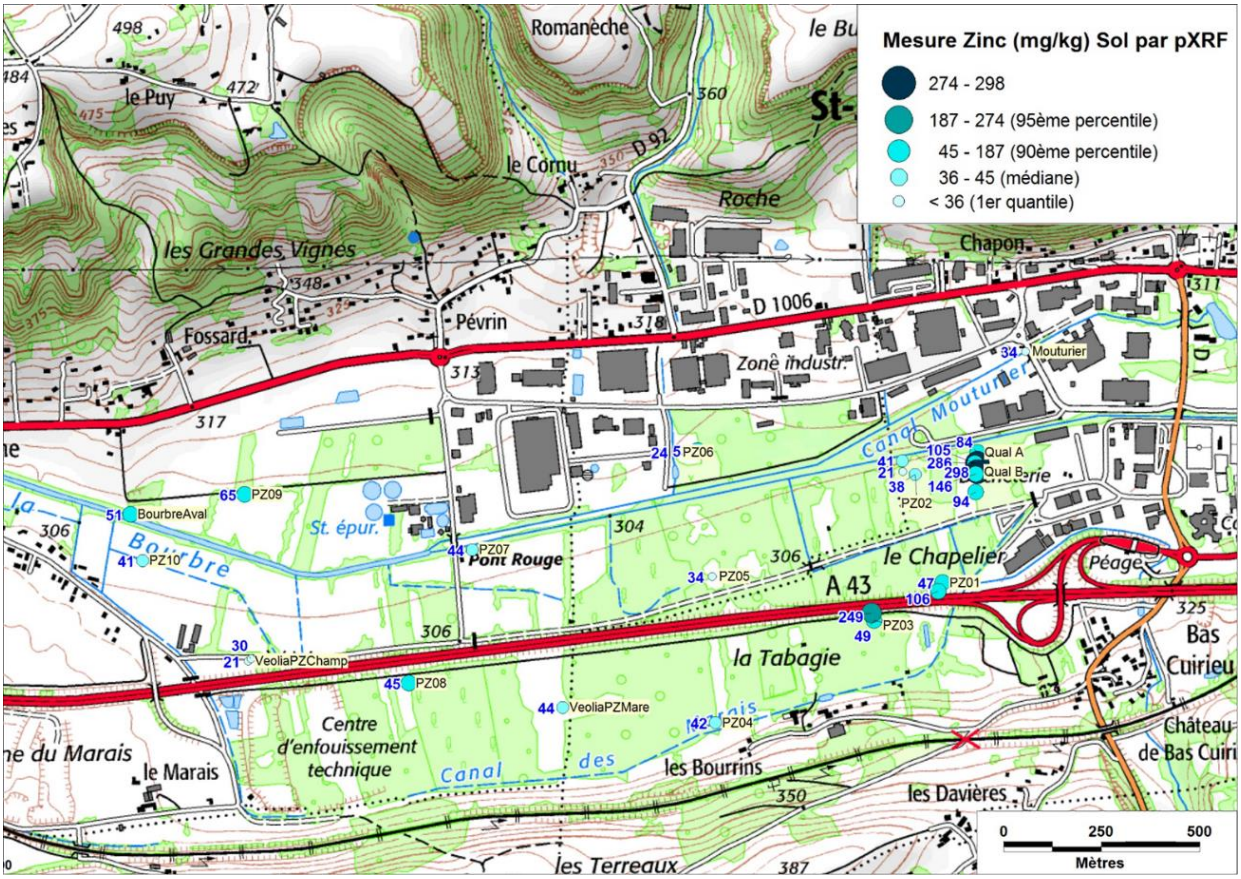


Illustration 54 : Mesures en zinc des sols situés à proximité des principaux piézomètres (Source : BRGM)

5. Interprétations hydrogéologiques

L'absence de conditions de hautes eaux au cours de l'hiver 2016-2017 nous a conduit à prolonger le suivi sur 2018 afin de pouvoir effectuer les observations nécessaires à la bonne compréhension des échanges entre les différents compartiments de l'hydrosystème du marais (mares, rivières, fossés, eaux souterraines).

5.1. ANALYSE DES CHRONIQUES

5.1.1. Corrélations croisées

L'ensemble des chroniques acquises à l'aide des différentes sondes installées sur le terrain pendant toute l'étude a été validé par des mesures mensuelles sur le terrain, corrigé si besoin et traité numériquement de manière à étudier la corrélation des chroniques les unes avec les autres. Ce processus permet ainsi de calculer 2 matrices stratégiques pour l'analyse de nos données :

- La matrice des coefficients de corrélation maximums entre chaque station (cf. Illustration 55) : ce tableau présente l'ensemble des résultats du calcul du coefficient de corrélation maximum que l'on peut trouver entre deux séries chronologiques, que ces séries doivent être décalées dans le temps ou non.
- La matrice des décalages entre les séries pour la corrélation maximale (cf. Illustration 56) : ce tableau présente le décalage temporelle à appliquer à une série chronologique pour obtenir une corrélation maximale.

Ces 2 matrices peuvent nous donner des informations sur un type de relations qu'il existe entre les séries chronologiques de 2 stations de mesure, que ce soit pour des eaux souterraines ou des eaux superficielles. Voici un guide simplifié de lecture de ces tableaux avant d'en présenter les principales informations à retenir :

- Illustration 55 : si je veux analyser la corrélation entre les piézomètres de la rive droite de la Bourbre, je suis la ligne du PZ06 jusqu'à son intersection avec la colonne du PZ09. Le coefficient de corrélation maximale calculé entre les 2 séries chronologiques de ces piézomètres est de 0,84. Ce coefficient traduit une corrélation assez élevée entre ces 2 ouvrages.
- Illustration 56 : la même opération réalisée sur ce tableau me permet d'apprendre que le décalage temporel nécessaire à l'obtention de la plus forte corrélation entre les 2 séries (0,84) est de 29 jours.

L'interprétation de ses résultats doit cependant être réalisée avec la plus grande précaution. En effet, une corrélation, même forte, ne traduit pas forcément un lien de cause à effet direct entre les deux séries. Le lien entre les séries peut également être une origine commune. Dans bon nombre des cas du type de notre exemple, l'origine commune aux signaux piézométriques étudiés n'est autre que la pluviométrie qui, par recharge des aquifères du territoire, induit un signal dans chaque aquifère pouvant être fortement corrélé l'un avec l'autre. Pour peu que les caractéristiques hydrodynamiques des compartiments d'un hydrosystème soient assez proches, il sera possible d'obtenir une corrélation très forte, sans décalage temporelle, pour des réservoirs qui n'auront pourtant pas forcément de relation physique direct.

	PZ1	PZ2	PZ3	PZ4	PZ5	PZ6	PZ7	PZ8	PZ9	Bourbre amont	Mare CCVD	PZ10	Qualitometre A	Qualitometre B	FERRARI	Bourbre aval	Canal	Pz Veolia mare	Pz Veolia Champ	Mare Veolia
PZ1	1.00	1.00	0.89	0.86	0.98	0.98	0.95	0.83	0.80	0.85	0.97	0.95	1.00	1.00	0.88	0.84	0.60	1.00	1.00	0.72
PZ2		1.00	0.90	0.87	0.99	0.99	0.95	0.84	0.81	0.85	0.97	0.95	1.00	1.00	0.88	0.84	0.60	1.00	1.00	0.72
PZ3			1.00	0.94	0.91	0.91	0.93	0.94	0.88	0.81	0.85	0.91	0.90	0.90	0.80	0.80	0.66	0.90	0.90	0.81
PZ4				1.00	0.87	0.89	0.91	0.95	0.94	0.81	0.88	0.89	0.87	0.87	0.79	0.80	0.73	0.88	0.87	0.87
PZ5					1.00	0.99	0.93	0.85	0.82	0.84	0.96	0.94	0.99	0.99	0.89	0.82	0.62	0.99	0.99	0.74
PZ6						1.00	0.95	0.87	0.84	0.84	0.96	0.94	0.99	0.99	0.88	0.83	0.62	0.99	0.99	0.75
PZ7							1.00	0.91	0.83	0.84	0.91	0.96	0.95	0.95	0.86	0.82	0.61	0.95	0.95	0.75
PZ8								1.00	0.96	0.80	0.76	0.87	0.85	0.85	0.80	0.72	0.60	0.86	0.84	0.81
PZ9									1.00	0.80	0.77	0.79	0.84	0.84	0.73	0.74	0.73	0.85	0.83	0.86
Bourbre amont										1.00	0.79	0.85	0.87	0.88	0.78	0.96	0.74	0.88	0.88	0.77
Mare CCVD											1.00	0.91	0.97	0.97	0.85	0.76	0.50	0.97	0.97	0.69
PZ10												1.00	0.96	0.96	0.85	0.86	0.65	0.96	0.97	0.76
Qualitometre A													1.00	1.00	0.88	0.84	0.60	1.00	1.00	0.72
Qualitometre B														1.00	0.88	0.84	0.60	1.00	1.00	0.72
FERRARI															1.00	0.76	0.46	0.88	0.89	0.64
Bourbre aval																1.00	0.79	0.85	0.85	0.78
Canal																	1.00	0.61	0.61	0.72
Pz Veolia mare																		1.00	1.00	0.73
Pz Veolia Champ																			1.00	0.72
Mare Veolia																				1.00

Illustration 55 : Coefficients de corrélation maximums entre chaque station

	PZ1	PZ2	PZ3	PZ4	PZ5	PZ6	PZ7	PZ8	PZ9	Bourbre amont	Mare CCVD	PZ10	Qualitometre A	Qualitometre B	FERRARI	Bourbre aval	Canal	Pz Veolia mare	Pz Veolia Champ	Mare Veolia
PZ1	0	0	13	18	0	0	18	18	33	30	0	9	0	0	0	32	29	0	0	31
PZ2		0	14	18	0	0	18	18	33	30	0	10	0	0	0	32	29	0	0	31
PZ3			0	0	-6	-8	0	0	5	18	-11	0	-14	-14	-6	23	33	-13	-13	8
PZ4				0	-11	-16	0	0	0	1	-8	0	-18	-18	0	23	27	-17	-17	1
PZ5					0	0	12	6	30	28	-1	4	0	0	0	29	28	0	0	30
PZ6						0	18	8	29	29	0	6	0	0	1	30	30	0	0	30
PZ7							0	0	6	1	-18	0	-18	-18	0	26	1	-18	-18	6
PZ8								0	0	0	-19	0	-19	-19	-7	1	35	-18	-18	29
PZ9									0	0	-31	-6	-35	-35	-14	1	27	-35	-35	4
Bourbre amont										0	-29	-23	-30	-30	-14	0	0	-30	-30	0
Mare CCVD											0	8	0	0	1	30	15	0	0	0
PZ10												0	-9	-9	0	24	28	-8	-8	6
Qualitometre A													0	0	0	32	29	0	0	31
Qualitometre B														0	0	32	29	0	0	31
FERRARI															0	14	20	0	0	21
Bourbre aval																0	0	-32	-32	0
Canal																	0	-29	-29	-20
Pz Veolia mare																		0	0	30
Pz Veolia Champ																			0	30
Mare Veolia																				0

Illustration 56 : Décalage temporel entre les séries pour la corrélation maximale (jours)

Dans le cas présent les points remarquables sont les suivants :

- La majorité des piézomètres présente une corrélation maximale de plus de 90% (noté 0,9 dans le tableau), et pouvant même atteindre 100%, que les ouvrages soient profonds (ceux de Véolia) ou superficiels (BRGM). Les ouvrages ainsi concernés sont les piézomètres PZ01, PZ02, PZ05, PZ06, PZ07, PZ10, Qualito A, Qualito B, Pz Veolia mare et Pz Veolia champ. Ces ouvrages sont localisés dans la partie au nord de l'autoroute. La mare de la CCVD (proche du PZ02) est également très fortement corrélée avec ces ouvrages. Dans ce secteur, seul le PZ09 fait exception à cette règle. Le maximum de corrélation entre ces points est obtenu sans décalage temporel (0 jour).
- Le canal Mouturier présente une très mauvaise corrélation avec l'ensemble des ouvrages suivis. Ceci illustre bien le caractère anthropique du fonctionnement de ce canal : prise d'eau contrôlée sur la Bourbre et rejets massifs du pompage Ferrari.
- La grande mare de Véolia n'est corrélée qu'avec les ouvrages superficiels situés au sud de l'autoroute, non loin d'elle (PZ033, PZ04 et PZ08). Le PZ9, seul ouvrage du nord de l'autoroute non corrélé avec les autres présente également une corrélation assez forte avec la mare de Véolia. Le décalage temporel avec ces points est relativement court mais de plusieurs jours et jusqu'à 29 jours avec le PZ08.
- Le forage Ferrari présente une corrélation moyenne avec les autres ouvrages du fait du caractère anthropique de sa chronique, directement influencée par les pompages.
- La Bourbre présente également une corrélation moyenne avec l'ensemble des ouvrages et nécessite un décalage temporel important de 20 à 30 jours. Ce décalage indique que le signal enregistré dans les piézomètres affiche sa meilleure corrélation avec le signal de la rivière 20 à 30 jours après celui transmis par la rivière. Le PZ07, implanté très proche de la Bourbre, présente un décalage temporel logiquement très faible avec celle-ci (1 jour). Le PZ04, pourtant loin du cours d'eau et mal corrélé avec les autres piézomètres présente également un décalage très court avec le signal de la Bourbre. Cet élément semble indiquer, non pas un lien direct, mais un lien par origine, le PZ04 devant être influencé rapidement par la pluviométrie locale.
- L'Illustration 57 correspond à la représentation graphique des matrices décrites ci-dessus. Le premier graphe présente les 2 chroniques et le second graphique, juste en dessous, illustre le décalage des séries temporelles en fonction du coefficient de corrélation. Le maximum de cette courbe correspond en abscisse à la valeur du décalage temporelle reportée sur l'Illustration 56 et en ordonnée à la valeur de la corrélation maximale de l'Illustration 55.

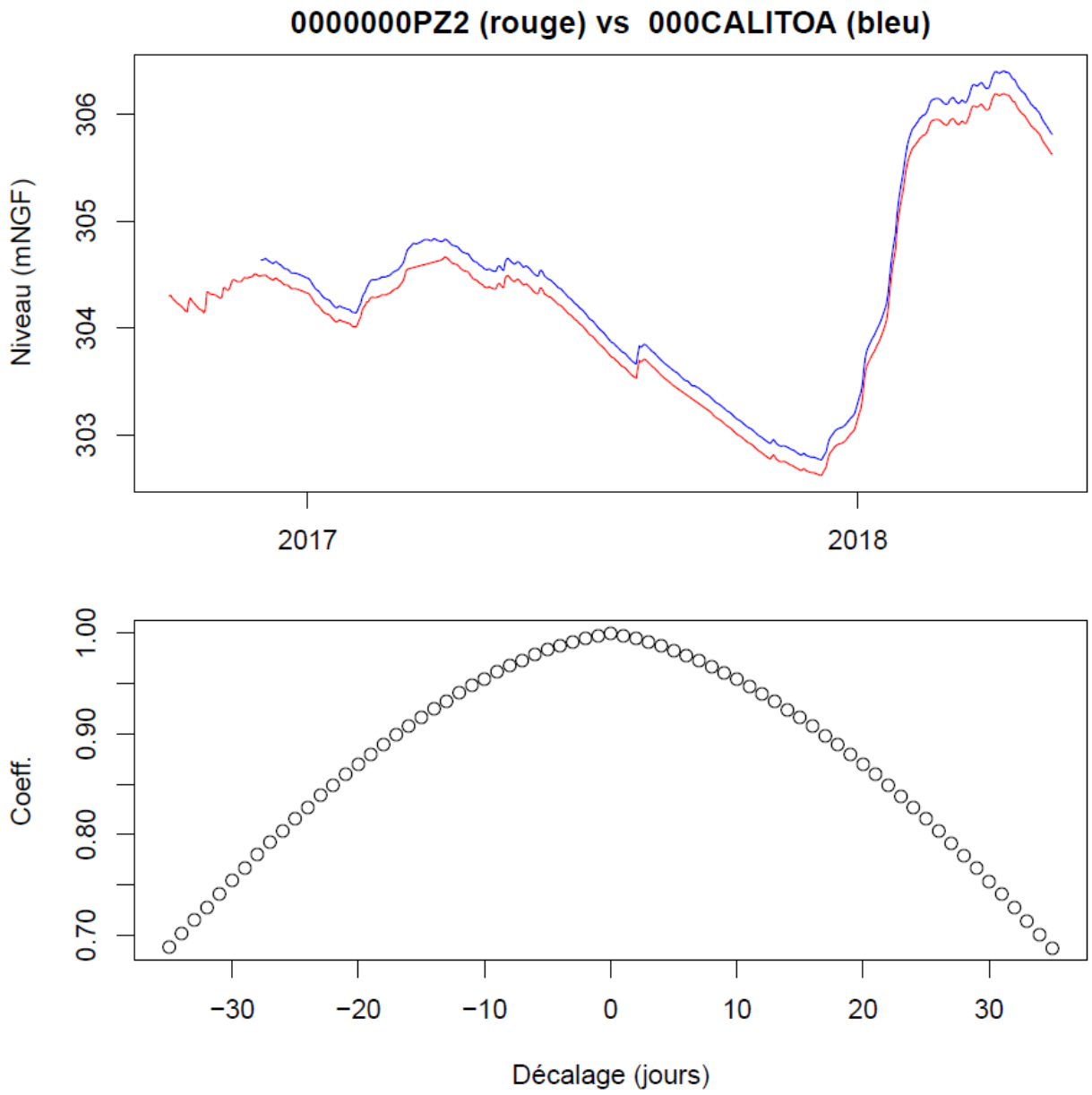


Illustration 57 : Corrélogramme croisé entre le PZ02 et le QualitomètreA

Le signal de la pluviométrie étant partiellement perturbé par un dysfonctionnement de la centrale d'acquisition, cette série chronologique n'a pas été comparée aux autres par cette analyse. Les données sont cependant utilisées de manière plus qualitative, en particulier pour étudier la remise en eau de la mare de la CCVD.

5.1.2. Remise en eau de la mare de la CCVD

L'Illustration 58 présente les conditions de remise en eau de la mare de la CCVD (Echelle B).

Plusieurs éléments sont à considérer pour pouvoir appréhender correctement l'analyse conjointe de ces courbes :

- La chronique pluviométrique, même si elle doit être prise avec précautions, permet à minima de juger des moments d'arrivée des perturbations et de l'intensité maximale de celles-ci.
- 2 sondes différentes ont été utilisées pour suivre le niveau de la mare, la première sonde ayant été submergée lors de la montée rapide des eaux. La seconde sonde a ensuite été prise dans la glace pendant plusieurs jours, voire semaine, ce qui peut avoir causer quelques petits artéfacts sur la courbe.
- Nous avons choisi de représenter la chronique du PZ02 qui est l'ouvrage le plus proche de la mare avec laquelle il affiche une excellente corrélation.
- La chronique de la Bourbre (Echelle A, en vert) est représentée selon l'échelle Y commune (5 m de variation sur l'axe) mais décalée vers le bas de manière à en permettre une meilleure lisibilité. Ceci étant, il faut garder en mémoire que les niveaux de la Bourbre sont situés de 1 à 4 m (selon la période) au-dessus de ceux du piézomètre et de la mare. La Bourbre est donc dite « perchée » au-dessus du marais et représente le compartiment de l'hydrosystème le plus élevé dans cette partie du marais.

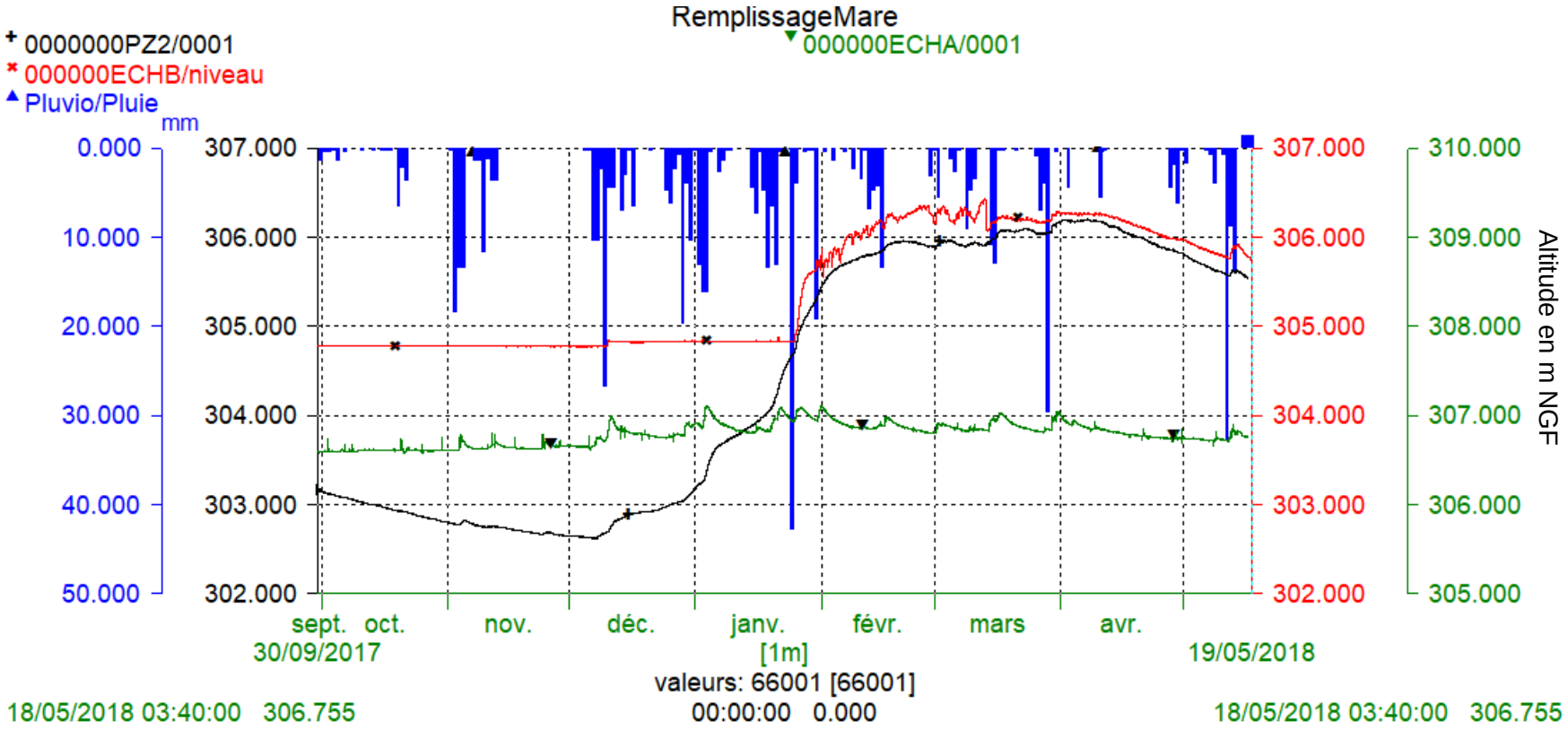


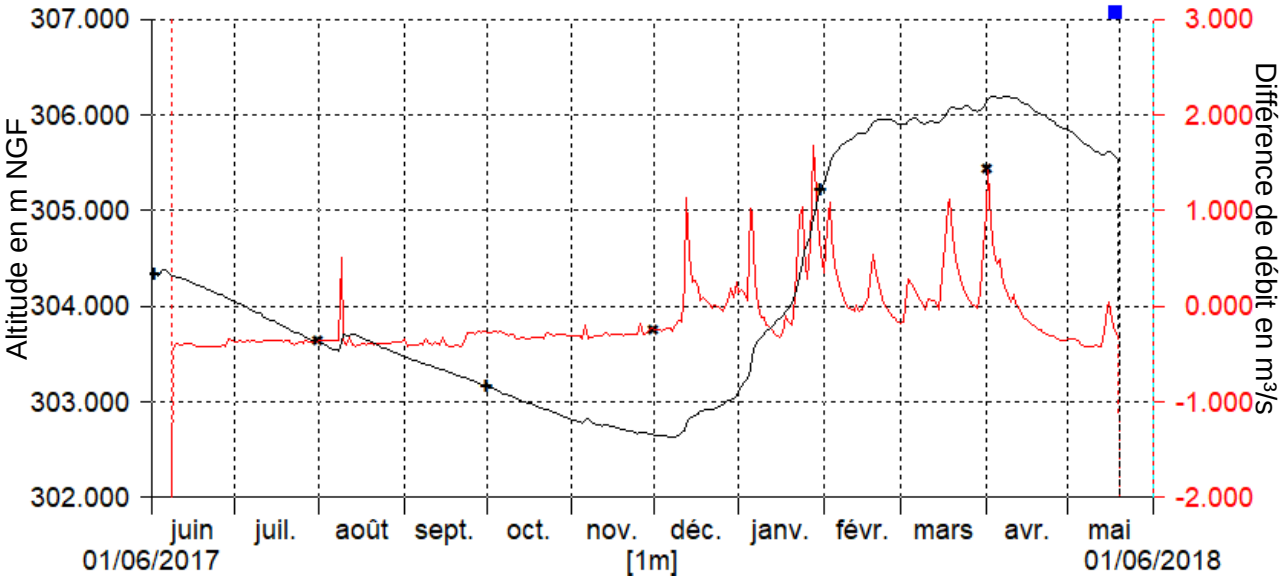
Illustration 58 : Chronique des niveaux de la mare CCVD, Bourbre, PZ022 et précipitations

La mare de la CCVD, équipée d'une sonde et d'une échelle de mesure (Echelle B, en rouge) par le BRGM a été sèche de septembre 2016 à décembre 2017 (cause majeure de la prolongation du suivi). Les premiers centimètres de la remise en eau se sont fait à l'occasion des fortes pluies du 11/12/2017. Le niveau est ensuite resté constant jusqu'aux pluies importantes qui ont suivi le 25/01/2018. Mais l'analyse de ce graphique permet surtout de visualiser ce qui était jusqu'alors pressenti : la remise en eau de la mare coïncide avec la montée de la nappe dans le piézomètre (PZ02, en noir). On observe en particulier qu'à partir du moment où l'altitude de la nappe atteint l'altitude du fond de la mare, les 2 séries restent fortement corrélées.

L'interprétation de ces données conduit à asseoir la conceptualisation de certaines relations entre les compartiments de l'hydrosystème. Dans le cas présent, nous pouvons valider les suppositions de départ qui consistaient à dire que le niveau des mares résultait d'une part des précipitations, le fond argileux permettant de stocker l'eau momentanément, mais bénéficiait d'un soutien par les eaux souterraines, celles-ci compensant plus ou moins partiellement les pertes par évaporation.

5.1.3. Bilan des débits

L'Illustration 46, reprise ci-dessous, permet de confronter l'évolution du bilan des eaux superficielles avec l'évolution du niveau d'eau souterraine dans un secteur où la corrélation entre les 2 chroniques est plutôt moyenne (PZ02, secteur est du marais).



Même s'il est toujours risqué de tirer des conclusions de l'observation d'un unique cycle hydrologique, particulièrement sec de surcroît, nous nous devons cependant d'émettre des hypothèses cohérentes et permettant de conceptualiser le fonctionnement du marais.

Le bilan des débits (débit sortant – débits entrants) est négatif pendant tout l'étiage 2017, indiquant qu'une partie des eaux superficielles entrant dans le marais change de compartiment de l'hydrosystème Marais. La première hypothèse est donc que ces eaux s'infiltrent, la rivière alimentant donc la (les) nappe(s) de manière assez constante au cours de l'étiage.

En parallèle, nous observons qu'au cours de ce même étiage, les niveaux piézométriques ne cessent de baisser, illustrant que si la rivière soutient la nappe en étiage, elle ne la soutient pas de manière suffisante ou pas partout.

La période de hautes eaux, marquée par un bilan positif (voire fortement positif), correspond à un débit sortant du marais supérieur à la somme des débits entrants. La deuxième hypothèse est que la nappe pourrait alimenter la rivière avant sa sortie du marais.

Le raisonnement sur les débits ne suffit pas et nous devons intégrer à nos analyses les altitudes de chaque compartiment. L'Illustration 59 permet de visualiser les relations potentielles entre la Bourbre (amont et aval) et 2 piézomètres proches de celle-ci (PZ02 à l'amont et PZ10 à l'aval).

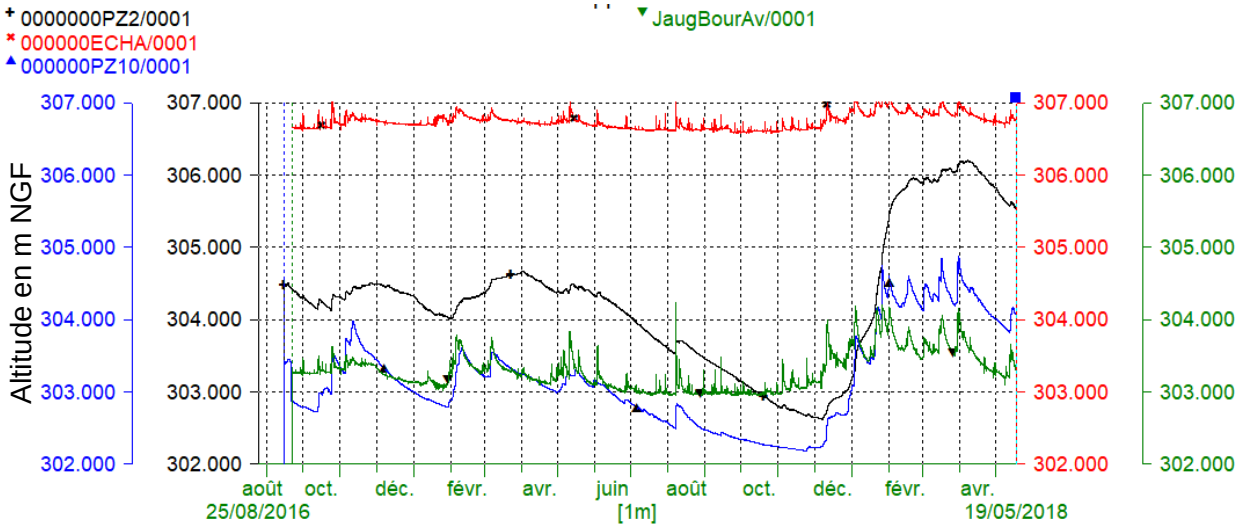


Illustration 59 : Relations nappe-rivière, rive gauche

Les 2 piézomètres sont très bien corrélés entre eux et moyennement corrélés avec la Bourbre.

Dans la partie est du marais (amont hydraulique), on constate que le niveau du piézomètre PZ02 est nettement en dessous de celui de la rivière (Bourbre amont). La nappe ne pourra donc en aucun cas alimenter la rivière dans ce secteur, quelle que soit la période hydrologique. La rivière pourrait donc alimenter la nappe, mais en dépit de sa proximité avec le lit du cours d'eau, le niveau d'eau dans le piézomètre est très peu marqué par les pics de crues observables sur le cours d'eau. Le tronçon amont de la Bourbre semble ainsi déconnecté du reste de l'hydrosystème.

Dans la partie ouest du marais (aval hydraulique), on constate que le niveau du piézomètre PZ010 est plus proche de celui de la Bourbre (Bourbre aval). Cependant, le niveau de la nappe à l'étiage se situe sous le niveau de la rivière. Le marais ne peut donc pas soutenir l'étiage du cours d'eau.

En période sèche c'est donc la rivière qui peut localement alimenter les eaux souterraines du marais. Le bilan des débits, négatif à l'étiage, est donc confirmé par les relations évoquées ici.

L'Illustration 60 montre que les conditions sont identiques en rive droite du cours d'eau avec pour exemple le piézomètre PZ99, situé à proximité de la Bourbre mais offrant des niveaux d'étiages inférieurs à ceux du cours d'eau.

En période de hautes eaux, les niveaux piézométriques observés sont supérieurs au niveau de la Bourbre dans sa partie ouest (aval hydraulique), permettant ainsi une alimentation de la rivière par les eaux souterraines. Ces apports, complétés des ruissellements superficiels acheminés par les fossés du marais, participent à l'existence d'un bilan des débits positifs à l'étiage, traduisant un apport d'eau du marais (eaux superficielles des fossés et eaux souterraines) vers la rivière.

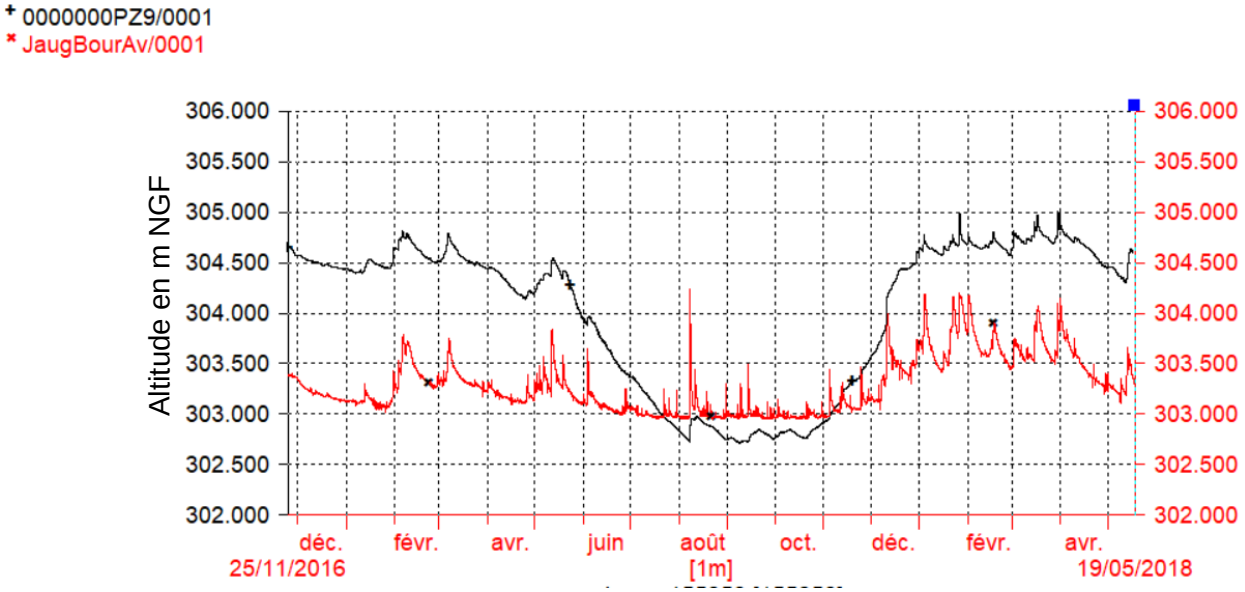


Illustration 60 : Relations nappe-rivière, rive droite

5.2. ANALYSE DE LA CONDUCTIVITE

Sur la campagne de novembre 2017 (Illustration 47), la conductivité de l'aquifère est variable mais généralement comprise entre 600 et 800 µS/cm. Ces valeurs sont comparables à celles attendues pour un aquifère en milieu alluvial. Par contre, la zone orientale du marais met en évidence des valeurs élevées, en particulier à proximité de l'ancienne décharge (qualito B), mais aussi non loin de l'autoroute (PZ01, PZ03 et PZ05). Une hypothèse d'interprétation serait le lien entre la conductivité et la présence d'horizons plus argileux dans la partie sud-est, ce qui ralentirait l'écoulement et favoriserait les réactions chimiques (ex : réduction des nitrates).

Concernant les eaux superficielles, la Bourbre et le canal Mouturier présentent des valeurs semblables, de l'ordre de 600 à 630 µS/cm.

Sur la campagne de mars 2018 (Illustration 48), les observations réalisées en novembre restent globalement valables : l'aquifère a une conductivité entre 600 et 800µS/cm et les différentes anomalies constatées perdurent. Dans la partie orientale, les ouvrages présentant une forte conductivité restent les même (PZ01, PZ03, PZ05 et Qual B). Pour l'ouvrage PZ03, la conductivité a même atteint 2100 µS/cm.

Concernant les eaux superficielles, la Bourbre et le canal Mouturier présentent des valeurs semblables, un peu plus faibles que durant l'hiver, de l'ordre de 560 à 590 µS/cm.

Certains points comme le PZ08 ou le PZ10 peuvent présenter des variations importantes de conductivité entre deux campagnes de mesures, avec des amplitudes de 200 à 400 µS/cm. Aucune conclusion ne peut être tirée de ces valeurs. La conductivité est un paramètre intégrateur dépendant de l'ensemble des éléments en solution. La saison et les conditions de circulation-stagnation des eaux peut faire varier dans des proportions bien supérieures à celles-ci la valeur

de la conductivité. Ainsi de l'eau de pluie mesurée dans un creux de bâche abandonnée au cœur du marais présente une conductivité inférieure à 50 µS/cm alors que l'eau de pluie formant les flaques sur la piste le long de l'autoroute peut atteindre des valeurs de 700 µS/cm, à peine deux jours après les dernières précipitations.

5.3. CARTES PIEZOMETRIQUES

Les différentes campagnes de terrain visant à récupérer les données des sondes ont également été l'occasion de faire des relevés piézométriques sur un maximum d'ouvrages et de cours d'eau. Cette collecte d'information a donné lieu à la réalisation de cartes piézométriques visant à représenter les conditions d'écoulement des eaux au sein du marais.

Deux cartes ont ainsi pu être réalisées : une carte présentant la piézométrie de hautes eaux (Illustration 61) et une carte décrivant la piézométrie de basses eaux (Illustration 62).

La campagne piézométrique du 14 mars 2018 correspond à une période de hautes eaux. Les niveaux mesurés varient entre 304,18 et 306,5 m NGF, soit une variation de plus de 2 m entre l'amont et l'aval du marais. Le tracé des isopièzes (Illustration 61) met en évidence un écoulement principal allant d'est en ouest, parallèle à la topographie et à l'écoulement des eaux superficielles. Le gradient varie de 3 à 4 ‰ dans l'axe d'écoulement. Le tracé des isopièzes en bordure de la zone d'étude présente des inflexions, synonymes d'apports d'eau depuis les versants. Il n'y a que dans la partie la plus occidentale que l'essentiel de l'écoulement se réalise suivant un sens sud-nord (le gradient hydraulique y est de l'ordre de 5 ‰) ; il serait possible d'y voir l'influence du cône de déjection sis plus à l'ouest.

Dans la partie orientale du marais, les niveaux de la Bourbre et du canal Mouturier sont nettement au-dessus de celui de la nappe. Si une relation nappe rivière existe dans ce secteur, alors celle-ci ne peut donc qu'exister via des pertes depuis la rivière vers la nappe. Ce dernier point est néanmoins soumis à caution car des observations du lit de la Bourbre ont montré la présence d'un fond parsemé de galets ronds et calcifié, pouvant limiter les potentielles pertes.

Dans la partie occidentale (après la confluence entre le canal Mouturier et la Bourbre), le niveau de la Bourbre est environ 1 mètre en-dessous de celui de l'aquifère. Il est donc probable qu'ici la rivière draine partiellement la nappe en période de hautes eaux.

Concernant la partie centrale, la forme des isopièzes laissent penser qu'un ancien chenal (de granulométrie supérieure – exemple : sable, voire gravier) concentrerait une partie des écoulements souterrains. Les données techniques (géophysique, coupe de forage…) manquent cependant pour confirmer cette hypothèse.

Face à la difficulté à tracer la carte correspondant à la campagne de terrain du 22 novembre 2017 (Illustration 62), le BRGM a ré-étudié les chroniques piézométriques du réseau de surveillance et a jugé plus pertinent de prendre les valeurs issues des sondes électroniques pour la date du 15 décembre 2017 (horaire : 12 :00). En effet, certaines chroniques ont mis en évidence que le niveau le plus bas n'avait pas encore été atteint en novembre dans quelques secteurs

Complexe, la carte piézométrique ainsi tracée doit surtout être considérée au regard de la mise en évidence des phénomènes d'infiltration et de recharge de l'aquifère, plus que pour sa représentativité des flux souterrains (relativement faibles étant donné le gradient hydraulique). En fonction des secteurs considérés, le gradient varie entre 2 et 6 ‰ ; son orientation varie aussi considérablement.

Dans la partie australe, au sud de l'autoroute, les niveaux piézométriques sont plus hauts en particulier dans les angles sud-est (PZ03 et PZ04 - bretelle d'accès) et sud-ouest (PZ08 - déchetterie). Ce constat est probablement lié aux premières pluies efficaces des mois de novembre et décembre : le ruissellement sur le versant sud a été conséquent, mais s'est retrouvé bloqué par l'autoroute et le réseau de fossés (végétalisés). En revanche, le PZ Veolia Mare affiche un niveau plus bas, probablement lié au fait que ses crépines sont plus profondes, que l'infiltration n'a pas encore forcément atteint la partie plus profonde de l'aquifère et que la productivité des terrains en profondeur étant meilleure, les pics de crue sur l'aquifère sont moins marqués.

Dans la zone au nord de l'autoroute, la situation est similaire : plusieurs piézomètres (PZ07, PZ09), peu profonds, ont un niveau supérieur du fait d'apports et d'une infiltration plus rapides depuis le versant nord (gradient proche de 9 ‰). D'autres ouvrages (Porcher, Qual A et B), dont les profondeurs de crépine sont plus importantes, ont un niveau relativement plus bas. La recharge mettra plus de temps à y être effective.

Concernant la relation nappe-rivière, il reste probable que les échanges soient très limités voire inexistants dans la partie orientale. Cependant, dans la partie occidentale, le sens des échanges s'inverserait : la rivière alimenterait partiellement la nappe (écart de 0,81 m entre le PZ10 et le niveau de la Bourbre).

Ces deux cartes piézométriques illustrent (ou confirment) le fonctionnement hydrogéologique du marais : un écoulement souterrain d'est en ouest (avec des apports depuis les versants sud et nord), marqué par une période de basses eaux allant d'octobre (dans les secteurs où l'aquifère est transmissif, ainsi que dans la partie aval) à décembre (dans les zones les moins transmissives), qui prend fin grâce aux précipitations locales et aux apports souterrains provenant de l'amont du marais (nappe passant sous La Tour-du-Pin). Les échanges nappe-rivière auraient principalement lieu après la confluence entre la Bourbre et le canal Mouturier.

Au cours de l'interprétation, l'impact anthropique sur l'aquifère est notable puisque l'autoroute apparaît comme une limite entre des compartiments aux fonctionnements légèrement déphasés. L'influence des pompages des entreprises Ferrari et Porcher resterait à préciser du fait de la faible densité de points de mesure autour de ces ouvrages industriels ; il est à noter que d'autres ouvrages n'ont peut-être pas été déclarés et/ou répertoriés.

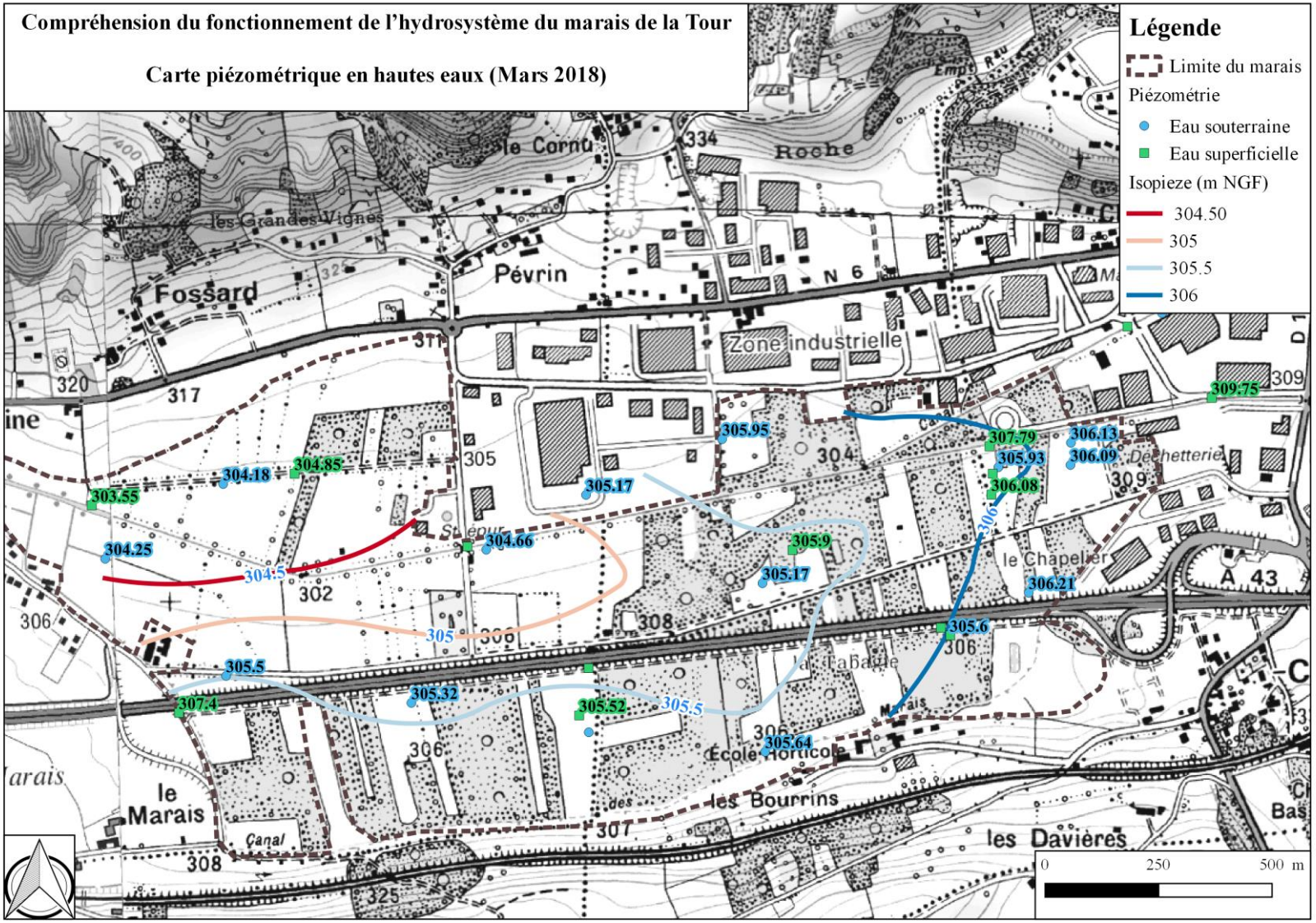


Illustration 61 : Carte piézométrique de hautes eaux (Source : BRGM)

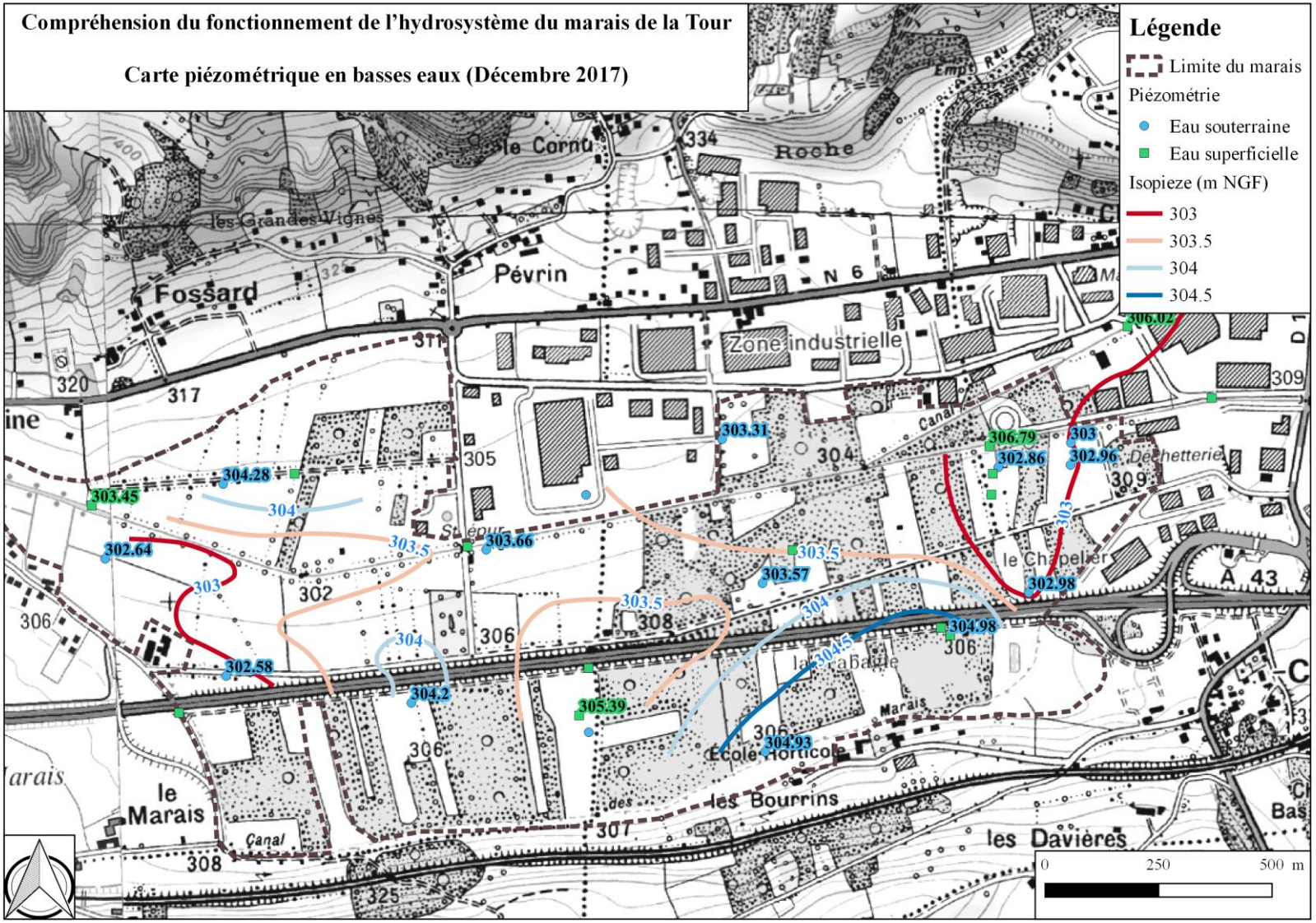


Illustration 62 : Carte piézométrique de basses eaux (Source : BRGM)

5.4. ANALYSE DE LA QUALITE DE L'EAU

L'ensemble des analyses d'eau réalisées au cours de 2 campagnes permet de mettre en évidences certains points caractéristiques.

Un impact a ainsi été constaté sur le qualitomètre B. Cet impact s'accompagne de teneurs élevées en sulfates, nitrates, bore, et carbone organique dissous. Du sélénium a été également mesuré. Cet impact présente une forte probabilité d'être lié à la présence de la décharge située en amont hydraulique direct. L'impact légèrement plus faible observé en période de basses eaux s'expliquerait d'ailleurs par un contact moins important avec les matériaux de la décharge ou les jus s'en écoulant.

La réalisation d'un piézomètre (et d'analyses) à l'amont du site de la décharge permettrait d'apporter la preuve formelle de la contribution de celle-ci.

Il convient de rappeler que le niveau de la nappe, y compris pour les hautes eaux de l'année 2017, est un des plus faibles rencontrés depuis de nombreuses années. Il est donc supposé que si l'impact est bien lié à la décharge, il sera d'autant plus élevé quand les eaux souterraines retrouveront un niveau habituel (imbibition plus forte).

Un impact salé et chaud a été constaté entre l'amont et l'aval de la Bourbre à l'occasion des prélèvements de basses eaux. Une influence des rejets de la station d'épuration située quelques mètres à l'amont du prélèvement Bourbre Aval pourrait en être à l'origine.

6. Conclusions et recommandations

A l'issue de cette étude visant à comprendre le fonctionnement de l'hydrosystème du marais de la Tour, de nombreuses incertitudes et autres défauts de connaissance ont pu être levés.

Les études géologiques, qu'elles soient documentaires ou qu'elles concernent des investigations de terrain (tarières), ont permis de préciser sur l'ensemble de l'emprise du marais la coupe géologique susceptible d'être observée. Ainsi, sous un premier horizon limono-argileux pouvant faire plusieurs mètres d'épaisseur, on trouve systématiquement une alternance d'horizons plus ou moins argileux et plus ou moins sableux, favorables à l'existence d'un aquifère multicouche et/ou même à plusieurs petits aquifères partiellement connectés. Cette formation se superpose aux alluvions de la Bourbre, aquifères, qui repose sur les formations molassiques, également aquifères, avec lesquelles des transferts d'eau peuvent se faire.

L'horizon superficiel, siège du marais en tant que tel, contient très peu de tourbe et présente un sol relativement minéralisé.

Ces premiers éléments de connaissance permettent d'identifier les différents compartiments de l'hydrosystème du marais :

- Les cours d'eau superficiels : principalement représentés par la Bourbre et le canal Mouturier, et complétés par les ruisseaux des versants qui leur servent d'affluents
- Les fossés du marais : ces fossés sont à sec la majeure partie de l'année. Ils servent principalement à évacuer les eaux météoriques en les conduisant jusqu'à la Bourbre. Largement obstrués par les végétaux, ils peuvent jouer un certain rôle pour le maintien d'une humidité de la surface du marais.
- Les mares : isolées des fossés et des cours d'eau, elles sont principalement d'origine anthropique afin de favoriser la biodiversité. Leur fond argileux permet de prévenir les eaux précipitées d'une infiltration trop rapide. L'étiage sévère observé en 2016 a montré que les mares peuvent rester asséchées pendant un cycle hydrologique complet, laissant la végétation gagner du terrain en poursuivant la minéralisation du sol.
- L'aquifère de subsurface : étudié par les piézomètres BRGM dans les 10 premiers mètres, cet aquifère multicouche est à l'interface entre le marais et les aquifères plus profonds. Il participe fortement à l'alimentation du marais.
- Les aquifères plus profonds : les alluvions et la molasse sont des aquifères puissants et productifs. Ils ne sont pas en relation directe avec le marais

Les investigations se sont concentrées sur les compartiments principaux du marais, à savoir les cours d'eau, les fossés, les mares et l'aquifère multicouche superficiel capté par les piézomètres BRGM.

L'ensemble des données convergent pour établir un schéma conceptuel du fonctionnement de l'hydrosystème. Ainsi, nous retiendrons les éléments suivants :

- Pour les cours d'eau : le débit de la Bourbre à son entrée dans le marais dépend de la pluviométrie et des échanges que le cours d'eau a pu effectuer avec ses alluvions à l'amont de la Tour du Pin. Le débit est très variable au cours de l'année contrairement à celui du canal Mouturier qui reste à peu près constant. La topographie du lit de la Bourbre fait que le cours d'eau est perché au-dessus du marais dans sa moitié est (amont hydraulique). L'ensemble des données récoltées tend à considérer que le lit est colmaté et que les pertes vers le marais sont négligeables. Dans sa partie occidentale, le cours

d'eau est susceptible d'alimenter la nappe à l'étiage et de la drainer en période de hautes eaux. Par conséquent, le cœur du marais ne peut pas être alimenté par la Bourbre. Pour pallier le problème d'alimentation du marais, le BRGM préconise la réalisation d'une prise d'eau sur la Bourbre, dans le secteur de la décharge. Cette prise d'eau pourrait être faite à l'aide d'une canalisation siphoïde qui permettrait un captage de l'eau sans apport permanent d'énergie. Cette eau pourrait ainsi venir alimenter un réseau de fossés ainsi que les mares, ou encore procéder à l'ennoiement contrôlé des terrains du marais. Réaliser dans des conditions de hautes eaux, cette dérivation profiterait au marais mais également aux secteurs situés à l'aval du site en réduisant légèrement les débits de la Bourbre. Si le débit à capter ne peut pas être défini aujourd'hui, la présence du réseau de piézomètres peut permettre de gérer simplement les besoins de prélèvement. L'Illustration 63 présente une synthèse des recommandations du BRGM et localise notamment la prise d'eau potentielle associée à un réseau de fossés à ennoyer.

- Pour les fossés : ces vecteurs hydrauliques ont été observés secs pendant près de 80 % du temps de l'étude. Leur fonction n'est aujourd'hui plus que d'assurer l'évacuation des eaux pluviales de la zone d'activité à l'est (aire des gens du voyage) ou encore les eaux de ruissellement de la partie située au sud de l'autoroute. Cette fonction, si c'est celle que l'on recherche, est diminuée par le défaut d'entretien de ces derniers. En revanche, ce défaut d'entretien devient un atout lorsqu'il s'agit de l'alimentation en eau du marais. En effet, afin de maintenir un niveau d'eau satisfaisant au sein du marais, le BRGM préconise d'obstruer partiellement les exutoires des fossés principaux se déversant dans la Bourbre. La suggestion est de réaliser des seuils afin de piéger l'eau au cœur du marais et ainsi favoriser son infiltration dans l'horizon superficiel.
- Pour les mares : la mare la mieux décrite dans le rapport est celle réalisée par le CCVT (Echelle B, proche PZ02). Cette mare est située au cœur du marais et illustre parfaitement le fonctionnement de celui-ci ainsi que les relations entre le compartiment superficiel et souterrain de l'hydrosystème. Nous avons ainsi pu l'observer à sec entre septembre 2016 et décembre 2017, soit pendant plus d'un an, et se remettre en eau à partir de décembre 2017. Les travaux réalisés dans le cadre de ce projet montrent que l'alimentation de la mare se fait de 2 manières : par les eaux météoriques, à condition d'avoir des épisodes intenses et fréquents car la topographie limite le ruissellement et ne confère aucun bassin versant aux mares susceptibles de les remplir rapidement, mais surtout par les eaux souterraines en provenance du compartiment sous-jacent constituant l'aquifère multicouche. Ainsi, sous réserve d'une recharge hydrique suffisante, le niveau piézométrique s'élève jusqu'à atteindre le niveau des mares et les ennoyer. Les mares restent alors en eau jusqu'à ce que le niveau piézométrique de l'aquifère diminue. Le fond argileux des mares n'est pas suffisant pour les maintenir en eau. La mise en place d'une prise d'eau sur la Bourbre permettrait de remettre en eau ces mares dès le mois de décembre si les précipitations n'étaient pas suffisantes.
- Pour l'aquifère multicouche de subsurface : cette formation argilo-sableuse alimente les mares lorsqu'elle bénéficie de conditions de recharges suffisantes (hiver 2017/2018). Au cœur du marais, ce réservoir n'est pas alimenté par la Bourbre. Il doit sa recharge aux précipitations locales qui s'infiltrent, aux échanges plus profonds avec les alluvions de la Bourbre (modalité non connue mais directement liée à la recharge globale de cet aquifère) et aux apports latéraux en provenance des coteaux molassiques. Le secteur dernièrement défriché au sud-est de l'autoroute représente ainsi un réel potentiel d'infiltration des eaux météoriques et donc d'alimentation du marais. Le BRGM propose donc d'exploiter les caractéristiques de cette zone en ce sens, en y favorisant la stagnation et l'infiltration des eaux de ruissellement du coteau afin de compléter les modalités d'alimentation du marais (multicouche et mares). La principale action pourrait consister à bloquer l'écoulement dans les fossés de ces zones.

Le périmètre officiel définissant l'Espace Naturel Sensible du marais nous paraît potentiellement bien plus grand que la zone dont le fonctionnement correspond effectivement à celui d'un marais. Ainsi, le BRGM préconise de focaliser les actions à mener sur les secteurs matérialisés sur l'Illustration 63 et situés :

- au sud de l'autoroute : ce secteur présente des signes favorables d'ennoiement des terrains dans sa partie est (partie aujourd'hui déforestée). Les terrains y sont très argileux, permettant ainsi un stockage des eaux précipitées, et la topographie y conduit naturellement les eaux de ruissellement de tout ce secteur. Le secteur de la mare de Veolia présente un fonctionnement identique à celui décrit pour la mare de la CCVT avec une alimentation par les eaux souterraines conséquentes (pour rappel la grande mare résulte de l'interception de l'aquifère sous-jacent par de petites mares, creusées trop profondément) et une surface importante favorisant la concentration des eaux météoriques et ruisselant sur les coteaux sud de la vallée.
- entre l'autoroute et la Bourbre, sur une zone allant de l'ancienne décharge à l'est jusqu'au pont de la STEP à proximité du PZ07 à l'ouest. Le BRGM préconise pour ce secteur la mise en place d'un réseau de fossés permettant d'acheminer les eaux météoriques en des points choisis du marais (mares). Nous préconisons de maintenir en eau ces fossés le plus longtemps possible de manière à assurer une certaine alimentation de l'aquifère sous-jacent. Le risque de précipitations insuffisantes étant assez élevé, nous préconisons également de mettre en place un captage d'eau sur la Bourbre.

Des expérimentations pourraient être menées en grandeur nature, avant même la mise en place d'une dérivation pérenne, en s'appuyant sur l'existence du réseau de piézomètres qui permettrait de contrôler l'efficacité de l'opération. Nous pouvons ainsi imaginer ennoyer temporairement certaines parcelles et suivre l'impact sur les piézomètres les plus proches.

Pour cette raison, ainsi que pour d'autres besoins plus ponctuels de suivi aussi bien quantitatif que qualitatif, le BRGM recommande de conserver les piézomètres réalisés dans le cadre de cette étude. Il serait également intéressant de continuer à réaliser périodiquement des mesures manuelles dans les différents ouvrages afin de compléter les chroniques déjà acquises et de pouvoir affiner le diagnostic réalisé dans le cadre de ce projet. Le BRGM préconise ainsi d'équiper de sondes numériques 5 stations de mesures : Pz02, Pz04, Pz05 et Pz09 pour suivre les eaux souterraines et l'échelle B pour suivre les mares. L'acquisition se ferait au pas de 15 min et les données seraient à relever tous les 3 mois pour éviter toute perte de données trop importante en cas de panne, dégradation ou vol du matériel. Un investissement d'environ 4 000€ de matériel serait nécessaire pour mener à bien cette mission. En complément, Il serait souhaitable de poursuivre le suivi de l'ensemble des points étudiés dans le cadre de cette étude. Ce suivi serait fait par le biais de campagnes de mesures manuelles, réalisées tous les 15 jours pendant au moins 5 ans. A raison d'une demi-journée par campagne, ce suivi annuel nécessiterait au minimum 12 jours de travail auxquels peuvent être associés 3 jours pour maintenir une base de données correctement validée, soit un total de 15 jours par an pour assurer un suivi correct des niveaux du marais.

Enfin, la CCVD souhaitait pouvoir étudier les caractéristiques d'une éventuelle contamination des eaux souterraines par les remblais de l'ancienne décharge, située à l'extrémité est du marais. Dans ce cadre, le BRGM recommande d'implanter deux qualitomètres afin d'effectuer des prélèvements d'eau souterraine et une analyse complète de ceux-ci. Il apparait ainsi que les eaux captées par l'ouvrage Qualito B présentent effectivement une pollution non observée ailleurs (Qualito A et deux ouvrages supplémentaires distants). Cette pollution se caractérise par des teneurs plus élevées en calcium (et strontium associé), magnésium, sulfates, nitrates, bore et carbone organique dissous. Certains de ces éléments dépassent les valeurs seuils (VS) telles que définies dans l'annexe II de la circulaire du 23 décembre 2012 : sulfates (VS : 250mg/L),

nitrates (VS : 50 mg/L). Ces éléments peuvent caractériser une pollution liée à la dégradation de produits de déconstruction qui auraient été mis en décharge.

Si la pollution identifiée peut sembler être d'une importance limitée, elle révèle cependant un fait important qui est l'existence d'un transfert de substances de la décharge vers les eaux souterraines.

Cette première caractérisation de la pollution des eaux souterraines par l'ancienne décharge demande de réaliser des investigations complémentaires pour s'assurer que la pollution ne vient pas de l'amont de la décharge. Un ou deux piézomètres complémentaires, placés judicieusement en amont de la décharge, permettraient de compléter le réseau de mesure. La réalisation de 2 nouvelles campagne d'analyse, sur des paramètres restreints devrait permettre de trancher sur la responsabilité de la décharge sur cette contamination des eaux souterraines.

En complément de l'analyse des eaux, le BRGM a réalisé des analyses de sol à l'aide d'un appareil de fluorescence X portatif qui permet de mesurer un ensemble d'éléments dont des métaux et métalloïdes. Deux secteurs du marais apparaissent comme présentant une pollution de surface aux métaux : le champ situé en bordure de la décharge et les parcelles en bordure de l'autoroute (PZ03).

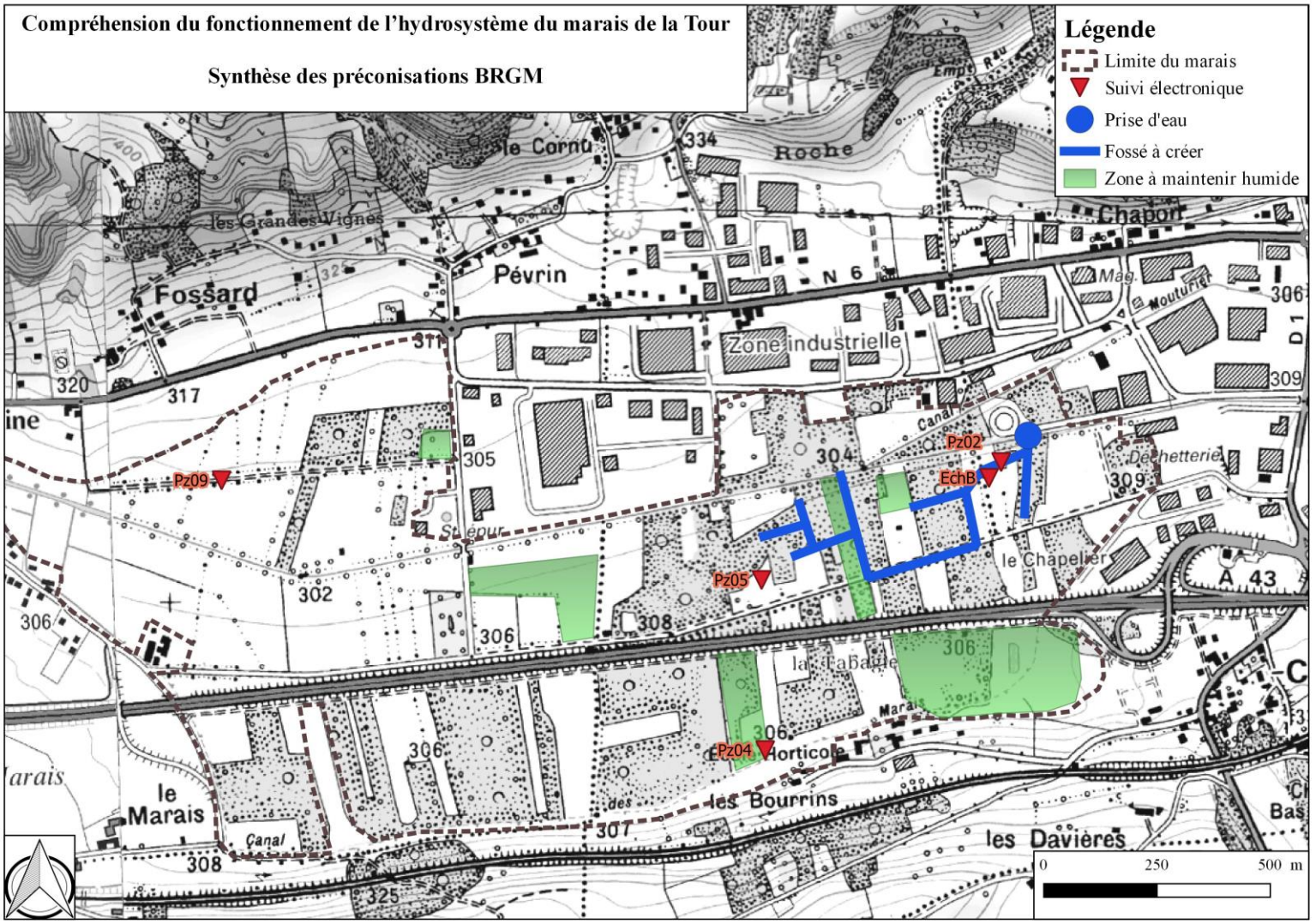


Illustration 63 : Schéma de synthèse des recommandations du BRGM

7. Bibliographie

BOUWER H., RICE R.C. (1976) A slug test for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells. Water Resourc. Res., 12(3), 423.

BURGEAP (2012) Les Marais de la Tour (38) – Etude de caractérisation des remblais situés en zone humide. Rapport final, RSSPCE01132-02, 30 p.

CSD AZUR (2010) VEOLIA Propreté - Travaux de création de l'ISDND de Cessieu. Dimensionnement du réseau piézométrique. 14 p.

DISTHENE (2011) VEOLIA Propreté - ISDND de Cessieu (38) - Fermeture des piézomètres Pz06 et Pz09. Référence As0124, 11 p.

DISTHENE (2012) VEOLIA Propreté - ISDND de Cessieu (38) - Régénération du piézomètre Pz01. Fermeture du piézomètre Pz12. Référence At0129, 14 p.

ECOTOPE (2015) Bilan de l'application des mesures du dossier de demande de dérogation au titre des espèces protégées - Site de l'ISDN de Cessieu. 83 p.

EGIS (2015) Rapport d'intervention - Campagne de fermeture et remplacement de piézomètres sur l'ISDND de Cessieu (38). Réf : W1210 P01R01, 24 p., 1 ann.

ELMI S., R. ENAY, C. MANGOLD, N. MONGEREAU (1986) notice explicative de la feuille BOURGOIN-JALLIEU A 1/50 000

ENAY, R. (1981) Les formations glaciaires et les stades de retrait du glacier würmien dans l'Ile Crémieu. Bull. Soc. Linn. Lyon, 50éme année, n°1, p. 5-27, 5 text. Fig.

HYDRATEC (2010) Etude préliminaire pour la définition d'un projet d'aménagement hydraulique visant à l'écrêtement des crues de la Bourbre sur les marais dits « de la Tour ». Rapport final, R – N° 25453/DPA, 50 p., 9 ann.

IRH (2015) Etude du fonctionnement global du canal Mouturier – Communes de Saint Clair de la Tour, La Tour du Pin, Saint Jean de Soudain, Rochetoirin, et de Cessieu (38110). Version provisoire, DRB14026GM, 96 p.

LA TOUR PREND GARDE (non daté) Tout autour de La Tour-du-Pin - Chroniques du Pays de La Tour-du-Pin. Au fil de l'eau et des chemins, N°5. « La Bourbre ».

LAPERCHE V. (2005) Evaluation des performances du spectromètre portable de fluorescence X Niton XL723S (au laboratoire et sur le terrain). Rapport final, BRGM/RP-53377-FR, 105 p. 41 fig., 2 pht.

LE PRIOL J. (1974) Etude hydrogéologique du bassin versant de la Bourbre : application à l'étude d'une ville nouvelle : l'Isle-d'Abeau.

MAZENOT G. et GOURC J. (1939) - Les tourbières de la vallée de la Bourbre aux environs de la Verpillière (Isère). Etudes rhodaniennes, 1.15, p. 145-160, 2 fig.

MOSAIQUE ENVIRONNEMENT (2010) Restauration de la zone humide des Marais : préconisations d'actions pluriannuelles. 72 p.

ONF (2009) Etat des lieux et fonctionnalités du marais de la Tour. 46 p., 4 ann.

PETIT V., VAUBOURG P., BROSSIER G. (1982) Détermination des caractéristiques hydrodynamiques des milieux aquifères peu perméables - Slug test et pulse test. Rapport final, BRGM/82-SGN-943-EAU, 24 p. 2 pht.

RIOLLET M. (2002) Histoire de La Tour-du-Pin et de ses onze villages voisins : Cessieu, St-Clair, St-Didier, St-Jean-de-Soudin, Rochetoirin, Montcarra, Montceau, St-Victor-de-Cessieu, La Chapelle-de-la-Tour, Ste-Blainde, Montagnieu. Réedition, Ed. Lettres de France

Tous les rapports publics BRGM sont consultables et téléchargeables sur le site internet du BRGM : http://www.brgm.fr/production-scientifique/rapports-publics/rapports-publics

Annexe 1

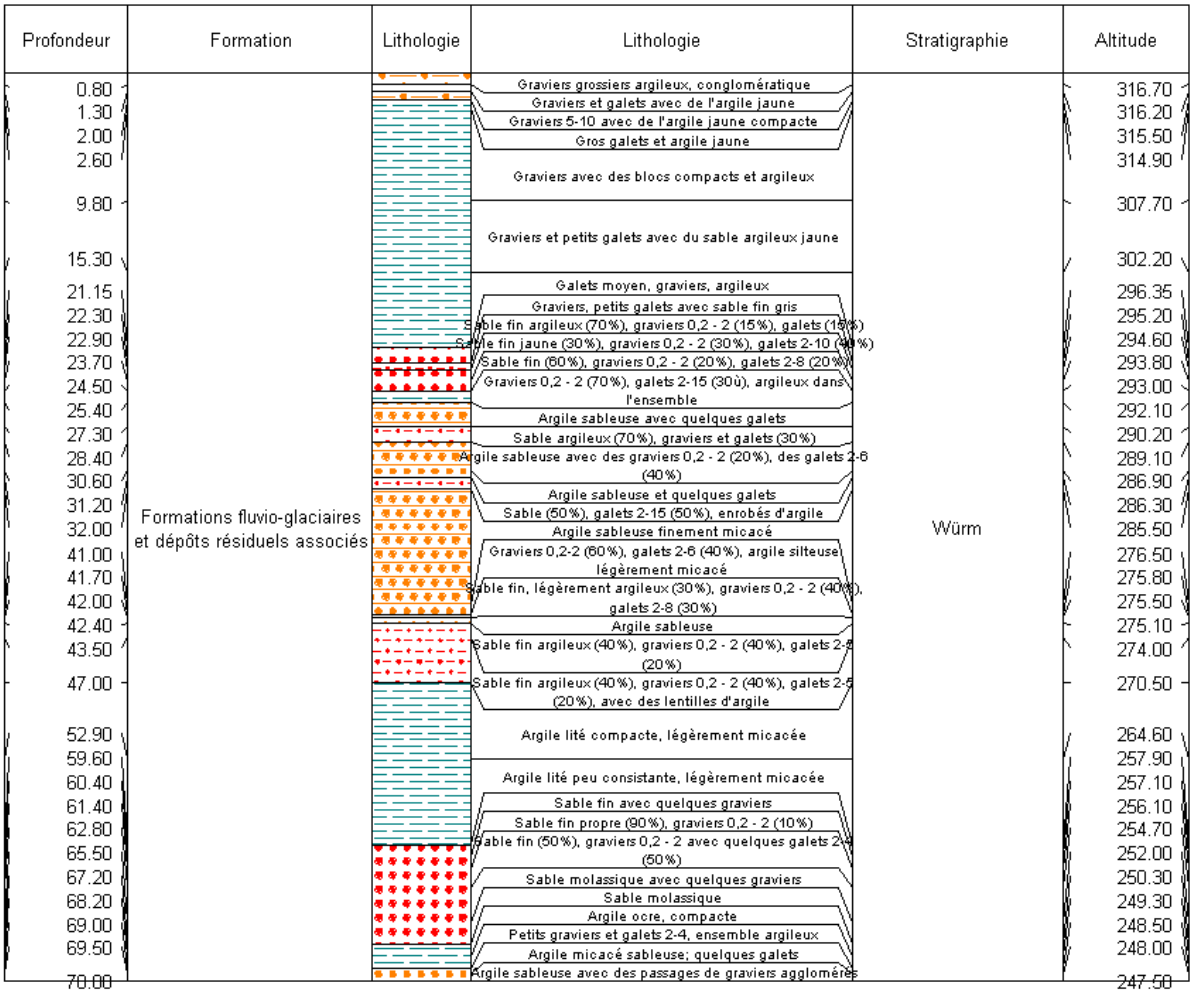
BSS - logs validés

07238X0038/S1

Log validé

Profondeur

De 0.0 à 70.0 m Rafraîchir

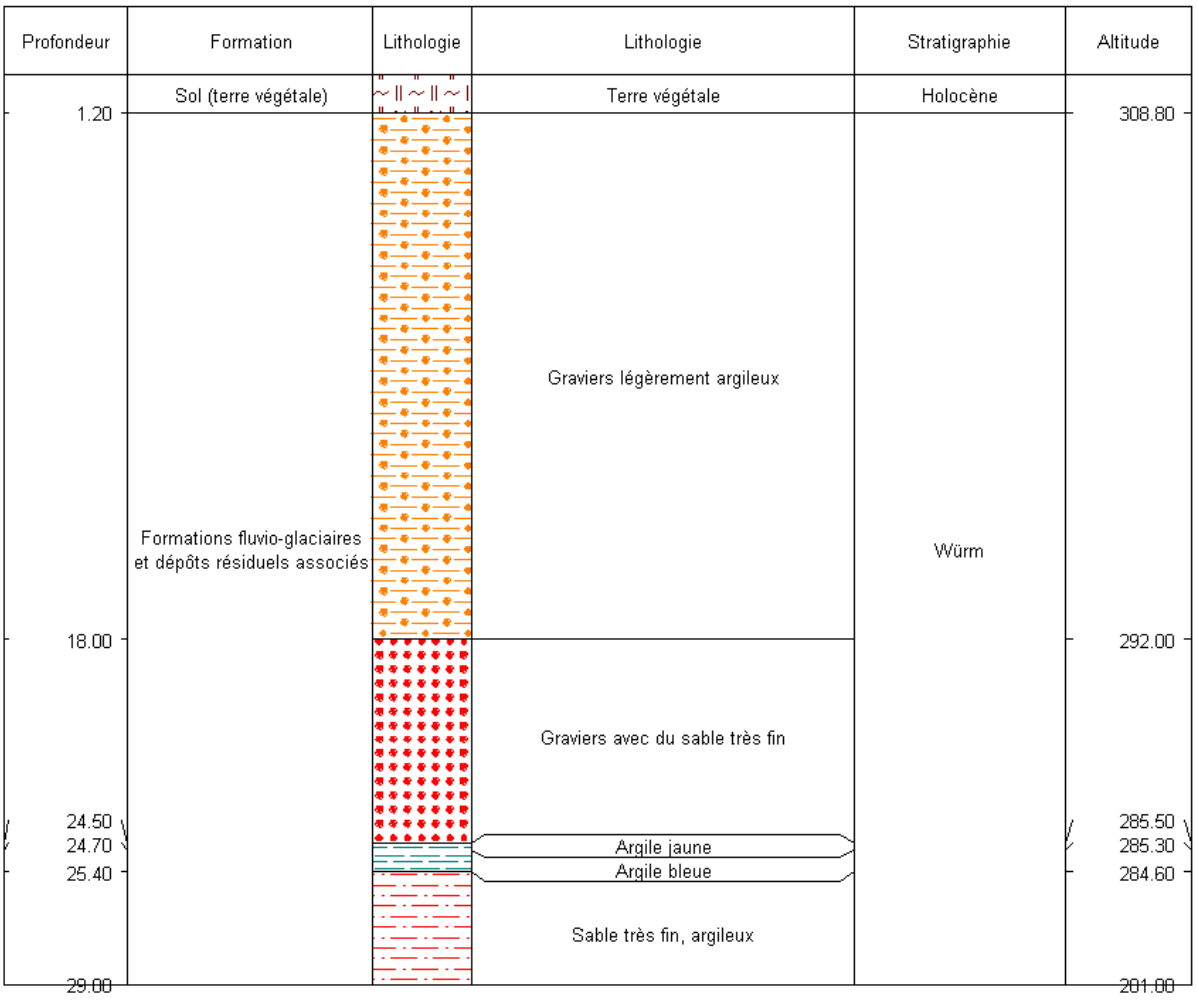


07238X0046/S

Log validé

Profondeur

De 0.0 à 29.0 m Rafraîchir

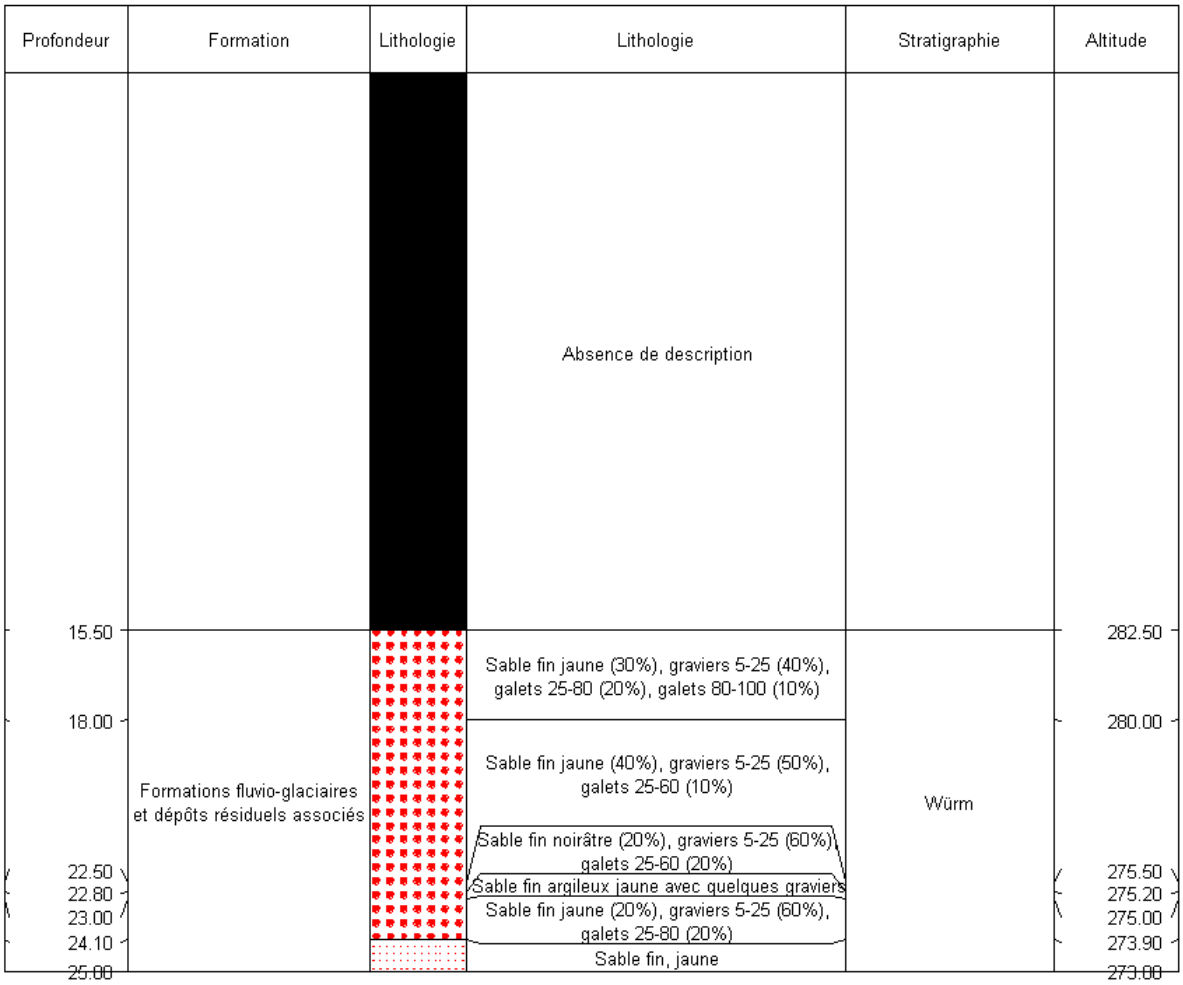


07238X0031/S

Log validé

Profondeur

De 0.0 à 25.0 m Rafraîchir

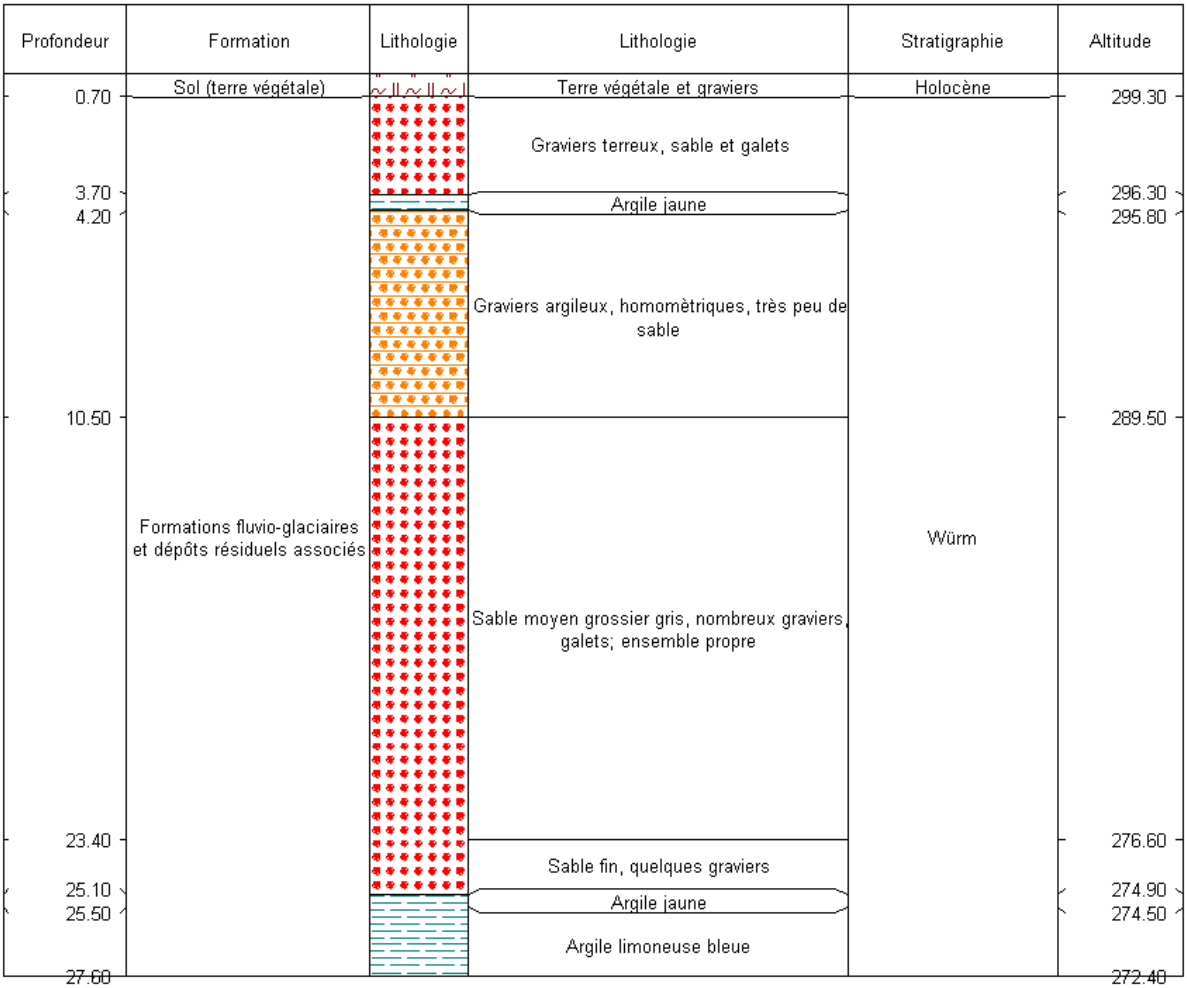


07238X0074/F

Log validé

Profondeur

De 0.0 à 27.6 m Rafraîchir

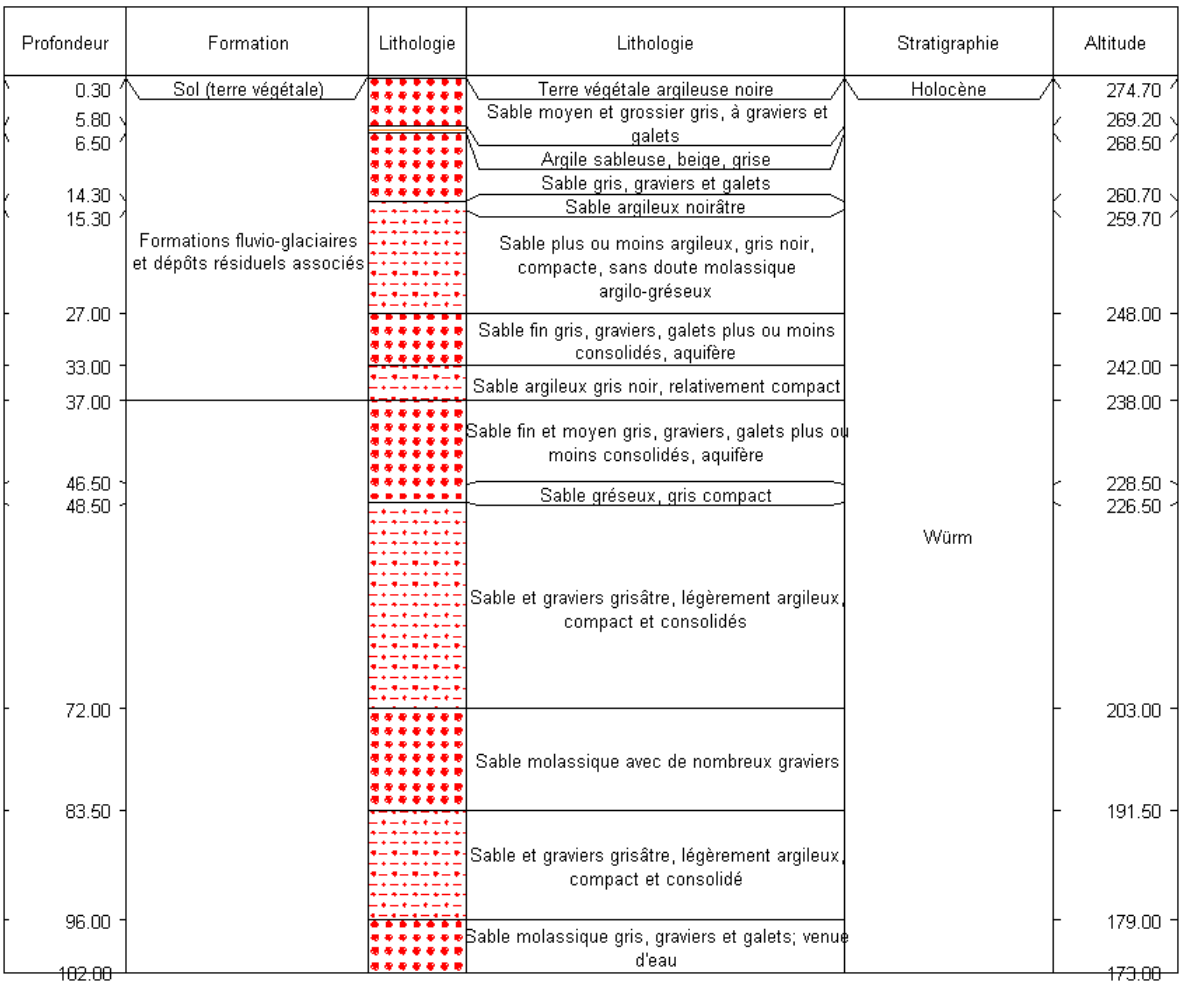


07238X0076/F2

Log validé

Profondeur

De 0.0 à 102.0 m Rafraîchir



07245X0022/S15

Log validé

Profondeur

De 0.0 à 17.0 m Rafraîchir

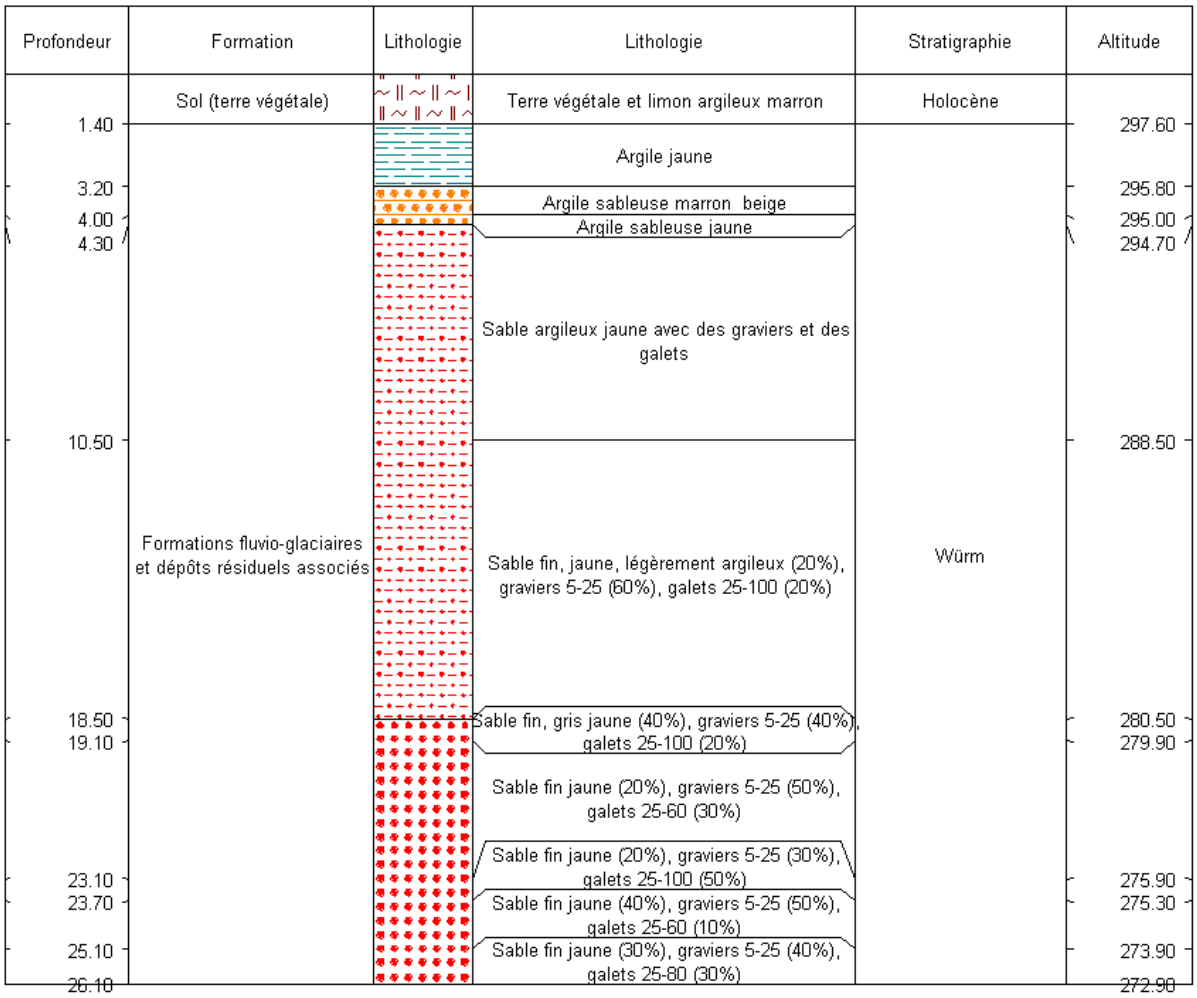
Profondeur	Formation	Lithologie	Lithologie	Stratigraphie	Altitude
	Sol (terre végétale)		Terre argileuse brune graveleuse.	Holocène	
1.80	Fy		Alluvions : sable, graviers et galets. Alluvions Fy du retrait würmien.	Würm	365.44
3.30			Sable grisâtre coupé de bancs de molasse assez compacte.		363.94
5.28			Molasse assez compacte.		361.96
5.80			Sable, graviers et galets.		361.44
9.00	Sables molassiques marins et fluviatiles, conglomérats à galets de calcaires impressionnés et argiles d'eau douce, cailloutis du Mont Miéry		Sable comprimé, galets et gravier. Niveau compact.	Tortonien	358.24
17.00					350.24

07238X0040/S

Log validé

Profondeur

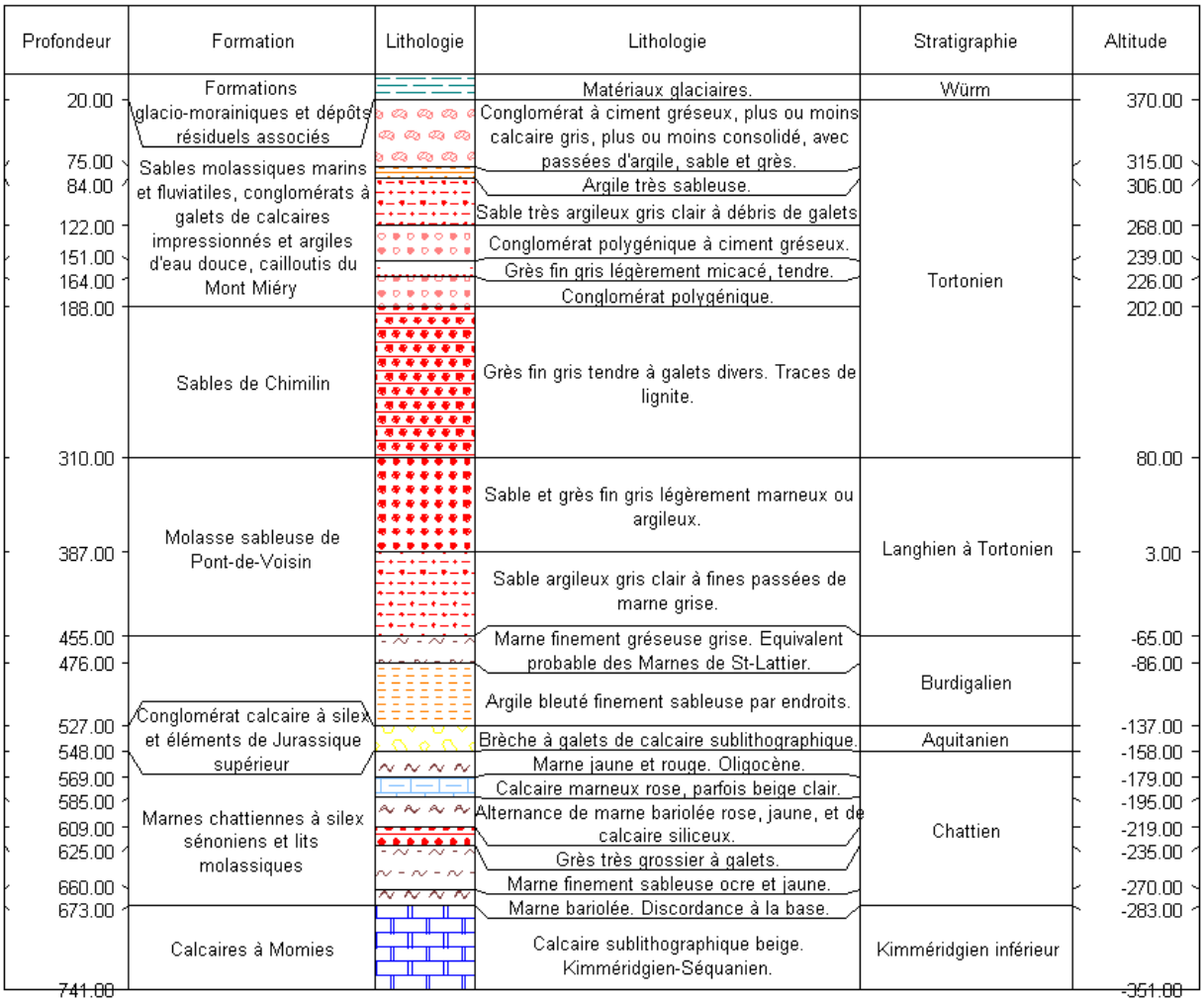
De 0.0 à 26.1 m Rafraîchir



07245X0002/LTPF1

Profondeur

De 0.0 à 741.0 m Rafraîchir

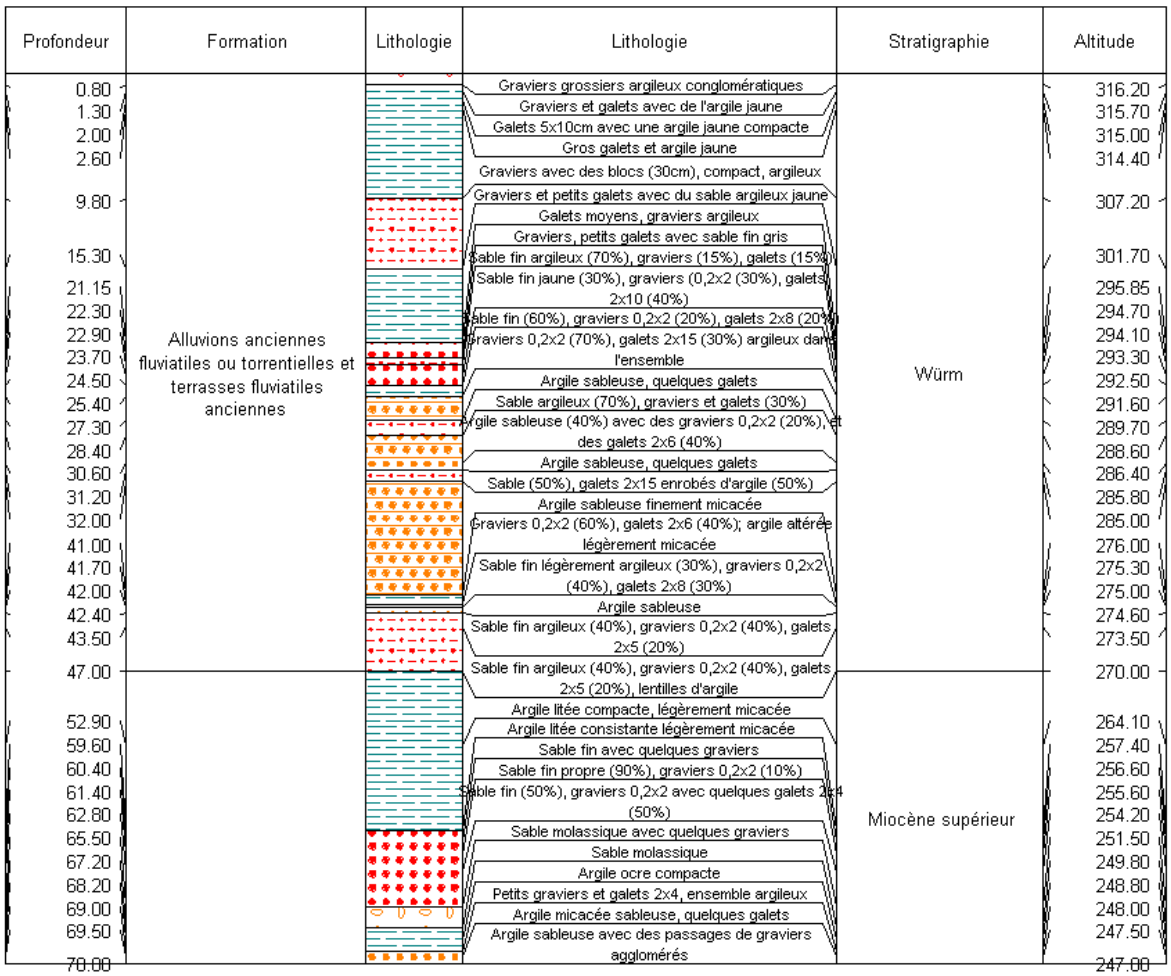


07238X0039/F1

Log validé

Profondeur

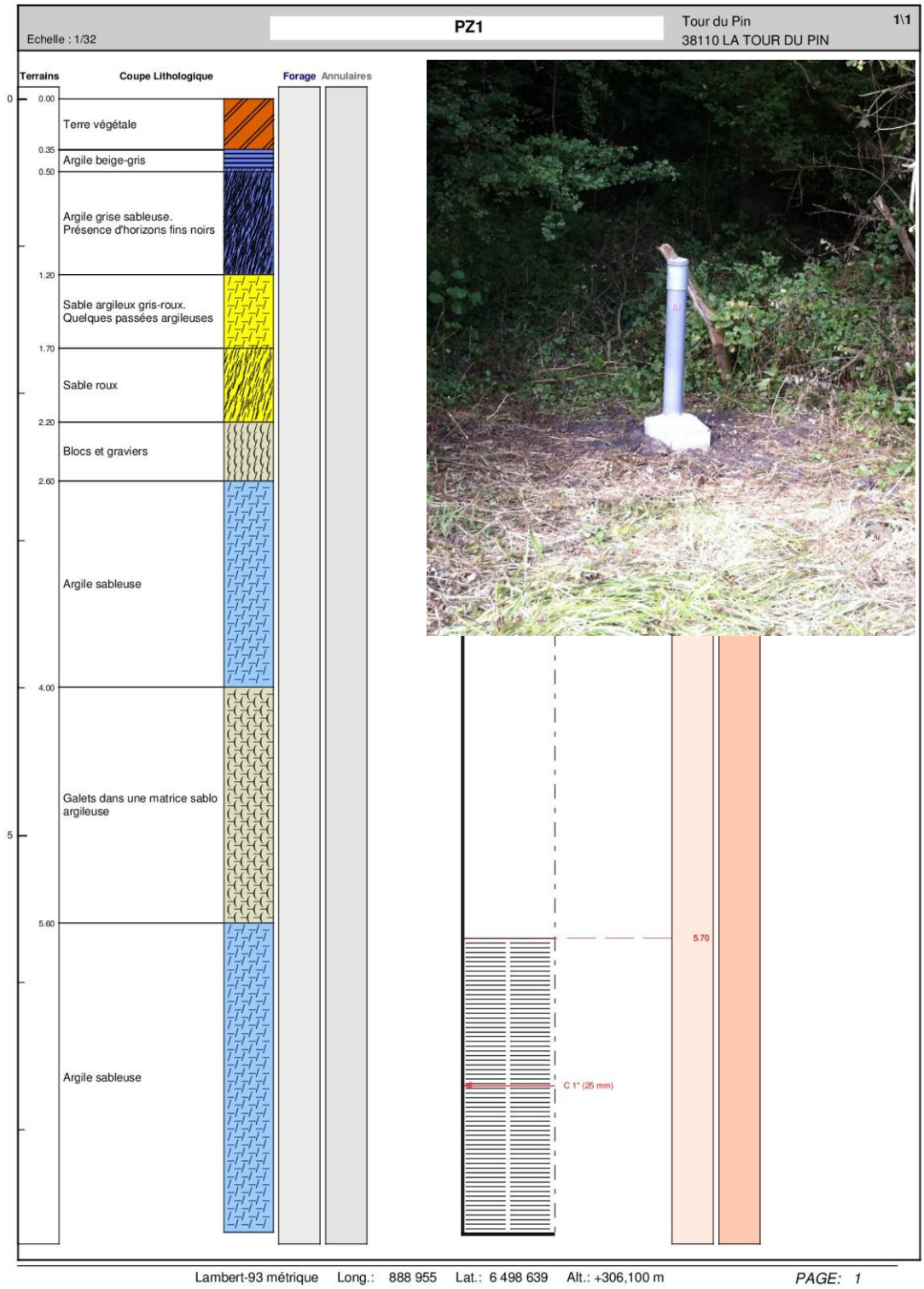
De 0.0 à 70.0 m Rafraîchir



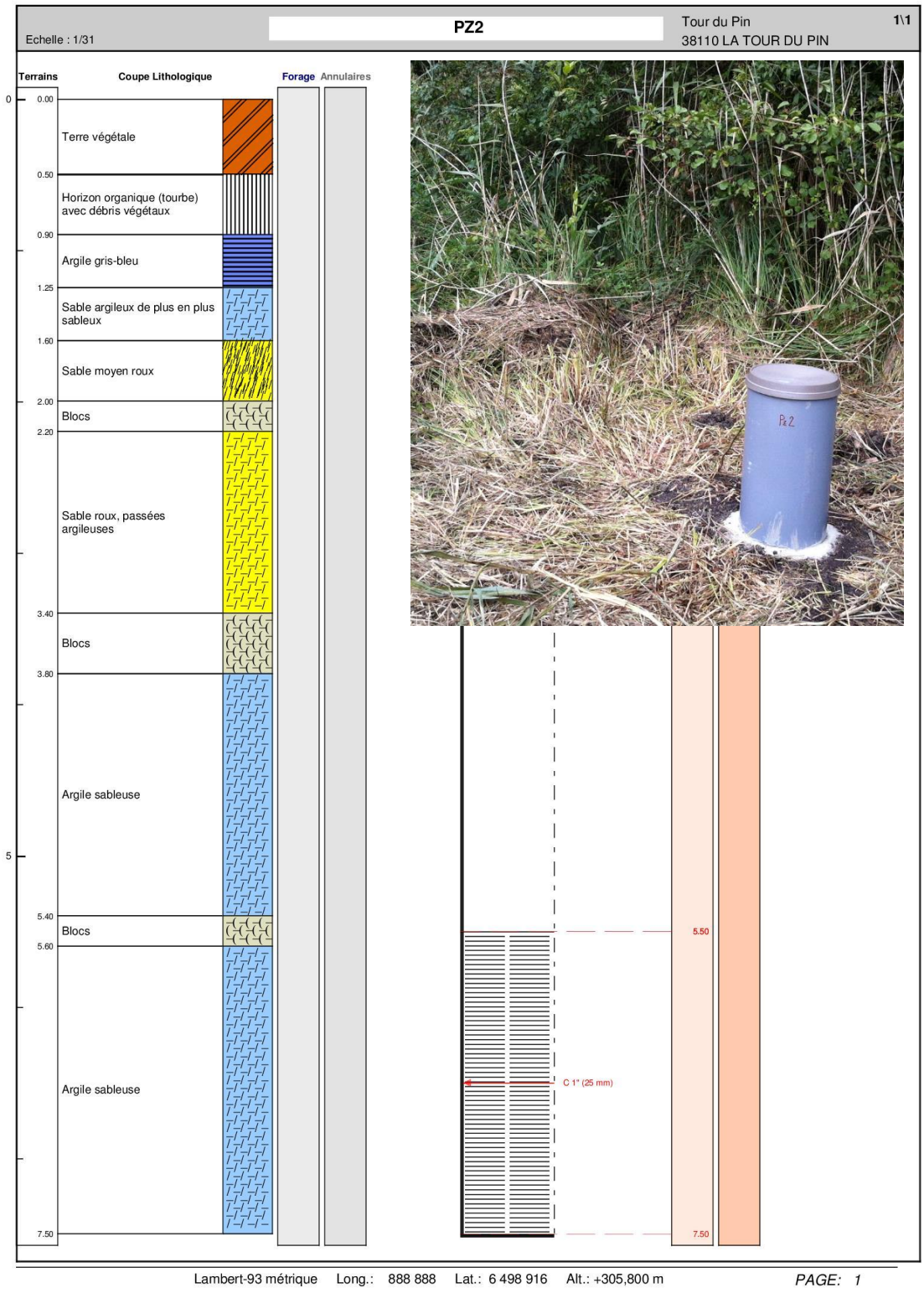
Annexe 2

Photographies et coupes des piézomètres et des qualitomètres foncés par le BRGM

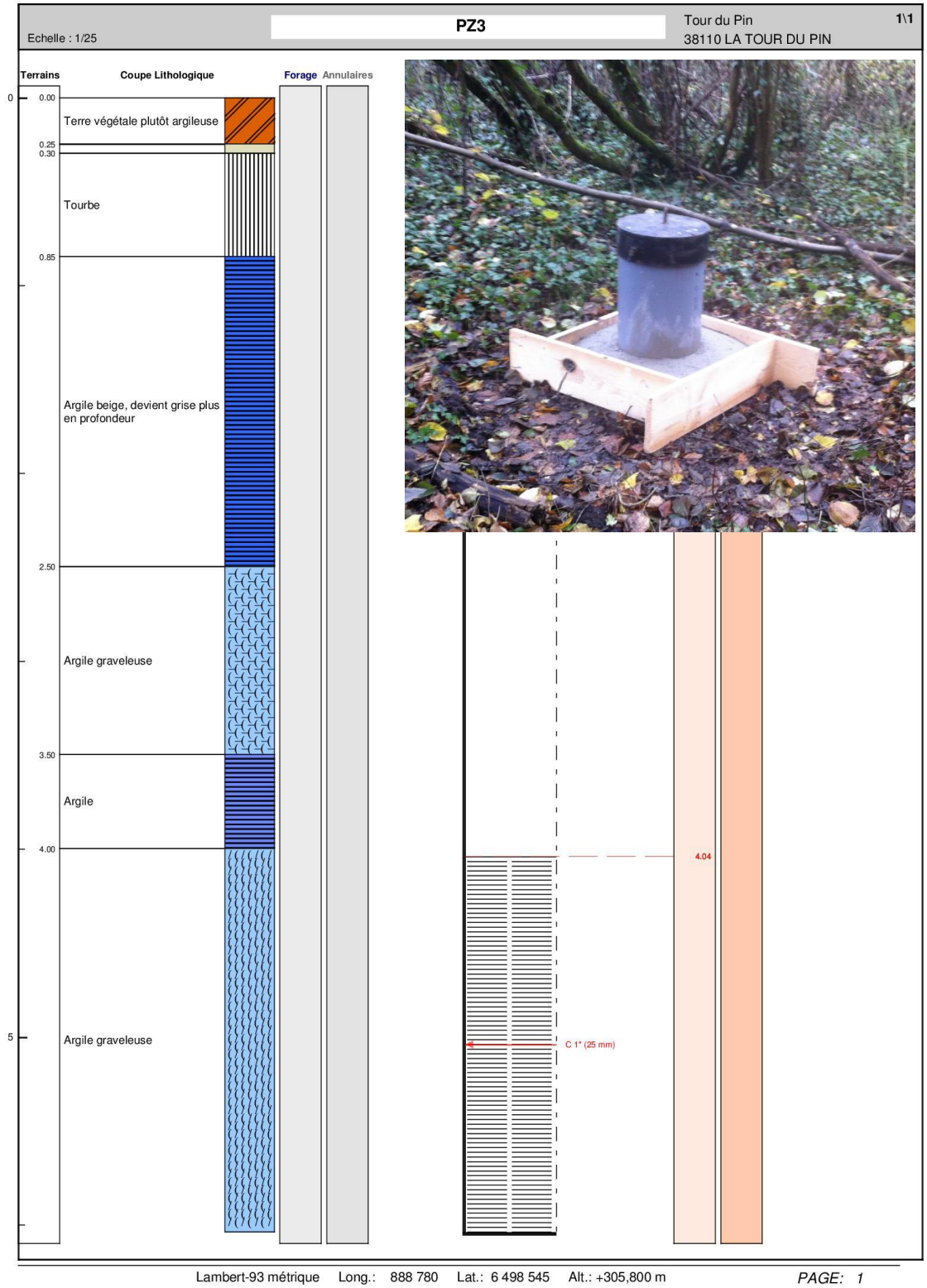
Piézomètre PZ01



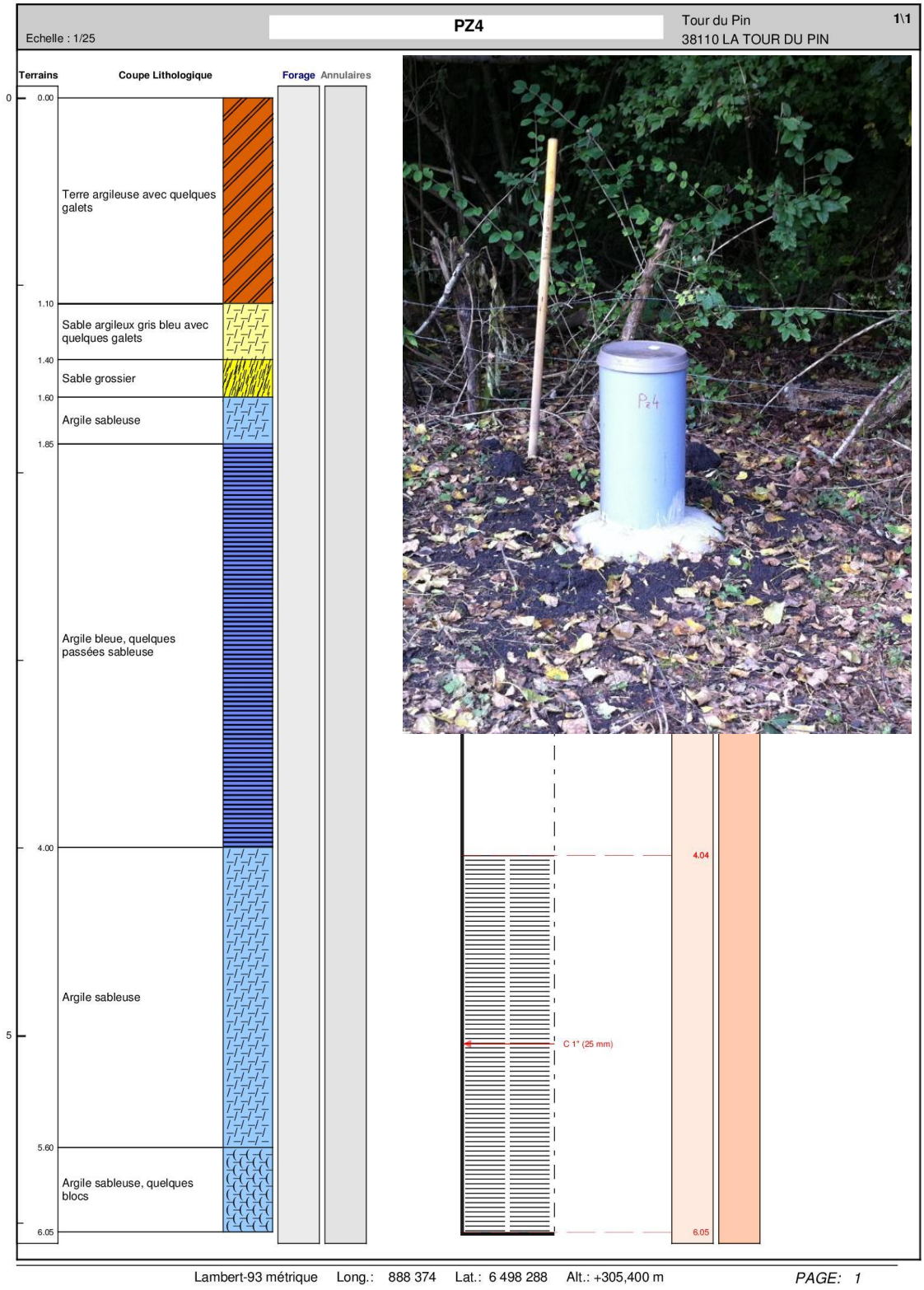
Piézomètre PZ02



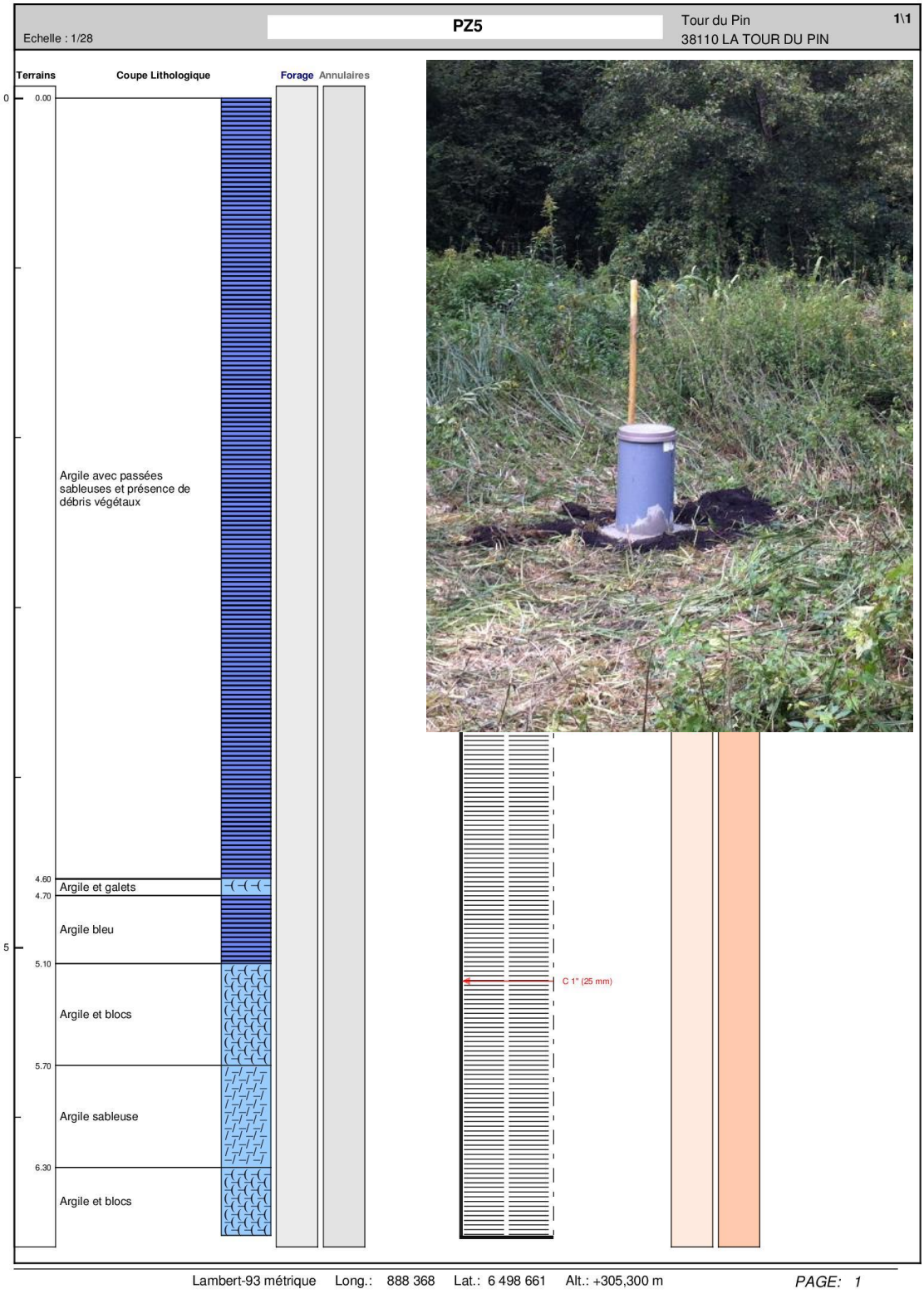
Piézomètre PZ03



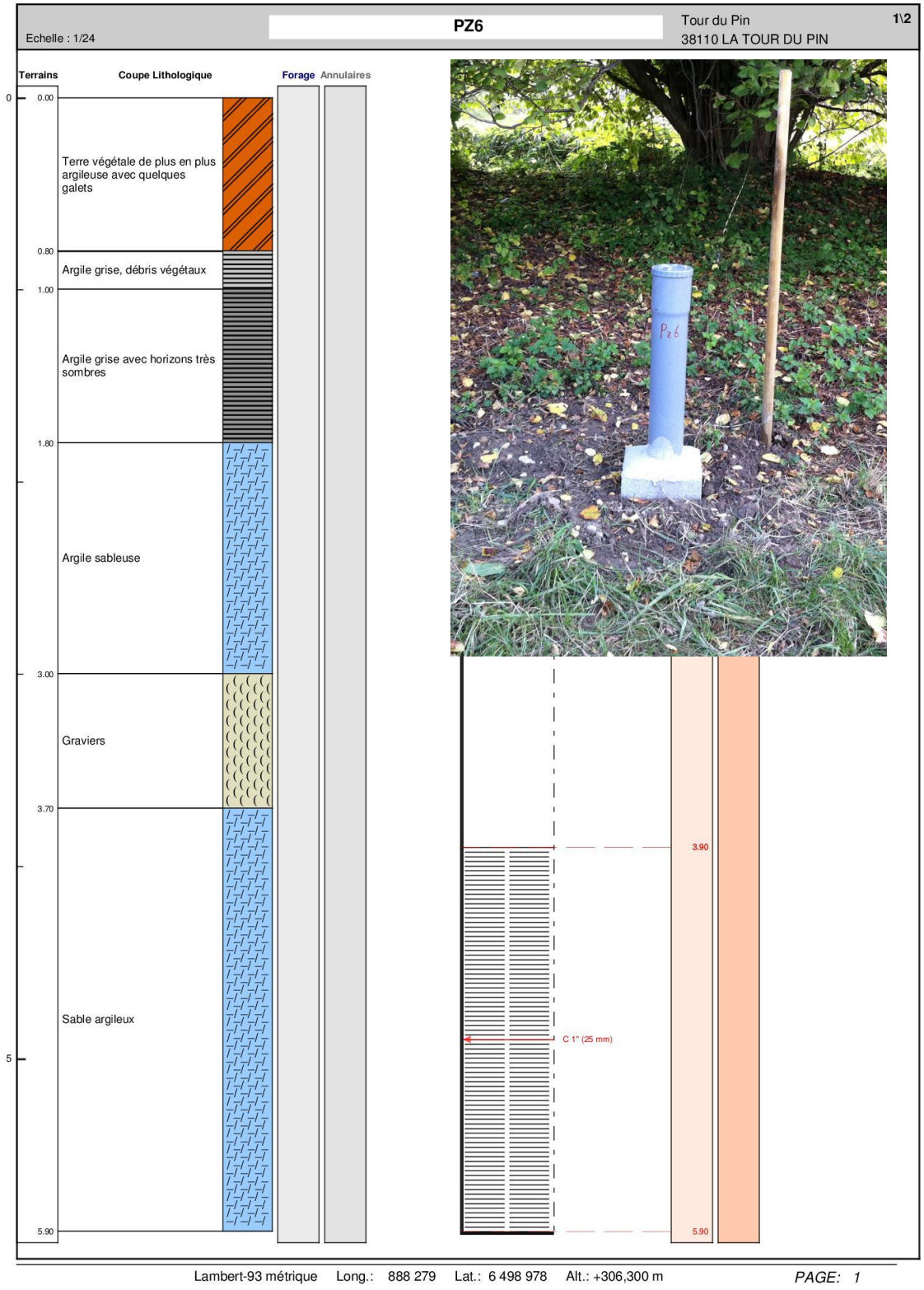
Piézomètre PZ04



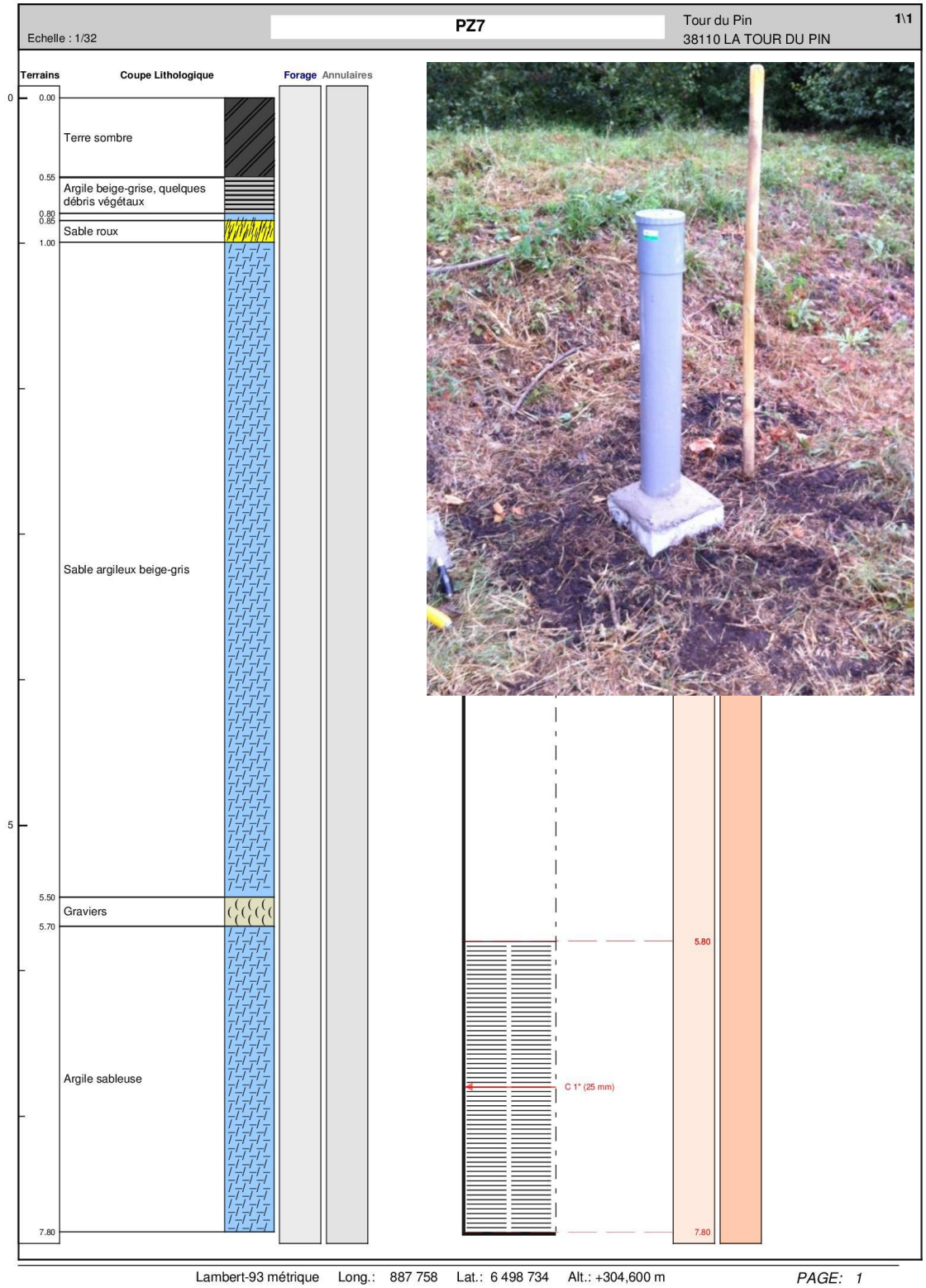
Piézomètre PZ05



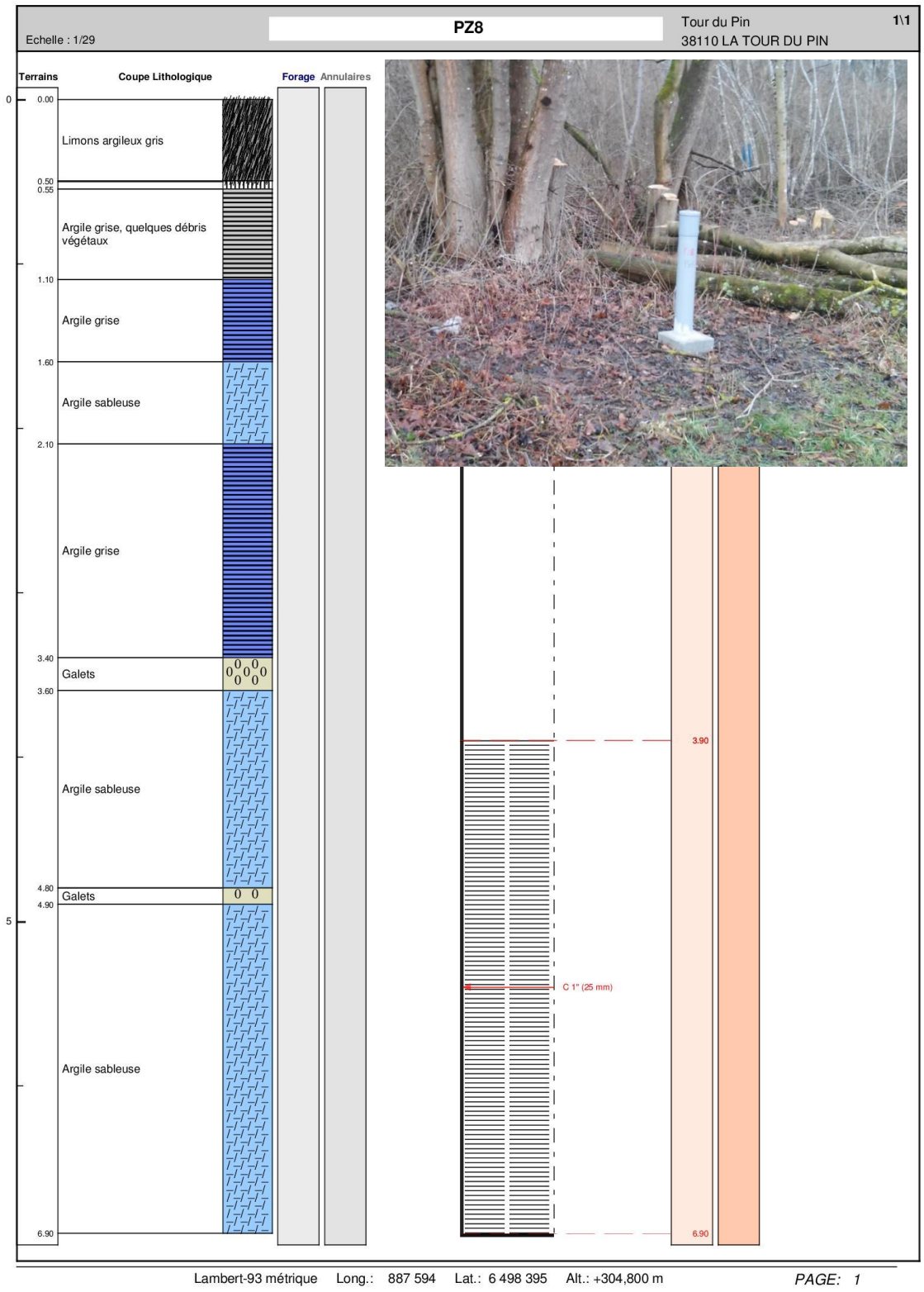
Piézomètre PZ06



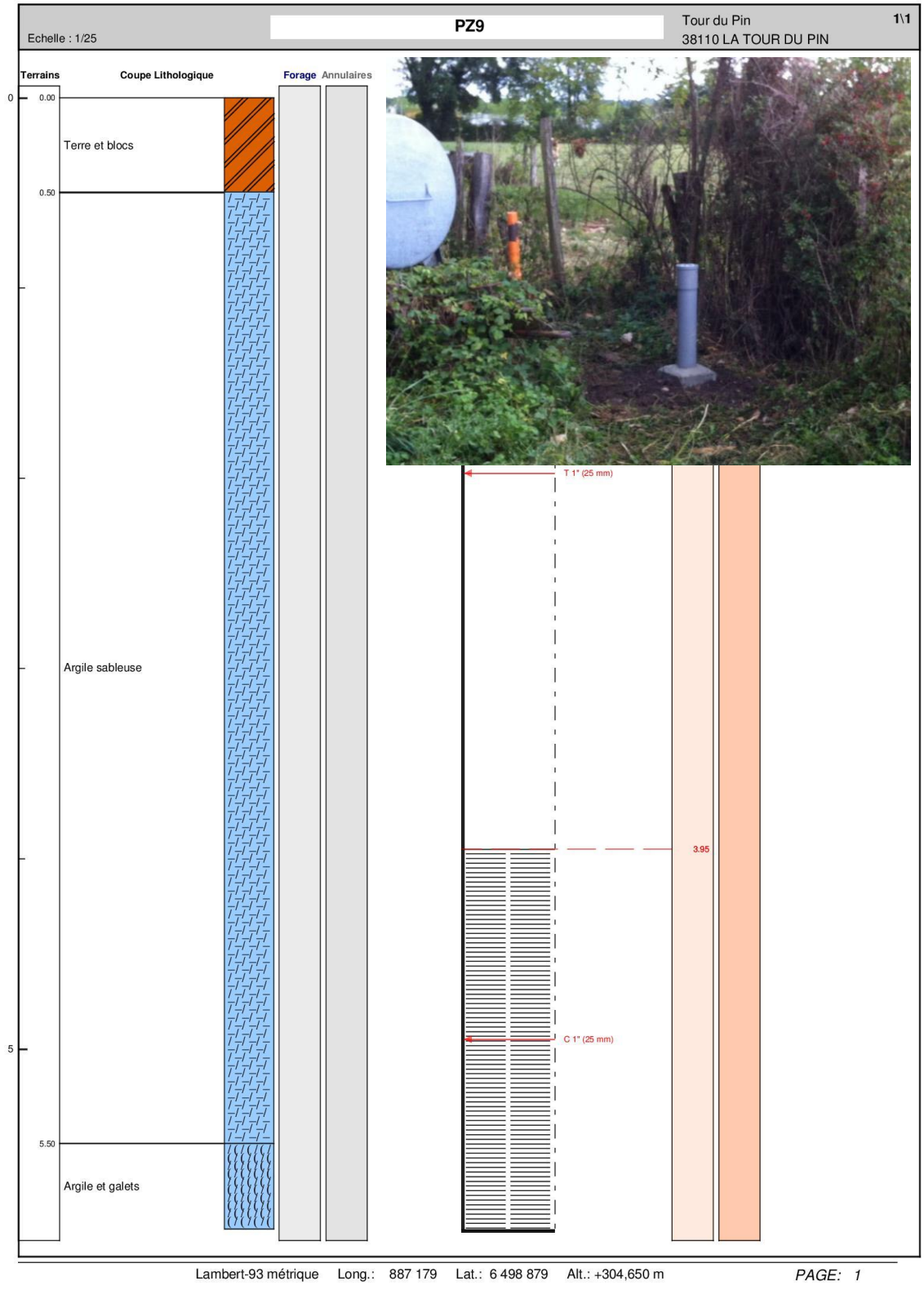
Piézomètre PZ07



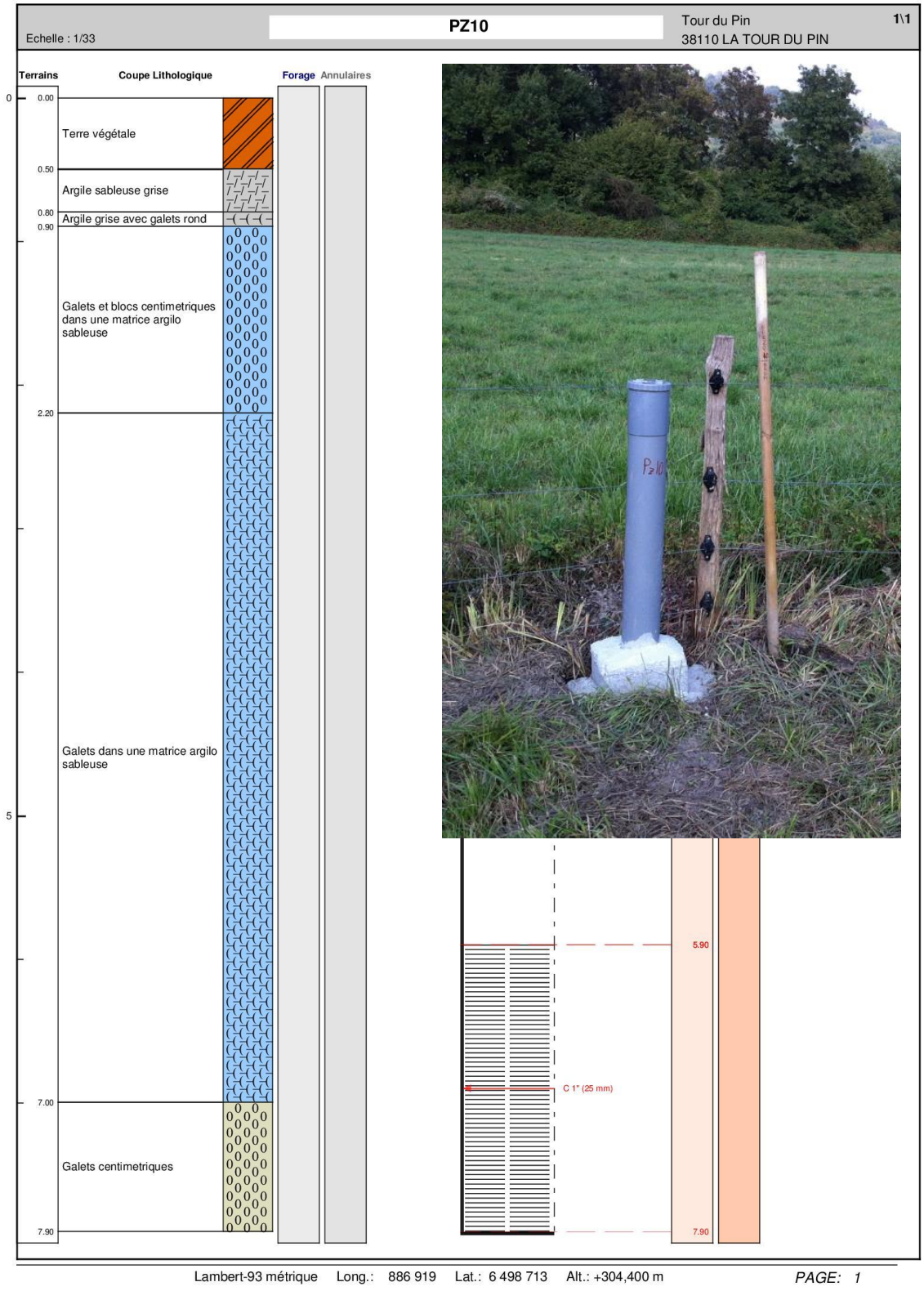
Piézomètre PZ08



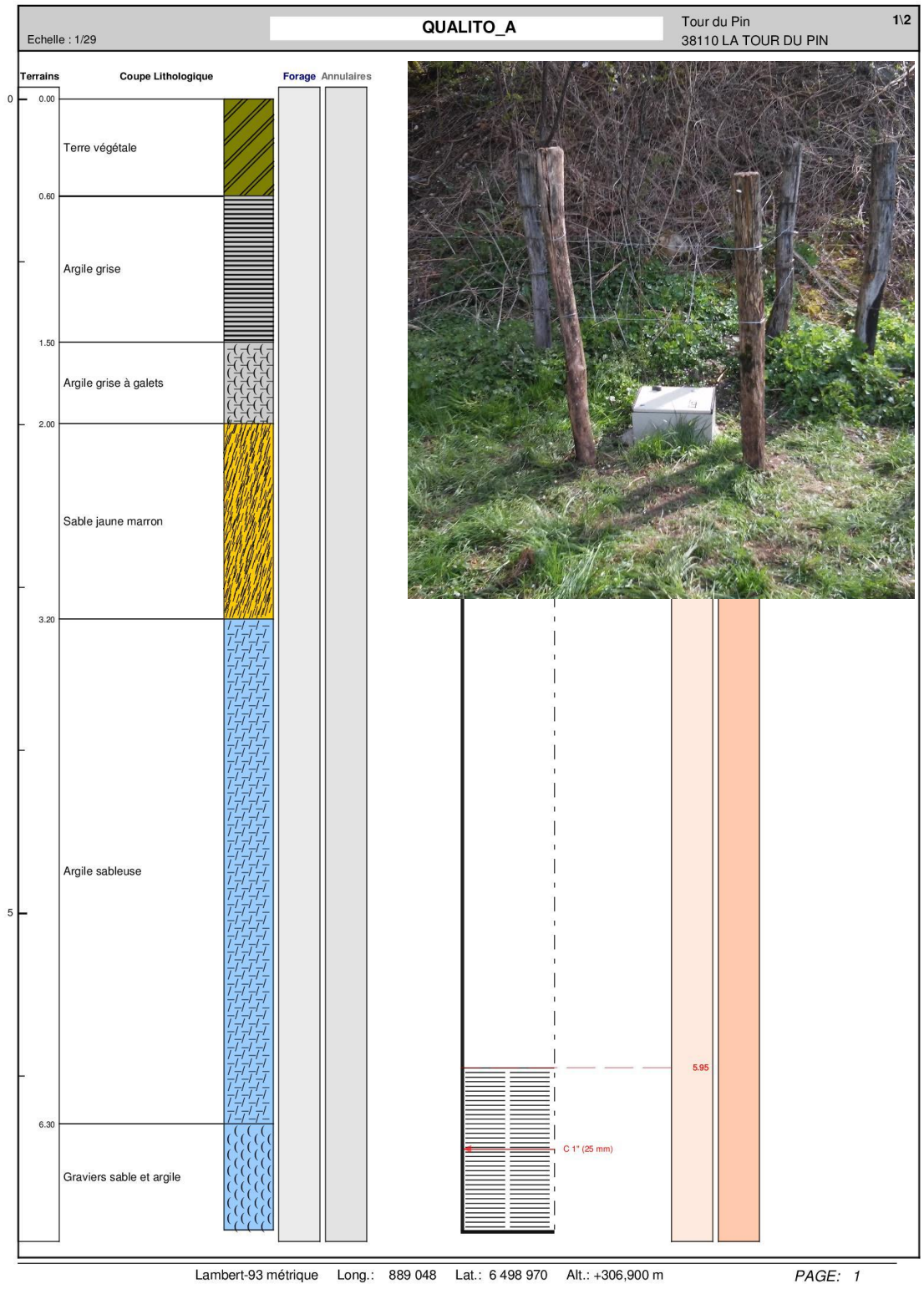
Piézomètre PZ09



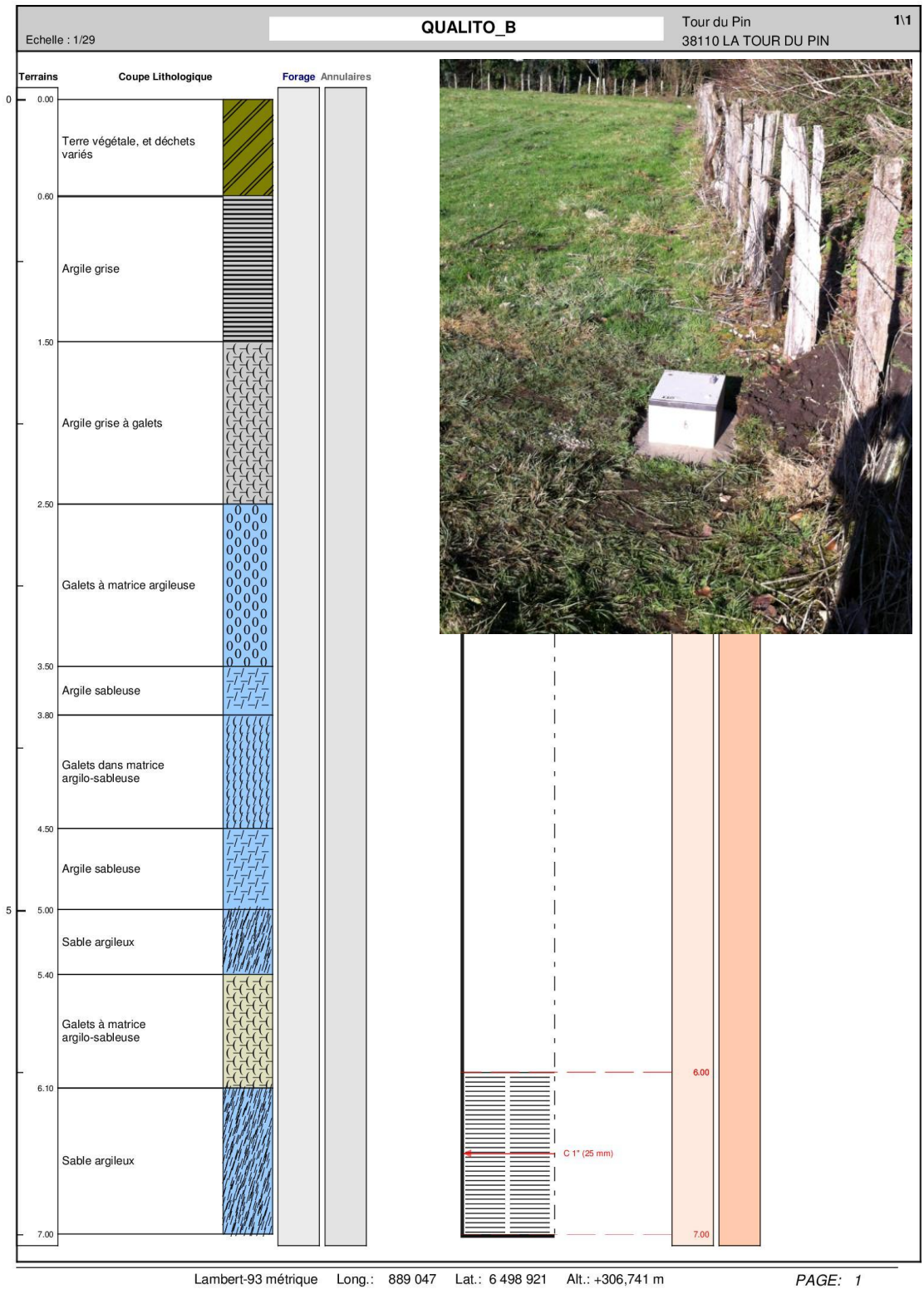
Piézomètre PZ10



Qualitomètre QualA



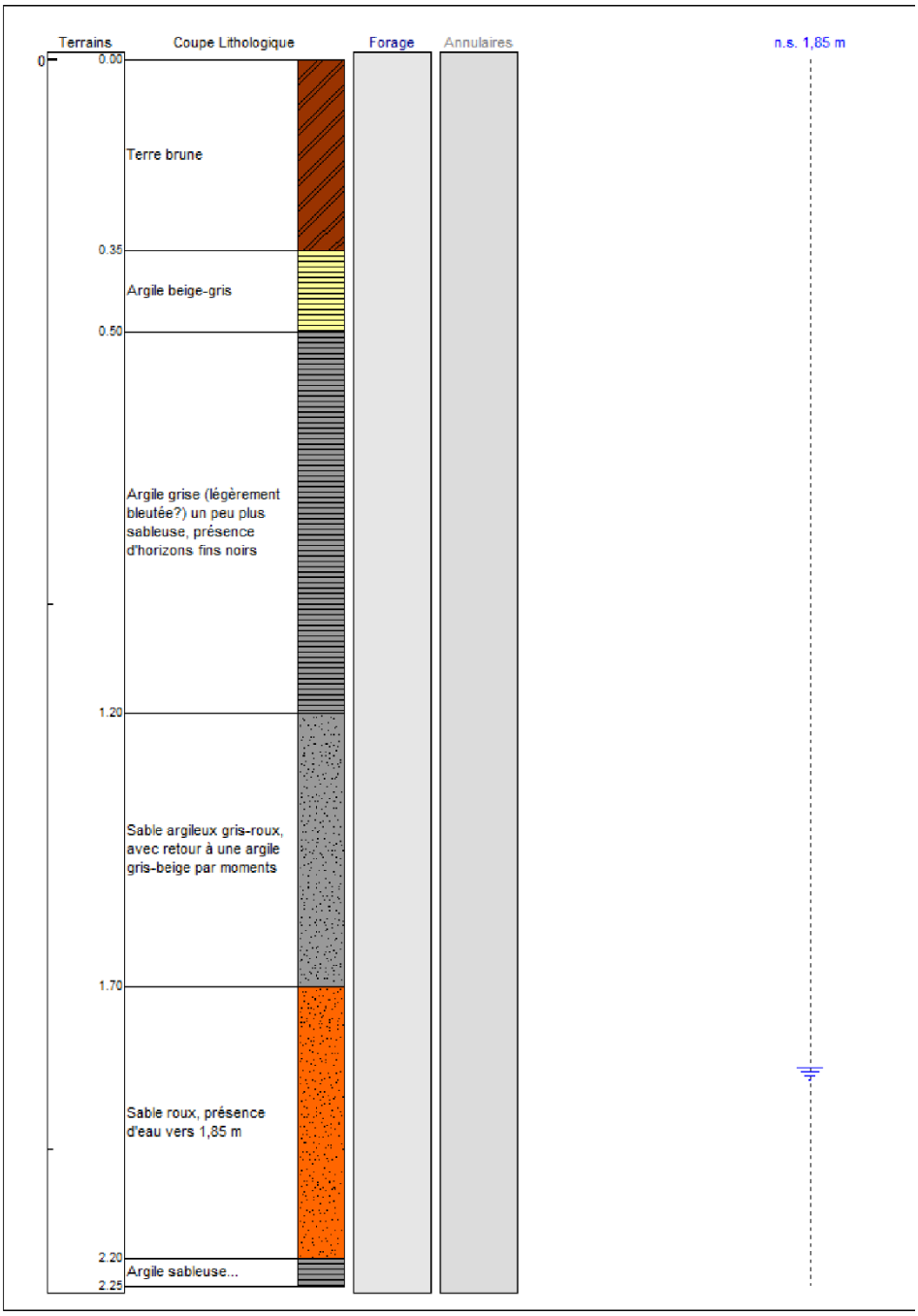
Qualitomètre QualB



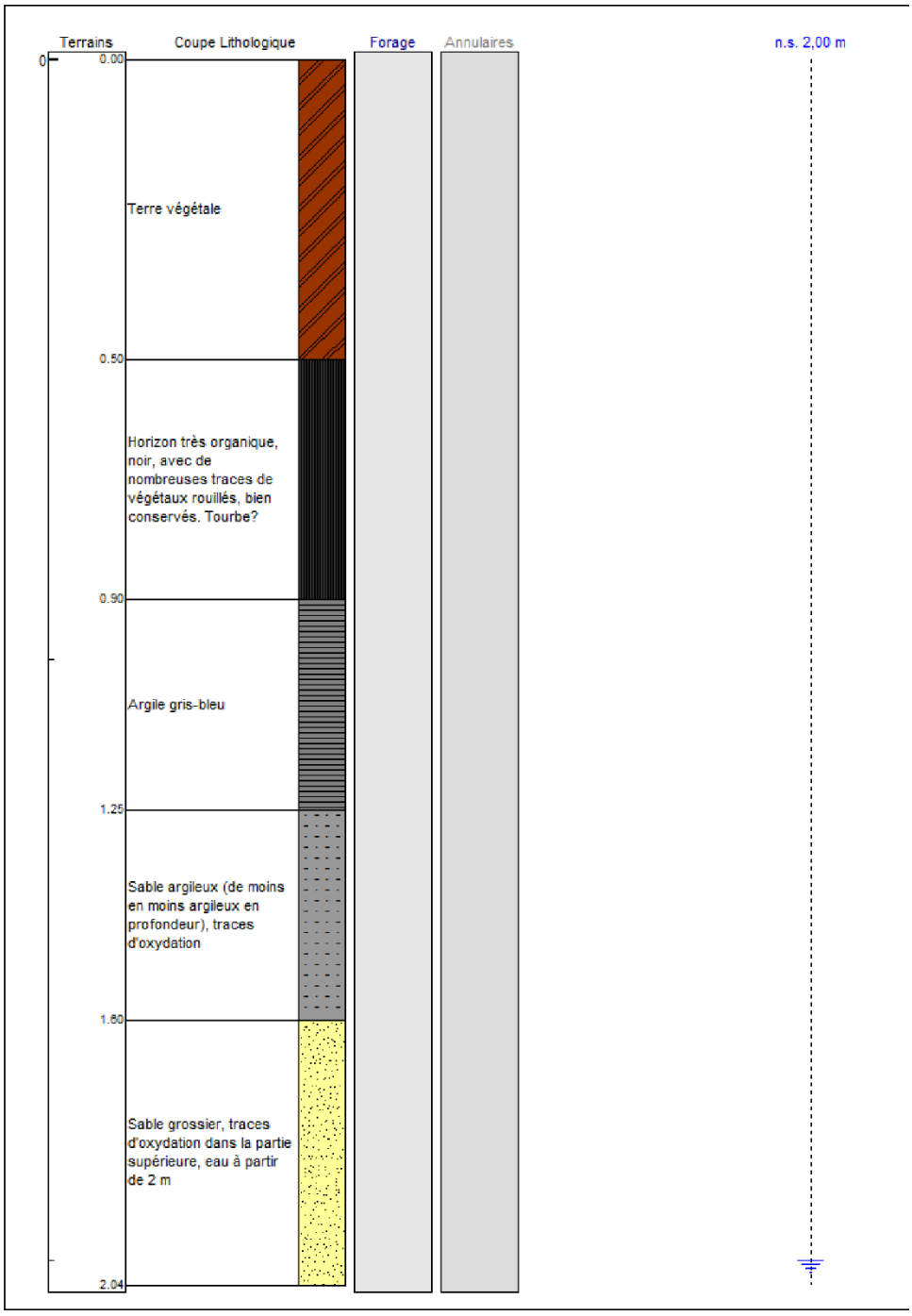
Annexe 3

Sondages à la tarière à main

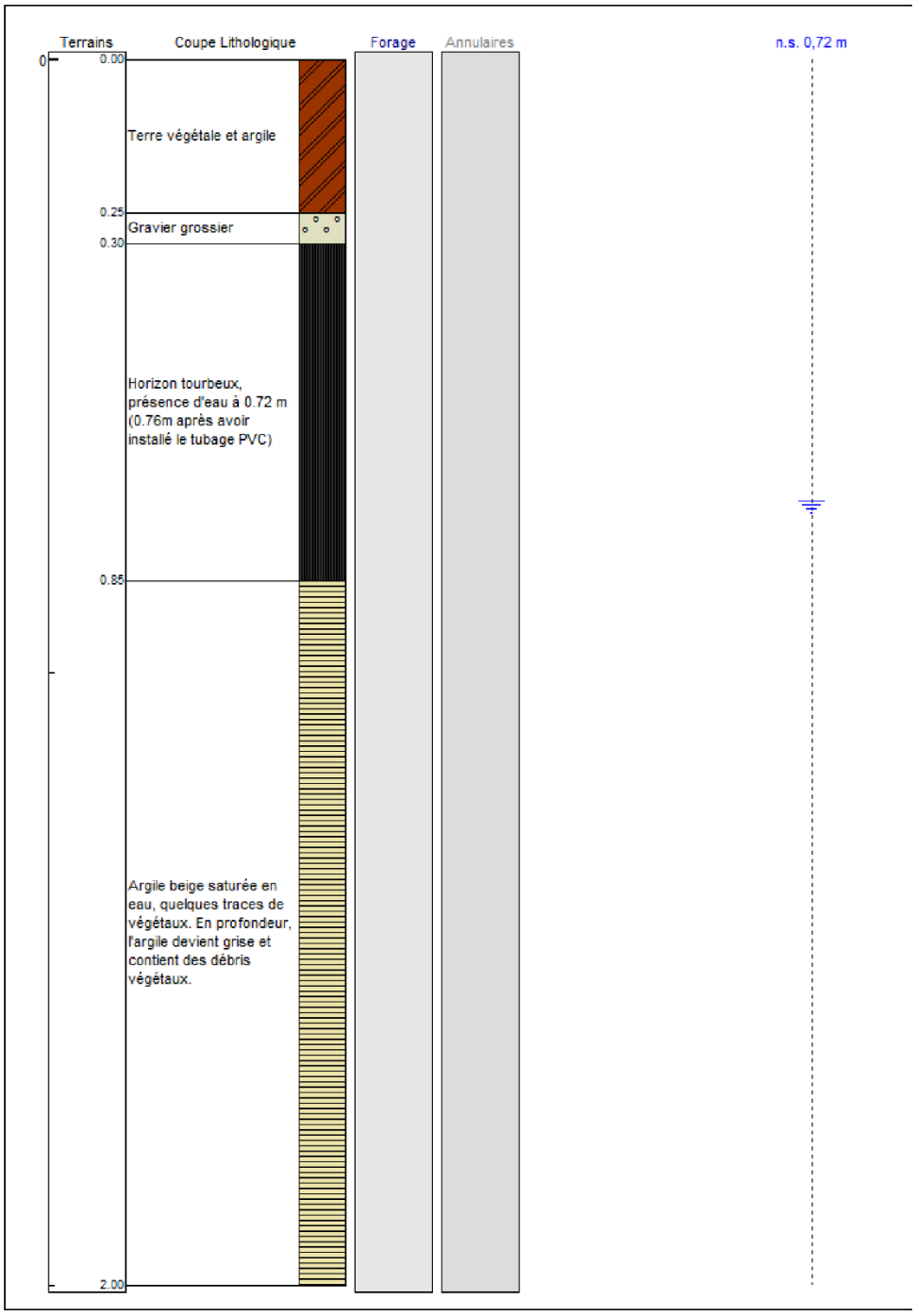
A proximité du piézomètre PZ01



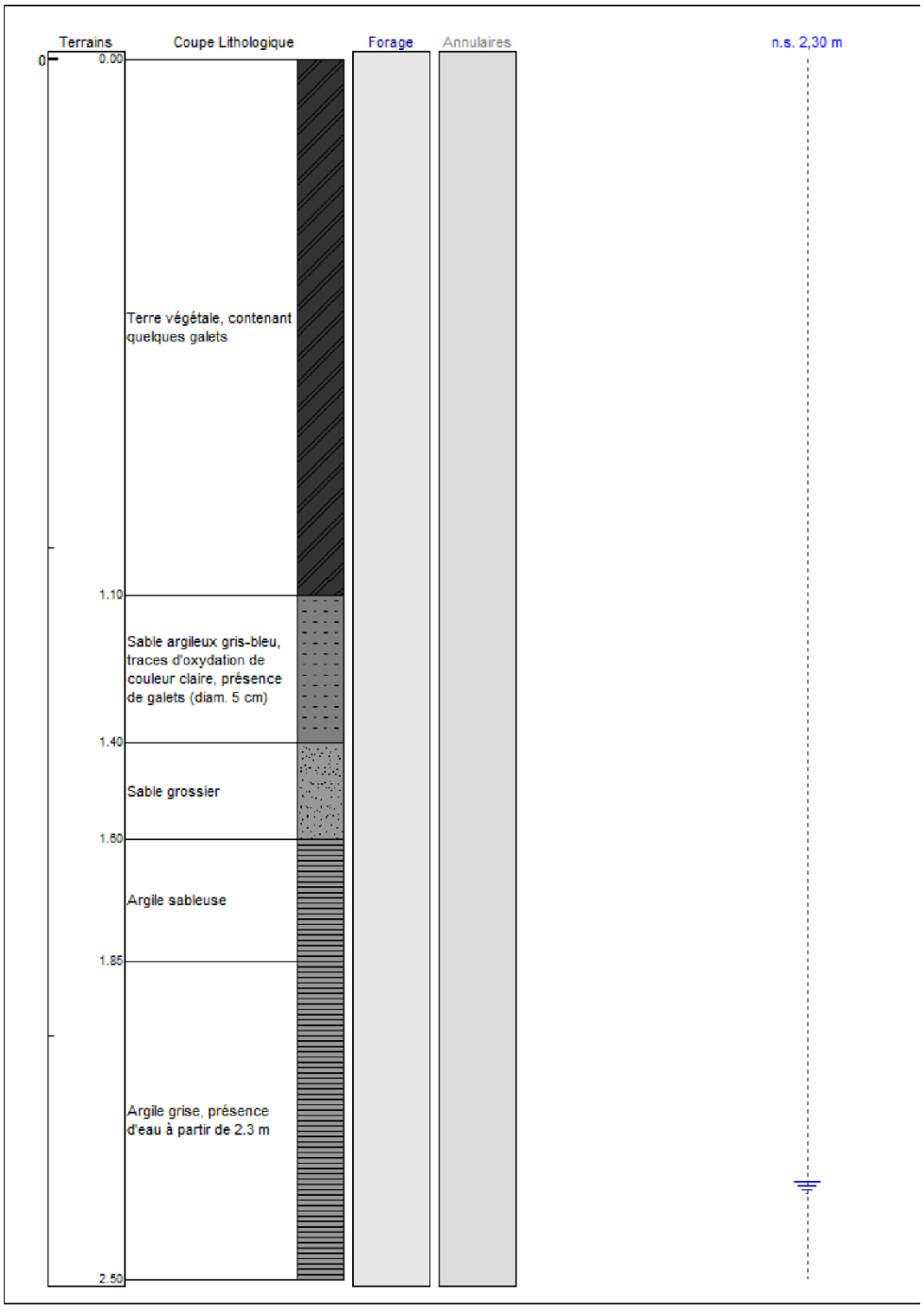
A proximité du piézomètre PZ02



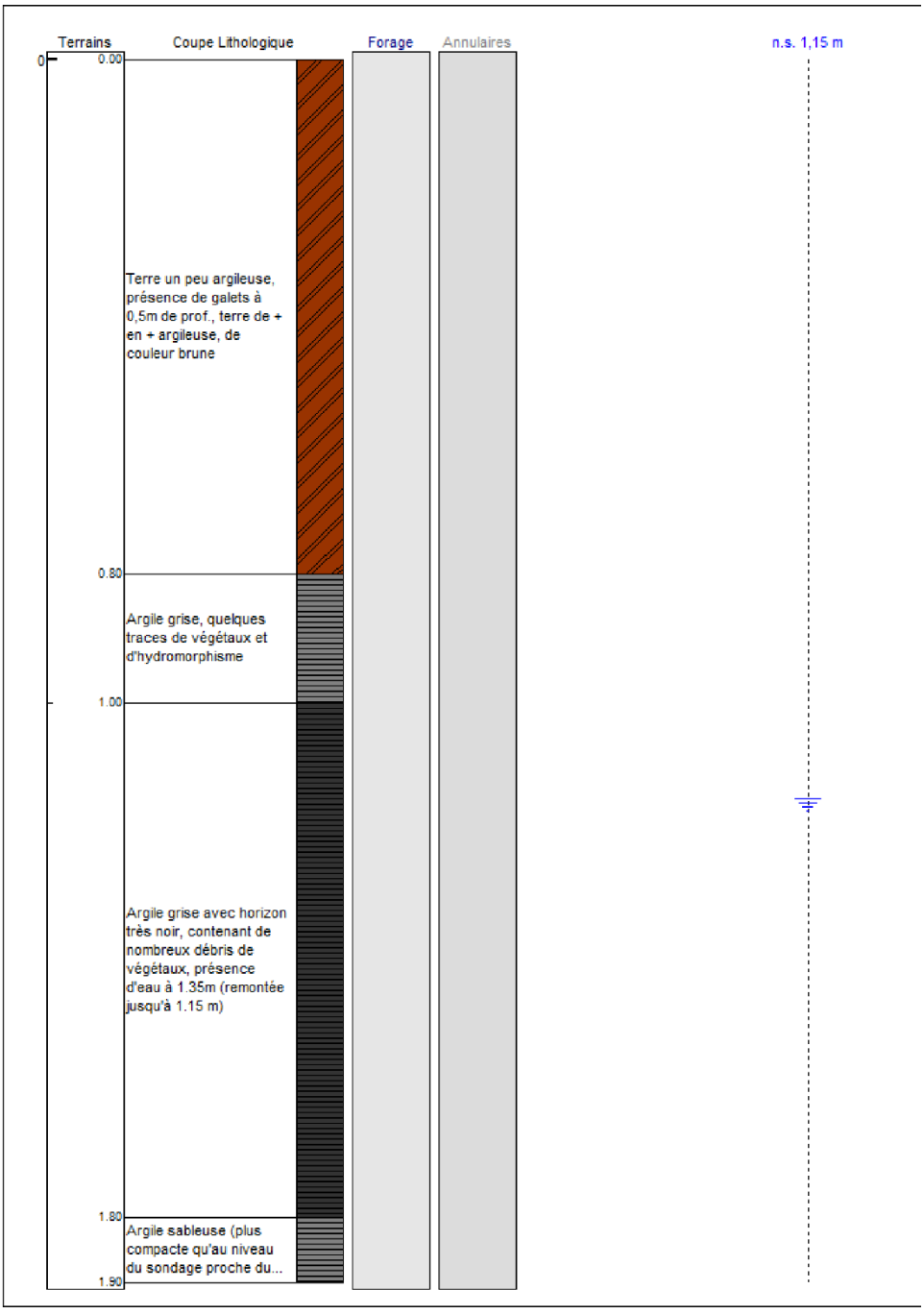
A proximité du piézomètre PZ03



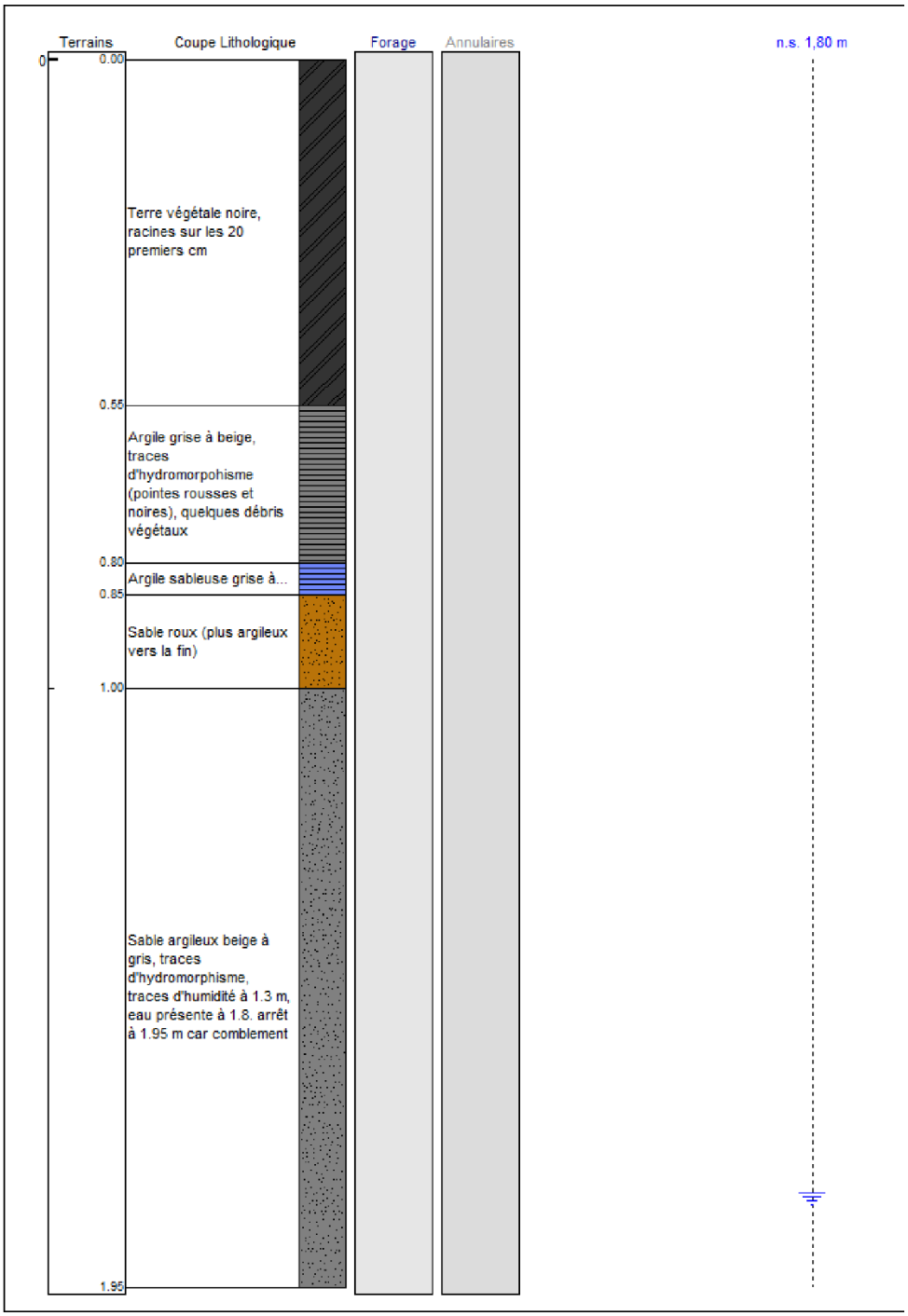
A proximité du piézomètre PZ04



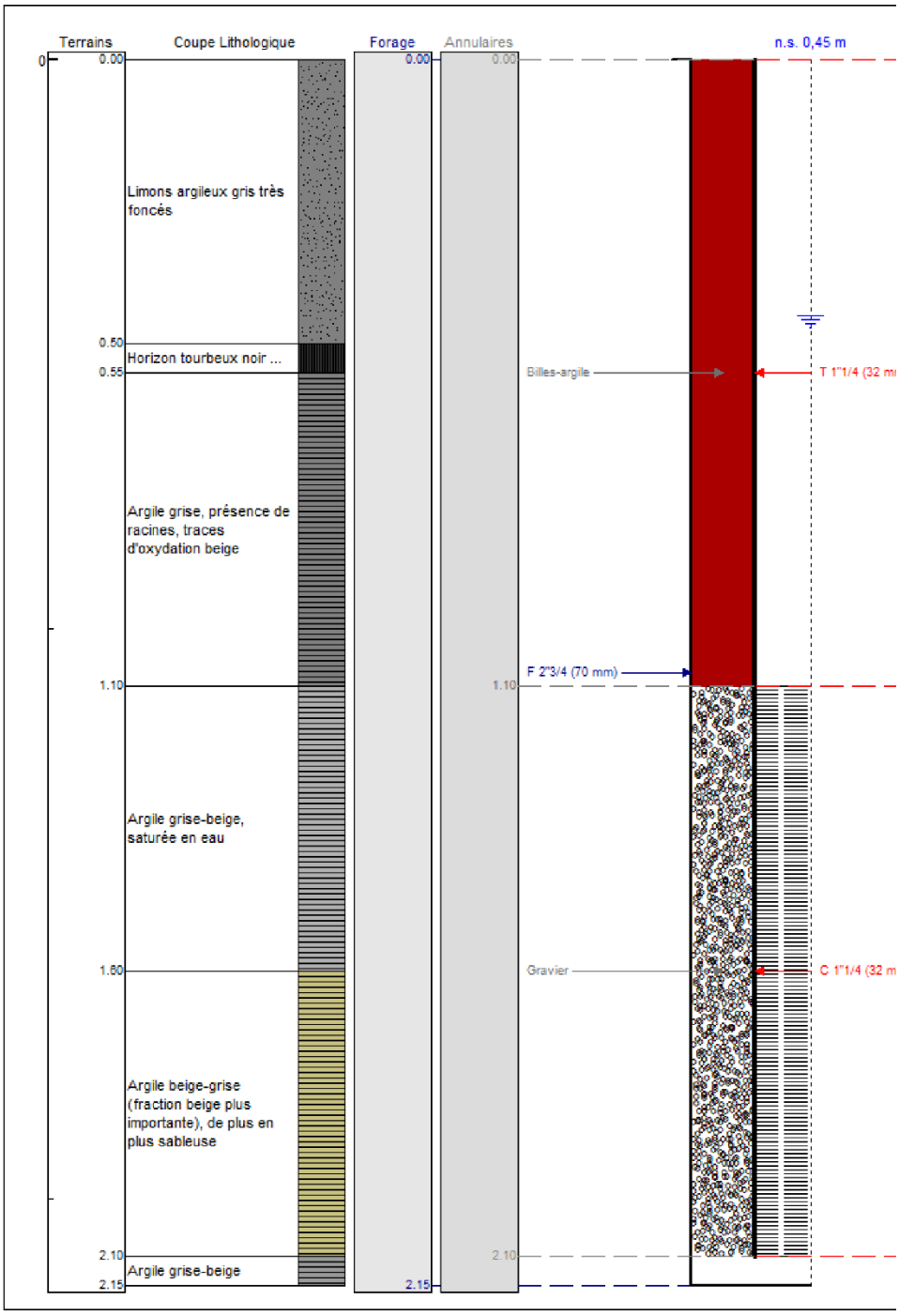
A proximité du piézomètre PZ06



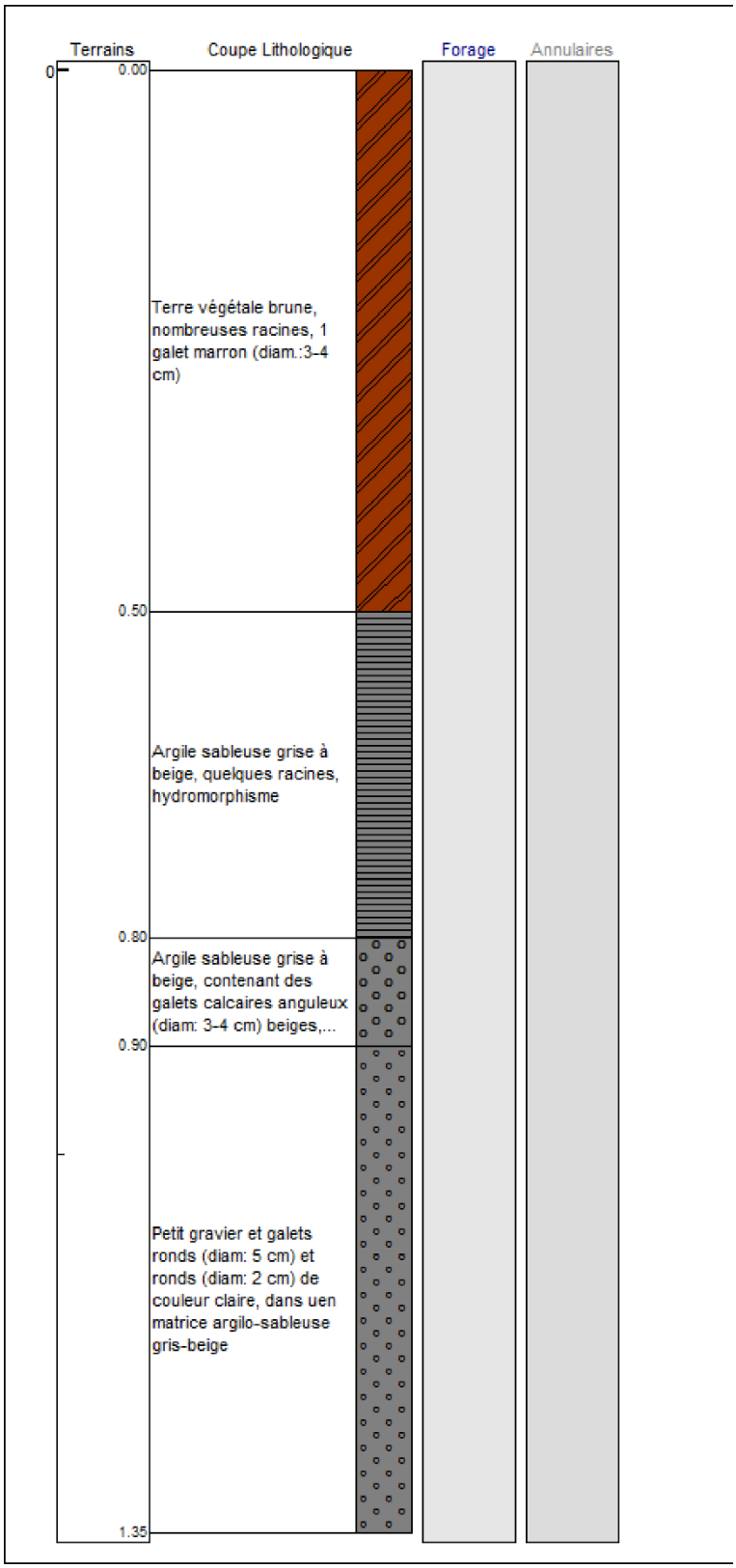
A proximité du piézomètre PZ07



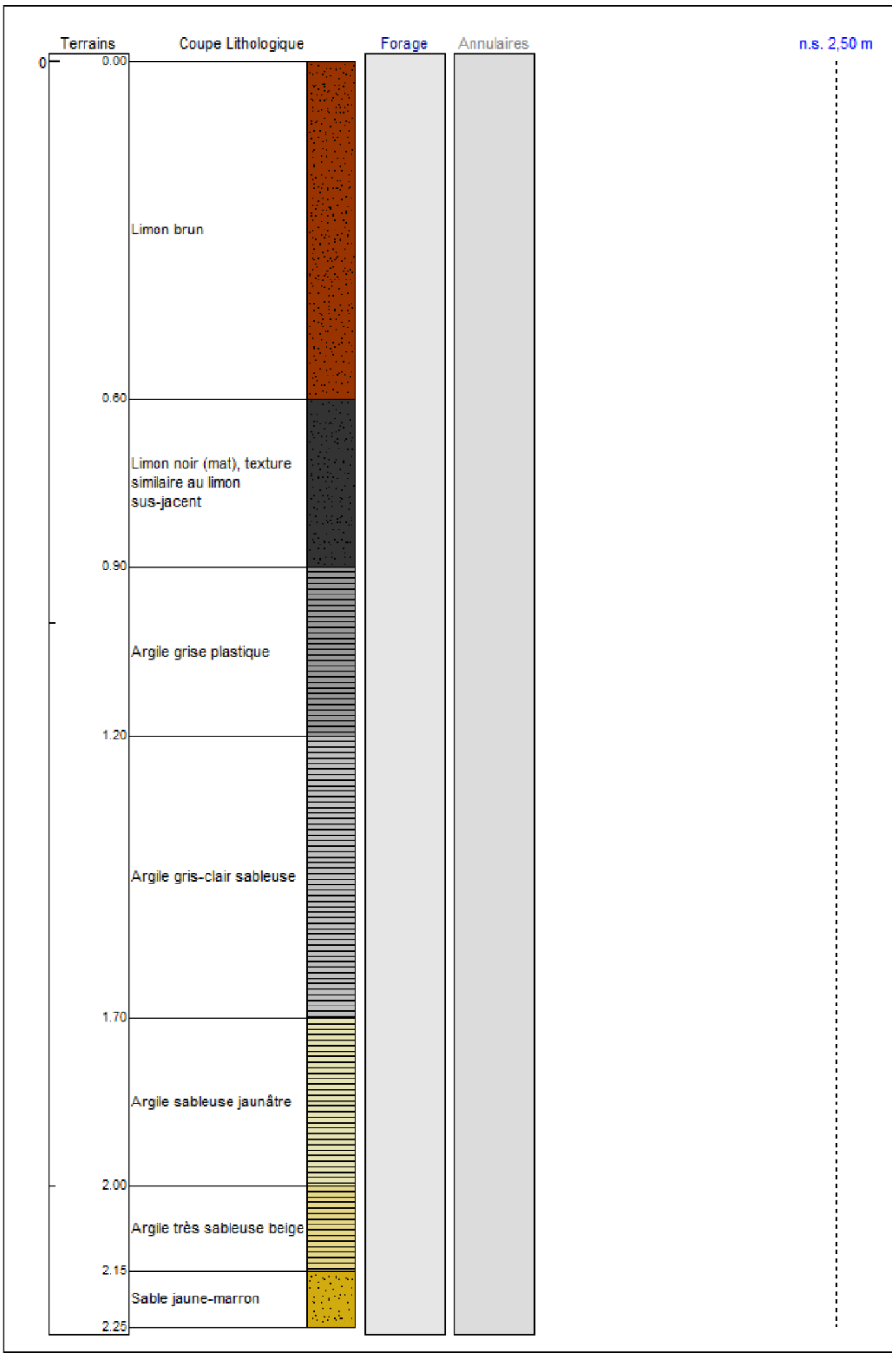
A proximité du piézomètre PZ08



A proximité du piézomètre PZ10



A proximité des qualitomètres QualA et QualB



Annexe 4

Fiches de terrain

Campagne du 21/11/2017 :

Nom	Nature	Mode Mesure	Heure	Profondeur Nappe	Conductivité (µS/cm @ 25°C)	Altitude Repère (m NGF)	Altitude Nappe (m NGF)
PZ01	Forage	Sonde	13:20	4,97	**655**	307,811	**302,84**
PZ02	Forage	Sonde	12:25	4,34	**760**	307,043	**302,70**
PZ03	Forage	Sonde	09:25	3,24	**1400**	306,95	**303,71**
PZ04	Forage	Sonde	10:00	2,12	**650**	306,774	**304,65**
PZ05	Forage	Sonde	12:02	3,41	**1400**	306,515	**303,11**
PZ06	Forage	Sonde	16:30	4,63	**730**	307,699	**303,07**
PZ07	Forage	Sonde	15:54	3,19	**680**	306,501	**303,31**
PZ08	Forage	Sonde	10:40	3,26	**940**	306,587	**303,33**
PZ09	Forage	Sonde	15:15	2,67	**580**	306,051	**303,38**
PZ10	Forage	Sonde	11:21	3,97	**875**	306,207	**302,24**
QualA	Forage	Sonde	13:48	4,08	**626**	306,938	**302,86**
QualB	Forage	Sonde	14:00	4,02	**1150**	306,831	**302,81**
FerrariP03	Forage	Sonde	08:30	6,77	**595**	308,275	**301,51**
VeoliaMare	Forage	Sonde				305,666	
VeoliaPZChamp	Forage	Sonde	11:43	4,47	**740**	306,878	**302,41**
VeoliaPZMare	Forage	Sonde	10:25	3,69	**780**	306,446	**302,76**
BourbreAmont	Echelle limnimetrique	Manuelle	17:08	3	**613**	312,421	**309,42**
BourbreMilieu	Echelle limnimetrique	Manuelle	16:10	4,15	**598**	307,453	**303,30**
BourbreAval	Echelle limnimetrique	Sonde	14:55	1,34	**630**	304,4	**303,06**
Mouturier	Echelle limnimetrique	Sonde	16:55	1,04	**610**	307,105	**306,07**
EchA	Echelle limnimetrique	Sonde	12:54	1,15	**600**	307,79	**306,64**
EchB	Echelle limnimetrique	Sonde				306,195	
EchC	Echelle limnimetrique	Manuelle				306,023	
EchD	Echelle limnimetrique	Manuelle				305,898	
EchE	Buse	Manuelle				x	**x**
EchF	Buse	Manuelle	15:45	0,51	**4440**	304,85	**304,34**
EchG	Buse	Manuelle				307,403	
EchH	Mare	Manuelle				305,666	
EchI	Buse	Manuelle				305,8	
Porcher	Forage	Manuelle				307,374	
Pz3Superf	Forage	Manuelle				306,165	

Campagne du 28/02/2018 :

Nom	Nature	Mode Mesure	Heure	Profondeur Nappe	Conductivité (µS/cm @ 25°C)	Altitude Repère (m NGF)	Altitude Nappe (m NGF)
PZ01	Forage	Sonde	13:50	1,64		307,811	**306,17**
PZ02	Forage	Sonde	12:57	1,14		307,043	**305,90**
PZ03	Forage	Sonde	10:30	0,95		306,95	**306,00**
PZ04	Forage	Sonde	10:50	1,09		306,774	**305,68**
PZ05	Forage	Sonde	12:30	0,8		306,515	**305,72**
PZ06	Forage	Sonde	14:45	1,8		307,699	**305,90**
PZ07	Forage	Sonde	14:05	1,87		306,501	**304,63**
PZ08	Forage	Sonde	11:45	1,39		306,587	**305,20**
PZ09	Forage	Sonde	14:22	1,43		306,051	**304,62**
PZ10	Forage	Sonde	12:00	2,05		306,207	**304,16**
QualA	Forage	Sonde	13:25	0,83		306,938	**306,11**
QualB	Forage	Sonde	13:40	0,775		306,831	**306,06**
FerrariP03	Forage	Sonde				308,275	***306,2***
VeoliaMare	Forage	Sonde	11:10	0,28	**820**	305,666	**305,39**
VeoliaPZChamp	Forage	Sonde	12:15	1,4	**744**	306,878	**305,48**
VeoliaPZMare	Forage	Sonde	11:20	0,68	**770**	306,446	**305,77**
BourbreAmont	Echelle limnimetrique	Manuelle	15:00	2,73	**583**	312,421	**309,69**
BourbreMilieu	Echelle limnimetrique	Manuelle	14:06	3,73	**586**	307,453	**303,72**
BourbreAval	Echelle limnimetrique	Sonde	14:30	0,95		304,4	**303,45**
Mouturier	Echelle limnimetrique	Sonde	15:00	1,1	**595**	307,105	**306,01**
EchA	Echelle limnimetrique	Sonde	13:05	0,96		307,79	**306,83**
EchB	Echelle limnimetrique	Sonde	12:55	0,15		306,195	**306,05**
EchC	Echelle limnimetrique	Manuelle	13:10		**700**	306,023	
EchD	Echelle limnimetrique	Manuelle	12:45	0,15	**750**	305,898	**305,75**
EchE	Buse	Manuelle	11:04	0,79	**1100**	x	**x**
EchF	Buse	Manuelle	14:20	0,47	**730**	304,85	**304,38**
EchG	Buse	Manuelle				307,403	
EchH	Mare	Manuelle				305,666	
EchI	Buse	Manuelle				305,8	
Porcher	Forage	Manuelle				307,374	
Pz3Superf	Forage	Manuelle				306,165	

Valeur en italique : donnée provenant de la sonde électronique

Campagne du 14/03/2018 :

Nom	Nature	Mode Mesure	Heure	Profondeur Nappe	Conductivité (µS/cm @ 25°C)	Altitude Repère (m NGF)	Altitude Nappe (m NGF)
PZ01	Forage	Sonde	11:50	1,6	**1100**	307,811	**306,21**
PZ02	Forage	Sonde	12:24	1,11	**652**	307,043	**305,93**
PZ03	Forage	Sonde	15:45	1,35	**2100**	306,95	**305,60**
PZ04	Forage	Sonde	15:33	1,13	**657**	306,774	**305,64**
PZ05	Forage	Sonde	11:35	1,35	**1300**	306,515	**305,17**
PZ06	Forage	Sonde	10:20	1,75	**665**	307,699	**305,95**
PZ07	Forage	Sonde	11:11	1,84	**680**	306,501	**304,66**
PZ08	Forage	Sonde	14:57	1,27	**550**	306,587	**305,32**
PZ09	Forage	Sonde	10:55	1,87	**455**	306,051	**304,18**
PZ10	Forage	Sonde	14:30	1,96	**980**	306,207	**304,25**
QualA	Forage	Sonde	12:04	0,81	**690**	306,938	**306,13**
QualB	Forage	Sonde	12:08	0,74	**1086**	306,831	**306,09**
FerrariP03	Forage	Sonde	09:30	5,71	**680**	308,275	***306,15***
VeoliaMare	Forage	Sonde	15:10	0,15	**790**	305,666	**305,52**
VeoliaPZChamp	Forage	Sonde	14:40	1,38	**740**	306,878	**305,50**
VeoliaPZMare	Forage	Sonde	15:15	0,64	**750**	306,446	**305,81**
BourbreAmont	Echelle limnimetrique	Manuelle	09:15	2,67	**565**	312,421	**309,75**
BourbreMilieu	Echelle limnimetrique	Manuelle	11:07	3,61	**566**	307,453	**303,84**
BourbreAval	Echelle limnimetrique	Sonde	11:00	0,85	**587**	304,4	**303,55**
Mouturier	Echelle limnimetrique	Sonde	10:10	1,03	**576**	307,105	**306,08**
EchA	Echelle limnimetrique	Sonde				307,79	**307,79**
EchB	Echelle limnimetrique	Sonde	12:22	0,105	**600**	306,195	**306,09**
EchC	Echelle limnimetrique	Manuelle	12:20	-0,06	**585**	306,023	**306,08**
EchD	Echelle limnimetrique	Manuelle				305,898	**305,90**
EchE	Buse	Manuelle				x	**x**
EchF	Buse	Manuelle				304,85	**304,85**
EchG	Buse	Manuelle				307,403	**307,40**
EchH	Mare	Manuelle				305,666	**305,67**
EchI	Buse	Manuelle				305,8	**305,80**
Porcher	Forage	Manuelle				307,374	**307,37**
Pz3Superf	Forage	Manuelle	15:45	0,21	**950**	306,165	**305,96**

Valeur en italique : donnée provenant de la sonde électronique

Campagne du 18/05/2018 :

Nom	Nature	Mode Mesure	Heure	Profondeur Nappe	Conductivité (µS/cm @ 25°C)	Altitude Repère (m NGF)	Altitude Nappe (m NGF)
PZ01	Forage	Sonde	11:17	2,04	**975**	307,811	**305,77**
PZ02	Forage	Sonde	11:29	1,49	**615**	307,043	**305,55**
PZ03	Forage	Sonde	08:06	1,01	**2050**	306,95	**305,94**
PZ04	Forage	Sonde	08:30	1,23	**660**	306,774	**305,54**
PZ05	Forage	Sonde	10:44	1,47	**1175**	306,515	**305,05**
PZ06	Forage	Sonde	13:00	2,01	**670**	307,699	**305,69**
PZ07	Forage	Sonde	09:54	2,14	**680**	306,501	**304,36**
PZ08	Forage	Sonde	09:14	1,35	**600**	306,587	**305,24**
PZ09	Forage	Sonde	12:45	2,04	**440**	306,051	**304,01**
PZ10	Forage	Sonde	09:30	2,15	**950**	306,207	**304,06**
QualA	Forage	Sonde	11:03	1,2	**665**	306,938	**305,74**
QualB	Forage	Sonde	11:03	1,15	**1150**	306,831	**305,68**
FerrariP03	Forage	Sonde				308,275	
VeoliaMare	Forage	Sonde	08:47	0,1	**925**	305,666	**305,57**
VeoliaPZChamp	Forage	Sonde	09:43	1,76	**690**	306,878	**305,12**
VeoliaPZMare	Forage	Sonde	08:54	0,98	**750**	306,446	**305,47**
BourbreAmont	Echelle limnimetrique	Manuelle	13:10	2,93	**550**	312,421	**309,49**
BourbreMilieu	Echelle limnimetrique	Manuelle	09:50	3,86	**560**	307,453	**303,59**
BourbreAval	Echelle limnimetrique	Sonde	12:30	1,19	**611**	304,4	**303,21**
Mouturier	Echelle limnimetrique	Sonde	13:05	1,18	**613**	307,105	**305,93**
EchA	Echelle limnimetrique	Sonde	11:35	1,05	**557**	307,79	**306,74**
EchB	Echelle limnimetrique	Sonde	11:50	0,42		306,195	**305,78**
EchC	Echelle limnimetrique	Manuelle	11:50	0,3	**550**	306,023	**305,72**
EchD	Echelle limnimetrique	Manuelle	10:50	0,2	**820**	305,898	**305,70**
EchE	Buse	Manuelle	09:08	0,81		x	**x**
EchF	Buse	Manuelle	12:50	0,32	**640**	304,85	**304,53**
EchG	Buse	Manuelle	09:24	1,68	**790**	307,403	**305,72**
EchH	Mare	Manuelle				305,666	
EchI	Buse	Manuelle				305,8	
Porcher	Forage	Manuelle				307,374	
Pz3Superf	Forage	Manuelle				306,165	

Annexe 5

Analyse des eaux

Du fait du trop grand nombre de pages, seules les pages d'entête des bordereaux d'analyses concernant les 2 qualitomètres sont insérées dans le rapport. La totalité des documents est fourni au format numérique à la CCVD.

Les analyses concernent les Qualitomètres A et B, et 2 points sur la Bourbre (amont et aval) ainsi que 2 piézomètres éloignés afin de collecter des informations générales sur l'aquifère (PZ06 et Veolia Pz Champ)

- LA DRO ME - laboratoire

Environnement - sécurité alimentaire - agriculture

Client demandeur N° : 38367
Fax : 04 72 82 11 51
Vos ref :

Client payeur N° : 38367
BRGM DIRECTION REGIONALE AUVERGNE
RHONE ALPES SITE DE LYON
151 BOULEVARD STALINGRAD
69626 VILLEURBANNE CEDEX

Monsieur STEPHANE OROFINO
BRGM DIRECTION REGIONALE AUVERGNE RHONE ALPES SITE DE LYON
151 BOULEVARD STALINGRAD
69626 VILLEURBANNE CEDEX

Rapport d'essai n° 17-15463-001

Lieu de prélèvement	NON PRECISE				
Commune	LA TOUR DU PIN				
Nature	Eaux souterraines				
Prélevé le	26/09/2017	à	09:30	par	BRGM
Reçu le	27/09/2017			Température à reception :	13 °C
Edité le	19/10/2017				

Dossier n° **17-15463** Echantillon n° **17-15463-001** Devis n° **2017015176** Sous-Devis n° **17015176-001**

Libellé de l'échantillon : N°1 - QUALITO A

Commentaires :

Synthèse des résultats d'analyses

Mise en route des analyses

Date d'analyse: ICP_AES	06/10/2017
Date d'extraction: Liquide/Liquide	27/09/2017
Date d'analyse: COT/COD	28/09/2017
Date de mise en analyse: Chimie Eau	28/09/2017
Date d'analyse: Mercure par fluorescence atomique	02/10/2017
Date d'analyse: Volatils	28/09/2017
Date d'analyse: ICP_MS	03/10/2017

Substances trouvées :

Code Sandre	Paramètres	Famille/ Sous Famille	Méthode	Concentration (1)		CMA ou NQE	Ref. Qualité (Eo)
1286	Trichloroéthylène (*)	Solvants OHV	CMO_MT04	0.2	µg/L		
1272	Tétrachloroéthylène (*)	Solvants OHV	CMO_MT04	0.2	µg/L		

(1) Si mention "Présence" : La valeur est comprise entre la Ld (limite de détection) et la Lq (limite de quantification). En général Ld = Lq/3

Méthodes :

Signé électroniquement par Philippe REY, Chef de service, signataire autorisé.

cofrac ESSAIS
LABORATOIRE DÉPARTEMENTAL D'ANALYSES
37 AVENUE LAUTAGNE - BP 118, 26804 VALENCE CEDEX 9 - TÉL : 04 75 81 70 70 - FAX : 04 75 81 70 71
laboratoire@ladrome.fr - www.laboratoire.ladrome.fr - SIRET 222 6000 17 003 62 - CODE APE 7120B

Seules certaines prestations sont couvertes par l'accréditation. Accréditation Cofrac n° 1-0852, portée disponible sur www.cofrac.fr

- LA DRO ME - laboratoire

Environnement - sécurité alimentaire - agriculture

Client demandeur N° : 38367
Fax : 04 72 82 11 51
Vos ref :

Client payeur N° : 38367
BRGM DIRECTION REGIONALE AUVERGNE
RHONE ALPES SITE DE LYON
151 BOULEVARD STALINGRAD
69626 VILLEURBANNE CEDEX

Monsieur STEPHANE OROFINO
BRGM DIRECTION REGIONALE AUVERGNE RHONE ALPES SITE DE LYON
151 BOULEVARD STALINGRAD
69626 VILLEURBANNE CEDEX

Rapport d'essai n° 17-15463-002

Lieu de prélèvement	NON PRECISE				
Commune	LA TOUR DU PIN				
Nature	Eaux souterraines				
Prélevé le	26/09/2017	à 10:15	par	BRGM	
Reçu le	27/09/2017		Température à reception :	13 °C	
Edité le	19/10/2017				

Dossier n° **17-15463** Echantillon n° **17-15463-002** Devis n° **2017015176** Sous-Devis n° **17015176-001**

Libellé de l'échantillon : N°2 - QUALITO B

Commentaires :

Synthèse des résultats d'analyses

Mise en route des analyses

Date d'analyse: Mercure par fluorescence atomique	02/10/2017
Date d'analyse: ICP_AES	06/10/2017
Date d'analyse: COT/COD	28/09/2017
Date de mise en analyse: Chimie Eau	28/09/2017
Date d'analyse: ICP_MS	03/10/2017
Date d'analyse: Volatils	28/09/2017
Date d'extraction: Liquide/Liquide	27/09/2017

Substances trouvées :

Code Sandre	Paramètres	Famille/ Sous Famille	Méthode	Concentration (1)	CMA ou NQE	Ref. Qualité (Eo)
1286	Trichloroéthylène (*)	Solvants OHV	CMO_MT04	2.7 µg/L		

(1) Si mention "Présence" : La valeur est comprise entre la Ld (limite de détection) et la Lq (limite de quantification). En général Ld = Lq/3

Méthodes :

Signé électroniquement par Philippe REY, Chef de service, signataire autorisé.

Modèle rapport échantillon -FRA-V31 - 23/08/2017 Ech n° : 17-15463-002 n° client : 38367 Nom client : BRGM ARA 69

cofrac ESSAIS
LABORATOIRE DÉPARTEMENTAL D'ANALYSES
37 AVENUE LAUTAGNE - BP 118, 26804 VALENCE CEDEX 9 - TÉL : 04 75 81 70 70 - FAX : 04 75 81 70 71
laboratoire@ladrome.fr - www.laboratoire.ladrome.fr - SIRET 222 6000 17 003 62 - CODE APE 7120B

Seules certaines prestations sont couvertes par l'accréditation. Accréditation Cofrac n° 1-0852, portée disponible sur www.cofrac.fr

- LA DRO ME - laboratoire

Environnement - sécurité alimentaire - agriculture

Client demandeur N° : 38367
Fax : 04 72 82 11 51
Vos ref :

Client payeur N° : 38367
BRGM DIRECTION REGIONALE AUVERGNE RHONE ALPES SITE DE LYON
151 BOULEVARD STALINGRAD
69626 VILLEURBANNE CEDEX

Monsieur FRANCOIS CRASTES
BRGM DIRECTION REGIONALE AUVERGNE RHONE ALPES SITE DE LYON
151 BOULEVARD STALINGRAD
69626 VILLEURBANNE CEDEX

Rapport d'essai n° 17-05141-003

Marché — Commande 192612
Lieu de prélèvement MARAIS DE LA TOUR DU PIN
Commune
Nature Eaux souterraines
Prélevé le 23/03/2017 à 09:30 par LE CLIENT
Reçu le 25/03/2017 Température à reception : 6 °C
Edité le 24/04/2017

Dossier n° **17-05141** Echantillon n° **17-05141-003**

Libellé de l'échantillon : QUALITO A

Commentaires :

Synthèse des résultats d'analyses

Mise en route des analyses

Date d'extraction: Liquide/Liquide	27/03/2017
Date d'analyse: COT/COD	27/03/2017
Date de mise en analyse: Chimie Eau	27/03/2017
Date d'analyse: HPLCMS_Online	04/04/2017
Date d'analyse: Mercure par fluorescence atomique	28/03/2017
Date d'analyse: CMO_MT48	31/03/2017
Date d'analyse: Volatils	28/03/2017
Date d'analyse: ICP_AES	27/03/2017

Substances trouvées :

Code Sandre	Paramètres	Famille/ Sous Famille	Méthode	Concentration (1)		CMA ou NQE	Ref. Qualité (Eo)
1286	Trichloroéthylène (*)	Solvants OHV	CMO_MT04	0.3	µg/L		
1272	Tétrachloroéthylène (*)	Solvants OHV	CMO_MT04	0.4	µg/L		

(1) Si mention "Présence" : La valeur est comprise entre la Ld (limite de détection) et la Lq (limite de quantification). En général Ld = Lq/3

Méthodes :

Signé électroniquement par Philippe REY, Chef de service, signataire autorisé.

Modèle rapport échantillon -FRA-V28 - 25/01/2017 Ech n° : 17-05141-003 n° client : 38367 Nom client : BRGM ARA 69

cofrac ESSAIS

Laboratoire départemental d'analyses de la drôme
37 avenue laubegne - BP 118, 26904 valence cedex 9 Tél : 04 75 81 70 70 - Fax : 04 75 81 70 71
laboratoire@ladrome.fr - www.lda26.fr - SIREN 222 6000 17 - SIRET 222 6000 17 003 62 - CODE APE 7120B

Seules certaines prestations sont couvertes par l'accréditation. Accréditation Cofrac n° 1-0852, portée disponible sur www.cofrac.fr

- LA DRO ME - laboratoire

Environnement - sécurité alimentaire - agriculture

Client demandeur N° : 38367
Fax : 04 72 82 11 51
Vos ref :

Client payeur N° : 38367
BRGM DIRECTION REGIONALE AUVERGNE
RHONE ALPES SITE DE LYON
151 BOULEVARD STALINGRAD
69626 VILLEURBANNE CEDEX

Monsieur FRANCOIS CRASTES
BRGM DIRECTION REGIONALE AUVERGNE RHONE ALPES SITE DE LYON
151 BOULEVARD STALINGRAD
69626 VILLEURBANNE CEDEX

Rapport d'essai n° 17-05141-004

Marché
Commande 192612
Lieu de prélèvement MARAIS DE LA TOUR DU PIN
Commune
Nature Eaux souterraines
Prélevé le 23/03/2017 à 10:00 par LE CLIENT
Reçu le 25/03/2017 Température à reception : 6 °C
Edité le 11/05/2017

Dossier n° **17-05141** Echantillon n° **17-05141-004**

Libellé de l'échantillon : QUALITO B

Commentaires :

Synthèse des résultats d'analyses

Mise en route des analyses

Date d'analyse: CMO_MT48	31/03/2017
Date d'analyse: HPLCMS_Online	04/04/2017
Date d'analyse: COT/COD	27/03/2017
Date d'analyse: ICP_AES	27/03/2017
Date d'analyse: Volatils	28/03/2017
Date de mise en analyse: Chimie Eau	27/03/2017
Date d'analyse: Mercure par fluorescence atomique	28/03/2017
Date d'extraction: Liquide/Liquide	27/03/2017

Substances trouvées :

Code Sandre	Paramètres	Famille/ Sous Famille	Méthode	Concentration (1)	CMA ou NQE	Ref. Qualité (Eo)
1286	Trichloroéthylène (*)	Solvants OHV	CMO_MT04	5.4 µg/L		

(1) Si mention "Présence" : La valeur est comprise entre la Ld (limite de détection) et la Lq (limite de quantification). En général Ld = Lq/3

Méthodes :

Signé électroniquement par Philippe REY, Chef de service, signataire autorisé.

Modèle rapport échantillon -FRA-V28 - 25/01/2017 Ech n° : 17-05141-004 n° client : 38367 Nom client : BRGM ARA 69

cofrac ESSAIS

Laboratoire départemental d'analyses de la drôme
37 avenue laubegne - BP 118, 26904 valence cedex 9 Tél : 04 75 81 70 70 - Fax : 04 75 81 70 71
laboratoire@ladrome.fr - www.lda26.fr - SIREN 222 6000 17 - SIRET 222 6000 17 003 62 - CODE APE 71208

Seules certaines prestations sont couvertes par l'accréditation. Accréditation Cofrac n° 1-0852, portée disponible sur www.cofrac.fr



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 Auvergne-Rhône-Alpes
151, boulevard Stalingrad
69100 - Villeurbanne - France
Tél. : 04 72 82 11 50