

Etude géologique et hydrogéologique pour le projet d'extension du cimetière communal de Séné

**MAIRIE
SENE (56)**

RAPPORT N20-56187A-V0



Agence de Nantes - siège social
École centrale | CS 82118 | 44321 NANTES CEDEX 3
+33 (0)2 40 14 33 71 | nantes@calligee.fr



Agence de Toulouse
Le Prologue 2 | 71 rue Ampère | 31670 LABÈGE
+33 (0)5 62 24 36 97 | toulouse@calligee.fr

SCOP SA CALLIGÉE à capital variable - RCS Nantes B 381 052 471 - SIRET 381 052 471 00020 - APE 7490 B - TVA Intracommunautaire : FR 09 381 052 471

CLIENT

Mairie de Séné
Direction Urbanisme et économie
Hôtel de Ville
Place de la fraternité
CS70023
56 860 Séné



Interlocuteur : M. Olivier VICTOR

REFERENCES

N° affaire :	N20-56187-V0	Nombre de pages :	45
Rubrique :	GESTAM Cimetière	Nombre de figures hors texte :	0
Agence :	Nantes	Nombre d'annexes :	3

VERSIONS ET VISAS

N° version	Rédaction	Visa	Vérification	Visa	Intitulé des révisions	Date d'application
V0	Maxime PRIOU	MP	Aurélie RICAUD	AR	Première édition	28/05/21

Sommaire

1 INTRODUCTION	7
2 CONTEXTE GENERAL DU SITE	8
2.1 - Localisation	8
2.2 - Topographie.....	11
2.3 - Hydrographie et gestion des ruissellements.....	11
3 CONTEXTE GEOLOGIQUE	13
3.1 - Contexte géologique du secteur.....	13
3.2 - Investigations géologiques sur site.....	14
3.2.1 - Sondages à la pelle mécanique.....	14
3.2.2 - Piézomètres	17
4 HYDROGEOLOGIE	21
4.1 - Contexte général	21
4.2 - Identification des points d'eau.....	22
4.2.1 - Captages d'eau potable	22
4.2.2 - Inventaire des usages de l'eau à proximité du projet.....	22
4.3 - Contexte local	26
4.3.1 - Piézomètre de référence	26
4.3.2 - Mesures piézométriques et estimation du niveau de plus hautes eaux au droit du projet	29
4.3.3 - Observations dans les sondages	36
4.4 - Essais de perméabilité.....	37
5 FAISABILITE ET IMPACT DU PROJET	38
5.1 - Rappel réglementaire	38
5.2 - Types et modalités d'inhumation	39
5.2.1 - Profondeur d'inhumation.....	39
5.2.2 - Durée de rotation des corps	39
5.3 - Faisabilité géotechnique.....	40
5.4 - Faisabilité hydrogéologique.....	40
5.5 - Faisabilité sanitaire	41
5.6 - Aménagements conseillés pour limiter les impacts	41
5.6.1 - Préconisation vis-à-vis de la contrainte hydrogéologique.....	41
5.6.2 - Préconisation vis-à-vis de la gestion des ruissellements	42
5.6.3 - Préconisation vis-à-vis de la contrainte d'enfouissement.....	43
5.6.4 - Préconisations vis-à-vis de la contrainte sanitaire	43

6 CONCLUSION 44

ANNEXES

Table des illustrations

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Description générale du site	8
Tableau 2 : Descriptif géologique du cimetière de Séné	14
Tableau 3 : Géologie des sondages SPM1 à SPM6 du cimetière de Séné.....	16
Tableau 4 : Références géographiques et caractéristiques des deux piézomètres.....	17
Tableau 5 : Données géologiques issus des sondages (données Kornog Geotechnique)	18
Tableau 6 : Mesures piézométriques du 24/11/2020 et du 16/02/2021 dans les puits situés à proximité du cimetière et dans les piézomètres situés au droit du projet	24
Tableau 7 : Caractéristiques des piézomètres de référence ADES	28
Tableau 8 : Statistiques des relevés piézométriques sur les ouvrages de référence	28
Tableau 9 : Estimation des cotes piézométriques de plus hautes eaux du piézomètre de avec le piézomètre de référence BSS001BGUE (Grand-Champ).....	35
Tableau 10 : Observations des arrivées d'eau dans les sondages à la pelle mécanique du cimetière de Séné	36
Tableau 11 : Classes de perméabilité en fonction de la valeur K	37
Tableau 12 : Profondeur des réseaux de drainage suivant le type de sépultures.....	41
Tableau 13 : Epaisseurs de remblaiement minimales.....	42

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Contexte général du projet (source : Calligée – mai 2021)	9
Figure 2 : Localisation du projet d'extension du cimetière de Séné (source : Calligée – mai 2021)	10
Figure 3 : Plan de masse du cimetière avec positionnement des ouvrages de collecte des eaux pluviales	12
Figure 4 : Carte géologique (source : Calligée – mai 2021)	13
Figure 5 : Localisation des fosses, des essais Porchet et des piézomètres sur le cimetière de Séné.....	15
Figure 6 : Coupe technique du piézomètre du cimetière Pz1 réalisée à l'aide du logiciel Gesfor (Source : Calligée, mai 2021).....	19
Figure 7 : Coupe technique du piézomètre du cimetière Pz2 réalisée à l'aide du logiciel Gesfor (Source : Calligée, mai 2021).....	20
Figure 8 : Schéma conceptuel des aquifères de socle (source : R.Wyns – 1998 et 2004)	22
Figure 9 : Carte des ouvrages souterrains à proximité et au droit du cimetière, usages et niveaux piézométriques mesurés et estimés le 16/02/2021	25
Figure 10 : Statistiques des cotes piézométriques du piézomètre de référence n° BSS003DJYA (source : ADES – mai 2021).....	26
Figure 11 : Statistiques des cotes piézométriques du piézomètre de référence n° BSS001BGUE (source : ADES – mai 2021).....	27
Figure 12 : Evolution des niveaux piézométriques sur la période de suivi (29 janvier au 29 avril 2021) (source : ADES, Calligée)	30
Figure 13 : Evolution des cotes piézométriques sur la période de suivi (29 janvier au 29 avril 2021) (source : ADES, Calligée)	30
Figure 14 : Evolution des cotes piézométriques de Pz1 et Pz2 sur la période de suivi (29 janvier au 29 avril 2021) et précipitations (source : ADES, Calligée, Infoclimat)	31

Figure 15 : Evolution des cotes piézométriques sur la période de suivi des piézomètres Pz1 et Pz2 et du piézomètre de référence de Theix-Noyal (source : ADES, Calligée).....	31
Figure 16 : Evolution des niveaux piézométriques sur la période de suivi des piézomètres Pz1 et Pz2 et du piézomètre de référence de Grand-Champ (source : ADES, Calligée) ...	32
Figure 17 : Evolution des niveaux piézométriques de 2018 à 2020 (toute la chronique) des piézomètres du projet et du piézomètre de référence de Theix-Noyal (source : ADES, Calligée).....	32
Figure 18 : Evolution des niveaux piézométriques de 2010 à 2020 des piézomètres du projet et du piézomètre de référence de Grand-Champ (source : ADES, Calligée)	33
Figure 19 : Comparaison des cotes piézométriques du puits de riverain et du piézomètre de référence de Grand-Champ (en m NGF)	34
Figure 20 : Coupe du principe de tranchée drainante peu profonde	43

LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1 : Reportage photographie des sondages à la pelle mécanique
- Annexe 2 : rapports des cotes piézométriques entre les piézomètres du projet et les piézomètres de référence
- Annexe 3 : Calculs de perméabilité – Essais Porchet



1 Introduction

La commune de Séné (Morbihan) souhaite aménager un nouveau secteur pour l'extension de son cimetière communal. La mairie de Séné est actuellement en discussion avec le propriétaire d'une parcelle voisine au cimetière actuel pour prévoir une éventuelle extension du cimetière actuel.

Dans ce cadre, elle a confié à Calligée la réalisation d'une étude géologique et hydrogéologique permettant d'apprécier la faisabilité de l'extension du cimetière actuel sur la parcelle AS 226. Les objectifs de cette étude sont de préciser le contexte géologique et hydrogéologique et d'apprécier les contraintes géotechniques, hydrogéologiques et sanitaires inhérentes au projet d'extension du cimetière. L'étude conclut en proposant des solutions de gestion des eaux pour l'aménagement de l'extension du cimetière.

Réglementairement, le projet doit être compatible avec le règlement du plan local d'urbanisme. La mission vise également à répondre aux exigences réglementaires du décret n°2011-121 du 28 janvier 2011, modifiant l'article R 2223-2 du code général des collectivités territoriales qui indique la nécessité d'apprécier par un hydrogéologue, le risque que le niveau des plus hautes eaux de la nappe libre superficielle puisse se situer à moins d'un mètre du fond des sépultures.

Le présent rapport rend compte des résultats obtenus suite à un travail bibliographique et à des investigations menées sur le terrain. Celles-ci ont consisté en la réalisation de :

- Une reconnaissance des sites d'étude et une étude des écoulements superficiels ;
- 6 sondages au tractopelle ;
- 3 essais de perméabilités ;
- Un inventaire des points d'eau et usages de l'eau autour du site ;
- La réalisation de 2 piézomètres ;
- Des mesures piézométriques dans les puits et piézomètres proches du cimetière, ainsi qu'un suivi piézométrique en continu de 3 mois dans les deux piézomètres réalisés.



2 Contexte général du site

2.1 - LOCALISATION

Le Tableau 1 regroupe les informations générales concernant le projet d'extension du cimetière communal de Séné.

Tableau 1 : Description générale du site

Commune	Séné
Département	Morbihan
Localisation commune	Grande banlieue sud de Vannes
Population	8 946 habitants (recensement Insee 2018)
Localisation site d'étude	Cimetière situé en plein centre de Séné, à proximité et à l'est de la D199 qui traverse la commune et qui rejoint Vannes
Parcelles d'étude	AS 226
Surface du site d'étude	2 100 m ²
Occupation du sol	Parcelle en herbe - Propriété de M. CAUDAL

La Figure 1 présente la localisation du projet d'étude. Le détail des extensions de chaque cimetière est exposé dans les Figure 2 .

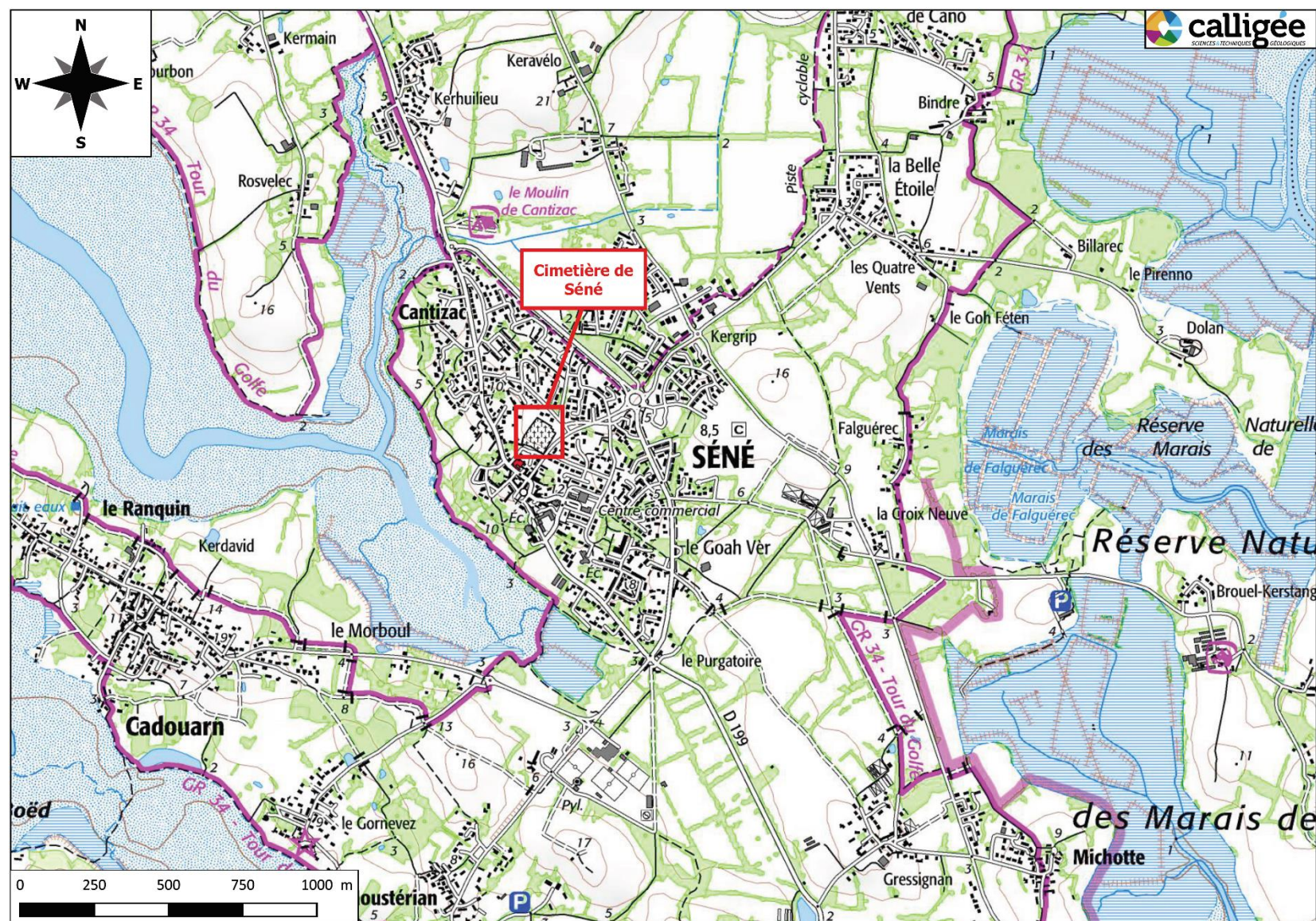


Figure 1 : Contexte général du projet (source : Calligée – mai 2021)



Figure 2 : Localisation du projet d'extension du cimetière de Séné (source : Calligée – mai 2021)

2.2 - TOPOGRAPHIE

La topographie du site (parcelle AS 226) est relativement plane, le projet étant situé au niveau d'un plateau topographique. Elle augmente vers le l'Ouest et diminue en direction de l'Est de la parcelle. Le point le plus haut est situé dans le coin Sud-Ouest du site à environ 10,8 m NGF, soit 2,4 m au-dessus au point le plus bas.

2.3 - HYDROGRAPHIE ET GESTION DES RUISSELLEMENTS

L'extension du cimetière de Séné est une parcelle enherbée sans usage. Nous noterons toutefois la présence d'un potager appartenant au locataire situé sur la parcelle voisine AS 225.

Aucun aménagement pour la gestion des ruissellements n'est présent sur le site d'extension mais une conduite souterraine d'eau pluviale passe toutefois le long de la bordure Est de la parcelle.

Le cimetière actuel se décompose en 3 parties :

- Une partie ancienne (zones de sépultures 1 à 4) qui présente une allée centrale d'orientation NO-SE (qui donne sur le portail d'entrée principal du cimetière) et une allée plus étroite d'orientation NE-SO. Cette zone, est séparée du reste du cimetière par un mur de pierres qui l'encadre entièrement. Elle présente un avaloir (situé sous une arrivée d'eau) relié au réseau EP dans son coin Sud-Est.
- Une partie centrale plus récente (zones de sépultures 5 et 6), qui comprend une allée principale d'orientation NO-SE plus large que celle l'ancienne partie du cimetière et une allée d'orientation NE-SO, là encore plus étroite. Seul un avaloir relié au réseau EP (sous une arrivée d'eau, le long du mur de pierres de la partie la plus ancienne du cimetière) est présent sur cette partie du cimetière.
- Une partie récente qui présente deux allées d'orientation NO-SE de part et d'autre d'une zone de columbarium et d'un jardin centraux et deux allées d'orientation NE-SO. Cette zone est équipée de nombreux avaloirs (17) reliés entre eux qui constituent un réseau de collecte des eaux pluviales. Deux arrivées d'eau sont également présentes et équipées d'avaloirs EP dans cette partie du cimetière.

Deux grilles permettant de récupérer les eaux pluviales sont également présentes devant les portails de l'entrée technique et des sanitaires du cimetière (coin Nord-Est). Une arrivée d'eau équipée d'avaloir EP est également située juste derrière le portail de l'entrée vers les sanitaires.

Les allées du cimetière sont toutes goudronnées, sauf l'allée NO-SE située la plus à l'ouest du site, qui n'a pas encore été aménagée. Les zones de sépultures sont toutes composées de matériau sableux.

L'exutoire du cimetière se situe dans le coin Nord-Est de ce dernier au niveau des grilles, et rejoint le réseau d'eau pluviale au niveau de la rue de la Fontaine.

Il n'existe pas de plans de ce réseau de drainage, mais l'implantation des avaloirs, des grilles et la position de la conduite d'eau pluviale ont été reportés sur un plan fourni par la mairie de Séné, en Figure 3.

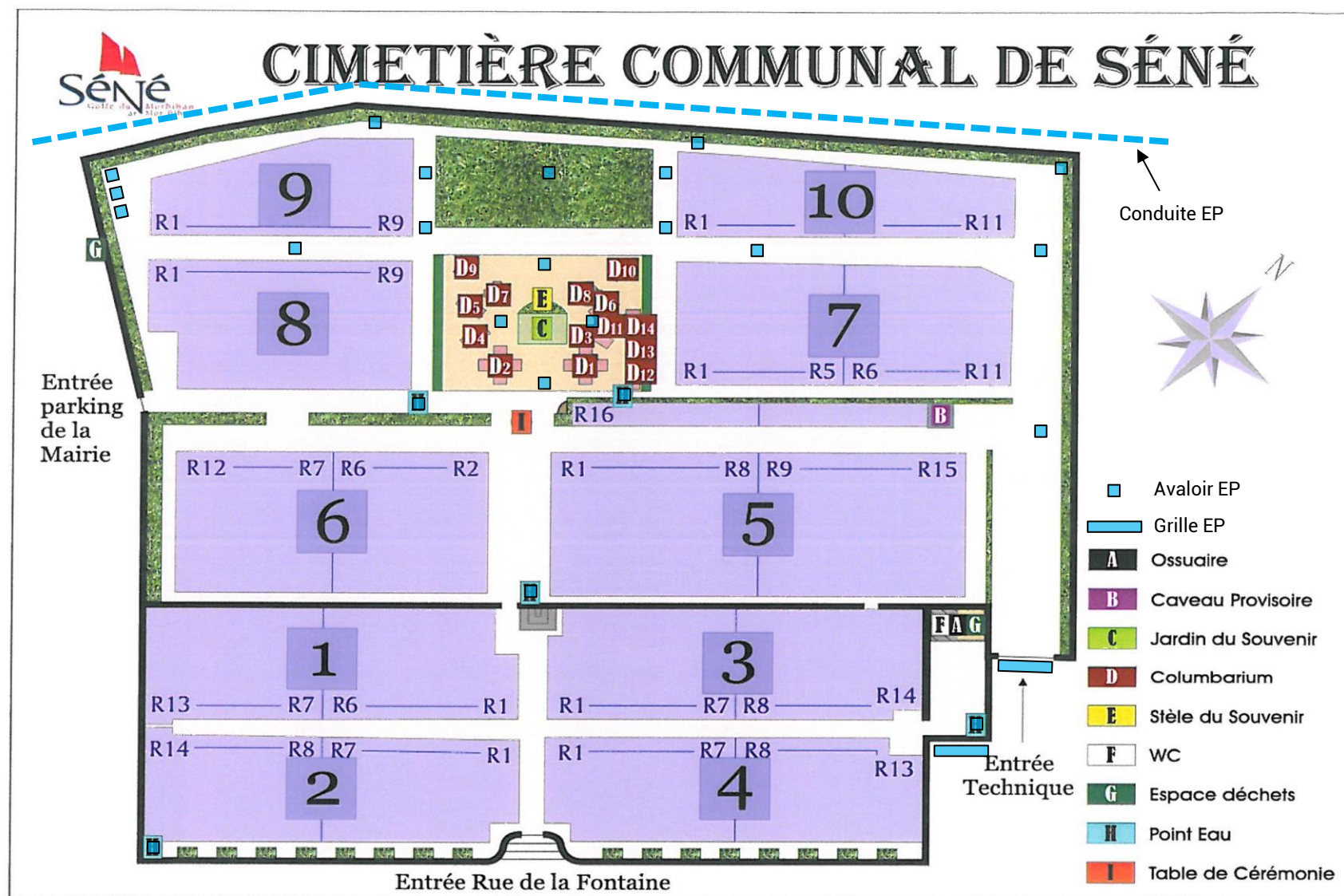
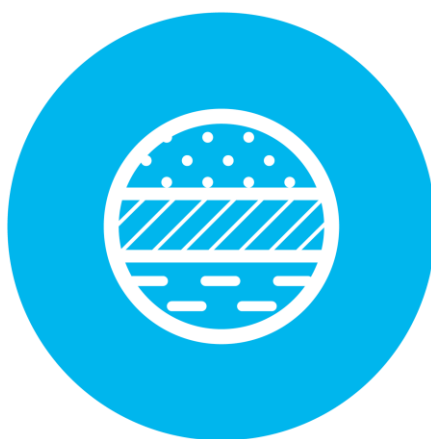


Figure 3 : Plan de masse du cimetière avec positionnement des ouvrages de collecte des eaux pluviales



3 Contexte géologique

3.1 - CONTEXTE GEOLOGIQUE DU SECTEUR

La géologie du secteur est déterminée à partir de la carte géologique n°417 de Vannes et de sa notice associée. La carte géologique au 1/50 000 est présentée sur la Figure 4.

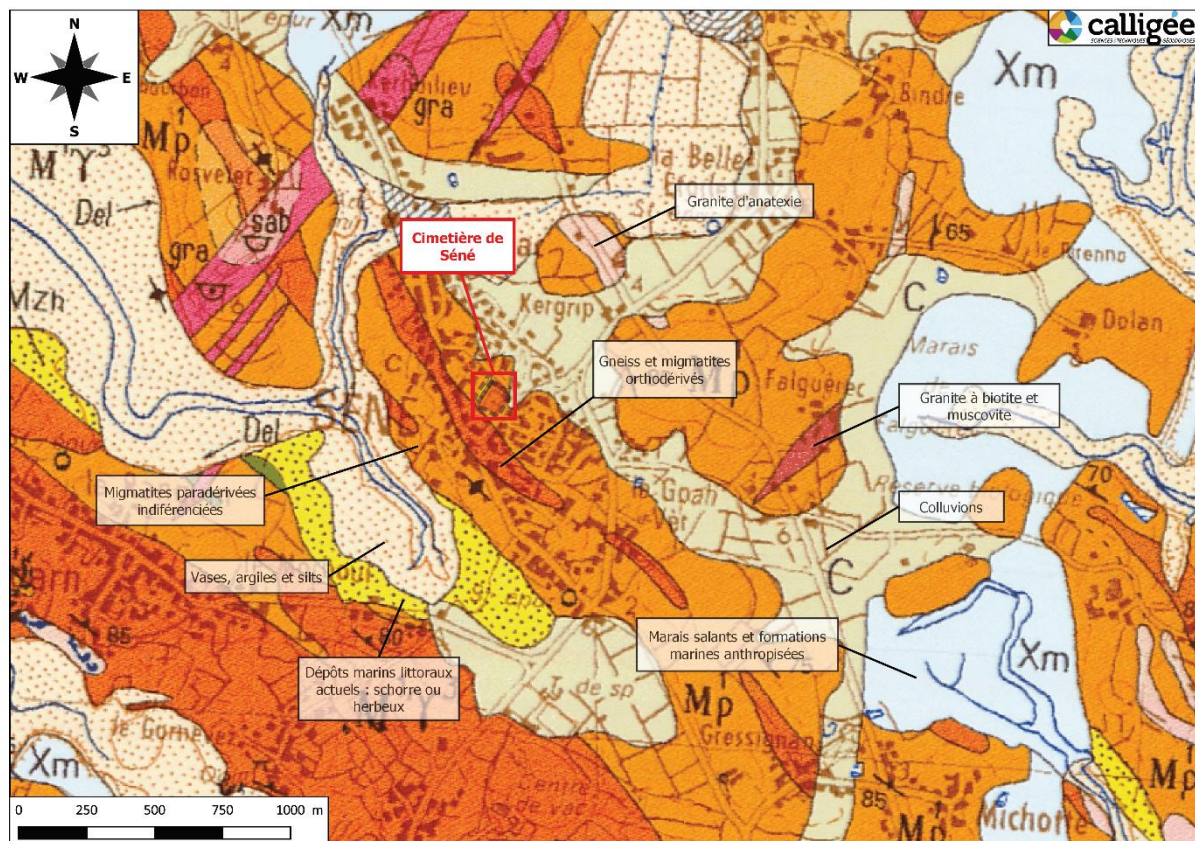


Figure 4 : Carte géologique (source : Calligée – mai 2021)

Le Tableau 2 regroupe les informations relatives à la géologie du site.

Tableau 2 : Descriptif géologique du cimetière de Séné

Carte géologique	N°417 – Vannes (1/50 000)
Contexte régional	Domaine varisque sud-armoricain
Contexte local	Terrains métamorphiques affectés par une déformation ductile intense, situés au sud de la branche sud du cisaillement sud armoricain
Nature des roches	Anatexites du Golfe du Morbihan (320 ± 6 Ma) - Migmatites paradérivées indifférenciées Formant la plus grande partie des migmatites du Golfe du Morbihan au sens large, les migmatites paradérivées présentent à l'affleurement un aspect extrêmement changeant, fonction en particulier de la nature de leur protolithe et de l'intensité de leur fusion partielle, rendant impossible leur cartographie de détail. Ces roches ont pourtant des structures et des pétrographies contrastées qui sont ici regroupées. Ce groupement inclut des métatexites, terme le plus rencontré, des diatexites ainsi que des reliques de gneiss initial peu mobilisé, et enfin des corps de granite d'anatexie, présents à toutes les échelles, depuis les leucosomes jusqu'à des corps cartographiables ou des véritables massifs (e.g. massif de Sainte-Anne-d'Auray) ; ces derniers ayant été distingués cartographiquement.

3.2 - INVESTIGATIONS GEOLOGIQUES SUR SITE

3.2.1 - SONDAGES A LA PELLE MECANIQUE

Au droit du site, les formations géologiques ont été reconnues par l'intermédiaire de 6 fosses réalisées à la pelle mécanique entre le 16 février 2021 par la société Jean Rio TP. Les interventions ont été réalisées en période de hautes eaux d'après la chronique du piézomètre de référence le plus proche situé à Theix-Noyal n° BSS003DJYA. La profondeur de creusement recherchée est d'environ 3 mètres maximum.

La localisation des fosses est donnée dans la Figure 5 (la taille des fosses n'étant pas à l'échelle sur ces figures).

Les photographies des fosses sont présentées en Annexe 1.

Le Tableau 3 regroupe les informations concernant la lithologie des sondages du cimetière de Séné.



Figure 5 : Localisation des fosses, des essais Porchet et des piézomètres sur le cimetière de Séné

Tableau 3 : Géologie des sondages SPM1 à SPM6 du cimetière de Séné

Profondeurs (m)	Lithologie	Observations	Traces d'oxydation	Dureté à la pelle
Sondage SPM1				
0,0 – 1,5	Terre végétale limoneuse	Brune	-	Très faible
1,5 – 2,0	Migmatites fortement altérées	Brunes ocres, arrivées d'eau vers 2 m	Oui +	Faible
2,0 – 2,36	Migmatites moyennement altérées	Brunes ocres, avec morceaux de roche	Oui +	Elevée
Refus à 2,36 m – Parois se tiennent bien lors du creusement				
Sondage SPM2				
0,0 – 1,5	Terre végétale limoneuse	Brune foncée	-	Très faible
1,5 – 2,0	Migmatites fortement altérées	Brunes ocres, arrivées d'eau vers 1,5 m	Oui +	Faible
2,0 – 2,93	Migmatites moyennement altérées	Brunes ocres, avec morceaux de roche	Oui +	Moyenne
Refus à 2,93 m – Parois se tiennent bien lors du creusement				
Sondage SPM3				
0,0 – 1,5	Terre végétale limoneuse	Brune foncée	-	Très faible
1,5 – 2,0	Migmatites fortement altérées	Brunes ocres, arrivées d'eau vers 1,5 m	Oui ++	Faible
2,0 – 3,19	Migmatites moyennement altérées	Brunes ocres (moins ici), avec morceaux de roche	Oui +	Moyenne
Refus à 3,19 m – Parois se tiennent bien lors du creusement				
Sondage SPM4				
0,0 – 1,0	Terre végétale limoneuse	Brune foncée	-	Très faible
1,0 – 2,0	Migmatites fortement altérées	Brunes ocres, arrivées d'eau vers 2,0 m	Oui ++	Faible
2,0 – 3,17	Migmatites moyennement altérées	Brunes ocres (moins ici), avec morceaux de roche	Oui +	Moyenne
Refus à 3,17 m – Parois se tiennent bien lors du creusement				
Sondage SPM5				
0 – 1,0	Terre végétale limoneuse	Brune foncée	-	Très faible
1,0 – 1,5	Migmatites fortement altérées	Brunes ocres	Oui ++	Faible
1,5 – 3,15	Migmatites moyennement altérées	Brunes ocres (moins ici), avec morceaux de roche, arrivées d'eau vers 2,0 m	Oui +	Moyenne
Refus à 3,15 m – Parois se tiennent bien lors du creusement				
Sondage SPM6				
0 – 1,0	Terre végétale limoneuse	Noire	-	Très faible
1,0 – 2,0	Migmatites fortement altérées	Brunes ocres, arrivées d'eau vers 2,0 m	Oui ++	Faible
2,0 – 3,4	Migmatites moyennement altérées	Brunes ocres (moins ici), avec morceaux de roche, arrivées d'eau vers 3,0 m	Oui +	Moyenne
Refus à 3,4 m – Parois se tiennent bien lors du creusement				

La succession lithologique est très homogène pour le site de Séné. Le premier horizon rencontré est un horizon de terre végétale limoneuse. Sous cet horizon se trouvent les migmatites altérées. L'altération diminue en profondeur jusqu'à la roche peu altérée (présence de gros blocs pluricentimétriques sur certains sondages).

Le profil d'altération est assez homogène d'un sondage à l'autre. La profondeur du toit des migmatites altérées varie entre 1,5 et 2,0 m. La profondeur des refus au creusement est assez homogène ; elle est comprise entre 2,3 et 3,4 m.

Des arrivées d'eau naturelles ont été identifiées entre 1,5 et 2,0 m. Le caractère oxydé des altérites témoigne de la présence d'eau et d'un battement de la nappe assez proche des premiers horizons de sol.

Certains échantillons de roche remontés par la pelle mécanique étaient humides et témoignaient de la présence d'eau.

3.2.2 - PIEZOMETRES

D'après la mairie de Séné et suite à une enquête de voisinage réalisée par Calligée, il n'existe aucun point d'accès à la nappe au droit du cimetière. Des ouvrages ont été relevés uniquement en aval du cimetière, à au moins 100 m de distance de la parcelle prévue pour l'extension du site.

Toutefois, deux piézomètres ont été réalisés au droit du cimetière le 9 mars 2020 par la société Kornog Geotechnique, dans le but de réaliser un suivi piézométrique local.

Les cotes altimétriques des ouvrages ont été déterminées à partir de levés topographiques réalisé par Calligée.

Tableau 4 : Références géographiques et caractéristiques des deux piézomètres

Identifiant ouvrage de suivi	X (Lambert 93)	Y (Lambert 93)	Cote sol en mNGF (+/-1m) (Géoportail)	Hauteur repère (m/sol)	Profondeur (m/rep.)	Commune	Parcelle cadastrale
PiézoMètre Pz1	269 436	6 740 163	10,47	0,45	4,12	Séné	AS 226
PiézoMètre Pz2	269 470	6 740 221	9,17	0,52	5,02	Séné	AS 226

Les ouvrages sont reportés sur la Figure 5 dans la sous partie 3.2.1 - .

La géologie des terrains a été décrite de la manière suivante (en fonction du terrain naturel ou T.N.) :

- **Pour le piézomètre Pz1** : terre végétale brune argilo-limoneuse de 0 à 1,5 m/T.N., altérites brunes / ocres limono-argileuses de 1,5 à 2,1 m/T.N., altérites brunes / ocres limoneuses avec morceaux de migmatites centimétriques de 2,1 à 3,0 m/T.N. et migmatites dures de 3,0 à 3,9 m/T.N. (fond du piézomètre) ;
- **Pour le piézomètre Pz2** : terre végétale brune argilo-limoneuse de 0 à 0,5 m/T.N., altérites brunes / ocres limono-argileuses de 0,5 à 2,5 m/T.N. et altérites brunes / ocres limoneuses avec morceaux de migmatites centimétriques de 2,5 à 5,1 m/T.N. (fond du piézomètre).

Tableau 5 : Données géologiques issus des sondages (données Kornog Geotechnique)

	Pz1		Pz2	
Cote sol (m NGF)	10,47		9,17	
Formation	Epaisseur (m)	Cote de toit (m NGF)	Epaisseur (m)	Cote de toit (m NGF)
Terre végétale	1,5	10,47	0,5	9,17
Altérites	1,5	8,97	4,6	8,67
Migmatites dures	>0,9	7,47	-	4,07

Les coupes techniques des deux ouvrages sont reportées sur les Figure 6 et Figure 7.

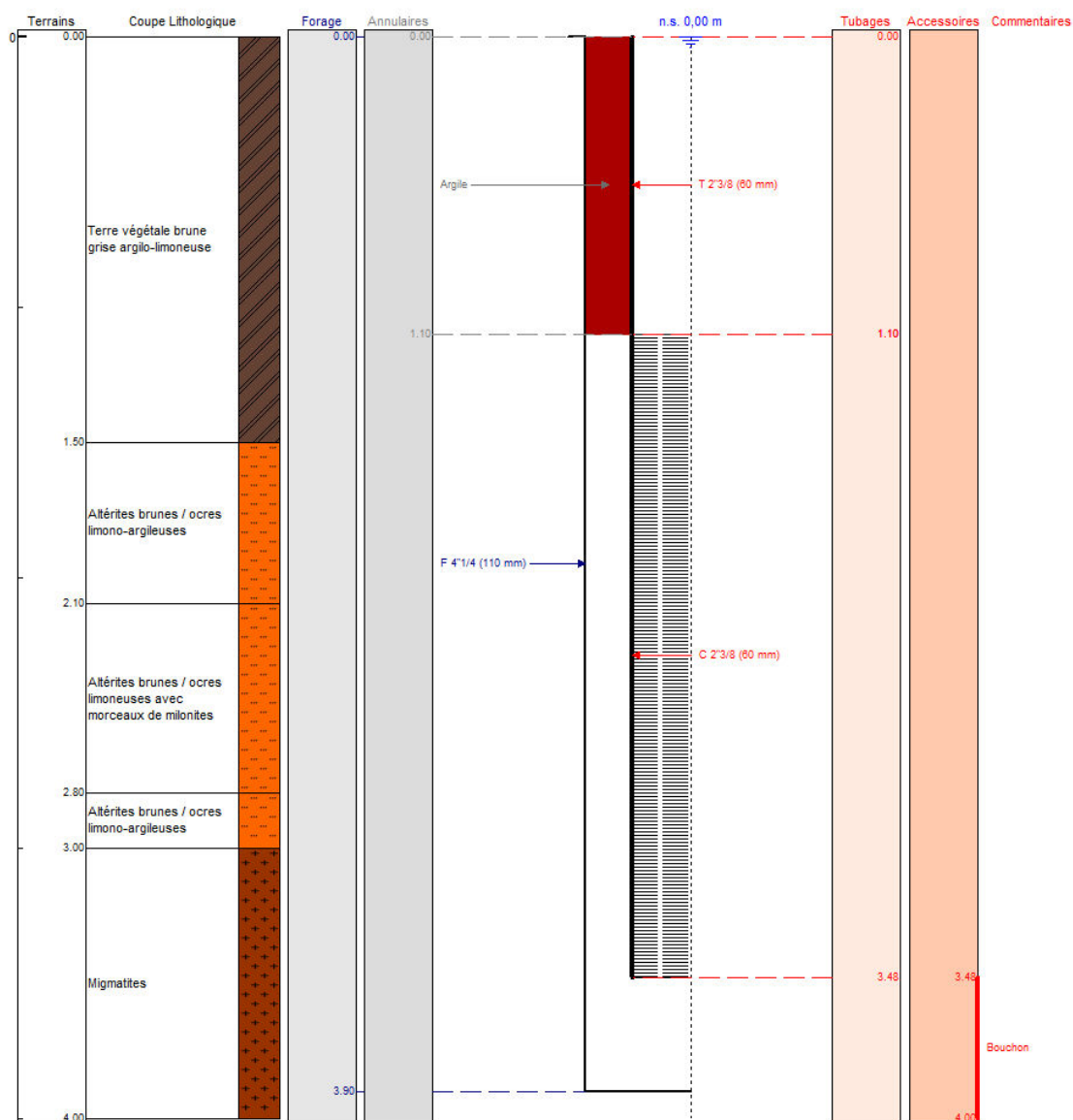


Figure 6 : Coupe technique du piézomètre du cimetière Pz1 réalisée à l'aide du logiciel Gesfor (Source : Calligée, mai 2021)

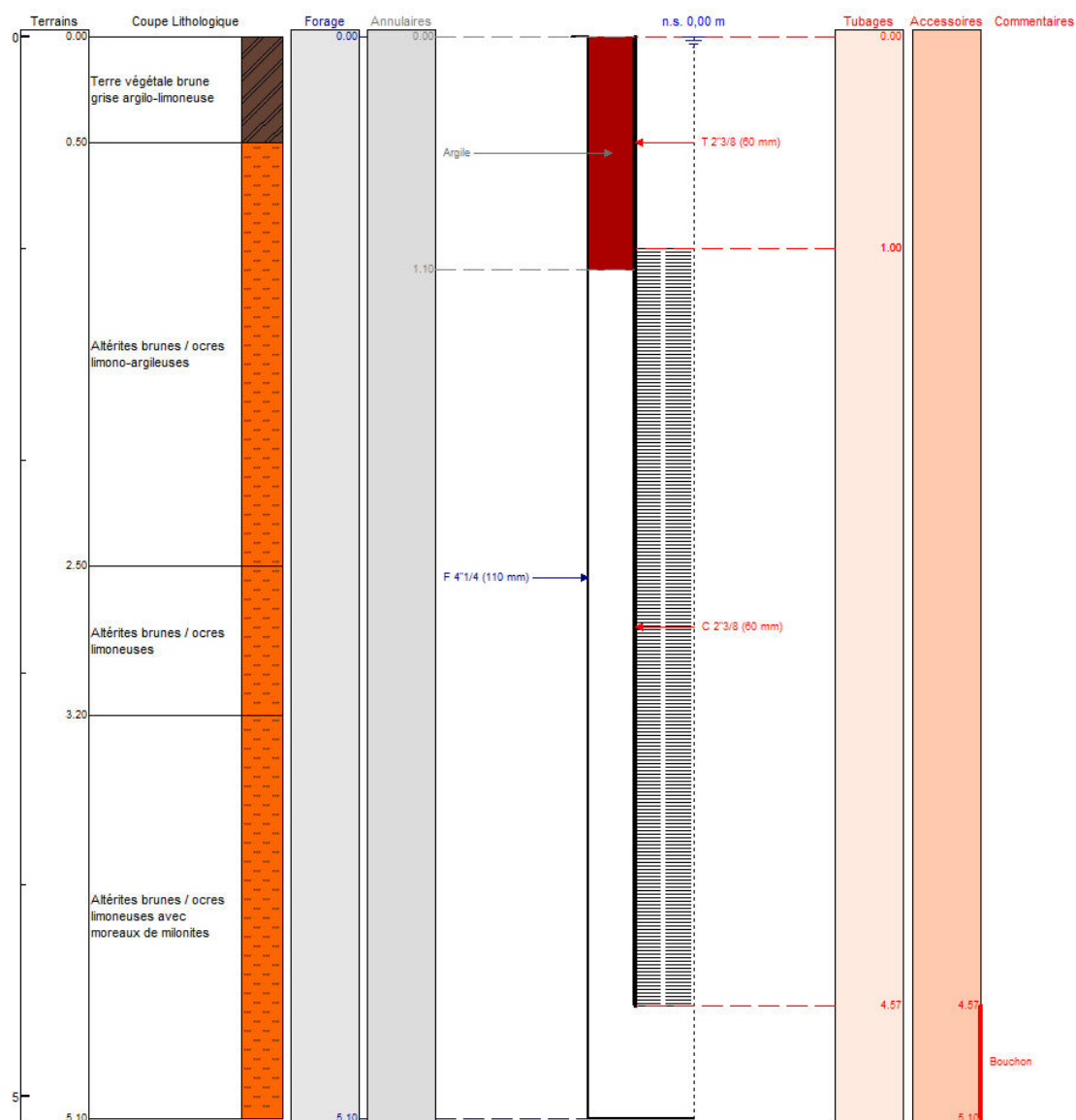


Figure 7 : Coupe technique du piézomètre du cimetière Pz2 réalisée à l'aide du logiciel Gesfor (Source : Calligée, mai 2021)



4 Hydrogéologie

4.1 - CONTEXTE GENERAL

Dans ce contexte géologique, les aquifères en présence sont de type discontinus de socle. Les notices des cartes géologiques du BRGM définissent l'aquifère de socle ainsi :

« Au cours des temps géologiques, les roches indurées du socle (...) ont subi de nombreuses contraintes, générant tout un faisceau de fractures multidimensionnelles. Ce sont ces fractures, plus ou moins ouvertes et étendues, relayées par tout un réseau de fissures et le plus souvent accompagnées de niveaux altérés, qui constituent le réservoir type des aquifères armoricains de socle. »

Le potentiel aquifère peut alors être défini par :

- L'épaisseur et la nature de la couche d'altérites (des altérites exemptes de fraction fine et de granulométrie élevée représentent un fort potentiel aquifère);
- Le degré de fracturation des schistes du socle et l'épaisseur de la zone fracturée ;
- L'orientation et la connectivité des fractures ;
- La présence ou non d'un remplissage argileux des fractures.

Le contexte géologique d'un aquifère de socle est présenté Figure 8.

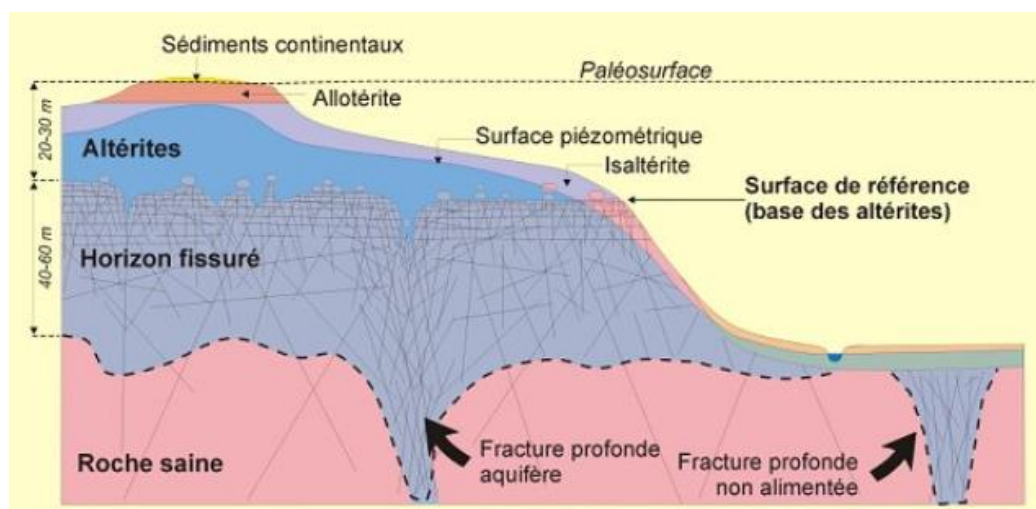


Figure 8 : Schéma conceptuel des aquifères de socle (source : R.Wyns – 1998 et 2004)

Plus en profondeur, des ressources en eau peuvent être présentes localement de par la présence d'accidents tectoniques ou d'hétérogénéités du sous-sol tels que les diaclases, failles, décrochements, schistosité, foliations, etc...

4.2 - IDENTIFICATION DES POINTS D'EAU

4.2.1 - CAPTAGES D'EAU POTABLE

Le site se trouve en dehors de tout périmètre de protection de captage d'eau potable.

4.2.2 - INVENTAIRE DES USAGES DE L'EAU A PROXIMITE DU PROJET

D'après la mairie de Séné, il n'existe aucun point d'accès à la nappe au droit du cimetière mais à une distance d'environ 100 m au minimum.

Lors d'une visite du cimetière le 24 novembre 2020, une visite des abords du site a été effectuée, relevant la présence de puits de particuliers, situés en grande majorité en amont du cimetière (1 seul puits en aval et inaccessible).

En raison de la position des ouvrages souterrains qui ne permet que de caractériser la nappe au sud/sud-ouest du cimetière, il a été décidé de réaliser deux piézomètres sur la future parcelle d'extension du cimetière (voir section 3.2.2 -).

Au final, aucun usage de l'eau souterraine, ni aucune cible sanitaire n'est relevable dans un rayon de 35 m du cimetière. De plus, tous les points d'accès à la nappe mesurés et qui présentent un usage sont situés en amont hydrogéologique par rapport au cimetière. En effet, malgré la proximité de la mer avec le projet, la topographie et le sens d'écoulement de la nappe au niveau de la zone d'étude se dirigent vers l'Est / Nord-Est.

La nappe semblant s'écouler conformément à la topographie, on peut en déduire des sens d'écoulements aux abords ainsi qu'au droit du site.

Pour avoir une meilleure idée de ces sens d'écoulement, ces mesures piézométriques manuelles sont également comparées aux relevés réalisées dans les piézomètres Pz1 et Pz2 le 16/02/2021.

Les résultats sont présentés dans le Tableau 6.

Les mesures piézométriques manuelles réalisées dans les puits et les piézomètres sont reportés en Figure 9 ainsi que les sens d'écoulement de la nappe.

Tableau 6 : Mesures piézométriques du 24/11/2020 et du 16/02/2021 dans les puits situés à proximité du cimetière et dans les piézomètres situés au droit du projet

Identifiant	Type	Usage	Profondeur ouvrage (m)	Cote TN* (mNGF)	Niveau eau (m NGF) – 24/11/2021	Niveau d'eau (m NHF) (16/02/2021)	Distance / site – amont/aval hydrogéologique du site
P1	Puits	Aucun usage – ouvrage inaccessible	-	5,62	Non mesuré	Non mesuré	330 m au NE, aval
P2	Puits	Arrosage jardin	8,17	13,22	9,56	Non mesuré	95 m au SO, amont
P3	Puits	Arrosage jardin	8,55	12,48	8,82	Non mesuré	90 m au SO, amont
P4	Puits	Aucun usage	9,95	13,22	9,36	Non mesuré	80 m au SO, amont
P5	Puits	Arrosage jardin	-	11,47	Non mesuré	Non mesuré	165 m au SO, amont
P6	Puits	Aucun usage – ouvrage inaccessible	-	15,75	Non mesuré	Non mesuré	105 m au S, amont
P7	Puits	Arrosage jardin	9,10	16,83	13,02	Non mesuré	155 m au S, amont
P8	Puits	Arrosage jardin	5,98	16,77	11,31	Non mesuré	175 m au S, amont
P9	Puits	Aucun usage – ouvrage inaccessible	-	15,72	Non mesuré	Non mesuré	200 m au S, amont
P10	Puits	Usage inconnu	-	15,65	Non mesuré	Non mesuré	210 m au S, amont
P11	Puits	Aucun usage – ouvrage inaccessible	-	15,33	Non mesuré	Non mesuré	235 m au S, amont
P12	Puits	Arrosage jardin	6,52	14,45	11,16	Non mesuré	250 m au S, amont
F1	Forage	Arrosage jardin	-	10,21	Non mesuré	Non mesuré	150 m au SO, amont
Pz1	Piézomètre	Suivi piézométrique	5,02	10,47	Non mesuré	8,62	Au droit du site
Pz2	Piézomètre	Suivi piézométrique	4,12	9,17	Non mesuré	7,14	Au droit du site

* cote estimée à partir des données IGN (sauf pour les piézomètres, qui ont été nivelés par Calligée)

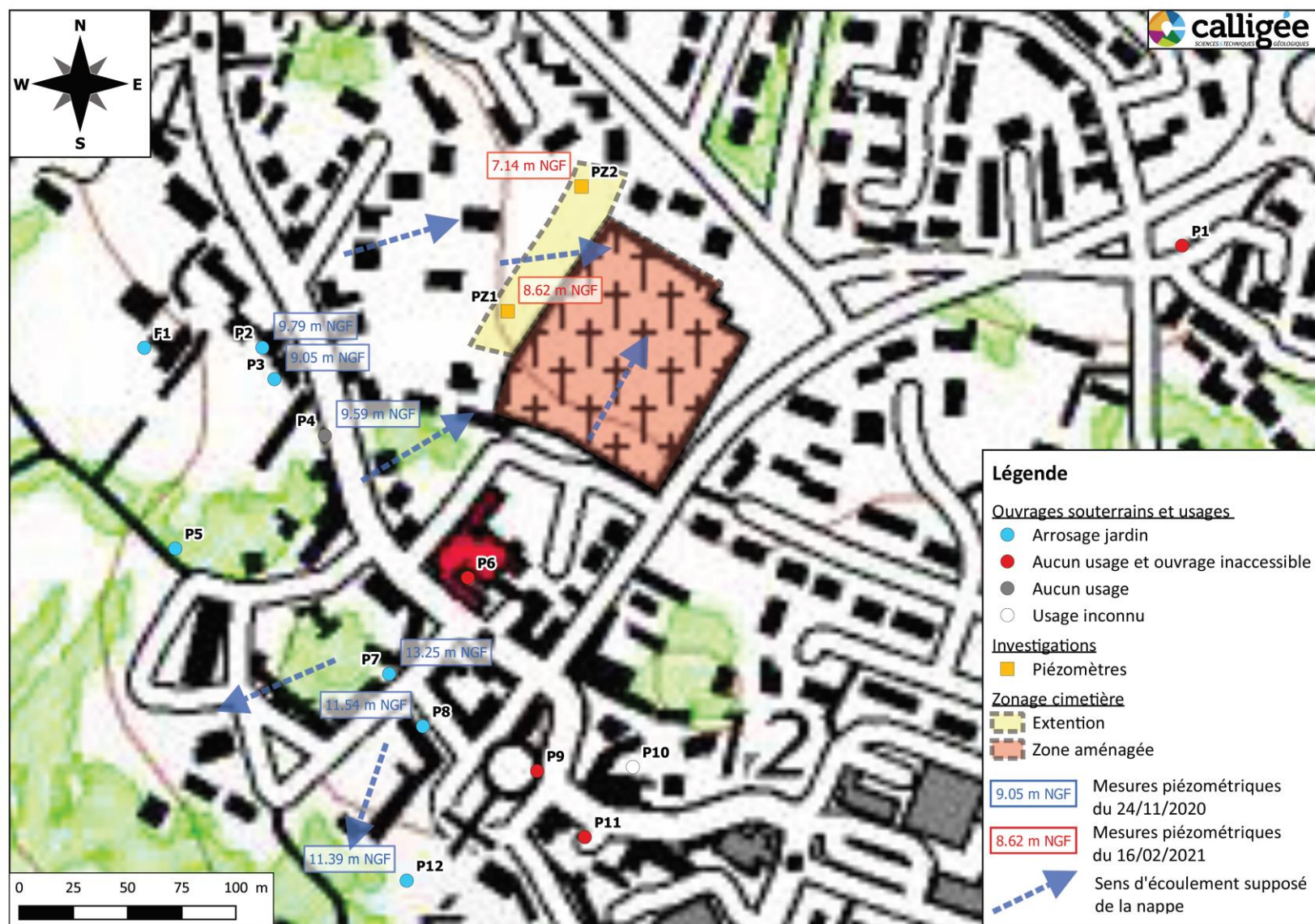


Figure 9 : Carte des ouvrages souterrains à proximité et au droit du cimetière, usages et niveaux piézométriques mesurés et estimés le 16/02/2021

4.3 - CONTEXTE LOCAL

4.3.1 - PIEZOMETRE DE REFERENCE

Afin de préciser le niveau de plus hautes eaux de la nappe attendu sur site, les données mises à disposition par ADES, Portail National d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines, sont exploitées. Ce portail recense les chroniques de piézomètres de référence, enregistrées pour certaines depuis plus de 20 ans. Sur les chroniques les plus anciennes, une analyse statistique des données permet d'apprécier l'occurrence des niveaux mesurés. L'analyse comparative des chroniques de référence avec les mesures réalisées sur le projet permet d'extrapoler des valeurs piézométriques caractéristiques de ce dernier.

Les piézomètres de référence les plus proches sont les suivants :

- piézomètre BSS003DJYA situé à Theix-Noyalo,
- piézomètre BSS001BGUE situé à Grand-Champ.

Les caractéristiques sont présentées dans le Tableau 7.

Ces piézomètres mesurent tous les 2 une nappe au sein des formations métamorphiques altérés et fracturés : l'entité hydrogéologique 197AA : « Socle du Massif Armoricaïn dans les bassins versants de la Ria d'Etel, rivière de Crac'h, le Loc'h, le Vincin, la Marle, le Liziec de leurs sources à la mer et côtiers, Belle-Ile ».

D'après les données piézométriques, les hautes eaux sont rencontrées de novembre à mars. Les basses eaux sont rencontrées en septembre. Le marnage annuel est de 3,0 m à Theix-Noyalo et Grand-Champ (Figure 10, Figure 11 et Tableau 8).

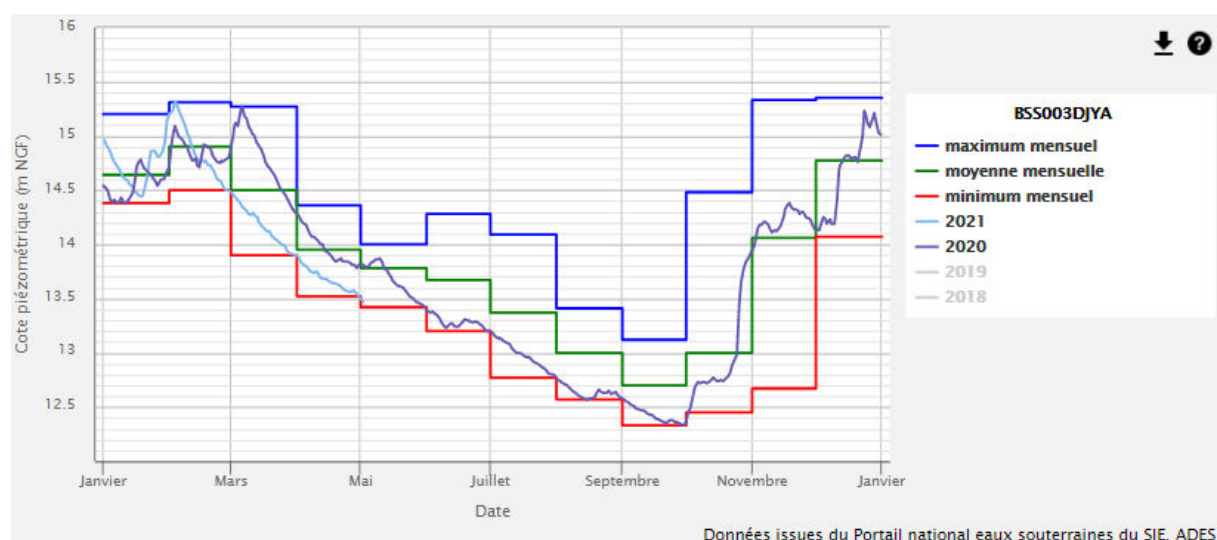


Figure 10 : Statistiques des cotes piézométriques du piézomètre de référence n° BSS003DJYA (source : ADES – mai 2021)

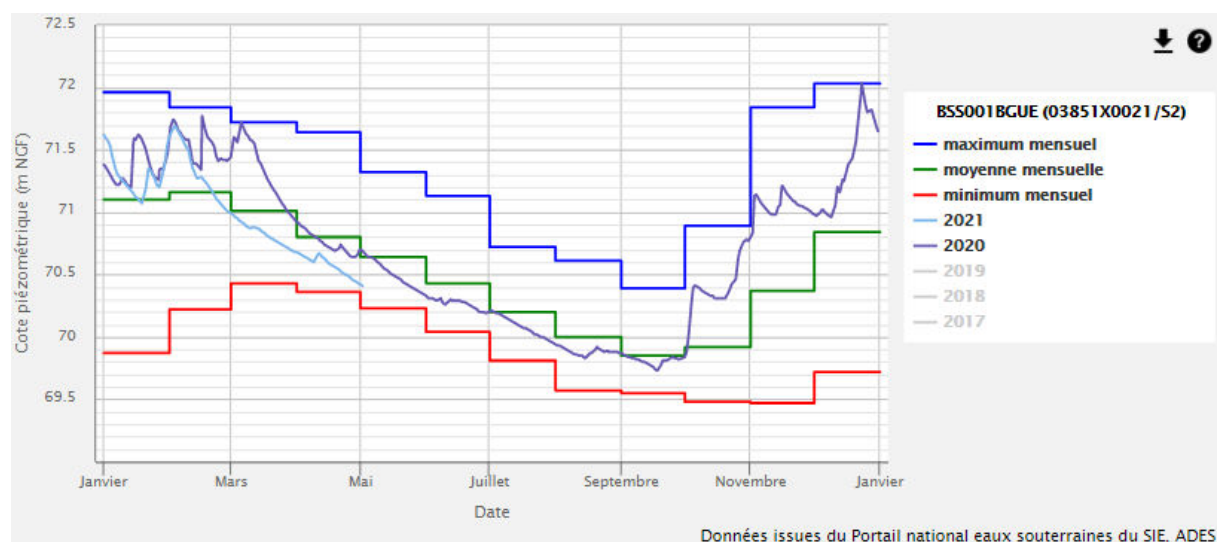


Figure 11 : Statistiques des cotes piézométriques du piézomètre de référence n° BSS001BGUE (source : ADES – mai 2021)

Tableau 7 : Caractéristiques des piézomètres de référence ADES

Piézomètre	Commune	Période de suivi	Altitude	Distance aux sites	Profondeur de l'ouvrage	Aquifère	Amplitude annuelle maxi hautes eaux basses eaux	Dénivelé par rapport à l'exutoire supposé (cours d'eau pérenne)
BSS003DJYA	Theix-Noyalo	2018 - 2021	19,23 m NGF	8,5 km E	34 m	Massif granitique fracturé	3,02 m	4 m
BSS001BGUE (03851X0021/S2)	Grand-Champ	1989 - 2021	72,39 m NGF	19,8 km NO	45 m	Schistes fracturés	3,04 m	1 m

Tableau 8 : Statistiques des relevés piézométriques sur les ouvrages de référence

	Piézo. BSS003DJYA			Piézo. BSS001BGUE		
	Profondeur relative / repère de mesure (m)	Côte NGF (m NGF)	Dates	Profondeur relative / repère de mesure (m)	Côte NGF (m NGF)	Dates
Niveau Min / Cote Max	3,88	15,35	22/12/2018	0,17	72,22	02 et 04/12/1992
Niveau Max / Cote min	6,90	12,33	29/09/2021	3,21	69,18	28/09/2020
Moyenne	5,35	13,88	-	1,66	70,73	-
Max-Min	3,02	3,02	-	3,04	3,04	-

4.3.2 - MESURES PIEZOMETRIQUES ET ESTIMATION DU NIVEAU DE PLUS HAUTES EAUX AU DROIT DU PROJET

Les piézomètres réalisés permettent de mesurer l'évolution du toit de la nappe au droit des sites et d'évaluer la cote maximale de remontée de la nappe par corrélation avec un piézomètre de référence voisin et d'après les conditions météorologiques.

Le niveau de la nappe a été suivi entre le 29 janvier et le 29 avril 2020, en période hautes eaux et en phase de vidange des aquifères, ce qui est cohérent avec les chroniques des piézomètres de référence les plus proches (n° BSS003DJYA à Theix-Noyal et BSS001BGUE à Grand-Champ).

Les niveaux ont été mesurés à l'aide de sondes automatiques (divers). Ils sont présentés dans les Figure 12 à Figure 18, en fonction de niveau d'eau mesuré par rapport au TN (Terrain Naturel) et en m NGF. Ils sont comparés avec les chroniques des piézomètres de référence BSS003DJYA (Theix-Noyal) et BSS001BGUE (Grand-Champ).

Les cotes altimétriques des piézomètres ont été déterminées à partir des courbes de niveaux de la carte topographique IGN et des levés topographiques réalisés par Calligée.

Le suivi piézométrique mis en place par Calligée entre le 29 janvier et le 29 avril 2021 dans les piézomètres met en évidence :

- des relevés piézométriques montrant une nappe fluctuant entre 0,55 et 3,42 m/T.N. (9,92 et 7,05 m NGF),
- un niveau piézométrique maximal le 03/02/2021 à 9,92 m NGF (0,55 m/T.N.) pour Pz1 et à 8,45 m NGF (0,72 m/T.N.) pour Pz2,
- des variations piézométriques et une réactivité aux précipitations similaires entre les piézomètres Pz1 et Pz2, avec une amplitude légèrement plus importante pour Pz1 (3m contre 2,5m pour Pz2),
- une phase de recharge de l'aquifère entre le 29 janvier et le 3 février 2021 suivie d'une phase de vidange globale de l'aquifère entre le 3 février et le 29 avril 2021. Les événements pluvieux les plus forts et nombreux ont été enregistrés au mois de janvier, et sont corrélés à cette phase de recharge. Trois petits événements pluvieux assez ponctuels ont également été enregistrés (entre le 14 et le 21/02, entre le 10 et 13/03 et entre 9 et 10/04/2021) et sont responsables de petites remontées du niveau piézométrique, sans affecter la vidange de l'aquifère,
- La baisse du niveau piézométrique observée à partir du 16/02/2021 est liée à l'influence des travaux de sondages à la pelle mécanique : en effet, la réalisation de fosses de 3 m de profondeur à côté des piézomètres engendre un remplissage rapide de celles-ci par l'eau souterraine et donc une sollicitation de la nappe aux alentours des fosses, entraînant un abaissement temporaire du niveau de la nappe dans les piézomètres.

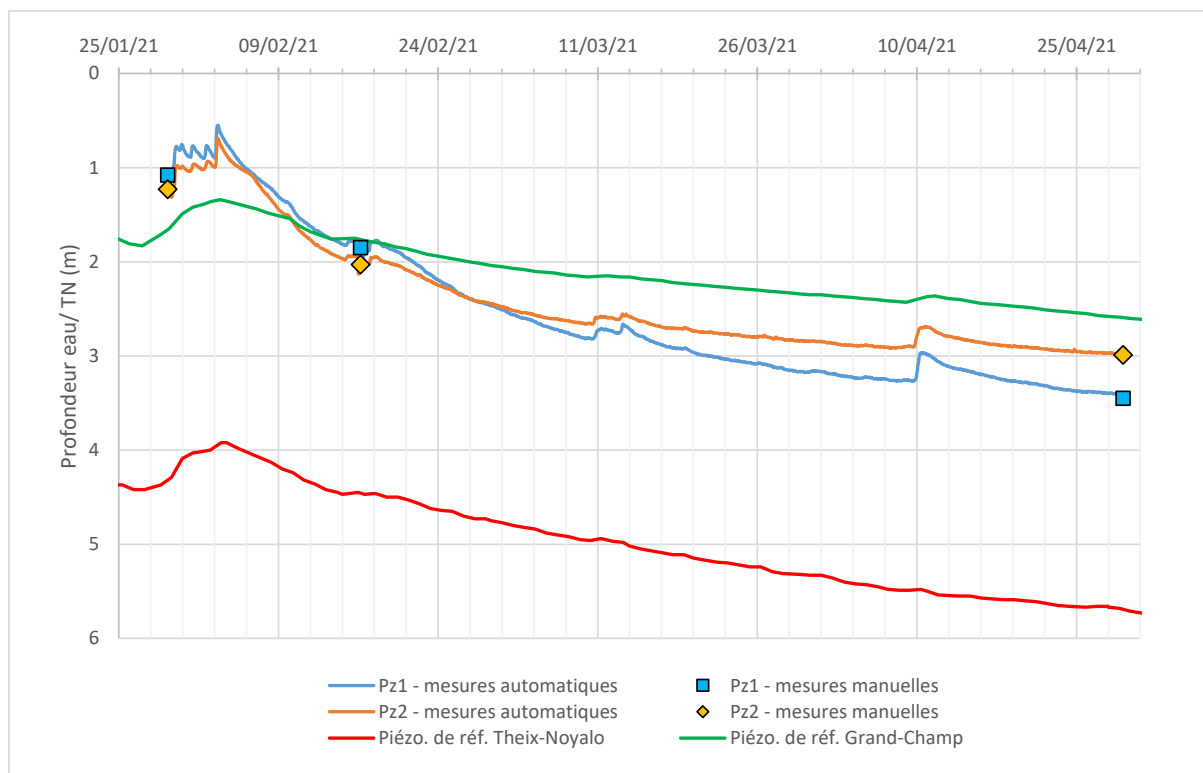


Figure 12 : Evolution des niveaux piézométriques sur la période de suivi (29 janvier au 29 avril 2021) (source : ADES, Calligée)

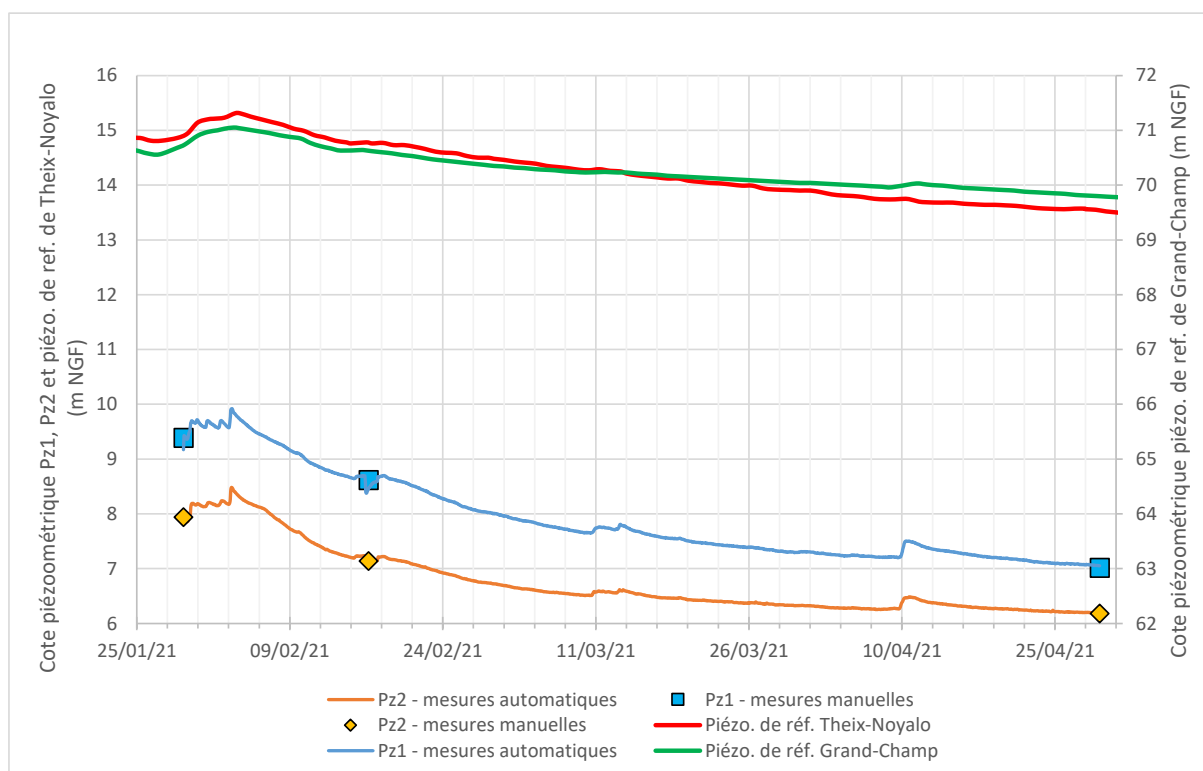


Figure 13 : Evolution des cotes piézométriques sur la période de suivi (29 janvier au 29 avril 2021) (source : ADES, Calligée)

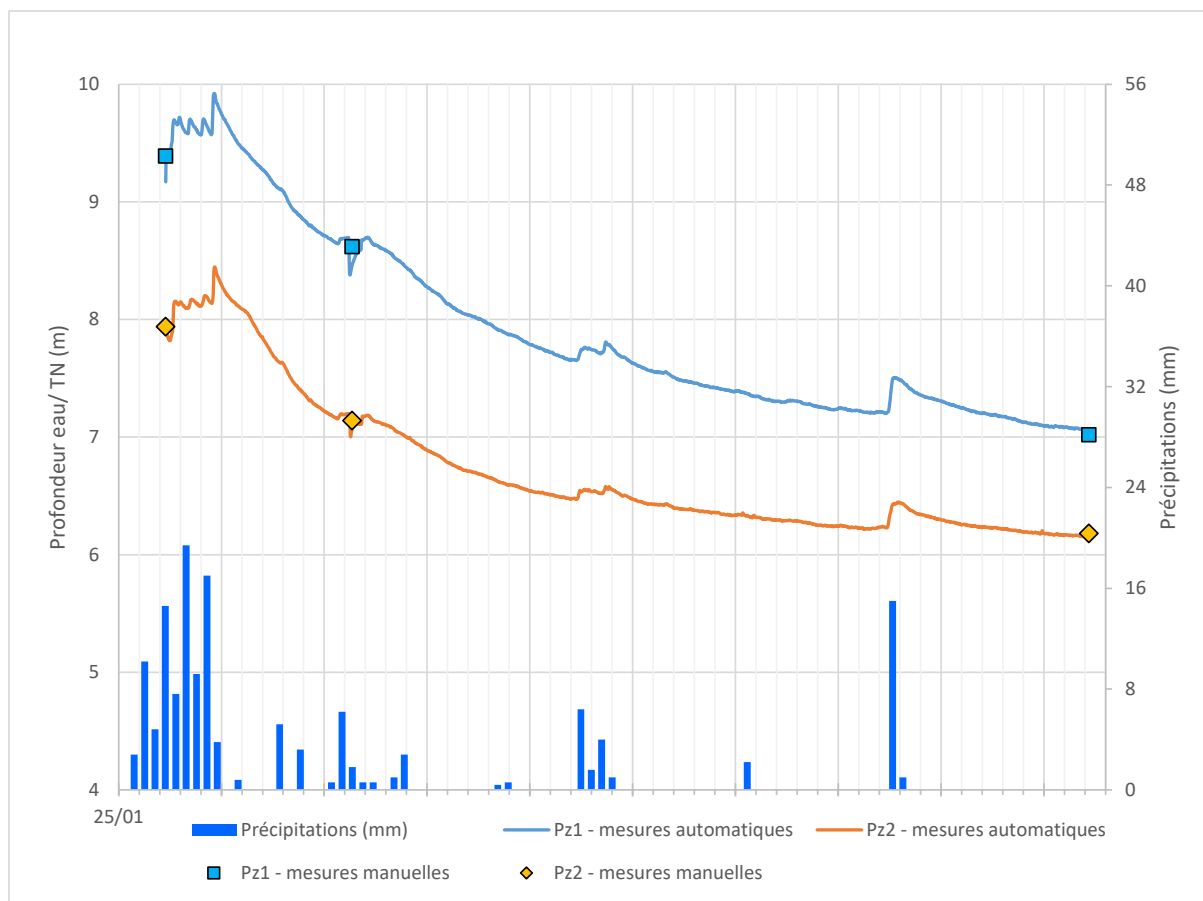


Figure 14 : Evolution des cotes piézométriques de Pz1 et Pz2 sur la période de suivi (29 janvier au 29 avril 2021) et précipitations (source : ADES, Calligée, Infoclimat)

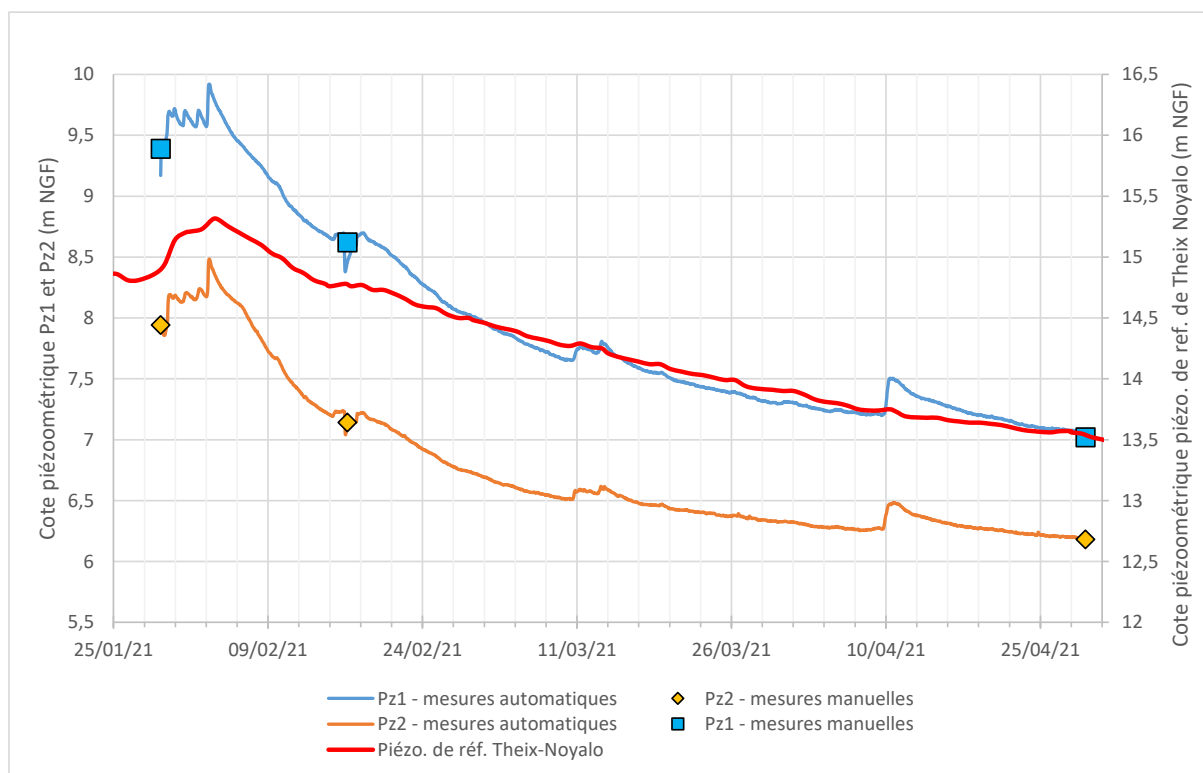
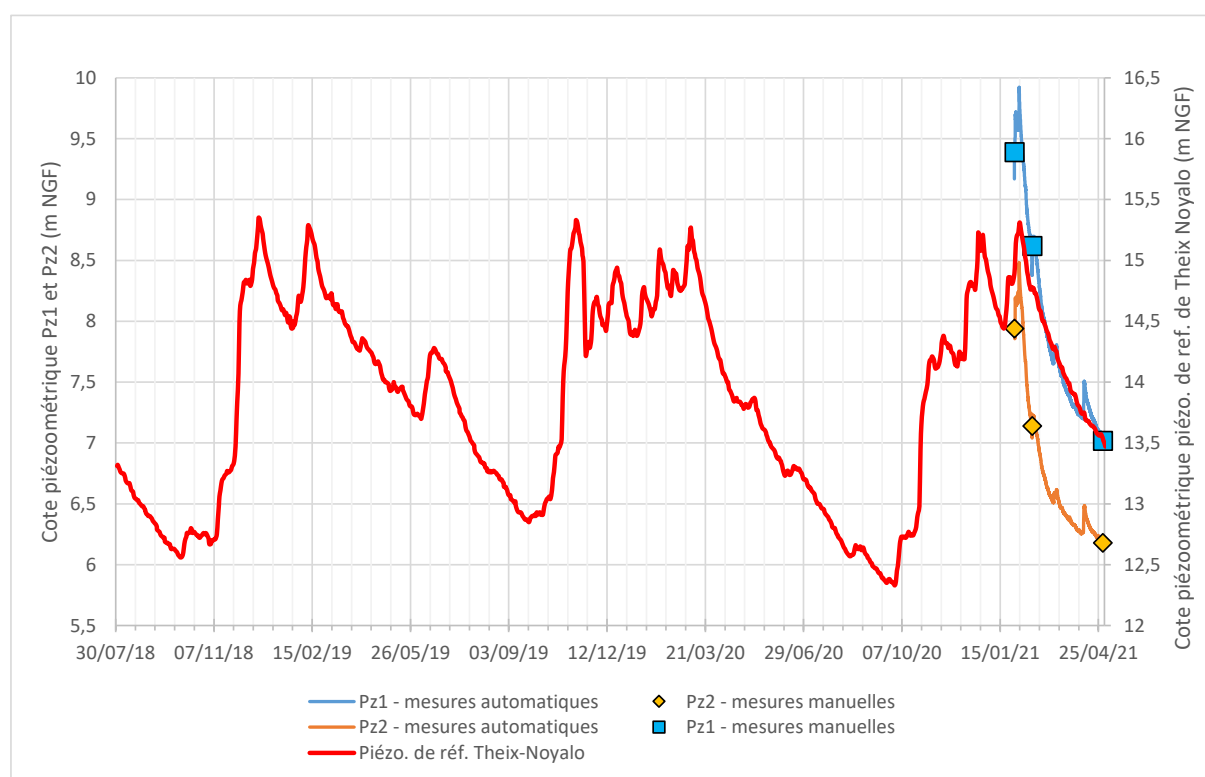
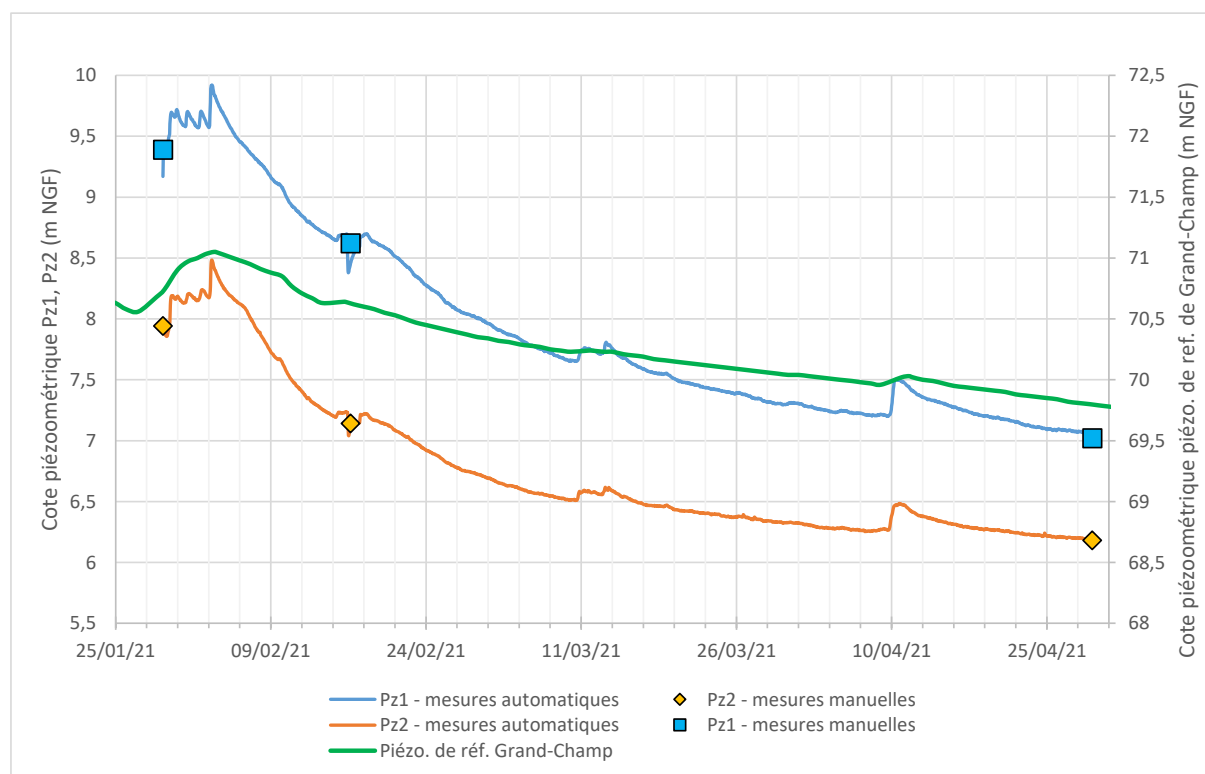


Figure 15 : Evolution des cotes piézométriques sur la période de suivi des piézomètres Pz1 et Pz2 et du piézomètre de référence de Theix-Noyalo (source : ADES, Calligée)



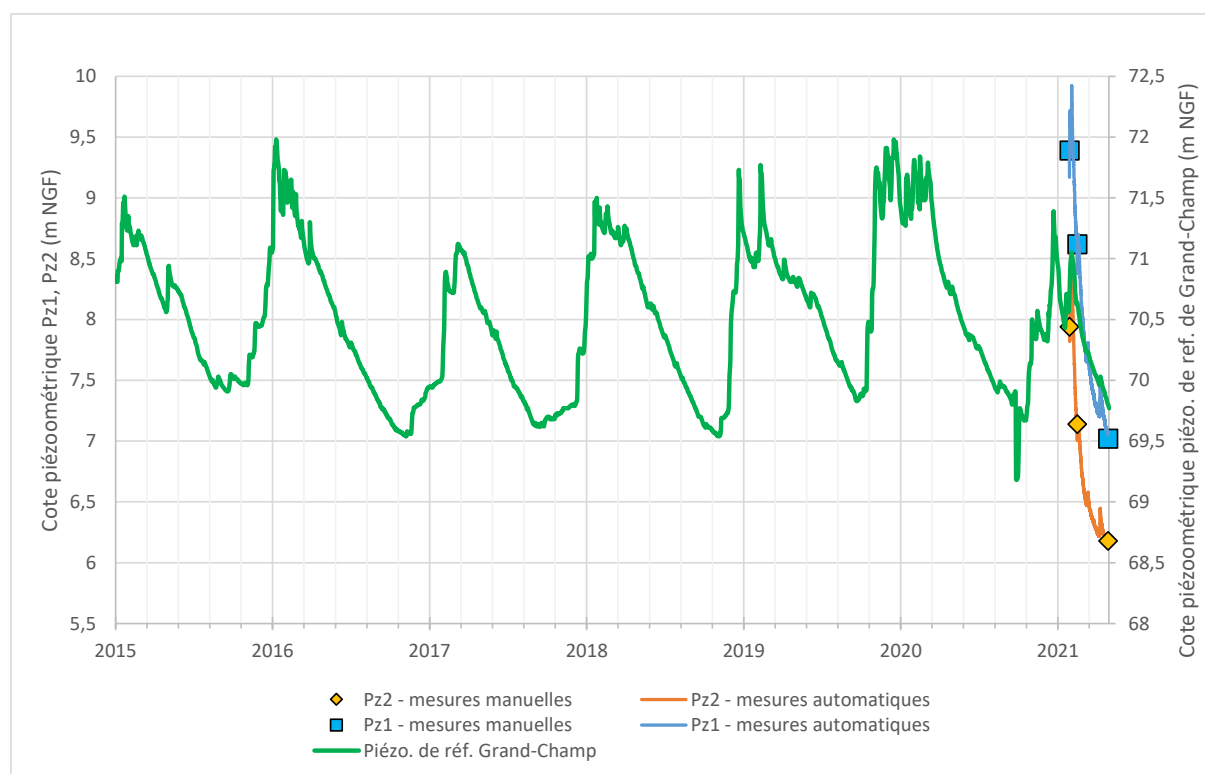


Figure 18 : Evolution des niveaux piézométriques de 2010 à 2020 des piézomètres du projet et du piézomètre de référence de Grand-Champ (source : ADES, Calligée)

Une estimation du niveau de plus hautes eaux est effectuée à l'aide du suivi piézométrique de Calligée et des données des piézomètres de référence BSS003DJYA (Theix-Noyalo), et BSS001BGUE (Grand-Champ).

Les niveaux estimés sont calculés en comparant les valeurs obtenues sur le terrain avec celles des piézomètres de référence enregistrées aux mêmes dates. La droite qui résulte de ce rapport de cotes piézométriques (Figure 19 et Annexe 2) permet d'obtenir une équation de régression linéaire.

La corrélation obtenue avec le piézomètre de Theix-Noyalo donne des coefficients de corrélation compris entre 0,88 (Pz2) et 0,94 (Pz1) et compris entre 0,95 (Pz2) et 0,98 (Pz1) avec le piézomètre de Grand-Champ.

C'est le piézomètre de Grand-Champ qui sera choisi pour le calcul du NPHE, puisque que les corrélations sont globalement meilleures avec moins de dispersion des valeurs autour de la droite de régression linéaire.

La corrélation entre les ouvrages du site et le piézomètre de référence de Grand-Champ est représentée dans la Figure 19. L'autre corrélation est présentée en Annexe 2.

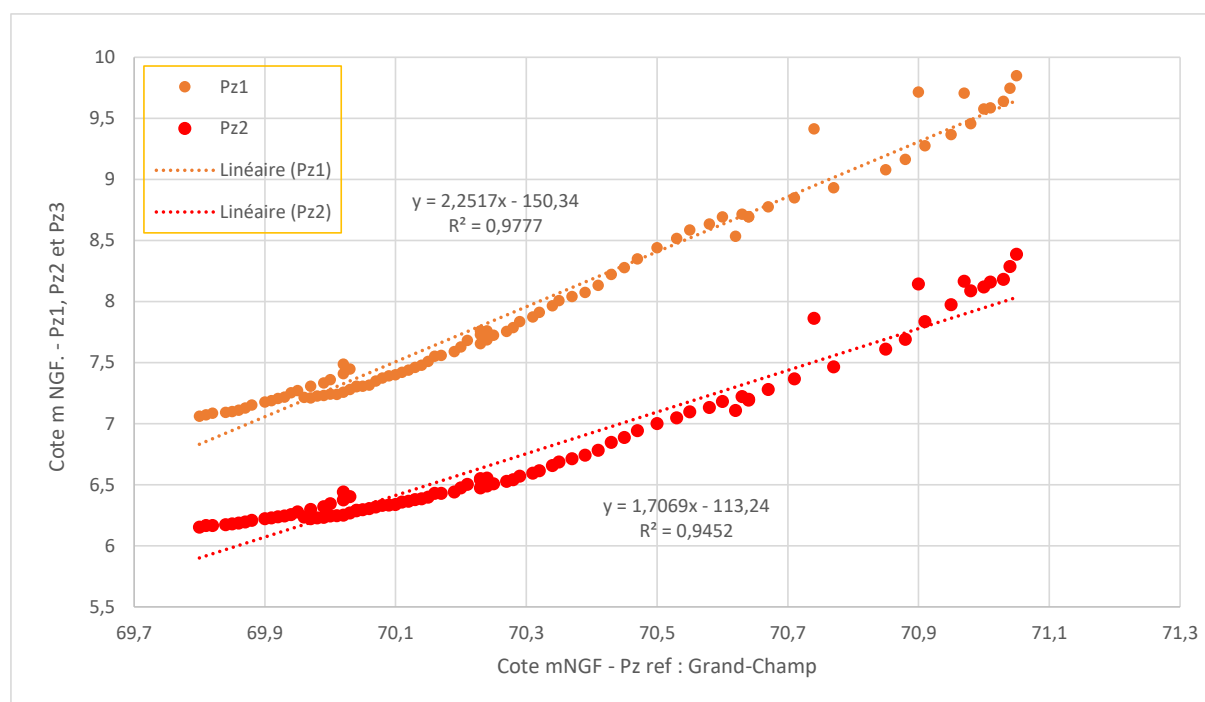


Figure 19 : Comparaison des cotes piézométriques du puits de riverain et du piézomètre de référence de Grand-Champ (en m NGF)

L'équation de régression linéaire issue des corrélations est ensuite appliquée aux valeurs minimales, maximales et moyennes des cotes mesurées sur l'ensemble de la chronique du piézomètre de référence, sur 32 ans dans notre cas. Les cotes piézométriques estimées qui résultent de ce calcul correspondent à des variations exceptionnelles (obtenues sur le piézomètre de Grand-Champ) qui pourraient toucher les piézomètres.

L'analyse statistique de la chronique du piézomètre de Grand-Champ entre 1989 et 2021 (32 ans avec une mesure journalière) révèle un niveau d'eau maximum mesuré à 72,22 m NGF (soit 0,17 m/T.N.) les 02 et 04/12/1992. Un niveau d'eau minimal est enregistré à 69,18 m NGF (3,21 m/T.N.) le 28/09/2020.

Ce niveau étant jugé représentatif du niveau de plus hautes eaux au regard de la durée de la chronique de suivi et des statistiques, le NPHE peut être estimé à partir des extrapolations suivantes (basées sur les équations de régression linéaires) :

- Pour Pz1 : $2,2517 \times 72,22 \text{ m NGF} - 150,34 = 12,3 \text{ m NGF}$ (soit un niveau d'eau affleurant par rapport au T.N.)
- Pour Pz2 : $1,7069 \times 72,22 \text{ m NGF} - 113,24 = 10,0 \text{ m NGF}$ (soit un niveau d'eau affleurant par rapport au T.N.)

Cette comparaison avec le piézomètre de référence permet également d'estimer :

- un niveau d'eau minimal à 5,4 m NGF (5,0 m/T.N.) pour Pz1 et à 4,8 m NGF (soit 4,3 m / T.N.) pour Pz2,
- un niveau d'eau moyen à 8,9 m NGF (1,5 m/T.N.) pour Pz1 et à 7,5 m NGF (soit 1,7 m / T.N.) pour Pz2.

Ces niveaux estimés permettent d'apprécier les éventuelles amplitudes exceptionnelles de la nappe au droit du projet. Ils sont présentés dans le Tableau 9.

Tableau 9 : Estimation des cotes piézométriques de plus hautes eaux du piézomètre de avec le piézomètre de référence BSS001BGUE (Grand-Champ).

Caractéristiques des ouvrages			
	BSS001BGUE	Pz1	Pz2
Hrep/TN (m)	-	0,45	0,52
Prof/TN (m)	45,0	4,57	3,60
Diamètre (m)	0,115	0,051	0,051
Cote sol (m NGF)	72,39	10,47	9,17
Cote repère (m NGF)	-	10,92	9,69
	Statistiques de la chronique	Statistiques sur la période de suivi	
	BSS001BGUE	Pz1	Pz2
Cote piézo min mesurée (m NGF)	69,18	7,05	6,14
Cote piézo moyenne mesurée (m NGF)	70,73	7,91	6,72
Cote piézo max mesurée (m NGF)	72,22	9,92	8,45
Niveau piézo/sol max mesuré (m)	3,21	3,42	3,03
Niveau piézo/sol moyen mesuré (m)	1,66	2,56	2,45
Niveau piézo/sol min mesuré (m)	0,17	0,55	0,72
Marnage max mesuré (m)	3,04	2,87	2,31
Estimations CPHE			
	Pz1	Pz2	
Cote piézo min estimée (m NGF)	5,4	4,8	
Cote piézo moyenne estimée (m NGF)	8,9	7,5	
Cote piézo max estimée (m NGF)	12,3	10,0	
Niveau piézo/sol max estimé (m)	5,0	4,3	
Niveau piézo/sol moyen estimé (m)	1,5	1,7	
Niveau piézo/sol min estimé (m)	-1,8	-0,9	
Marnage max estimée(m)	3,5	2,6	
Cote piézo max retenue (m NGF)	10,5	9,2	
Niveau piézo/sol min retenu (m)	0,0	0,0	

Au final, la cote des plus hautes eaux sur le site du cimetière de Séné est estimée entre 9,2 (au droit de Pz2) et 10,5 (au droit de Pz1) m NGF soit un niveau d'eau affleurant par rapport au Terrain Naturel.

Cette estimation est une valeur moyenne du NPHE au droit du site, étant donné qu'il n'existe pas d'autres points d'accès à la nappe au droit ou tout autour du cimetière.

Pour rappel, les cotes du T.N. de la parcelle prévue pour l'extension du cimetière se situent entre 8,4 et 10,8 m NGF.

Cette estimation de NPHE est cohérente avec la présence d'un réseau de drainage dans la partie la plus récente du cimetière existant qui doit permettre de limiter cette remontée de nappe dans les caveaux.

4.3.3 - OBSERVATIONS DANS LES SONDAGES

Les sondages à la pelle ont été laissés ouverts les journées du 16 et 17 février 2021 pour observer les potentielles arrivées d'eau en profondeur. Le Tableau 10 regroupe les observations réalisées.

Tableau 10 : Observations des arrivées d'eau dans les sondages à la pelle mécanique du cimetière de Séné

Sondage	Observations	Débit approximatif (m ³ /h) **
SPM1	3h06 après fin de creusement : épaisseur d'eau de 1 m sur surface de 1,5 m ² .	0,48
	27h06 après fin de creusement : épaisseur d'eau de 1,5 m sur surface de 1,5 m ² .	0,06
	Venues d'eau à 2,0 m et par le fond de fosse à 2,36 m .	
SPM2	2h49 après fin de creusement : épaisseur d'eau de 63 cm sur une surface de 1,7 m ² .	0,38
	26h49 après fin de creusement : épaisseur d'eau de 63 cm sur une surface de 1,7 m ² .	0,08
	Venues d'eau à 1,5 m par le fond de fosse à 2,93 m .	
SPM3	2h33 après fin de creusement : épaisseur d'eau de 38 cm sur une surface de 2,1 m ² .	0,31
	26h32 après fin de creusement : épaisseur d'eau de 38 cm sur une surface de 2,1 m ² .	0,11
	Venues d'eau à 2,5 m et par le fond de fosse à 3,19 m .	
SPM4	2h20 après fin de creusement : épaisseur d'eau de 27 cm sur une surface de 2,1 m ² .	0,24
	26h18 après fin de creusement : épaisseur d'eau de 27 cm sur une surface de 2,1 m ² .	0,07
	Venue d'eau à 2,0 m et par le fond de fosse à 3,17 m .	
SPM5	2h06 après fin de creusement : épaisseur d'eau de 30 cm sur une surface de 2,3 m ² .	0,33
	26h03 après fin de creusement : épaisseur d'eau de 30 cm sur une surface de 2,3 m ² .	0,10
	Venue d'eau à 2,0 m et par le fond de fosse à 3,15 m .	
SPM6	1h58 après fin de creusement : épaisseur d'eau de 1,13 m sur une surface de 2,2m ² .	1,26
	25h54 après fin de creusement : épaisseur d'eau de 1,13 m sur une surface de 2,2m ² .	0,13
	Venue d'eau à 2,0 m et par le fond de fosse à 3,4 m .	

** Débit approximatif : ce débit est une surestimation très forte du débit réel. Le volume d'eau réel dans la fosse est inférieur au volume d'eau retenu pour les calculs (blocs de roches tombés en fond de fosse).

La nappe est remontée par le fond dans toutes les fosses, témoignant de la présence de la nappe à faible profondeur.

Les photographies des venues d'eau sont reportées en Annexe 1.

4.4 - ESSAIS DE PERMEABILITE

Afin d'apprécier la perméabilité du sol et des terrains de couverture sur le site, dans le but d'étudier la capacité à infiltrer les eaux d'exhaure de nappe, CALLIGEE a réalisé sur les projets trois tests de perméabilité à charge constante de type Porchet (cf. localisation sur la Figure 5).

Les tests ont été réalisés dans des sondages creusés à la tarière manuelle à une profondeur comprise entre 53 et 98 cm. Compte tenu de la lithologie recoupée, **ils ont permis de caractériser la perméabilité des sols situés au-dessus des altérites (essais EP1 et EP3), et de ces altérites elles-mêmes (essai EP2).**

La saturation préalable à la mesure a duré 4 heures minimum.

Les vitesses d'infiltration mesurées sur les deux cimetières par l'intermédiaire des tests Porchet sont comprises entre 23 et 132 mm/h (soit entre $6,5 \cdot 10^{-6}$ et $3,7 \cdot 10^{-5}$ m/s). Le sol en place peut être qualifié de **moyennement perméable** (cf. Tableau 11, d'après Centre Technique du Génie Rural des Eaux et des Forêts ¹).

Les détails des calculs sont présentés en Annexe 3.

Tableau 11 : Classes de perméabilité en fonction de la valeur K

cm.s ⁻¹	mm.h ⁻¹	m.s ⁻¹	m.j ⁻¹
Sols imperméables			
10 ⁻⁵	0,36	10 ⁻⁷	0,0087
Sols peu perméables			
10 ⁻⁴	3,6	10 ⁻⁶	0,0864
Sols moyennement perméables			
10 ⁻³	36	10 ⁻⁵	0,864
Sols perméables			
10 ⁻²	360	10 ⁻⁴	8,64
Sols très perméables			

¹ Service de l'Etat de 1971 à 1981, devenu en 1981 le Cemagref, puis en 2012 Irstea (Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture).



5 Faisabilité et impact du projet

5.1 - RAPPEL REGLEMENTAIRE

La loi du 19 décembre 2008 relative à la législation funéraire reprend et modifie l'article L2223-1 du Code général des collectivités territoriales. Le paragraphe suivant énonce la loi de mise en place d'une extension de cimetière : « La création, l'agrandissement et la translation d'un cimetière sont décidés par le conseil municipal. Toutefois, dans les communes urbaines et à l'intérieur des périmètres d'agglomération, la création, l'agrandissement et la translation d'un cimetière à moins de 35 mètres des habitations sont autorisés par arrêté du représentant de l'Etat dans le département, pris après une enquête publique réalisée conformément au chapitre III du titre II du livre Ier du code de l'environnement et avis de la commission départementale compétente en matière d'environnement, de risques sanitaires et technologiques ».

Il est important de noter que cette distance réglementaire de 35 m, qui vise à prévenir les risques d'épidémies d'origine hydrique, offre une garantie très suffisante pour les terrains meubles mais qu'elle doit être modulée en fonction de la nature du sol.

Il est toutefois important de la maintenir pour les puits, surtout ceux voués à un usage alimentaire.

Par ailleurs, le décret n°2011-121 du 28 janvier 2011, modifiant l'article R 2223-2 du code général des collectivités territoriales, indique la nécessité d'apprécier par un hydrogéologue, le risque que le niveau des plus hautes eaux de la nappe libre superficielle puisse se situer à moins d'un mètre du fond des sépultures.

5.2 - TYPES ET MODALITES D'INHUMATION

5.2.1 - PROFONDEUR D'INHUMATION

Il convient dans un premier temps de rappeler les différents modes d'inhumation et les profondeurs de terrain meuble requises. Dans les concessions, les inhumations peuvent, au gré de la famille ou du défunt, se faire en caveau ou en pleine terre. En général, l'inhumation en caveau représente 70 à 80% des inhumations. La plupart du temps, il s'agit de caveaux 2 places, plus rarement de caveaux 3 places.

Dans les caveaux préfabriqués en béton armé, chaque case présente une hauteur de l'ordre de 50 cm. En fond de fouille et en surface, plusieurs plaques de béton d'environ 5 cm de hauteur sont posées. Selon l'occupation des caveaux, les profondeurs atteintes sont en général de :

- Caveau 1 place : 0,80 m
- Caveau 2 places : 1,30 m
- Caveau 3 places : 1,90 m
- Caveau 4 places : 2,40 m.

En théorie, la fermeture par des plaques en béton avec des joints cimentés assure l'impossibilité d'échanges entre les corps et l'extérieur.

Pour l'inhumation en pleine terre, l'article R. 361-6 du code des communes précise que chaque fosse doit avoir « de 1,50 à 2,00 mètres de profondeur ». Mais il semble que la profondeur ne soit pas le point principal : c'est plutôt l'épaisseur de la couverture de terre qui protège le cercueil et empêche les contacts avec l'extérieur qui importe. La législation n'est pas précise à ce sujet. Néanmoins on rappellera que le code rural exige une épaisseur de recouvrement d'un mètre minimum pour l'enfouissement des animaux.

En général, pour une inhumation en pleine terre, les épaisseurs de terre appliquées en couverture sont comprises entre 0,30 et 0,60 m.

D'une manière générale, on considère une hauteur de 0,40 à 0,50 m par cercueil. La profondeur nécessaire à l'enfouissement en pleine terre d'un corps est d'environ 1,40 m (si l'on considère une épaisseur minimale de recouvrement de 1 m). Pour l'inhumation en pleine terre de deux corps superposés, la profondeur doit être de 1,80 m minimum en conservant toujours la couverture d'un mètre. Enfin, pour trois corps superposés, on comptera 2,20 m minimum.

La mairie procède à la mise en place de caveaux 1 à 4 places et des inhumations en pleine terre dans les cimetières actuels.

5.2.2 - DUREE DE ROTATION DES CORPS

La durée de rotation est fixée de façon à assurer la destruction la plus complète des corps. La durée minimum légale est de 5 ans. Toutefois cette période peut être prolongée selon l'état des cercueils et de la destruction des corps et en fonction de la nature du sol.

La nature du bois du cercueil influence également le délai de décomposition. Les cercueils en chêne (bois dur) nécessitent une plus longue période de destruction. C'est pourquoi, de façon à favoriser une décomposition efficace et rapide, il est préférable d'utiliser des cercueils en bois léger.

Dans le contexte du projet, en terrains moyennement perméables, il faut généralement compter de 15 à 20 ans pour assurer la complète disparition des cercueils et des corps (source : *Créer ou aménager un cimetière*, François Ottman, Ed. du Moniteur, 1987).

Ainsi, si le cimetière est correctement dimensionné en fonction des perspectives démographiques de la commune (surface et nombre d'emplacements suffisants), une durée minimale de rotation des corps de 20 ans est proposée sur le projet.

5.3 - FAISABILITE GEOTECHNIQUE

Le refus au creusement est compris entre 2,3 m et 3,4 m de profondeur au contact des migmatites peu altérées.

Compte tenu de la profondeur d'enfouissement des caveaux et des inhumations en pleine terre envisagées par la Mairie (entre 0,80 m pour les caveaux 1 place et 2,40 m pour les caveaux 4 places), le risque d'atteindre le socle induré est très faible sur le site.

Les épaisseurs d'altération permettent un creusement de fosses pour des caveaux 1 à 4 places et des inhumations en pleine terre sans difficultés particulières. De plus, aucune difficulté (vis-à-vis de la dureté des terrains) au creusement n'a été rencontrée avec la pelle mécanique, les altérites étant plutôt meubles.

5.4 - FAISABILITE HYDROGEOLOGIQUE

Les mesures effectuées dans les puits et piézomètres ont été réalisées en période de hautes-eaux. **La cote maximale du niveau de la nappe a été estimée entre 9,2 (au droit de Pz2) et 10,5 (au droit de Pz1) m NGF soit un niveau d'eau sub-affleurant par rapport au Terrain Naturel.**

Pour rappel, cette estimation est une valeur moyenne du NPHE au droit du site, étant donné qu'il n'existe pas d'autres points d'accès à la nappe au droit ou aux abords des deux cimetières.

Classiquement, en contexte de socle, le niveau piézométrique suit la topographie et sa profondeur par rapport au sol diminue en se rapprochant de l'exutoire. **En considérant un écoulement de nappe dans un contexte topographique homogène, aucun type de sépultures ne répond à la distance réglementaire minimale d'un mètre entre le fond des caveaux et le niveau de la nappe au repos.** En effet, la distance minimale nécessaire entre le terrain naturel et le niveau d'eau de la nappe doit être d'au moins 1.80 m (cas du caveau 1 place).

Pour la future parcelle d'extension, la contrainte hydrogéologique n'est donc pas respectée sans aménagement spécifique. Il est donc préconisé de limiter à la mise en place de caveaux de 2 places afin de limiter l'incidence des aménagements de gestion.

5.5 - FAISABILITE SANITAIRE

Aucune cible sanitaire n'est présente à moins de 35 mètres des deux cimetières, le projet est ainsi compatible avec les usages voisins.

5.6 - AMENAGEMENTS CONSEILLES POUR LIMITER LES IMPACTS

5.6.1 - PRECONISATION VIS-A-VIS DE LA CONTRAINTE HYDROGEOLOGIQUE

Le projet étant soumis à la contrainte hydrogéologique, la conduite du projet nécessite des aménagements afin de limiter les impacts hydrogéologiques, avec :

- La mise en place de caveaux étanches lestés pour éviter la remontée des caveaux sous la pression de la nappe,
- Et/ou la mise en place d'un **système de drainage profond** peut être envisagée pour rabattre la nappe du fait de la création de potentiels imposés et de circulations d'eau privilégiées,
- Et/ou un **remblaiement** qui consiste à rehausser le sol par apport de matériaux de remblais qui auront une perméabilité équivalente à celle des terrains naturels.

La mise en place d'un système de drainage profond pourrait être effectuée afin de limiter le risque de remontée d'eau dans les caveaux et de préserver une hauteur de 1 m entre le fond des caveaux et la nappe, comme préconisé par le décret n°2011-121 du 28 janvier 2011, modifiant l'article R 2223-2 du code général des collectivités.

Le réseau de drainage doit se situer 1m sous le fond des caveaux. Le Tableau 12 regroupe les profondeurs de réseaux en fonction du type de sépultures rencontré.

Tableau 12 : Profondeur des réseaux de drainage suivant le type de sépultures

Sépulture	Profondeur réseau
Caveau 1 place	1.80 m
Caveau 2 places	2.30 m
Inhumation pleine terre 1 corps	2.40 m
Inhumation pleine terre 2 corps	2.80 m
Caveau 3 places	2.90 m
Inhumation pleine terre 3 corps	3.20 m
Caveau 4 places	3.40 m

Selon la mairie, les caveaux les plus profonds situés dans la partie la plus basse et la plus ancienne du cimetière (coin Nord-Est) se sont déjà retrouvés inondés (stagnation), lors de périodes de hautes eaux.

Une étude spécifique devra permettre le dimensionnement du réseau de drainage : maillage, diamètre des drains, longueur de drain cumulé, localisation de l'exutoire, pente appliquée au réseau...

On évitera la mise en place d'une pompe de relèvement pour le système de drainage ; on privilégiera **un drainage gravitaire, lequel apparaît envisageable en rejetant les eaux présentes au droit du projet vers le point le plus bas situé au Nord-Est** (filtration naturelle).

Il pourrait être mis en place un remblaiement en partie basse du site, éventuellement couplé au système de drainage ou la mise en place de caveaux étanches.

Compte tenu de ces profondeurs des niveaux de plus hautes eaux, le Tableau 13 regroupe les épaisseurs de remblaiement minimales pour pallier à la contrainte hydrogéologique et satisfaire la distance réglementaire d'un mètre entre le fond des caveaux et le niveau de la nappe.

Tableau 13 : Epaisseurs de remblaiement minimales

Sépulture	Epaisseur de remblaiement
Caveaux 1 place	1,80 m
Caveaux 2 places	2,30 m
Inhumation pleine terre 1 corps	2,40 m
Inhumation pleine terre 2 corps	2,80 m
Caveaux 3 places	2,90 m
Inhumation pleine terre 3 corps	3,20 m
Caveaux 4 places	3,40 m

Une attention particulière devra être portée au compactage des matériaux pour limiter les effondrements au cours du creusement. Les matériaux utilisés pour le remblaiement devront présenter une perméabilité comparable aux matériaux en place.

Cette solution apparaît peu raisonnable compte tenu de l'épaisseur de remblaiement maximale à atteindre pour un caveau 4 places (3,40 m) et de la configuration topographique du site (2 m de dénivelé au maximum mais pas dans le sens de l'allongement de la parcelle) ; mais envisageable dans le cas où il serait envisagé de limiter la profondeur des caveaux ou des inhumations en pleine terre (et donc d'un éventuel système de drainage).

5.6.2 - PRECONISATION VIS-A-VIS DE LA GESTION DES RUISSELLEMENTS

Compte tenu de la nature moyennement perméable des terrains (10^{-6} à 10^{-5} m/s), un ruissellement hypodermique est probable sur site. Les vides créés par le creusement des fosses et caveaux constitueront naturellement des points de drainage et accumuleront l'eau.

De façon à limiter les risques d'érosion et d'infiltration d'eau de ruissellement dans les fosses et caveaux, nous recommandons d'aménager sur le site un réseau de collecte des eaux pluviales approprié. **Le dispositif le mieux adapté pour intercepter le ruissellement hypodermique est la tranchée drainante** (Figure 20). Les tranchées sont disposées perpendiculairement à la pente de façon à intercepter le ruissellement. Elles pourront être installées dans les allées du cimetière et accompagnées d'un réseau de collecte à revêtement

imperméable. Les profondeurs et pentes tiendront compte de la cote du fil d'eau situé à l'exutoire. Les eaux du cimetière pourront alors être dirigées vers le réseau public.

Dans le cas où la Mairie de Séné souhaite conserver un aspect naturel au sein des cimetières avec des parterres en herbe, il est possible d'opter pour un système de drainage superficiel par la mise en place d'un géotextile à faible profondeur (environ 40 cm) recouvert de graviers. Les eaux ainsi drainées seront acheminées vers le réseau d'eau pluviale/usées de la ville.

Une étude spécifique devra permettre le dimensionnement du réseau d'eaux pluviales, et le calcul du débit de pointe du rejet dans les canalisations. Selon la surface aménagée, le rejet des eaux pluviales pourrait être soumis à la loi sur l'eau.

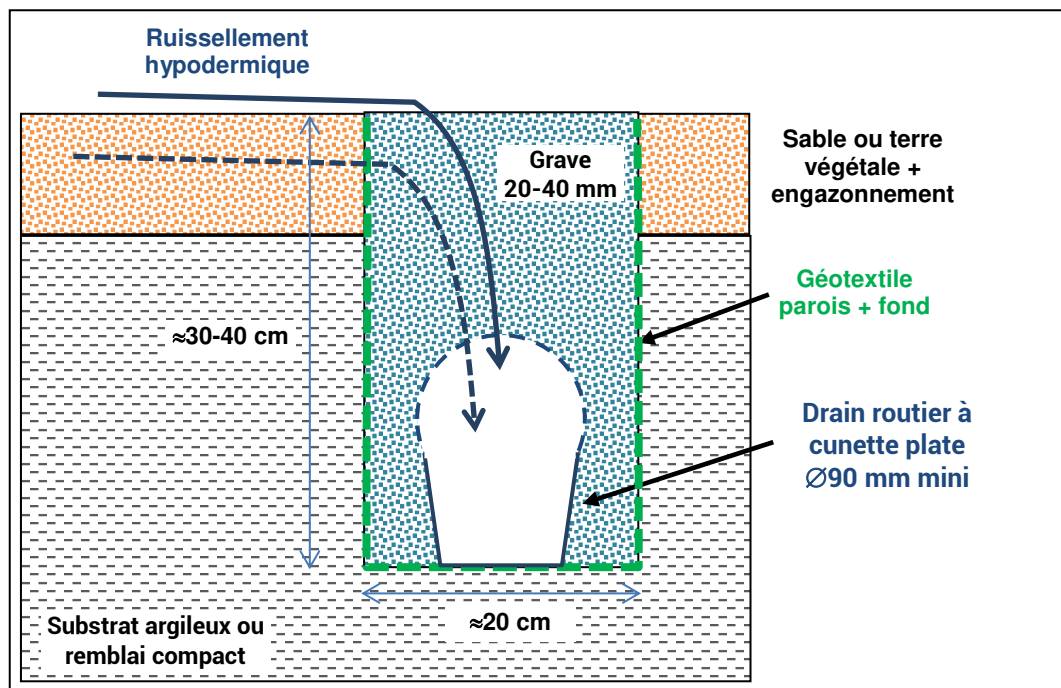


Figure 20 : Coupe du principe de tranchée drainante peu profonde

5.6.3 - PRECONISATION VIS-A-VIS DE LA CONTRAINTE D'ENFOUISSEMENT

Aucune contrainte géotechnique au creusement des caveaux 1 à 4 places et des inhumations en pleine terre n'a été identifiée.

5.6.4 - PRECONISATIONS VIS-A-VIS DE LA CONTRAINTE SANITAIRE

Aucune contrainte sanitaire n'a été identifiée à proximité des deux cimetières.

Toutefois, si la mairie de Séné envisageait un drainage profond des eaux souterraines, les piézomètres réalisés pourraient être utilisés pour surveiller le niveau de la nappe et au besoin la qualité de l'eau.



6 Conclusion

La ville de Séné a confié à Calligée une étude géologique et hydrogéologique visant à évaluer la faisabilité du projet d'extension de son cimetière.

Aucune contrainte sanitaire n'a été recensée à proximité du site (usages de l'eau souterraine).

D'un point de vue géotechnique, le socle induré est présent à une profondeur d'au moins 2,3 m. Les risques de difficultés au creusement sont donc faibles pour la mise en place de caveaux 4 places.

Concernant le volet hydrogéologique, la distance réglementaire d'un mètre entre le fond des caveaux et le niveau de la nappe n'est pas respectée au droit du site. En effet, le niveau de plus hautes eaux a été estimé comme sub-affleurant par rapport au sol. Pour pallier à cette contrainte, un drainage profond en complément du système de drainage déjà existant dans les zones aménagées pourrait être mis en place. Nous alertons néanmoins la mairie sur le besoin éventuel de réaliser un dossier loi sur l'eau en cas de volumes importants en sortie du système de drainage.

Compte tenu des contraintes hydrogéologique, géotechnique et de la configuration topographique du site, nous conseillons à la mairie de limiter le projet à la mise en place de caveaux de 2 places afin de réduire l'incidence des aménagements (vis-à-vis de la loi sur l'eau notamment).

Des aménagements sont également recommandés pour la collecte des eaux superficielles.

OBSERVATIONS IMPORTANTES

CONDITIONS DE VALIDITE DE L'ETUDE

1 - Le présent rapport et ses annexes (planches, plans hors-texte, etc.) constituent un tout indissociable. Les interprétations erronées qui pourront en être faites à partir d'une communication ou d'une reproduction partielle ne sauraient engager la société CALLIGEE.

2 - La société CALLIGEE ne peut être rendue responsable des modifications apportées au présent rapport sans son consentement écrit.

3 - Les conclusions de l'étude sont établies à partir d'informations disponibles fournies et collectées et de mesures et échantillonnages limités dans l'espace et le temps, qui ne permettent pas de présager d'hétérogénéités naturelles ou artificielles des milieux et de variations temporelles des conditions physiques (météorologie, période hydrologique, occupation des sols, activités anthropiques, etc.).

Les méthodes de reconnaissance et de caractérisation du sol et sous-sol et des eaux souterraines et superficielles sont ponctuelles et ne sauraient être représentatives d'une zone plus étendue. Sauf mention contraire, les incertitudes associées aux méthodes, échantillonnage et analyses ne sont pas prises en compte dans le rapport. Les méthodes de reconnaissance géophysique étant quant à elles de nature indirecte et non destructive, les résultats qui en découlent résultent d'interprétations sur la base de jugement professionnel et scientifique.

4 - Les résultats de l'étude sont valables uniquement dans le cadre de la demande et des hypothèses formulées par le client. Ils ont été établis en fonction des caractéristiques de son projet prévalant au moment où l'étude a été réalisée.

5 - Si, en l'absence de fourniture de l'ensemble des données demandées dans son offre, et à défaut de disposer de données précises spécifiques à la zone étudiée, la société CALLIGEE a été amenée dans le présent rapport à faire des hypothèses sur le projet, il appartient au client ou à son maître d'œuvre de lui communiquer par écrit ses observations éventuelles sans quoi, il ne pourrait en aucun cas et pour aucune raison être reproché à CALLIGEE d'avoir établi son étude sur la base desdites hypothèses.

6 - Toute modification ultérieure du projet concernant la conception, l'implantation, et/ou le niveau, la taille des ouvrages ne pourra pas être prise en compte dans le rapport. En effet, ces modifications peuvent être de nature à rendre caduque certains éléments ou la totalité des conclusions de l'étude.

7 - Les conclusions de l'étude sont valables à la date de rédaction du présent rapport suivant la réglementation en vigueur à cette même date. Toute évolution réglementaire postérieure à la réalisation de l'étude devra être prise en compte par le client.

8 - L'utilisation des résultats de CALLIGEE pour chiffrer un coût autre qu'estimatif de travaux ou d'infrastructures ne saurait en aucun cas engager la responsabilité de CALLIGEE.

ANNEXES

ANNEXE 1 : REPORTAGE PHOTOGRAPHIQUE DES SONDAGES A LA PELLE MECANIQUE

Sondages pelle mécanique – parcelle AS 226

Sondage SPM1



Sondage SPM2



Sondage SPM3



Sondage SPM4



Sondage SPM5

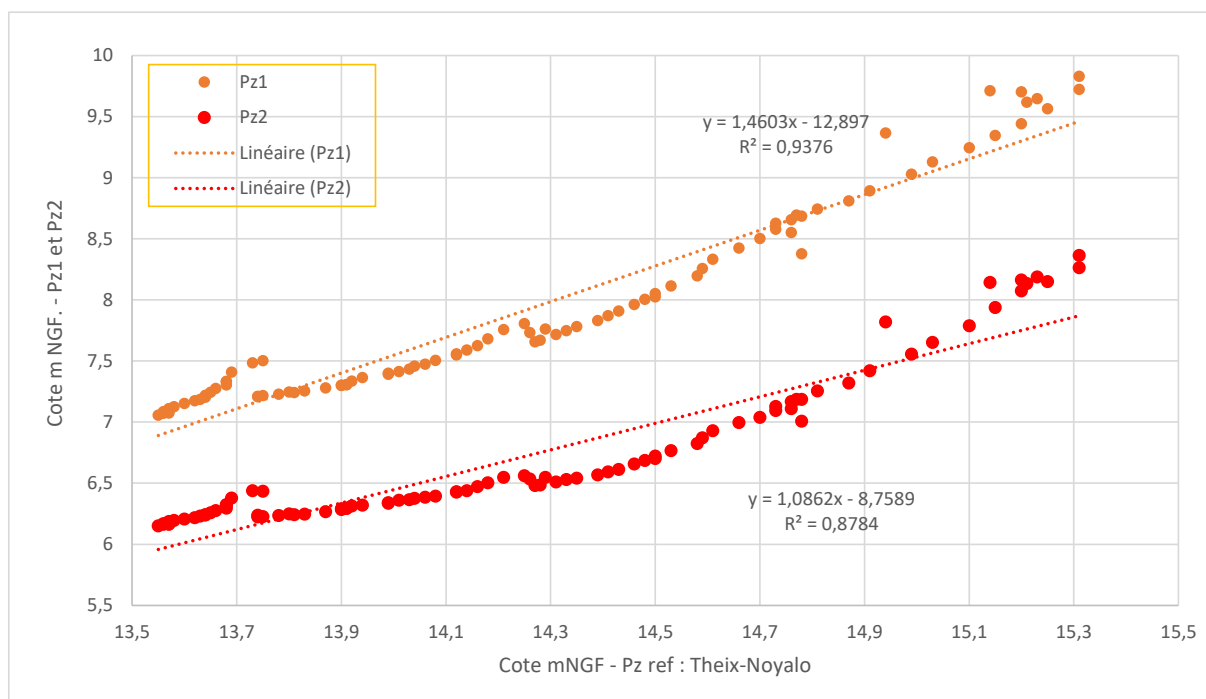


Sondage SPM6



ANNEXE 2 : RAPPORTS DES COTES PIEZOMETRIQUES ENTRE LES PIEZOMETRES DU PROJET ET LES PIEZOMETRES DE REFERENCE

Comparaison des cotes piézométriques des piézomètres du projet et du piézomètre de référence de Theix-Noyalo (en mNGF)

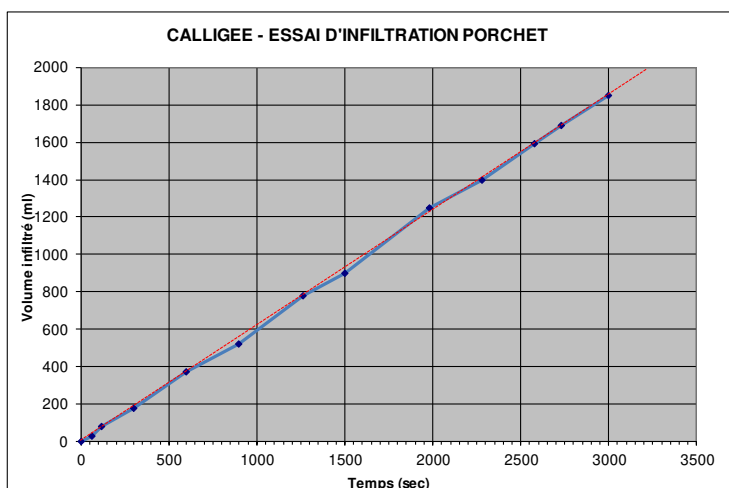


ANNEXE 3 : CALCULS DE PERMEABILITE – ESSAIS PORCHET

Essai Porchet EP1

IDENTIFICATION EP1	
Référence	N20-56187
Date	16/02/2021
Propriétaire	M. CAUDAL
Commune	Séné
Lieu-dit	Cimetière communal
Référence cadastrale	AS 226

ESSAI D'INFILTRATION PORCHET			
Profondeur du test (cm)	50 (Terre végétale)		
Diamètre du trou test (cm)	16		
Hauteur d'eau régulée (cm)	15		
Surface d'infiltration (mm²)	95 504		
Temps sec	Hauteur d'eau ml	Volume infiltré ml	Perméabilité mm/h
0	2000	0	
60	1970	30	18,8
120	1920	80	25,1
300	1820	180	22,6
600	1630	370	23,2
900	1480	520	21,8
1260	1220	780	23,3
1500	1100	900	22,6
1980	750	1250	23,8
2280	600	1400	23,1
2580	410	1590	23,2
2730	310	1690	23,3
3000	150	1850	23,2



IDENTIFICATION EP1	
Référence	N20-56187
Date	16/02/2021
Propriétaire	M. CAUDAL
Commune	Séné
Lieu-dit	Cimetière communal
Référence cadastrale	AS 226

PERMEABILITE MESUREE 0' - 50'	
K en m/s	6,46E-06
K en mm/h	23,2

PERMEABILITE MESUREE 1' - 50'	
K en m/s	6,48E-06
K en mm/h	23,3

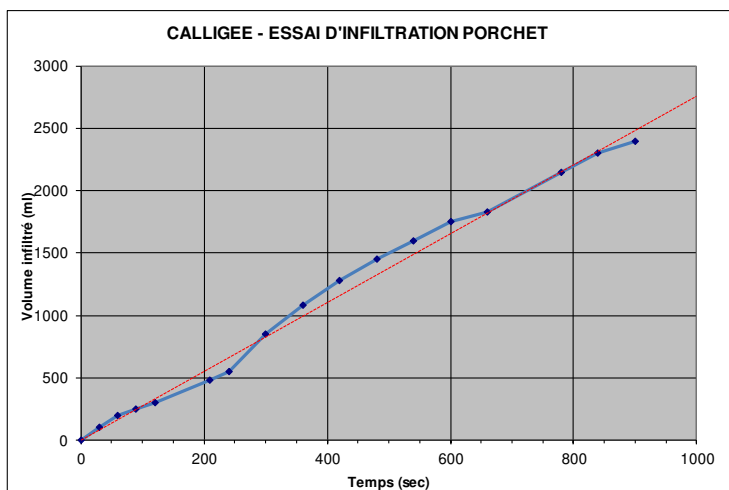
PERMEABILITE MOYENNE	
K en m/s	6,35E-06
K en mm/h	22,9

PERMEABILITE RETENUE	
K en m/s	6,46E-06
K en mm/h	23,2

Essai Porchet EP2

IDENTIFICATION EP2	
Référence	N20-56187
Date	16/02/2021
Propriétaire	M. CAUDAL
Commune	Séné
Lieu-dit	Cimetière communal
Référence cadastrale	AS 226

ESSAI D'INFILTRATION PORCHET			
Profondeur du test (cm)	98 (Terre végétale et altérites)		
Diamètre du trou test (cm)	16		
Hauteur d'eau régulée (cm)	15		
Surface d'infiltration (mm²)	95 504		
Temps sec	Hauteur d'eau ml	Volume infiltré ml	Perméabilité mm/h
0	2500	0	
30	2400	100	125,6
60	2300	200	125,6
90	2250	250	104,7
120	2200	300	94,2
210	2020	480	86,2
240	1950	550	86,4
300	1650	850	106,8
360	1420	1080	113,1
420	1220	1280	114,9
480	1050	1450	113,9
540	900	1600	111,7
600	750	1750	109,9
660	670	1830	104,5
780	350	2150	103,9
840	200	2300	103,2
900	100	2400	100,5



IDENTIFICATION EP2	
Référence	N20-56187
Date	16/02/2021
Propriétaire	M. CAUDAL
Commune	Séné
Lieu-dit	Cimetière communal
Référence cadastrale	AS 226

PERMEABILITE MESUREE 0' - 6'15	
K en m/s	2,79E-05
K en mm/h	100,5

PERMEABILITE MESUREE 0' - 6'15	
K en m/s	2,79E-05
K en mm/h	100,5

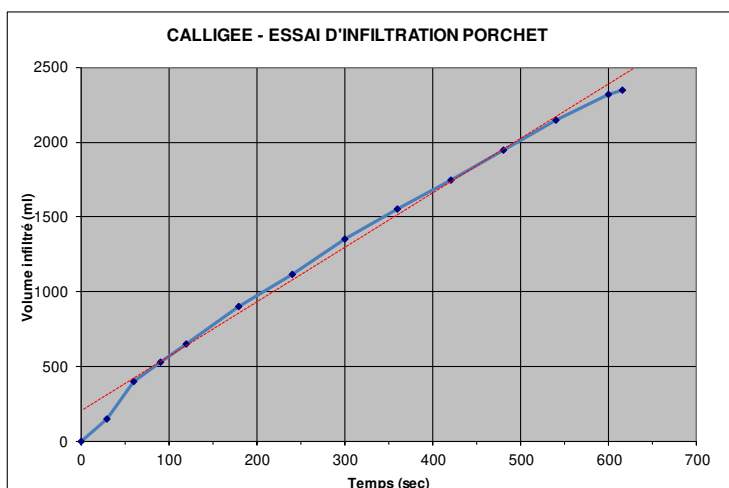
PERMEABILITE MOYENNE	
K en m/s	2,96E-05
K en mm/h	106,6

PERMEABILITE RETENUE	
K en m/s	2,79E-05
K en mm/h	100,5

Essai Porchet EP3 - 1

IDENTIFICATION EP3 - 1	
Référence	N20-56187
Date	17/02/2021
Propriétaire	M. CAUDAL
Commune	Séné
Lieu-dit	Cimetière communal
Référence cadastrale	AS 226

ESSAI D'INFILTRATION PORCHET			
Profondeur du test (cm)	75 (Terre végétale)		
Diamètre du trou test (cm)	16		
Hauteur d'eau régulée (cm)	15		
Surface d'infiltration (mm²)	95 504		
Temps sec	Hauteur d'eau ml	Volume infiltré ml	Perméabilité mm/h
0	2500	0	
30	2350	150	188,5
60	2100	400	251,3
90	1970	530	222,0
120	1850	650	204,2
180	1600	900	188,5
240	1380	1120	175,9
300	1150	1350	169,6
360	950	1550	162,3
420	750	1750	157,1
480	550	1950	153,1
540	350	2150	150,1
600	180	2320	145,8
615	150	2350	144,0



IDENTIFICATION EP3 - 1	
Référence	N20-56187
Date	17/02/2021
Propriétaire	M. CAUDAL
Commune	Séné
Lieu-dit	Cimetière communal
Référence cadastrale	AS 226

PERMEABILITE MESUREE 0' - 10'15	
K en m/s	4,00E-05
K en mm/h	144,0

PERMEABILITE MESUREE 1' - 10'15	
K en m/s	3,68E-05
K en mm/h	132,4

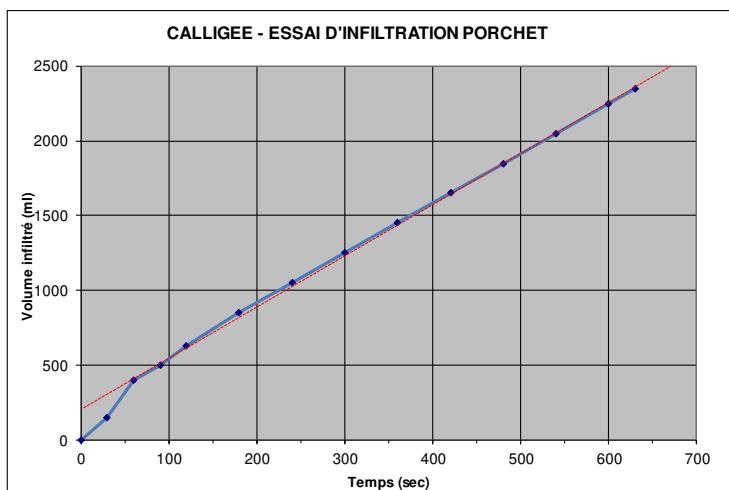
PERMEABILITE MOYENNE	
K en m/s	4,94E-05
K en mm/h	177,9

PERMEABILITE RETENUE	
K en m/s	3,68E-05
K en mm/h	132,4

Essai Porchet EP3 - 2

IDENTIFICATION EP3 - 2	
Référence	N20-56187
Date	17/02/2021
Propriétaire	M. CAUDAL
Commune	Séné
Lieu-dit	Cimetière communal
Référence cadastrale	AS 226

ESSAI D'INFILTRATION PORCHET			
Profondeur du test (cm)	75 (Terre végétale)		
Diamètre du trou test (cm)	16		
Hauteur d'eau régulée (cm)	15		
Surface d'infiltration (mm²)	95 504		
Temps sec	Hauteur d'eau ml	Volume infiltré ml	Perméabilité mm/h
0	2500	0	
30	2350	150	188,5
60	2100	400	251,3
90	2000	500	209,4
120	1870	630	197,9
180	1650	850	178,0
240	1450	1050	164,9
300	1250	1250	157,1
360	1050	1450	151,8
420	850	1650	148,1
480	650	1850	145,3
540	450	2050	143,1
600	250	2250	141,4
630	150	2350	140,6



IDENTIFICATION EP3 - 2	
Référence	N20-56187
Date	17/02/2021
Propriétaire	M. CAUDAL
Commune	Séné
Lieu-dit	Cimetière communal
Référence cadastrale	AS 226

PERMEABILITE MESUREE 0' - 10'15	
K en m/s	3,91E-05
K en mm/h	140,6

PERMEABILITE MESUREE 1' - 10'15	
K en m/s	3,58E-05
K en mm/h	129,0

PERMEABILITE MOYENNE	
K en m/s	4,74E-05
K en mm/h	170,6

PERMEABILITE RETENUE	
K en m/s	3,58E-05
K en mm/h	129,0



calligée
SCIENCES & TECHNIQUES GÉOLOGIQUES

-  géologie & géophysique
-  hydrogéologie
-  eaux superficielles & eaux usées
-  sites et sols pollués
-  géomatique & cartographie