

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE

Projet d'extension du cimetière de Saint Claude

3, Place du souvenir Français
BESANÇON (25 000)



Dossier 2503429 v3 - Janvier 2025



Ville de Besançon
2 Rue Mégevand
25 031 BESANÇON

Client

Nom	Ville de Besançon
Adresse	2 rue Mégevand 25 034 Besançon
Interlocuteur	V. NEVERS

ECR Environnement

Coordonnées Agence	Agence de Besançon 92, Rue de l'Esplanade Ouest 25 220 THISE Tel : 03 81 80 27 10 Mail : besancon@ecr-environnement.com
Responsable de Région	F. COME
Responsable d'agence	A. MARION
Chargé d'études	J. GRANDVOINET

Date	Indice	Observation / Modification	Rédacteur	Vérificateur
31/01/2024	0	Première version	J. GRANDVOINET	M. GUYOT
21/02/2024	1	Mise à jour de l'étude suite à l'addition de sondages complémentaires	J. GRANDVOINET	M. GUYOT
15/11/2024	2	Mise à jour	J. GRANDVOINET	J. GRANDVOINET
14/01/2025	3	Reprise des hypothèses et modification de la gestion	J. GRANDVOINET	J. GRANDVOINET

Visa

Rédacteur	Vérificateur
	
J. GRANDVOINET Chargé d'études Ingénieur hydrogéologue	J. GRANDVOINET Chargé d'études Ingénieur hydrogéologue

SOMMAIRE

1.	INTRODUCTION.....	4
1.1.	OPERATION – INTERVENANTS	4
1.2.	OBJET	4
1.3.	DOCUMENTS DE REFERENCE	4
1.4.	DOCUMENTS SOURCES.....	4
2.	LOCALISATION DU PROJET D'EXTENSION	5
2.1.	PLAN DE SITUATION	5
3.	SITUATION DU PROJET	8
3.1.	GENERALITES RELATIVES AUX TYPES D'INHUMATION	8
3.2.	CIMETIERE EXISTANT	8
3.3.	PROJET D'EXTENSION DU CIMETIERE	9
3.4.	SITUATION REGLEMENTAIRE DE L'OPERATION	10
4.	INVESTIGATIONS REALISEES	10
5.	CONTEXTE PHYSIQUE	11
5.1.	TOPOGRAPHIE ET BASSIN VERSANT	13
5.2.	COMPORTEMENT DES ECOULEMENTS SURFACIQUES SUR LE SECTEUR D'ETUDE.....	15
5.3.	ESTIMATION DES DEBITS DE RUISSELLEMENT AVANT ET APRES PROJET	17
5.4.	GEOLOGIE/HYDROGEOLOGIE	19
5.5.	RISQUES NATURELS ET TECHNOLOGIQUES.....	22
6.	RESULTATS DES INVESTIGATIONS.....	24
6.1.	NIVELLEMENT DES SONDAGES	24
6.2.	LITHOLOGIE DES TERRAINS	26
6.3.	PERMEABILITE.....	26
6.4.	INVENTAIRE DES POINTS D'EAU AUTOUR DU SITE	27
7.	FAISABILITE D'EXTENSION DU CIMETIERE	28
7.1.	CRITERES TOPOGRAPHIQUES.....	28
7.2.	CRITERES GEOLOGIQUES.....	28
7.3.	CRITERES HYDROLOGIQUES.....	29
7.4.	CRITERES HYDROGEOLOGIQUES	29
7.5.	ASPECT HYGIENE PUBLIQUE.....	30
8.	PREMIERE CONCLUSION	30
9.	PRECONISATIONS RELATIVES A LA GESTION DES EAUX PLUVIALES.....	31
10.	DIMENSIONNEMENT DES DRAINS	32

10.1.	PLAN LOCAL D'URBANISME ET AUTRES DOCUMENTS D'URBANISME	32
10.2.	HYPOTHESES DE DIMENSIONNEMENT.....	33
10.3.	PERIODE DE RETOUR.....	34
10.4.	COEFFICIENTS DE MONTANA.....	34
10.5.	DEBIT DE REJET	34
10.6.	VOLUME A MOBILISER	35
10.7.	SYSTEME DE REGULATION DU DEBIT	35
10.8.	SURVERSE.....	38
10.9.	DRAINAGE ET REMBLAIEMENTS PERIPHERIQUES.....	39
11.	REMARQUES IMPORTANTES	39
12.	PRESCRIPTIONS RELATIVES AU PHENOMENE DE RETRAIT GONFLEMENT DES ARGILES	39

LISTE DES TABLEAUX

Figure 1 :	Photographie de l'entrée principale du cimetière Saint-Claude – Google maps	6
Figure 2 :	Localisation du secteur d'étude – IGN.....	6
Figure 3 :	Vue aérienne du secteur d'étude – IGN	7
Figure 4 :	Parcelle cadastrale concernée par le projet Echelle – IGN.....	7
Figure 5 :	Extrait du plan de composition du cimetière – GBM	9
Figure 6 :	Vue aérienne du secteur d'étude agrémentée – IGN.....	12
Figure 7 :	Photographies du secteur d'étude prises par ECR Environnement - Janvier 2024	12
Figure 8 :	Topographie du secteur d'étude - IGN	13
Figure 9 :	Photographie du Talweg - ECR Environnement (Novembre 2023)	14
Figure 10 :	Photographie de la doline - ECR Environnement (Novembre 2023)	14
Figure 11 :	Photographie du point bas au niveau du secteur prévu pour l'aménagement d'un jardin funéraire – ECR Environnement (Novembre 2023).....	15
Figure 12 :	Photographies d'un mur de soutènement et du réseau de drainage associé - ECR Environnement (Décembre 2023)	16
Figure 13 :	Photographie du point bas au niveau du secteur prévu pour l'aménagement d'un jardin funéraire (vue éloignée) – ECR Environnement (Décembre 2023)	16
Figure 14 :	Extrait de la carte géologique n°502 de Besançon – BRGM.....	20
Figure 15 :	Cartographie des zones sensibles aux remontées de nappe autour du projet – BRGM.....	21
Figure 16 :	Traçages artificiels - DREAL BFC.....	22
Figure 17 :	Extrait de la carte d'indices karstiques et des mouvements de terrain (aléa effondrement) - Carto2.geo (DDT25).....	23
Figure 18 :	Exposition au retrait/gonflement des argiles – GEORISQUES	24
Figure 19 :	Extrait du PLU de Besançon – Géoportail de l'urbanisme.....	32
Figure 20 :	Bloc diagramme d'une tranchée d'infiltration- ECR Environnement	36
Figure 21 :	Bloc diagramme d'une noue d'infiltration - ECR Environnement.....	37
Figure 23 :	Schéma du principe de la ceinture étanche	40
Figure 24 :	Schéma du principe du dispositif de drainage périphérique de la maison	41



Figure 25 Schéma du principe de pose des canalisations42

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Sources et références	5
Tableau 2 : Coordonnées géographiques du projet	6
Tableau 3 : Caractéristiques de BV1 avant et après aménagement.....	17
Tableau 4 : Débits de pointe avant et après aménagement – BV1	18
Tableau 5 : Caractéristiques de BV2 avant et après aménagement.....	18
Tableau 6 : Débits de pointe avant et après aménagement – BV2	19
Tableau 7 : Altimétrie des têtes de sondages.....	25
Tableau 8 : Résultats des essais de perméabilité	27
Tableau 9 : Estimation de la surface active du projet	33
Tableau 10 : Coefficient de montana de la station de Besançon pour une pluie de période 20 ans – Météo France	34
Tableau 11 : Volume utile requis pour gérer les eaux du cimetière (Secteur Est) – T = 20 ans	35
Tableau 12 : Volume utile requis pour gérer les eaux du cimetière (Secteur Est) – T = 10 et 20 ans.....	35
Tableau 13 : Caractéristiques des ouvrages d'infiltration proposés - ECR Environnement	38

ANNEXES

Annexe 1 : Résultats des investigations.....	
Annexe 2 : Recommandation relative aux critères topographiques, géologiques, hydrogéologiques et d'hygiène publique à prendre en compte pour assurer la protection de l'hygiène publique en matière de cimetière.....	
Annexe 3 : Plan de récolement du cimetière Saint-Claude.....	
Annexe 4 : Feuille(s) de calculs du/des dimensionnement(s).....	



1. INTRODUCTION

1.1. Opération – Intervenants

Opération : Etude hydrogéologique – Extension du cimetière Saint-Claude

Adresse du projet : 3, Place du souvenir français – 25 000 Besançon

Maître d'ouvrage : Ville de Besançon

Maître d'œuvre : Grand Besançon Métropole (GBM) – Service Grands Travaux

1.2. Objet

La commune de Besançon ambitionne d'étendre le cimetière communal de Saint-Claude. L'extension est prévue sur une parcelle mitoyenne au cimetière existant qui correspond à un vaste espace boisé (~2,4 ha) à la végétation dense.

La présente étude vise à définir l'aptitude hydrogéologique de la zone d'extension à recevoir un cimetière et à définir les mesures préventives en matière d'hygiène publique et de gestion des eaux pluviales.

Elle s'appuie sur la « Recommandation relative aux critères topographiques, géologiques et d'hygiène publique à prendre en compte pour assurer la protection de l'hygiène publique en matière de cimetière » adoptée lors de la séance du 5 septembre 1996 par le conseil supérieur d'hygiène publique de France » (Cf. *Annexe*).

1.3. Documents de référence

Les nouveaux documents fournis pour la conduite de l'étude sont :

- DCE du marché public contenant notamment le cahier des charges des études à mener ;
- Une ébauche de plan de composition à l'échelle 1/250^{ème}.

1.4. Documents sources

La présente étude est basée sur les connaissances techniques et scientifiques acquises à la date de sa réalisation. Les différentes consultations menées pour la rédaction de ce rapport sont indiquées dans le tableau ci-après (Cf. *Tableau 1*).

Tableau 1 : Sources et références

Source	Type de consultation	Données disponibles	Date
DOCUMENT(S) ET OUVRAGE(S)			
ECR Environnement	Rapport d'étude G1 ES + PGC	Données géotechniques	24/01/2024
BRGM	Notice géologique N°502 de Besançon	Données géologiques	05/2021
BASES D'INFORMATION			
Eau France (ADES)	Internet (https://ades.eaufrance.fr/)	Données quantitatives et qualitatives relatives aux eaux souterraines	Consultation : 02/2024
BRGM/INFOTERRE	Internet (Infoterre.brgm.fr)	Données géologiques, coupes techniques des ouvrages	Consultation : 02/2024
GEORISQUES	Internet (https://www.georisques.gouv.fr/)	PPRI, remontée de nappes, argiles gonflantes, etc...	Consultation : 02/2024
Météo France, météo ciel	Internet (Publitheque.meteo.fr)	Coefficient de Montana, Pluies brutes journalières, mensuelles...	Consultation : 02/2024
IGN	Internet (https://www.geoportail.gouv.fr)	Données topographiques	Consultation : 02/2024
CADASTRE	Internet (https://www.cadastre.gouv.fr)	Références cadastrales	Consultation : 02/2024
BASES DE DONNEES NUMERIQUES / PLANS / LOGICIELS			
Ville de Besançon	Plan de composition du cimetière	-	Consultation : 02/2024

2. LOCALISATION DU PROJET D'EXTENSION

2.1. Plan de situation

Le cimetière de Saint Claude (Section cadastrée OX), est l'un des six cimetières de Besançon situé dans le quartier de Saint-Claude au Nord/Est de la ville. Il sera, après son extension d'environ 300 nouveaux caveaux, le plus grand cimetière de la ville après celui des Chaprais. Il comprend une partie pour les musulmans ainsi que pour les soldats morts aux combats durant les deux guerres mondiales. Les coordonnées L93 (centroïde) de l'extension sont les suivantes (Cf. *Tableau 2 + Fig 1 à 4*) :



Tableau 2 : Coordonnées géographiques du projet

Localisation (centroïde)	Coordonnées (Lambert 93) *	
	X (m)	Y (m)
Site d'étude	928 212	6 689 043

*Coordonnées selon geoportail.gouv

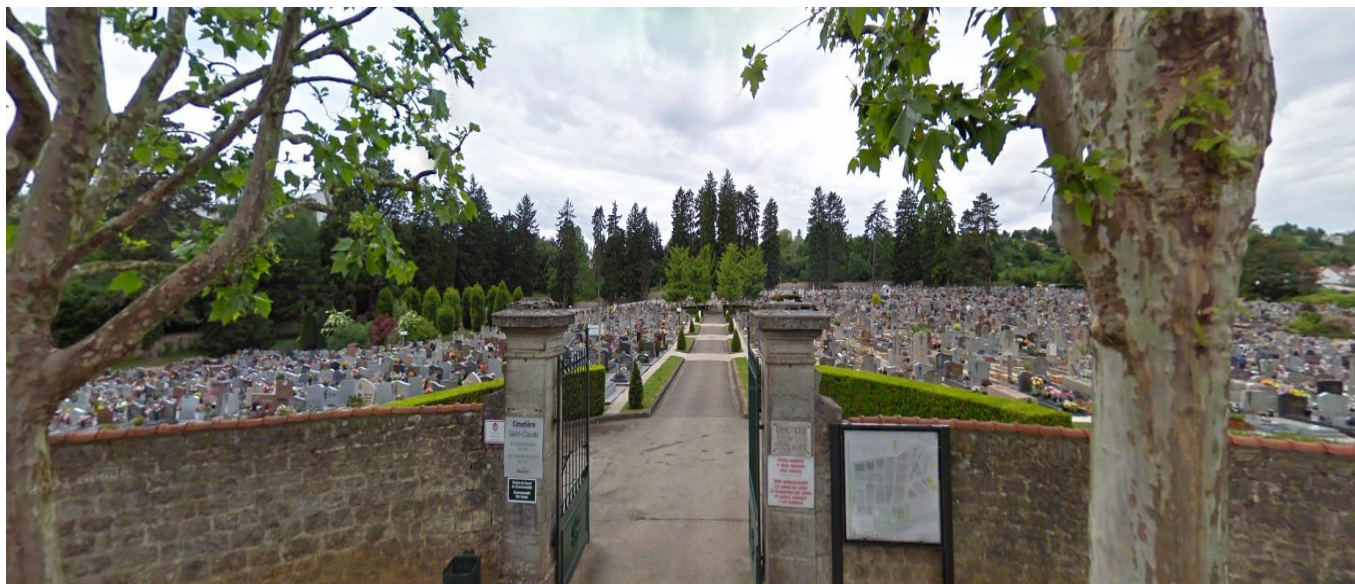


Figure 1 : Photographie de l'entrée principale du cimetière Saint-Claude – Google maps

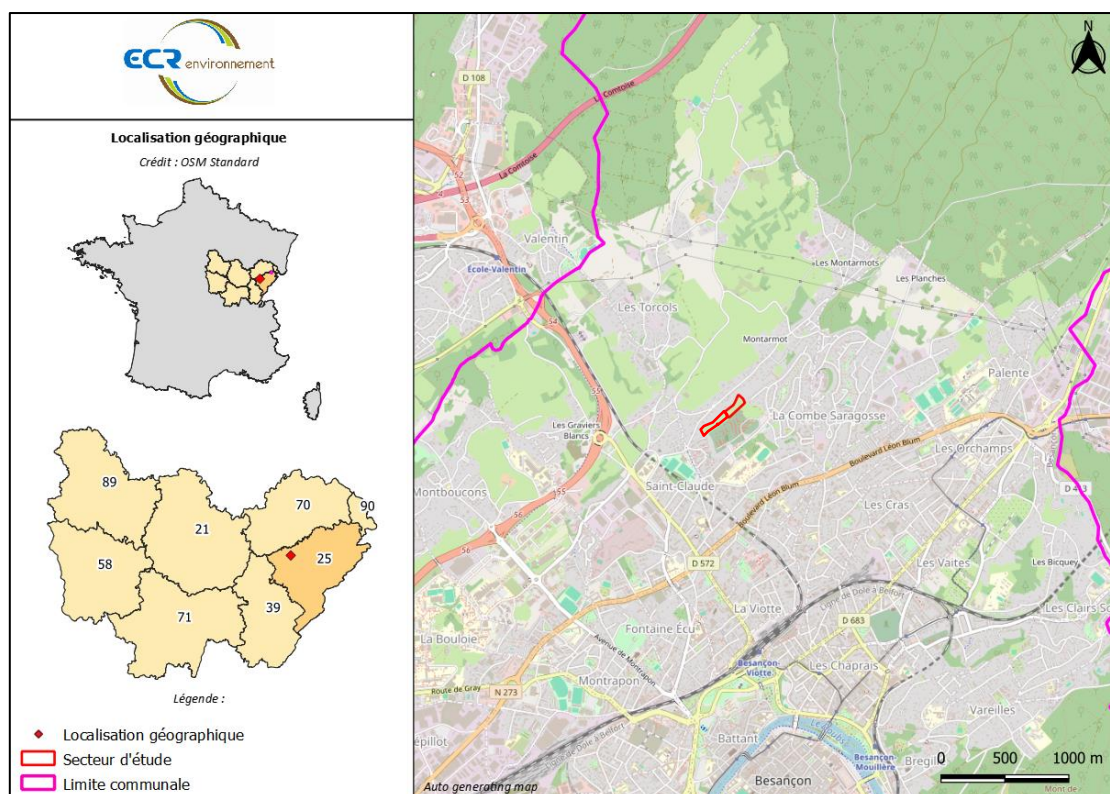


Figure 2 : Localisation du secteur d'étude – IGN



Figure 3 : Vue aérienne du secteur d'étude – IGN

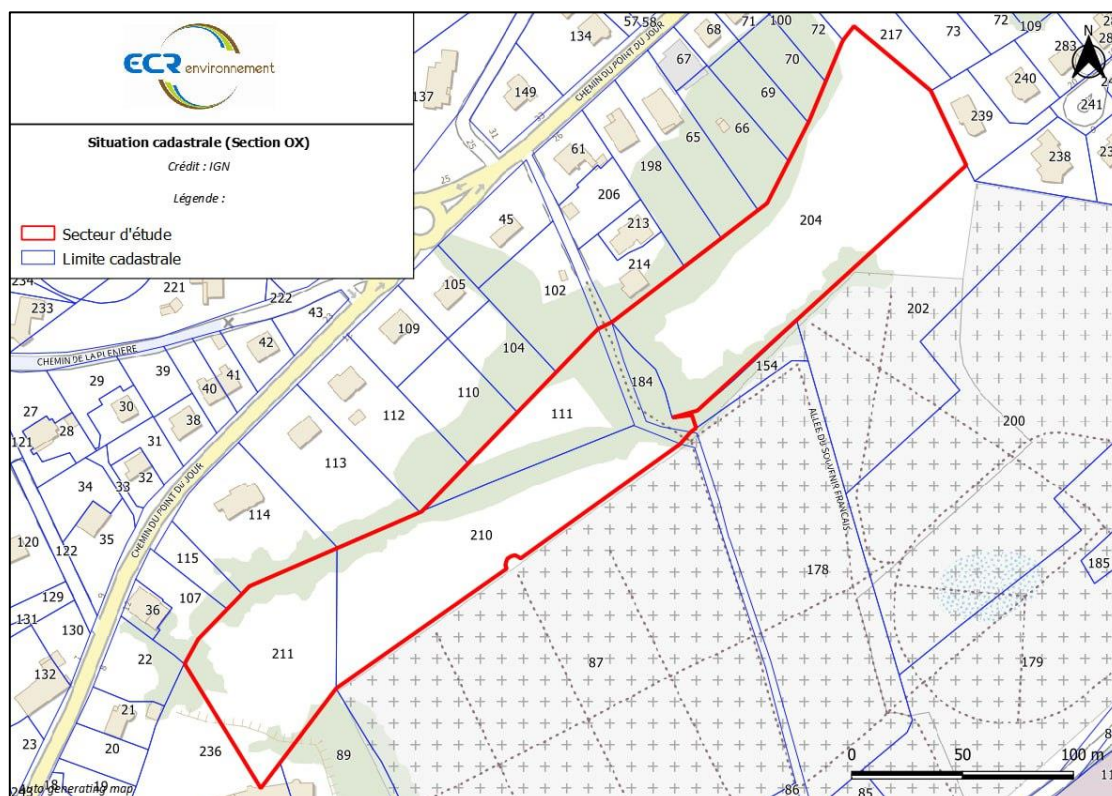


Figure 4 : Parcelle cadastrale concernée par le projet Echelle – IGN

3. SITUATION DU PROJET

3.1. Généralités relatives aux types d'inhumation

Les inhumations peuvent se faire en pleine terre ou en caveau suivant les souhaits des familles et les contraintes techniques. L'inhumation en caveaux représente l'essentiel des inhumations. Il s'agit pour l'essentiel de caveaux 2 places, plus rarement de caveaux de 3 places.

Concernant les inhumations en pleine terre, l'article R361-6 du code des communes indique que chaque fosse doit avoir 1,5 à 2 mètres de profondeur. Le Conseil supérieur d'hygiène prescrit un recouvrement d'au moins 1 m au-dessus du cercueil pour empêcher l'action des animaux fouisseurs. Ceci implique, compte tenu de la hauteur des cercueils, une possibilité de creusement de :

- ✕ 1,4 à 1,5 m pour 1 corps,
- ✕ 1,9 à 2,1 m pour 2 corps superposés,
- ✕ 2,4 à 2,7 m pour 3 corps superposés.

Concernant les caveaux préfabriqués en béton armé, les profondeurs atteintes sont généralement de :

- ✕ 0,8 m pour un caveau de 1 place ;
- ✕ 1,3 m pour un caveau de 2 places ;
- ✕ 1,9 m pour un caveau de 3 places.

3.2. Cimetière existant

D'après les informations communiquées par le règlement et le service gestionnaire du cimetière) :

- ✕ Les inhumations se font majoritairement en caveau, peu en pleine terre. Il s'agit généralement de caveaux de 2m², avec deux cercueils au-dessus de l'autre.
- ✕ Les durées des concessions en terrain concédé dans les cimetières communaux sont fixées par délibération du Conseil Municipal. Elles sont de 15, 30 et 50 ans pour les tombes en pleine terre, et de 30, 50 et perpétuelle pour les tombes constructibles.
- ✕ Il n'a jamais été observé de venues d'eau lors du creusement des tombes et à l'intérieur des caveaux, ni de difficultés particulières de terrassement.



3.3. Projet d'extension du cimetière

Le futur aménagement de la zone consiste en une extension du cimetière dans sa partie Nord. (Parcelles OX 111, 184, 204, 210, 211 d'une surface totale d'environ 2,4 ha). On peut délimiter grossièrement le projet en cinq parties distinctes :

- ✘ A l'Est, un vaste jardin funéraire constitué d'une voirie centrale et de plusieurs murs de soutènement ;
- ✘ Au Nord-est, une partie sans tombes constituée d'une voirie d'entretien circulaire traversant le talweg et nécessitant la mise en œuvre d'un ouvrage de soutènement dans ce dernier ;
- ✘ Au Sud-est, au droit de la partie la plus pentée en limite avec les aménagements actuels, une zone prévoyant quatre murs de soutènement afin de créer des terrasses et donc d'aplanir le terrain pour y créer les futures tombes ;
- ✘ En partie centrale, une voirie d'entretien a priori en profil rasant / léger déblai ;
- ✘ Au Nord-ouest et au Sud-ouest, dans le secteur le plus plat, des futures tombes sans aménagements paysagers ni soutènements, ou des espaces végétalisés.

Des cheminements piétons avec escaliers ceintureront les futures zones d'inhumation.

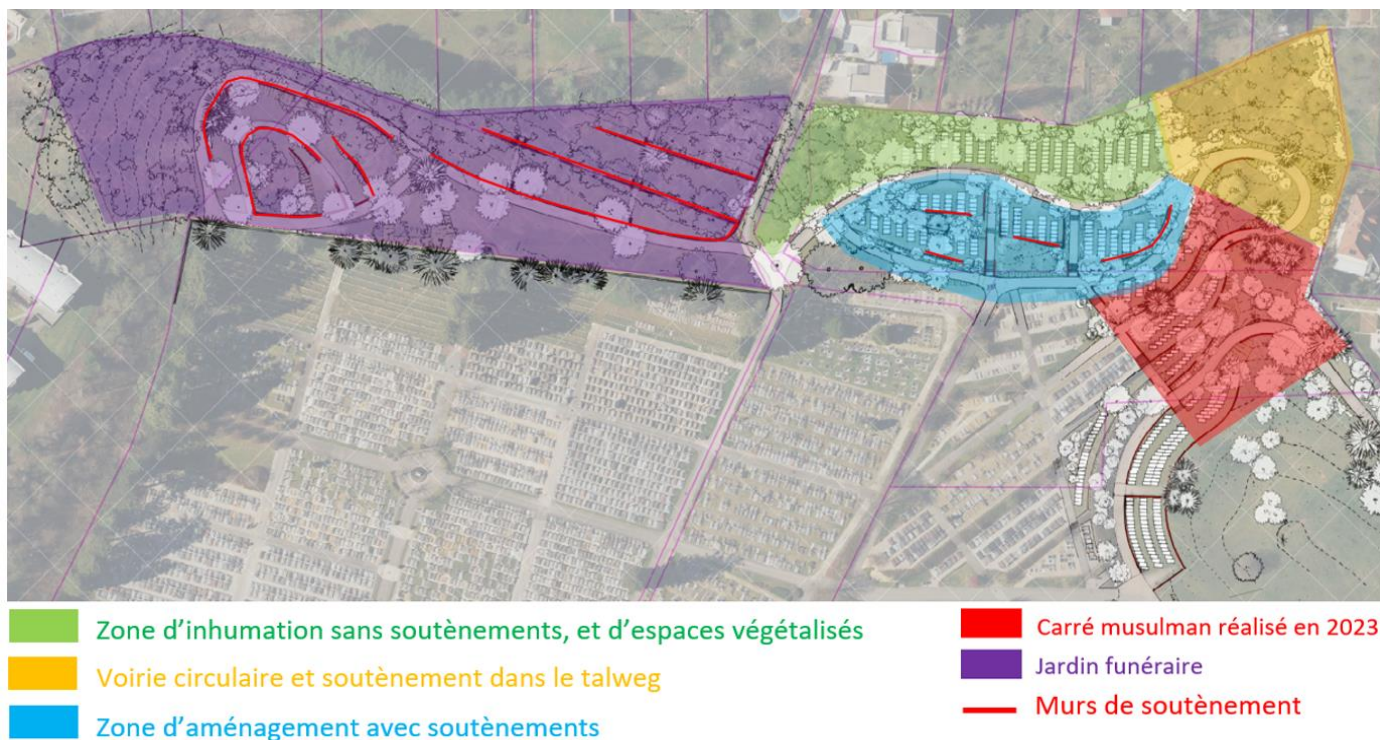


Figure 5 : Extrait du plan de composition du cimetière – GBM

3.4. Situation réglementaire de l'opération

Outre la réglementation inhérente aux aspects sanitaires applicables aux cimetières, le projet est également soumis à la Loi sur l'eau concernant les rejets d'eau pluviales vers le milieu naturel.

De fait, en application de l'article R214-1, relatif à la nomenclature des IOTA (Installations, Ouvrages, Travaux et Activités) soumis à Autorisation (A) et Déclaration (D) au titre de l'article L 214-1 à 3 du code de l'Environnement, le projet d'extension est concerné par la rubrique 2.1.5.0 :

Rubrique	Désignation	Caractéristiques du projet	Régime
2.1.5.0	Rejet d'eaux pluviales dans les eaux douces superficielles ou sur le sol ou dans le sous-sol, la surface totale du projet, augmentée de la surface correspondant à la partie du bassin naturel dont les écoulements sont interceptés par le projet, étant : - supérieure à 1 ha, mais inférieur à 20 ha (D) - supérieure ou égal à 20 ha (A)	Surface du projet + Bassin versant naturel = 2,4 ha	Déclaration (D)

La surface totale desservie qui doit être prise en compte pour déterminer le type de régime en vigueur correspond à l'ensemble de la surface dont les eaux d'écoulement sont interceptées par le projet. C'est à dire, la surface du projet additionnée à la surface du bassin versant naturel amont. Ici, la somme des surfaces est de **2,4 ha**.

En conséquence, le projet est soumis à déclaration vis-à-vis de la rubrique 2.1.5.0 de la Loi sur l'Eau et devra faire l'objet d'un dossier de Déclaration Loi sur l'Eau.

4. INVESTIGATIONS REALISEES

Les investigations mises en œuvre pour les besoins de la présente étude sont les suivantes :

Sondages de reconnaissance géotechniques

- ✕ 3 sondages pressiométriques (SP1 à SP3) réalisés au tricône Ø 64 mm et descendus à 6,0 m de profondeur ;
- ✕ 7 essais pénétrométriques dynamiques lourds type DPSH-B (PN1 à PN7) descendus soit au refus entre 0,4 et 5,7 m de profondeur, soit en fin d'essai à 6,0 m de profondeur ;
- ✕ 12 sondages destructifs de reconnaissance géologique (SD1 à SD12) réalisés au taillant Ø 51 mm et descendus entre 5,9 et 6,7 m de profondeur ;
- ✕ 10 sondages de reconnaissance géologique à la pelle mécanique lourde 8 T (PM1 à PM10), soit descendus au refus entre 1,1 et 2,5 m de profondeur, soit arrêtés en bout de bras à 3,0 et 3,6 m de profondeur respectivement en PM1 et PM10 ;



- ✕ 3 sondages de reconnaissance géologique à la pelle mécanique 2,5 T (PM11 à PM13), soit descendus au refus entre 0,65 et 0,95 m de profondeur, soit arrêtés en bout de bras à 1,8 et 1,95 m ;
- ✕ 7 essais de perméabilité à charge variable type Matsuo (MA1 à MA7) dans des fouilles à la pelle mécanique entre 1,3 et 2,5 m de profondeur.

Inventaire des puits

- ✕ Un inventaire des puits et ouvrages provenant de la banque du sous-sol a été réalisé exclusivement à partir de données bibliographiques.

5. CONTEXTE PHYSIQUE

Le site d'étude est caractérisé par la présence d'arbres et d'arbustes en grand nombre, colonisés par de la végétation anthropique dense de type ronciers. Il se délimite :

- ✕ Au Nord et à l'Est des parcelles avec maisons individuelles ;
- ✕ Au sud par les actuels caveaux du cimetière et le carré musulman récemment construit et comportant de nombreux murs de soutènement ;
- ✕ A l'Ouest par un espace boisé.

Au niveau de sa configuration, il est possible d'observer à l'extrémité Est, un talweg d'ampleur significative qui traverse selon une direction Nord/Est – Sud/Est tout le site avant de terminer sa course vers une grande doline (Cf. Fig 6 et 7).

Comparativement à l'extrémité Ouest, une dépression topographique marque la morphologie du terrain.



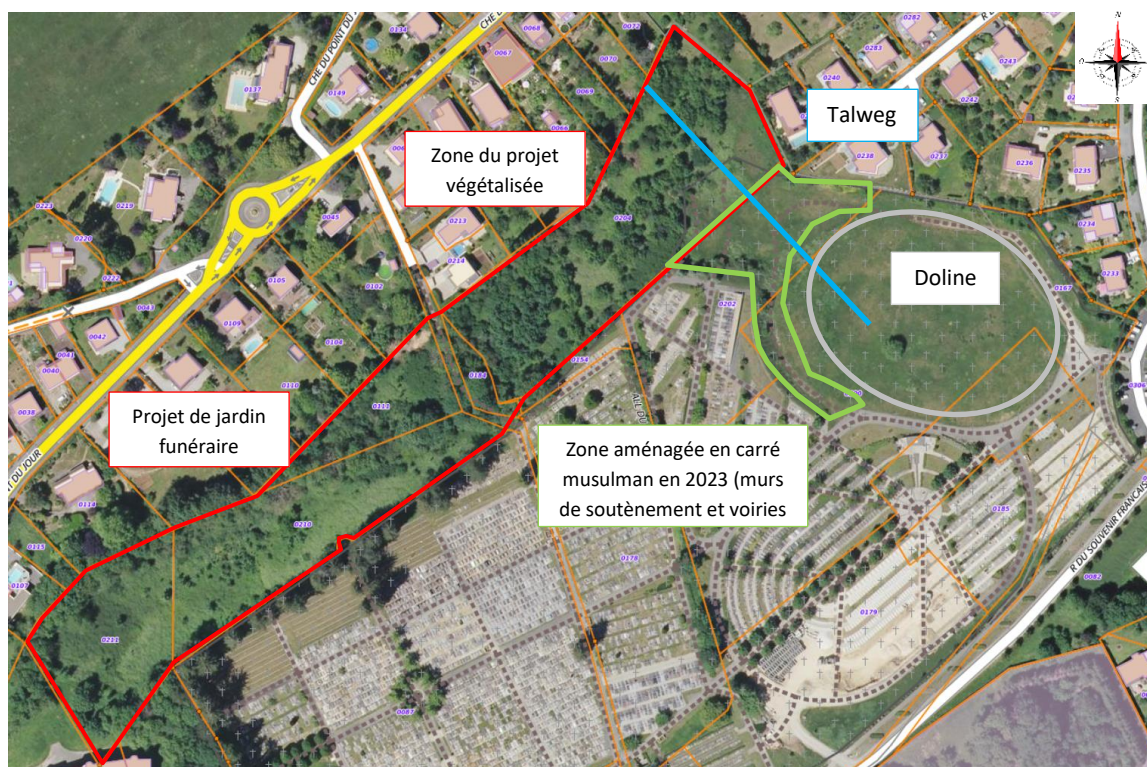


Figure 6 : Vue aérienne du secteur d'étude agréementée – IGN



Vue de la végétation arbustive à l'Ouest



Vue sur le talweg à l'Est



Vue sur les actuels murs de soutènements



Vue sur la végétation en partie centrale

Figure 7 : Photographies du secteur d'étude prises par ECR Environnement - Janvier 2024

5.1. Topographie et bassin versant

Le secteur d'étude est marqué par une topographie présentant un caractère plus ou moins penté (entre 6 et 18%) en direction du talweg (à l'Est) qui pour rappel est orienté selon un axe Nord/Est – Sud/Est. L'altitude varie entre 342 m (au nord de l'espace boisé – début du talweg) et 331 m NGF (à proximité du carré musulman). Au-delà du carrée musulman, la pente diminue progressivement jusqu'au cœur de la doline pour atteindre 3% environ – fin du talweg - (Cf. Fig 8 à 10).

A l'extrémité Est (au niveau du jardin funéraire), la direction de la pente diffère et rejoint progressivement une dépression topographique (point bas) – (Cf. Fig 11).



Figure 8 : Topographie du secteur d'étude - IGN



Figure 9 : Photographie du Talweg - ECR Environnement (Novembre 2023)



Figure 10 : Photographie de la doline - ECR Environnement (Novembre 2023)



Figure 11 : Photographie du point bas au niveau du secteur prévu pour l'aménagement d'un jardin funéraire – ECR Environnement (Novembre 2023)

5.2. Comportement des écoulements surfaciques sur le secteur d'étude

Au regard de la topographie observée et des obstacles au ruissellement pluvial (*i.e.* habitations, murs, murets en amont hydraulique) le secteur d'étude ne semble pas intercepter d'écoulements pluviaux provenant d'un bassin versant naturel amont. Autrement dit, l'ensemble des eaux qui ruissellent sur le secteur d'étude sont celles précipitant sur l'aire de ce dernier.

Les eaux précipitées qui ne sont pas infiltrées s'écoulent donc de manière uniforme et rectiligne avec une cinétique d'écoulement assez lente et stable, à l'exception de celle qui chutent à proximité du talweg où leur mouvement sera plus rapide et concentré. En effet, le talweg capte et concentre une part significative des écoulements (environ 50% de la surface totale de la parcelle Est) avant de les acheminer vers la doline qui constitue l'exutoire majeur des eaux provenant du **secteur d'étude et du cimetière existant**.

En effet, les récents travaux liés à la création du carré musulman ont compris la mise en place d'un réseau de drainage profond au niveau des murs de soutènement (*Cf. Fig 12*). Les eaux pluviales captées par ce réseau sont également dirigées vers la doline (*Cf. Plan de récolement en annexe*).



Figure 12 : Photographies d'un mur de soutènement et du réseau de drainage associé - ECR Environnement (Décembre 2023)

Sur la parcelle voisine vouée à l'aménagement du jardin funéraire, la majeure partie des écoulements rejoignent progressivement le point bas du secteur (Parcelles OX 210, 211 et 111) avant de s'infiltrer dans le sol.



Figure 13 : Photographie du point bas au niveau du secteur prévu pour l'aménagement d'un jardin funéraire (vue éloignée) – ECR Environnement (Décembre 2023)

Le secteur d'étude comprend donc deux bassins versants avec deux exutoires distincts :

- ✕ Bassin versant Est avec la doline pour exutoire (BV1) ;
- ✕ Bassin versant Ouest avec la dépression pour exutoire (BV2).



5.3. Estimation des débits de ruissellement avant et après projet

L'estimation des débits de pointe arrivant aux exutoires (s.c. la doline ou la dépression topographique) a été établie sur la base de la méthode rationnelle, parfaitement adaptée aux petits bassins versants en milieu rural. Les tableaux suivants mettent en avant les caractéristiques des bassins versants avant et après projet (Cf. *Tableau 3*) ainsi que les débits de pointes qui leur sont associés pour des périodes de pluie de retour 10 et 20 ans. Les coefficients de montana utilisés dans le cadre de ce dimensionnement sont ceux provenant de la station météorologique de Besançon.

5.3.1. Secteur Est (Bassin versant 1)

Tableau 3 : Caractéristiques de BV1 avant et après aménagement

Caractéristiques des bassins versants avant et après projet		
	Bassin versant AVP	Bassin versant APP
Vue aérienne de l'emprise du bassin versant *		
Longueur (km)	0,15	0,15
Dénivelé (m)	20	20
Surface totale (ha)	1,22	1,22
Cr** (sans unité)	0,2	0,314
Pente (m/m)	0,133	0,133
Pente (%)	13,3	13,3

Indice de gravelius Kc***	1,14	1,14
---------------------------	------	------

*La détermination des emprises des bassins versants est une estimation faite à partir d'isohypses provenant de l'IGN et d'une visite de site. Elles restent somme toute imprécises et se doivent d'être prises avec un certain recul.

**Le coefficient de ruissellement Cr correspond au rapport entre volume d'eau ruisselé sur une surface donnée et le volume précipité sur une pluie donnée. Le coefficient de ruissellement a été estimé ici à 0,314 pour l'ensemble de la parcelle eu égard les surfaces définies à partir du plan de composition.

***L'indice de Gravelius Kc correspond à l'indice de compacité du bassin, plus la valeur est proche de 1, plus le bassin est de forme arrondie et de forme allongée dans le cas contraire.

Tableau 4 : Débits de pointe avant et après aménagement – BV1

Débit de pointe du bassin versant avant et après projet		
	Bassin versant AVP	Bassin versant APP
Tc (min)	2,1	2,1
Qp10 (m3/s)	0,1403	0,2250
Qp10 (l/s)	140,3	220,5
Qp20 (m3/s)	0,1574	0,2473
Qp20 (l/s)	157,4	247,3

Les débits de pointe après projet en direction de la doline seront (eu égard les hypothèses prises) environ supérieurs de 60% par rapport à ceux avant-projet. En conséquence, il est nécessaire de mettre en place des ouvrages de gestion des eaux pluviales capables de prévenir un épisode pluvieux intense.

5.3.2. Secteur Ouest (Bassin versant 2)

Tableau 5 : Caractéristiques de BV2 avant et après aménagement

Caractéristiques des bassins versants avant et après projet		
	Bassin versant AVP	Bassin versant APP
Vue aérienne de l'emprise du bassin versant*		
Longueur (km)	0,174	0,174
Dénivelé (m)	14	14

Surface totale (ha)	1,227	1,227
Cr** (sans unité)	0,2	0,236
Pente (m/m)	0,08	0,08
Pente (%)	8	8
Indice de gravelius Kc***	1,23	1,23

*La détermination des emprises des bassins versants est une estimation faite à partir d'isohypses provenant de l'IGN et d'une visite de site. Elles restent somme toute imprécises et se doivent d'être prises avec un certain recul.

**Le coefficient de ruissellement Cr correspond au rapport entre volume d'eau ruisselé sur une surface donnée et le volume précipité sur une pluie donnée. Le coefficient de ruissellement a été estimé ici à 0,236 pour l'ensemble de la parcelle eu égard les surfaces définies à partir du plan de composition.

***L'indice de Gravelius Kc correspond à l'indice de compacité du bassin, plus la valeur est proche de 1, plus le bassin est de forme arrondie et de forme allongée dans le cas contraire.

Tableau 6 : Débits de pointe avant et après aménagement – BV2

Débit de pointe du bassin versant avant et après projet		
	Bassin versant AVP	Bassin versant APP
Tc (min)	2,7	2,7
Qp10 (m3/s)	0,1245	0,1470
Qp10 (l/s)	124,5	140,7
Qp20 (m3/s)	0,1402	0,1656
Qp20 (l/s)	140,2	165,6

Les débits de pointe après projet en direction de la dépression seront (eu égard les hypothèses prises) environ supérieurs de 20% par rapport à ceux avant-projet. En conséquence, il sera également nécessaire de mettre en place des ouvrages de gestion des eaux pluviales complémentaires.

5.4. Géologie/Hydrogéologie

L'examen des conditions géologiques et hydrogéologiques au droit du site et de ses alentours permet d'apprécier la part d'écoulements souterrains qui entre en jeu avec le secteur d'étude.

D'après l'extrait de la carte géologique de Besançon à l'échelle 1/50 000, le sous-sol du site est constitué, sous d'éventuels remblais et formations de couverture, par des dépôts fluviaux non datés et argiles résiduelles (FR) en partie Sud - Sud/Est surmontant les calcaires massifs du Bathonien (j2) ou les calcaires Oolithiques du Bajocien supérieur (j1b) plus au Nord/Est.



D'un point de vue géologie structurale, le site repose donc sur deux substratums géologiques distincts et se trouve à proximité d'une faille majeure (orientée Nord/Est – Sud/Ouest) située à quelques dizaines de mètres un peu plus au Nord.

Au niveau des pendages, ces derniers sont perpendiculaires à la faille majeure et présente des inclinaisons comprises entre 20 et 30° de part et d'autre de cette dernière (Cf. Fig 14).

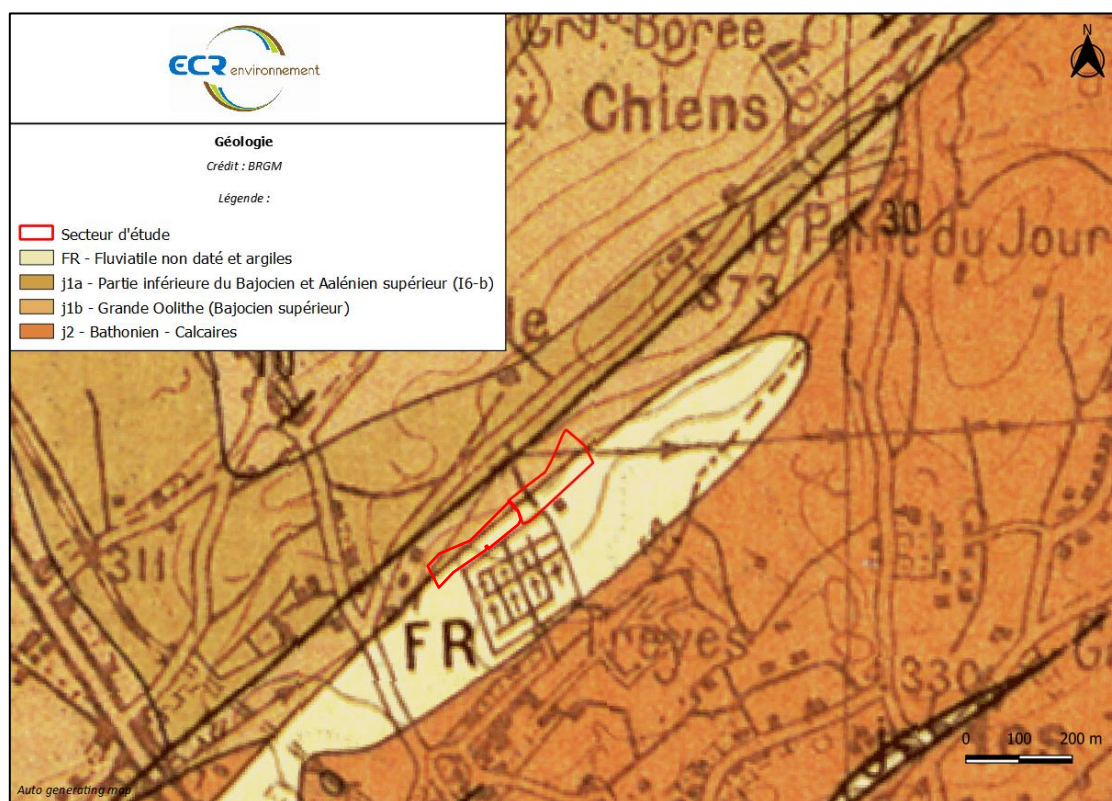


Figure 14 : Extrait de la carte géologique n°502 de Besançon – BRGM

D'un point de vue hydrogéologique les argiles de couvertures présentent de par leur nature intrinsèque un caractère relativement imperméable. Les eaux en contact avec cette formation auront donc plutôt tendance à ruisseler sur le toit de cette dernière plutôt que de s'infiltrer. Les eaux précipitant sur le toit des argiles s'écoulent donc jusqu'à rencontrer une couche plus perméable, une faille ou une zone de dépression géologique capable de stocker une certaine quantité d'eau pouvant ainsi créer une nappe perchée.

Comparativement, les eaux interagissant avec les surfaces calcaires en date du Bathonien et du Bajocien auront une dynamique d'écoulement plus volatile puisqu'elle dépendra principalement du degré de fracturation de ces formations. Plus le niveau de fracturation est élevé, plus la cinétique d'écoulement sera élevée.

Dans ces étages géologiques, les calcaires sont assez compacts, massifs et le plus souvent sublithographiques mais aussi graveleux à leur base et à leur sommet. C'est-à-dire qu'il existe une forte porosité efficace en surface où des écoulements souterrains peuvent se faire au niveau de l'épikarst (zone vadose) avant de d'aller plus en profondeur dans un réseau karstique aux dimensions plus importantes (zone épi noyé).

En se référant aux données issues de la banque du sous-sol (BRGM) relative aux potentielles remontées de nappe(s) - (Cf. Fig 15), le secteur d'étude ne se situe pas en zone potentiellement sujettes aux remontées de nappes. Cette information laisse penser que les écoulements souterrains au droit du site sont principalement d'origines épi karstiques et agissent comme points de branchement vers un réseau karstique plus important alimentant la nappe souterraine. Par conséquent, il reste peu probable que le secteur d'étude soit le siège d'une nappe à faible profondeur (<10 m).

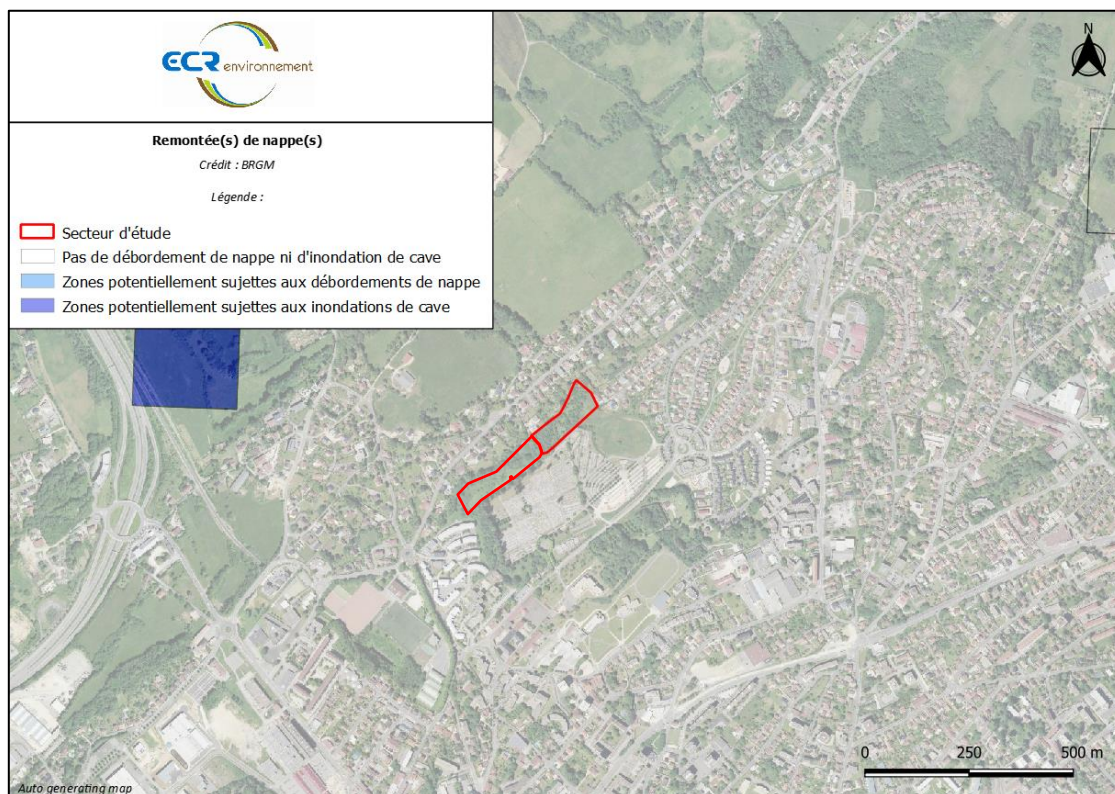


Figure 15 : Cartographie des zones sensibles aux remontées de nappe autour du projet – BRGM

Concernant l'alimentation de l'unité hydrogéologique, cette dernière se fait principalement par les précipitations sur les versants amonts. Les eaux infiltrées traversent donc l'épikarst puis en suivant les pendages, rejoignent un incident géologique majeur (*i.e.* une faille) avant d'atteindre la source de la mouillère située à environ 2 km au Sud du projet (Cf. Fig 16 – Traçages colorimétriques – DREAL BFC).

Sur l'extrait de la carte des traçages colorimétriques, il est possible de remarquer la réalisation d'un traçage (Cabinet Reilé) en date de février 2008 (Moyenne Eaux) situé sur le cimetière existant à environ 30 m au Sud/Ouest de la doline. Il témoigne des propos précités et donne des informations en matière de vitesse de transferts (*s.c.* 83 m/h). Les vitesses de transferts sont élevées et typique d'un écoulement en milieu karstique.

Il convient également de préciser qu'il existe d'autres traçages plus éloignés du projet mais traversant une géologie semblable qui rejoignent le même exutoire.

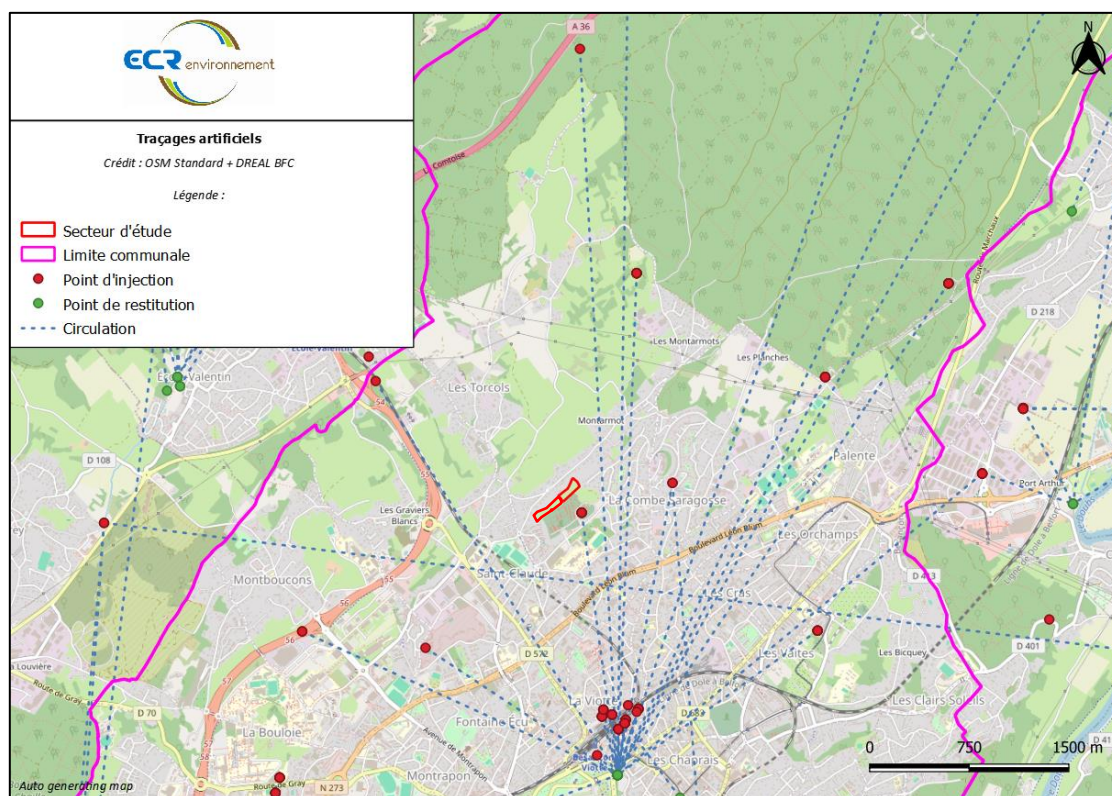


Figure 16 : Traçages artificiels - DREAL BFC

5.5. Risques naturels et technologiques

5.5.1. Sismique (décret n°2010-1255 du 22/10/2010)

La commune de Besançon (25) est située en zone de sismicité 3 (aléa modéré).

5.5.2. Inondation

La commune de BESANCON est concernée par le Plan de Prévention des Risques Inondations du Doubs central prescrit le 04/12/2015 et approuvé par arrêté préfectoral du 09/12/2017.

Toutefois, le projet d'extension du cimetière est situé en dehors du zonage du PPRI et n'est pas concerné par ce plan de prévention.

5.5.3. Captages AEP & Enjeux

D'après l'ARS Franche-Comté et la Banque du sous-sol du BRGM, plusieurs captages d'eau sont recensés à Besançon et dans les communes avoisinantes.

Cependant, aucun captage AEP n'est en activité sur la commune de Besançon. Le plus proche captage est situé à Vaire-Arcier, à plus de 8 km en amont de Besançon (et donc du projet). Il s'agit de la source d'Arcier, pompée par plusieurs stations sur la commune qui alimentent la ville de Besançon.

Le périmètre de protection rapprochée de cette source est très étendu vers l'ouest. Il concerne ainsi une partie de la falaise bordant la rive gauche du Doubs jusqu'à la Citadelle de Besançon.

Les eaux arrivant à l'exutoire (qui proviennent actuellement du cimetière et à terme du projet d'extension) n'entrent donc pas en contact avec l'aire d'alimentation d'un captage d'eau potable limitant ainsi tout risque de pollution avec ces ouvrages. Pour ce qui est du risque sanitaire lié aux activités de baignade et de nautisme, ce dernier sera également limité compte tenu d'une part de la faible activité aquatique sur ce secteur et d'autre part, du tamponnage des eaux potentiellement pollués par les fossés végétalisés et la doline au droit du secteur d'étude.

5.5.4. Mouvement de terrain (glissement, effondrement, éboulement)

D'après le site « carto2.geo » de la DDT 25, le cimetière est cartographié hors zone d'aléa de mouvements de terrain. Toutefois, les parties plus au Sud-Est (carré musulman) et au Nord-Ouest sont identifiées en aléa faible vis-à-vis du risque d'effondrement de cavités. La doline présente sur le site est bien référencée (tout comme 2 autres indices karstiques) – (Cf. Fig 17).



Figure 17 : Extrait de la carte d'indices karstiques et des mouvements de terrain (aléa effondrement) - Carto2.geo (DDT25)

5.5.5. Retrait / gonflement des argiles

D'après le site de prévention des risques majeurs « georisques.gouv.fr », cinq arrêtés de reconnaissance de catastrophe naturelle ont été pris sur la commune de Besançon (25) entre 2006 et 2023 suite à des mouvements de terrains différentiels consécutifs à des sécheresses.

D'après le site du BRGM « infoterre.brgm.fr » le secteur d'étude est classé en zone d'exposition moyenne vis-à-vis du risque de retrait/gonflement des sols argileux (Cf. Fig 18).

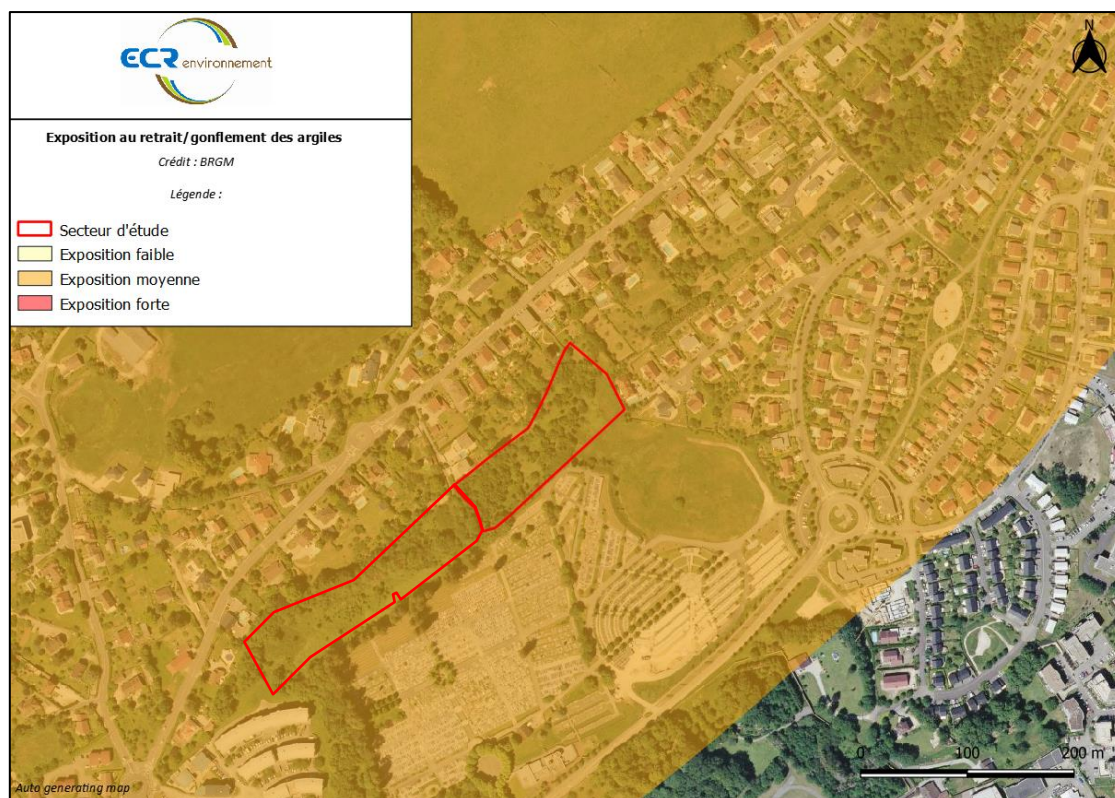


Figure 18 : Exposition au retrait/gonflement des argiles – GEORISQUES

6. RESULTATS DES INVESTIGATIONS

6.1. Nivellement des sondages

La position des sondages et essais figure sur les plans d'implantation des sondages en annexe.

L'implantation a été réalisée au mieux des conditions d'accès, de la précision des plans remis pour la campagne de reconnaissance et de la présence des réseaux enterrés et aériens. Les points de sondages ont été relevés en X et Y et en altimétrie (m NGF) par notre service topographie.

Les cotes altimétriques et planimétriques des sondages sont reportées dans le tableau suivant :

Tableau 7 : Altimétrie des têtes de sondages

Sondage	Coordonnée X (CC47)	Coordonnée Y (CC47)	Cote Z (m NGF)
Sondages pressiométriques			
SP1	1928464.04	6233764.43	335.47
SP2	1928431.62	6233736.58	336.93
SP3	1928437.64	6233743.36	337.01
Sondages destructifs			
SD1	1928462.82	6233780.87	336.08
SD2	1928431.28	6233787.03	339.62
SD3	1928444.28	6233801.26	339.00
SD4	1928421.20	6233767.93	339.60
SD5	1928415.50	6233759.74	339.54
SD6	1928425.01	6233760.02	338.94
SD7	1928430.73	6233750.23	338.20
SD8	1928434.26	6233765.47	338.52
SD9	1928410.49	6233754.54	339.65
SD10	1928417.88	6233748.09	338.73
SD11	1928427.34	6233746.01	337.96
SD12	1928400.93	6233737.34	339.22
Essai d'infiltration			
MA1	1928453.63	6233774.24	336.82
MA2	1928457.87	6233789.55	336.94
MA3	1928391.81	6233700.58	336.94
MA4	1928434.88	6233760.03	338.32
Sondages au pénétromètre dynamique			
PN1	1928467.47	6233769.12	335.28
PN2	1928447.07	6233784.33	338.10
PN3	1928440.28	6233779.81	338.63
PN4	1928426.80	6233770.52	339.34
PN5	1928414.74	6233762.12	339.74
PN6	1928422.46	6233745.49	338.29
PN7	1928395.79	6233715.74	337.80
Sondages à la pelle mécanique			
PM1	1928435.63	6233793.75	339.49
PM2	1928449.00	6233798.85	338.20
PM3	1928408.43	6233733.33	338.12
PM4	1928400.79	6233701.59	336.27
PM5	1928389.11	6233748.87	341.63
PM6	1928441.68	6233806.55	339.78
PM7	1928406.67	6233719.58	337.17
PM8	1928384.92	6233720.76	339.52
PM9	1928393.74	6233733.93	339.82
PM10	1928421.99	6233753.23	338.90

6.2. Lithologie des terrains

Les coupes des sondages sont jointes en annexe. Les profondeurs citées dans le présent rapport ont été mesurées par rapport au niveau du terrain tel qu'il était lors de notre intervention (Décembre 2023).

Les sondages ont permis d'établir la coupe lithologique suivante :

Formation 1 : Terre végétale

Terre végétale argileuse brune rencontrée au droit des sondages sur une faible épaisseur : 10 à 40 cm environ.

Formation 2 : Argiles

Cette formation est constituée :

- ✕ en tête d'argiles ocre brun sans éléments grossiers. Elle a été rencontrée au droit des sondages PM1, PM2, PM5, PM6, PM7, PM8, PM10, PM12, PM13, MA1, SD2 à SD7, SD9 et SD12 de 0.1 / 0.4 à 0.5 / 6.0 m/TA (Terrain Actuel) et jusqu'aux termes des sondages PM1, SD2, SD4, SD6 et SD9 à 3.0 / 6.7 m/TA ;
- ✕ puis d'argiles graveleuses ou à blocs, voire de blocs à matrice argileuse brune. Elle a été rencontrée au droit des sondages SP3, PM2 à PM9, MA2 à MA7, SD8, SD10 et SD11 de 0.3 / 6.0 à 0. / 2.5 m/TA et jusqu'au terme du sondage SD8 à 6.6 m/TA.

Cette formation présente une compacité et des caractéristiques géomécaniques faibles à élevées, fonctions de la teneur en éléments grossiers.

Formation 3 : Substratum calcaire

Cette formation est constituée de calcaires +/- décomprimés. Le calcaire sain correspond à du rocher compact peu décomprimé. La décompression se matérialise sous la forme soit d'une fracturation (rocher friable), soit d'une karstification (remplissages argileux).

6.3. Perméabilité

Sept essais d'infiltration de type Matsuo en injection à niveau variable ont été réalisés au droit des sondages MA1 à MA7 (Cf. *Tableau 4*).

L'implantation et les coupes des sondages ainsi que les feuilles de calculs des essais sont fournies en annexe.

Tableau 8 : Résultats des essais de perméabilité

Essai	Sondage	Profondeur (m/TA)	Lithologie (m/TA)	Perméabilité (m/s)
MA1	MA1	2,50	0,00-1,20 – Argiles ocres sèches 1,20-2,50 – Argiles ocres à blocs	$3,3.10^{-6}$
MA2	MA2	1,40	0,00-0,20 – Terre végétale 0,20-1,00 – Argiles calcaires brunes sombres 1,00 – 1,40 – Blocs calcaires	$1,2.10^{-5}$
MA3	MA3	1,30	0,00-0,20 – Terre végétale 0,20-1,30 – Argiles calcaires brunes sombres 1,30 – Blocs calcaires + Refus	ND
MA4	MA4	2,50	0,00-0,50 – Terre végétale 0,50-2,50 – Argiles ocres à cailloux	$1,1.10^{-5}$
MA5	MA5	0,95	0,00-0,150 – Terre végétale 0,15-0,95 – Argiles ocres à cailloux	$1,8.10^{-5}$
MA6	MA6	1,80	0,00-0,25 – Terre végétale 0,25-1,80 – Argiles ocres de décalcification	$9,1.10^{-6}$
MA7	MA7	1,95	0,00-0,25 – Terre végétale 0,25-1,95 – Argiles ocres à cailloux	$6,1.10^{-5}$

ND = Non déterminé

Il ressort que le niveau de perméabilité moyen mesuré est de l'ordre de 10^{-5} m/s. Cette valeur est plus élevée en présence de zones plus denses en cailloutis calcaires.

6.4. Inventaire des points d'eau autour du site

Un inventaire des usages des eaux souterraines a été réalisé à partir :

- ✕ des données figurant dans la Banque de données du sous-sol (BSS),
- ✕ d'un repérage autour du site du projet le 27/01/24.

Aucun point d'eau n'est signalé dans la BSS dans un rayon d'un kilomètre autour du projet ainsi qu'en aval hydraulique de ce dernier. De même qu'aucun puits n'a été observé à proximité du secteur d'étude.

L'ensemble des secteurs d'habitat entourant le projet et en aval de ce dernier est desservi par le réseau d'adduction d'eau potable.

Aucune source ou écoulement n'a été observé en amont ou en aval du projet.



7. FAISABILITE D'EXTENSION DU CIMETIERE

7.1. Critères topographiques

Le terrain présente une pente moyenne de l'ordre de 11%, dans la zone susceptible de recevoir des tombes, soit une déclivité supérieure aux recommandations mentionnées dans le document du conseil d'hygiène publique de France qui préconise l'installation des cimetières sur des pentes comprises entre 5 à 7%.

De plus, les résultats des sondages géotechniques SP3, SD4, SD5, SD6, SD8, SD9, SD12 mettent en avant la présence de zones à faible teneur en calcaires (argiles de décalcification) qui sont des zones propices à la stagnation d'eau et par conséquent présentent un risque d'instabilité pour les futurs ouvrages funéraires.

Il conviendra donc de prévoir dans ces zones, la mise en place d'un système de collecte et de drainage des eaux de ruissellement. La mise en place de banquettes en amont hydraulique peut également être un moyen efficace de collecter et véhiculer les eaux de ruissellement vers le talweg présenté plus haut dans ce document.

7.2. Critères géologiques

7.2.1. Aptitude au creusement des terrains superficiels

Les sols rencontrés sont bien souvent des sols présentant des calcaires compacts difficiles à creuser. C'est le cas notamment pour les sondages SP1, SP2, SD1, SD3, SD10, PN1, PN2, PN5 et PN7 où les calcaires sont peu décomprimés et proches de la surface (Toit des calcaires compris entre 0,10 et 2,90) - (Cf. Etude géotechnique ECR Environnement référencée 2503220).

Dans le cas de caveaux maçonnés, une profondeur de 1,40 m de profondeur peut suffire pour la superposition de deux corps mais au-delà, il sera préférable de positionner les ouvrages funéraires là où les calcaires sont moins compacts.

7.2.2. Qualité des terrains

Dans le cas de tombes en pleine terre, les terrains doivent présenter une porosité et une perméabilité suffisantes pour permettre l'oxydation des matières organiques. Ils doivent pouvoir favoriser la circulation de l'air et la percolation de l'eau, sans qu'elles ne stagnent en fond de fosse.

Les investigations ont mis en évidence une **hétérogénéité des terrains avec notamment de faibles porosité et perméabilité sur l'ensemble du terrain.**



Les positions des tombes en pleine terre devront être positionnées en priorité là où les valeurs de perméabilité et de porosité mesurés sont les plus élevées.

7.3. Critères hydrologiques

Concernant la gestion des eaux pluviales, il conviendra :

- ✘ D'assurer la collecte et l'évacuation des eaux superficielles en bordure amont de l'extension du cimetière ;
- ✘ De vérifier le bon dimensionnement du busage qui longe la zone d'extension sur ses cotés Est et qui assure l'évacuation des eaux en direction de la doline ;
- ✘ De vérifier périodiquement l'état et le bon fonctionnement de ce busage.

7.4. Critères hydrogéologiques

7.4.1. Evaluation du rôle épurateur des terrains

La réglementation impose une hauteur minimale de 1 m entre le niveau des plus hautes eaux souterraines et le fond des excavations (article R2223-2 du code général des collectivités territoriales, modifié par le décret n°2011-121 du 28 janvier 2011).

Bien qu'aucun suivi piézométrique n'ait eu lieu sur le secteur d'étude ou à proximité de ce dernier, il semble (d'après les données bibliographiques des sections précédentes) qu'il n'existe pas de nappe à faible profondeur. La base des tombes pourra aller jusqu'à la profondeur mentionnée par le guide du conseil d'hygiène publique de France, soit 2,4 à 2,7 m de profondeur pour 3 corps superposés.

7.4.2. Protection des eaux

✘ Ouvrages privés de captages des eaux

Le cimetière et son extension se trouve à plus de 35 mètres d'habitations et de tout captage utilisé pour l'alimentation en eau potable

✘ Captage publics d'eau potable

Les eaux souterraines contenues dans le sous-sol au droit et en aval du site constituent une ressource de faible capacité de production insuffisante pour un captage d'adduction d'eau publique.



Le site est en dehors de tout périmètre de protection de captage public d'eau potable souterraine ou superficielle. Le captage d'eau potable le plus proche est celui de la Source d'Arcier déclaré d'utilité publique. Il se situe à 8 km à l'Ouest du projet. Ce captage ne peut donc pas être impacté par le projet.

7.5. Aspect hygiène publique

L'article R.2223-5 du Code général des collectivités territoriales impose un délai minimal de 5 ans pour la récupération des tombes en pleine terre. Un tel délai est compatible avec des terrains sains, secs, poreux et perméables.

Dans des terrains comme ceux rencontrés, la durée nécessaire pour une complète disparition des cercueils et des corps peut être plus importante et peut atteindre de l'ordre de dix à quinze ans.

A noter également que le recours à des traitements de conservation des corps ainsi que la nature du bois du cercueil influencent le délai de décomposition. Les cercueils en chêne nécessitant une période de destruction plus longue, il est préférable d'opter pour des cercueils en bois léger.

Une attention particulière devra être apportée à la nature et à la qualité de mise en œuvre des remblais apportés pour la réhausse du sol. La réalisation de tombes en pleine terre n'y sera possible que sous réserve que le remblai mis en œuvre ait une porosité et une perméabilité adaptées. Pour cela il faudra opter pour des matériaux de type arène granitique, sables limoneux ou limon sableux et proscrire les sols argileux.

8. PREMIERE CONCLUSION

Le site retenu pour le projet d'extension du cimetière Saint Claude ne présente pas contrainte hydrogéologique majeur. Il sera cependant judicieux de positionner les ouvrages funéraires en tenant compte des contraintes de creusement et de déclivité notamment.



9. PRECONISATIONS RELATIVES A LA GESTION DES EAUX PLUVIALES

D'après l'examen des conditions géologiques/hydrogéologiques et des sondages réalisés au droit du cimetière, il ressort que des écoulements surfaciques et dans une moindre mesure, souterrains vont interagir avec les futurs ouvrages funéraires du projet.

En effet, le caractère plus ou moins imperméable des terrains, associés à une déclivité moyenne de l'ordre de 11% tendent à favoriser l'apparition de zones de débordement pouvant porter préjudice à l'intégrité des structures funéraires et diminuer la vitesse de dégradation des corps.

C'est pourquoi, une attention particulière devra être portée sur la position des ouvrages funéraires mais aussi et surtout sur la mise en place de dispositifs de gestion des eaux pluviales :

✕ Pour le secteur Est (Bassin versant 1) : La mise en place d'ouvrages de rétention/infiltration de type tranchée/noue avec surverse de sécurité seront aménagées pour collecter des zones spécifiques (délimitation de sous bassins versants).

✕ Pour le secteur Ouest (Bassin versant 2) : La mise en place d'une noue ou d'une tranchée de rétention/infiltration pourra être positionnée en aval hydraulique de sorte à collecter l'intégralité des eaux de ruissellement provenant des nouveaux aménagements de ce bassin versant.

Pour chaque secteur, les eaux s'écouleront gravitairement jusqu'aux ouvrages proposés en suivant les courbes de niveau avant d'y être entièrement infiltrées. Des drains, disposés transversalement ou longitudinalement par rapport aux futurs murs de soutènement ou pistes, pourront être installés afin de garantir une transparence hydraulique comparable à celle de l'état initial.

Un plan de principe est présenté plus loin dans ce document.

10. DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES DE GESTION EP

10.1. Plan Local d'Urbanisme et autres documents d'urbanisme

Le cimetière et son extension sont inclus dans le zonage du PLU de la commune de Besançon. Il est implanté sur une zone N dite naturelle. Ce type de zones correspond selon le PLU, aux espaces à caractère naturel à mettre en valeur et à protéger en raison de la qualité des sites, des milieux naturels et des paysages. (Cf. Fig 19).

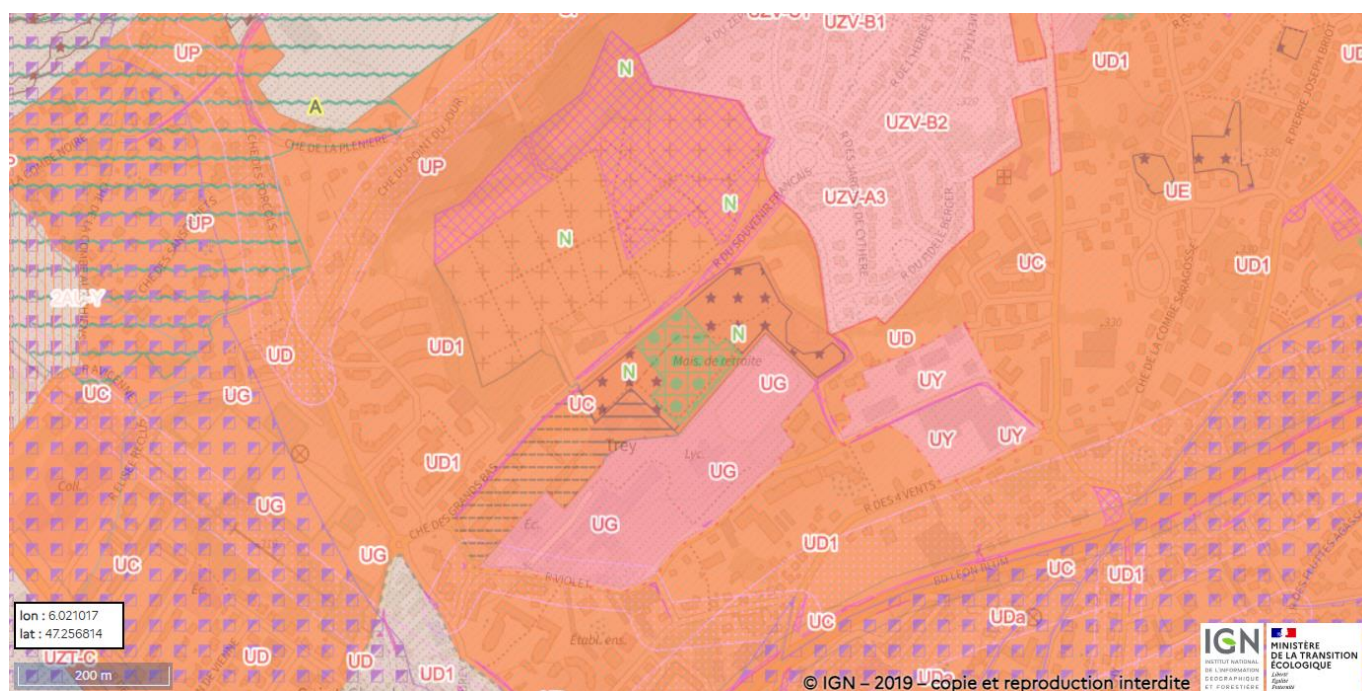


Figure 19 : Extrait du PLU de Besançon – Géoportail de l'urbanisme

En matière de gestion des eaux pluviales la législation mentionne les éléments suivants :

Extrait du PLU de la commune de Besançon, annexes sanitaires :

« 4.1. Principe général

Les eaux pluviales nouvellement collectées à l'échelle des parcelles privées ne sont pas admises directement dans le réseau d'assainissement. Les eaux pluviales actuellement collectées par le réseau public d'égout de type unitaire sont tolérées, mais ne doivent pas être amplifiées. Des emplacements sont localisés pour la construction d'ouvrages de régulation des effluents par temps de pluie.

4.2.1. Infiltration

Les eaux pluviales des toitures sont infiltrées directement dans les terrains, par tous dispositifs appropriés. Les eaux issues des parkings et voiries privés sont débouées et déshuilées avant infiltration à la parcelle dans le milieu

Affaire 2503429 - EH - Ville de Besançon

Besançon (25)

Janvier 2025 - v3

Page 32

naturel. L'obligation de traitement préalable concerne les parkings d'une taille supérieure à 20 places pour véhicules légers, ou 10 places de véhicules types poids lourds. Les séparateurs à hydrocarbures sont de classe A, à obturation automatique avec rétention des hydrocarbures, et permettent de garantir un rejet inférieur à 5 mg/l en hydrocarbures. Les dispositifs de traitement sont dimensionnés pour l'orage décennal.

4.2.2. Stockage-restitution à débit régulé

Dans le cas où l'infiltration du fait de la nature du sol ou de la configuration de l'aménagement nécessiterait des travaux disproportionnés, les eaux pluviales des parcelles sont stockées avant rejet à débit régulé dans le réseau d'assainissement. Le stockage et les ouvrages de régulation sont dimensionnés de façon à limiter à 20 l/s par ha de terrain aménagé le débit de pointe ruisselé. La capacité de stockage est établie pour limiter ce débit de restitution pour une pluie d'intensité de 28,7 mm en 60 mn. Si le stockage est effectué dans le sol au moyen de matériau de porosité contrôlée, la vidange de restitution du stockage à l'égout est munie d'un clapet de protection contre les reflux d'eau d'égout. La mise en œuvre de ces dispositions nécessite une étude hydraulique à fournir par les maîtres d'œuvre avec les projets d'aménagement et de construction : cette étude, dont l'ampleur et la complexité sont proportionnelles aux surfaces aménagées, est exigée avec tout projet de Z.A.C., de demande de permis de lotir et de permis de construire. Les modalités pratiques sont étudiées au cas par cas en coordination avec les Services Techniques Municipaux. »

10.2. Hypothèses de dimensionnement

10.2.1. Surface active de l'extension du cimetière

Le dimensionnement des ouvrages requiert l'évaluation des futures surfaces imperméabilisées et coefficients de ruissellement inhérent à ces surfaces. Le tableau ci-dessus évalue, à partir du plan de composition de l'extension du cimetière, les surfaces actives considérées dans le cadre de cette étude (Cf. Tableau 9).

Tableau 9 : Estimation de la surface active du projet

Impluvium	Surface totale estimée (m ²)	Coefficient de ruissellement	Surface active (m ²)
Bv1 (secteur Est)			
Chemin gravier	2474	0,5	1481
Tombes	1630	0,6*	978
Bv2 (secteur Ouest)			
Chemin gravier	1481	0,5	740,5
Total	5585	-	2955,5

*Les coefficients de ruissellement pourront être plus précis dès lors que les surfaces mises en jeu seront plus détaillées. Ici, le coefficient de ruissellement est minoré à 0,6 afin de tenir compte de l'espace inter-tombes.



La surface active totale (théorique) du projet d'extension s'estime à environ 2955,5 m².

10.3. Période de retour

La période de retour définie pour le dimensionnement des ouvrages est de 20 ans.

10.4. Coefficients de Montana

Pour le calcul des intensités de pluie, nous prenons en compte les coefficients de Montana de la station de Besançon à partir des données pluviométriques de la station du même nom, recueillies entre 1985 et 2018. Les données présentées dans le tableau ci-après concernent une période de retour de 20 ans (Cf. *Tableau 10*).

Intensité de pluie : $I = a.t^{-b}$

Tableau 10 : Coefficient de montana de la station de Besançon pour une pluie de période 20 ans – Météo France

Station	6 à 30 min		30 à 360 min	
	a	b	a	b
BESANÇON (T = 20 ans)	5,412	0,458	15,804	0,771

10.5. Débit de rejet

Les débits de rejet des ouvrages seront équivalents au débit d'infiltration, calculé comme le produit de la perméabilité par la surface d'infiltration. Les eaux pluviales seront traitées exclusivement pas infiltration. Aucun raccordement sur un quelconques réseau ne sera réalisé.



10.6. Volume à mobiliser

10.6.1. Secteur Est

Les volumes à mobiliser par secteurs ont été estimés à partir de sous bassins versants de sorte à assurer une infiltration diffuse sur la parcelle. Les volumes à mobiliser pour chaque ouvrage proposés (correspondant à un bassin versant spécifiques) sont identifiés dans les tableaux ci-après (Cf. *Tableau 11 et 12*).

Tableau 11 : Volume utile requis pour gérer les eaux du cimetière (Secteur Est) – T = 20 ans

Période de défaillance admissible	20 ans
Ouvrage 1 (tranchée d'infiltration)	8,7
Ouvrage 2 (tranchée d'infiltration)	5,9
Ouvrage 3 (tranchée d'infiltration)	5,6
Ouvrage 4 (tranchée d'infiltration)	16,6
Ouvrage 5 (tranchée d'infiltration)	2,1
Ouvrage 6 (tranchée d'infiltration)	10,3
Ouvrage 7 (Noue d'infiltration)	37,0

10.6.2. Secteur Ouest

Tableau 12 : Volume utile requis pour gérer les eaux du cimetière (Secteur Est) – T = 10 et 20 ans

Période de défaillance admissible	20 ans
Ouvrage 8 (tranchée d'infiltration)	12,3
Ouvrage 9 (tranchée d'infiltration)	14,3

10.7. Solutions proposées

Il est donc proposé d'implanter plusieurs ouvrages d'infiltration sous espaces verts, conçu pour collecter et infiltrer les eaux issues des surfaces imperméabilisées provenant de sous bassins versants spécifiques conditionnés par la topographie et la présence de limite à flux nul (mur de soutènement) – (Cf. Plan de principe).



Au total, neuf ouvrages de type noue et tranchées d'infiltration sont proposés.

10.7.1. Tranchée d'infiltration

Les ouvrages seront constitués de graves de type 40/80, avec une faible proportion de fines et des galets, présentant une porosité supérieure à 30%. Ces matériaux seront enveloppés dans un géotextile non tissé d'environ 100 g/m² et alimentés par des drains d'épandage de type épandrain de 200 mm, positionnés en tête de l'ouvrage. Le tout sera recouvert de 0,30 m de terre végétale.

Un regard de décantation pourra être installé en amont du bassin, avec une alimentation par surverse, par exemple via un coude plongeant, afin de retenir les déchets et autres éléments flottants. Il est également recommandé d'installer un regard visitable à chaque extrémité des drains pour faciliter l'entretien et le contrôle.

En cas de fortes précipitations, les ouvrages proposés pourront être dotés de surverse de sécurité, dirigeant l'excédent d'eau vers une zone d'écoulement de moindre ou un autre ouvrage (cf. Schéma d'aménagement pluvial).

Un bloc diagramme est présenté ci-après (Cf. Fig. 20 + Tableau 13).

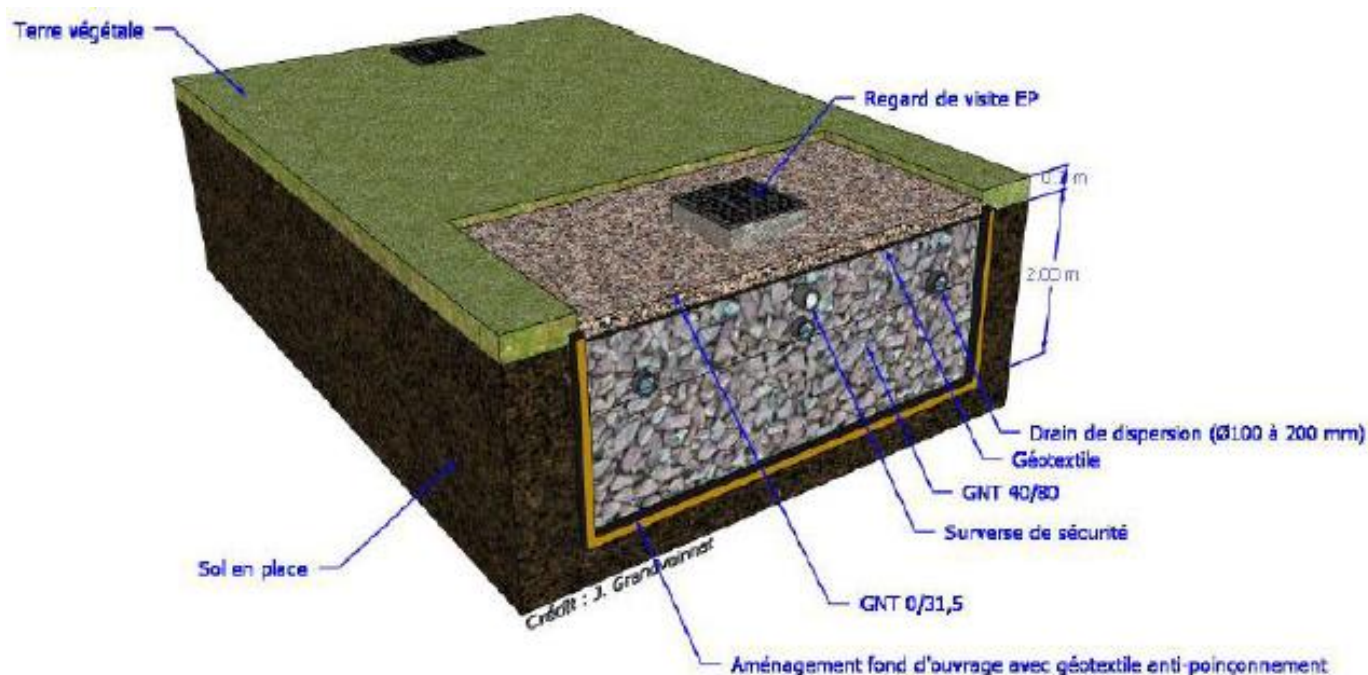


Figure 20 : Bloc diagramme d'une tranchée d'infiltration- ECR Environnement

10.7.2. Noue d'infiltration

Dans le secteur Est, il est proposé de mettre en place une noue paysagère double vidange. Ce type de noue combine l'infiltration gravitaire et le rejet par trop plein. Le dispositif d'évacuation sera placé à une hauteur permettant de stocker les 15 premiers millimètres de pluie dans la noue.

La surface des noues peut être végétalisée, engazonnée, plantée, renforcée (dalle gazon), revêtue (pavé à joint infiltrant, pavés poreux, ...). Elle peut se voir complétée par des plantes semi-aquatiques (massettes, roseaux, iris, etc.), capables d'assurer un pouvoir remédiateur dans la dépollution des eaux de ruissellement potentiellement polluées. Un bloc diagramme est présenté ci-après (Cf. Fig 21).

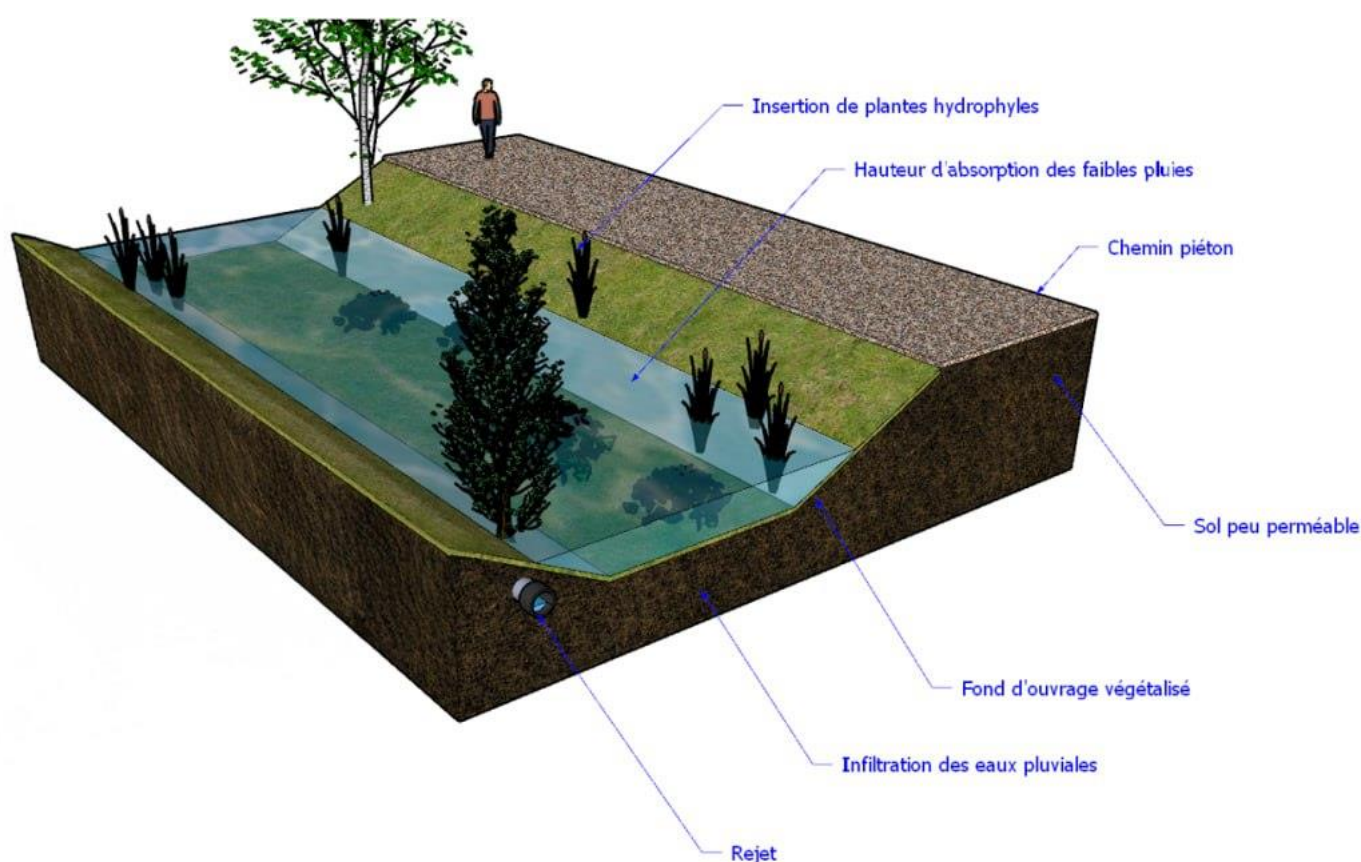


Figure 21 : Bloc diagramme d'une noue d'infiltration - ECR Environnement

Les pages suivantes mettent en avant les caractéristiques des ouvrages proposés pour chaque secteur et sous bassins versants. Les sous bassins versants sont également mis en évidence sur le plan de composition (Cf. Tableau 13 + Figure 22).

Tableau 13 : Caractéristiques des ouvrages d'infiltration proposés - ECR Environnement

Secteur	Ouvrage	Larg. (m)	Long. (m)	Prof. (m)	H. infil. (m)	H. stockage aval (m)	H. stockage amont (m)	Surf. infil. (m ²)	Vol. utile (m ³)
Est	Ouvrage 1 (tranchée)	0.8	51	1.1	0.8	-	-	92.42	44.88
	Ouvrage 2 (tranchée)	0.8	25	1.3	1	-	-	57.28	26.00
	Ouvrage 3 (tranchée)	0.8	37	1.2	0.9	-	-	75.74	7.99
	Ouvrage 4 (tranchée)	0.8	110	1.2	0.9	-	-	222.91	23.76
	Ouvrage 5 (tranchée)	0.8	20	1.3	1	-	-	46.08	4.80
	Ouvrage 6 (tranchée)	0.8	40	1.5	1.2	-	-	109.06	11.52
	Ouvrage 7 (noue)	6	50	1	0.7	0.7	0.8	200	65.65
Ouest	Ouvrage 8 (tranchée)	0.8	103	1	0.7	-	-	162.4	17.30
	Ouvrage 9 (tranchée)	0.8	56	1.5	1.2	-	-	152.06	16.13

10.8. Surverse

Des surverses de sécurité pourront être dirigées vers des zones dites à moindre dommage ou des ouvrages situés en aval hydraulique, de sorte à ne pas créer de problématique d'inondation en cas d'épisode pluvieux d'intensité supérieure à la récurrence 20 ans.



10.9. Drainage et remblaiements périphériques

Pour la pérennité des ouvrages, on conseillera de protéger toutes les parties enterrées contre les infiltrations d'eau au moyen d'un dispositif drainant (ex : drains périphériques réalisés selon les règles de l'art). On appliquera également un dispositif d'étanchéité type enduit bitumineux ou autres produits hydrofuges, béton cristallisé, etc.

Le remblaiement autour des ouvrages et le drainage périphérique seront réalisés suivant les recommandations du DTU 20.1. Le drainage périphérique devra faire l'objet d'un entretien régulier pour assurer son bon fonctionnement dans le temps.

Les ouvrages et canalisations devront avoir des regards visitables à chaque changement de directions. Si l'exutoire ne peut être gravitaire, une pompe de relevage sera mise en place.

11. REMARQUES IMPORTANTES

Bien que non pris en compte dans le dimensionnement des drains, le fond des ouvrages doit être maintenu le plus perméable. Lors de la phase de travaux, il s'agira de veiller à ne pas compacter les surfaces de fond.

Lors du remblaiement, les matériaux d'apports doivent être sains et présenter une perméabilité supérieure à celle mesurée lors de l'étude.

12. PRESCRIPTIONS RELATIVES AU PHENOMENE DE RETRAIT GONFLEMENT DES ARGILES

Les préconisations suivantes sont données à titre d'information pour des ouvrages ancrés dans les formations argileuses sujettes au phénomène de retrait / gonflement des sols.

L'arrêté du 22 juillet 2020 relatif aux techniques particulières de construction dans les zones exposées au phénomène de mouvement de terrain différentiel consécutif à la sécheresse et à la réhydratation des sols fait état pour tous les bâtiments dont les fondations sont ancrées dans les argiles, des prescriptions suivantes :

Compte tenu de la sensibilité élevée des sols supports de fondation au phénomène de retrait / gonflement (argiles potentiellement gonflantes et rétractables), les dispositions particulières suivantes seront prises pour éviter toute variation de la teneur en eau au niveau des sols d'assise et pour permettre à la structure de s'adapter aux déformations :

- Réaliser des fondations coulées pleine fouille sur toute leur hauteur pour éviter toute infiltration préférentielle dans le remblai des fouilles ;

- Éloigner au maximum les arbres et arbustes des constructions (distance minimale de 1,5 fois la hauteur adulte de l'arbre ou de l'arbuste) ;
- Protéger les fondations par la mise en œuvre d'un revêtement étanche sur le pourtour de la construction (minimum 1.50 m).

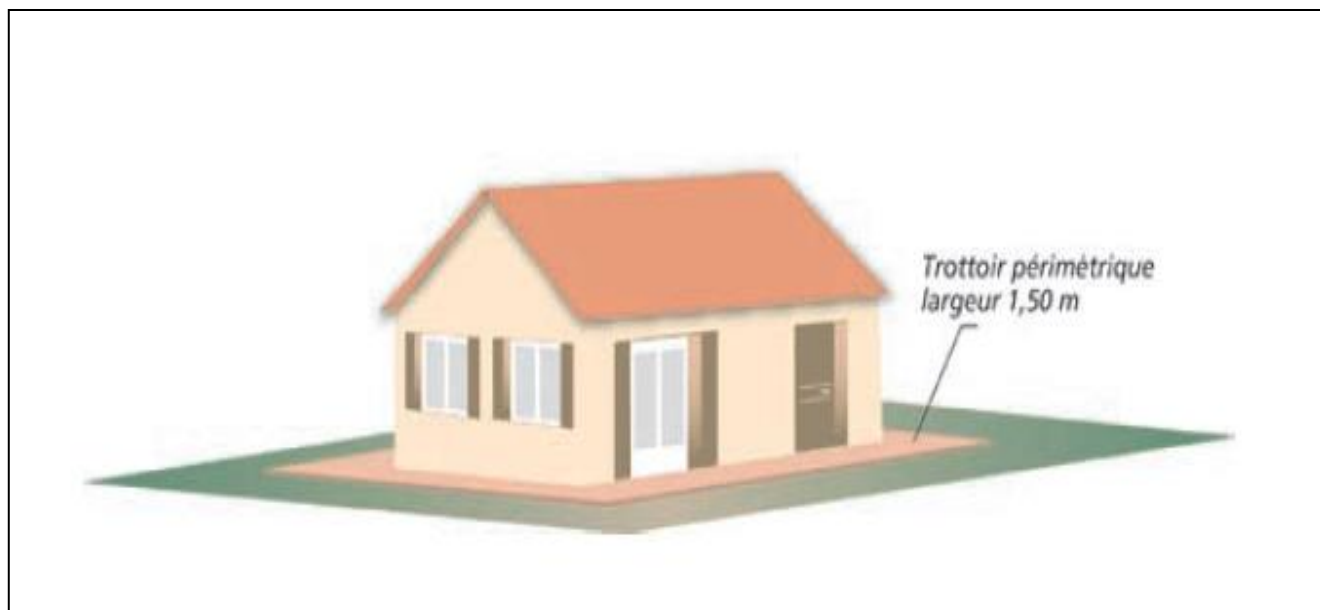


Figure 22 : Schéma du principe de la ceinture étanche

- L'étanchéité pourra être assurée, soit par la réalisation d'un trottoir périphérique (selon les possibilités en fonction de l'implantation du bâtiment et de la mitoyenneté), en béton ou tout autre matériau présentant une étanchéité suffisante, soit par la mise en place sous la terre végétale d'une géomembrane enterrée. Cette dernière doit être raccordée aux façades par un système de couvre-joint, et être projetée par une couche de forme sur laquelle peut être mis en œuvre un revêtement adapté à l'environnement (pavés, etc). Pour être pleinement efficace, le dispositif d'étanchéité doit être mis en œuvre sur la totalité du pourtour de la construction. Le non-respect de ce principe est de nature à favoriser les désordres.
- Mettre un système de drainage indépendant et éloigné des fondations (distance minimum de 2.0 m). En effet, les apports d'eau provenant des terrains environnants (eaux de ruissellements superficiels ou circulations souterraines), contribuent au phénomène de retrait/gonflement des argiles en accroissant les variations localisées d'humidité. La collecte et l'évacuation de ces apports permettent de minimiser les mouvements différentiels du sous-sol.

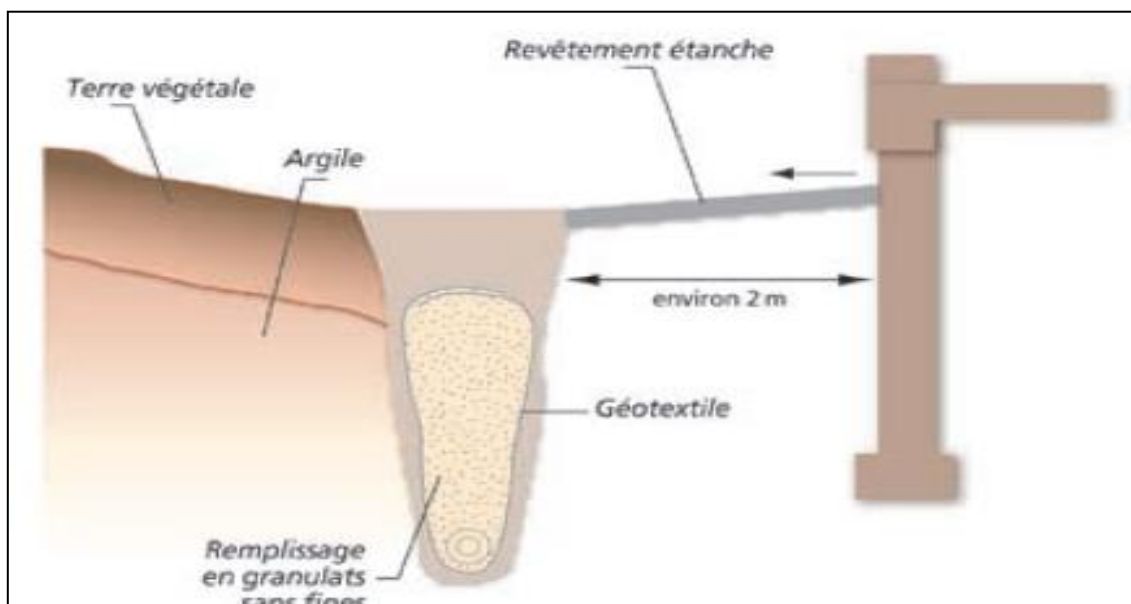


Figure 23 : Schéma du principe du dispositif de drainage périphérique de la maison

Le dispositif consiste en un réseau de drains (ou tranchées drainantes) ceinturant la construction ou, dans les terrains en pente, disposés en amont de celle-ci. Les volumes collectés sont dirigés aussi loin que possible de l'habitation. Le réseau est constitué de tranchées remplies d'éléments grossiers (protégés du terrain par un géotextile), avec en fond de fouille une canalisation de collecte et d'évacuation (de type drain routier) répondant à une exigence de résistance à l'écrasement.

Idéalement, les tranchées descendent à une profondeur supérieure à celle des fondations de la construction, et sont disposées à une distance minimale de 2 m du bâtiment. Ces précautions sont nécessaires afin d'éviter tout impact du drainage sur les fondations.

Les règles de réalisation des drains sont données par le DTU 20.1.

- Éviter tout épandage d'eau aux abords des fondations. En l'absence de réseau collectif dans l'environnement proche du bâti, il convient de respecter une distance d'une quinzaine de mètres entre le bâtiment et le point de rejet ;
- Etanchéfier les canalisations enterrées de façon à éviter les variations localisées d'humidité. Il convient de s'assurer de l'absence de fuites au niveau des réseaux souterrains « humides ». Ces fuites peuvent en effet résulter des mouvements différentiels du sous-sol occasionnés par le phénomène.

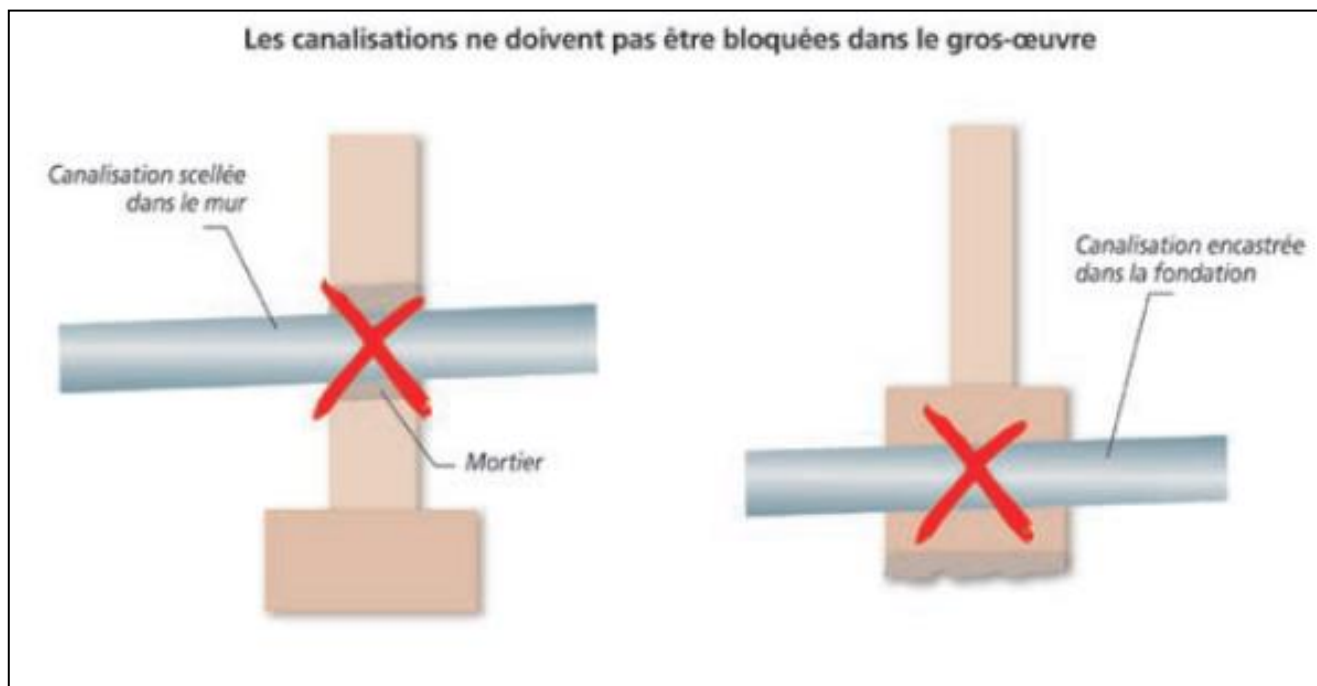


Figure 24 Schéma du principe de pose des canalisations

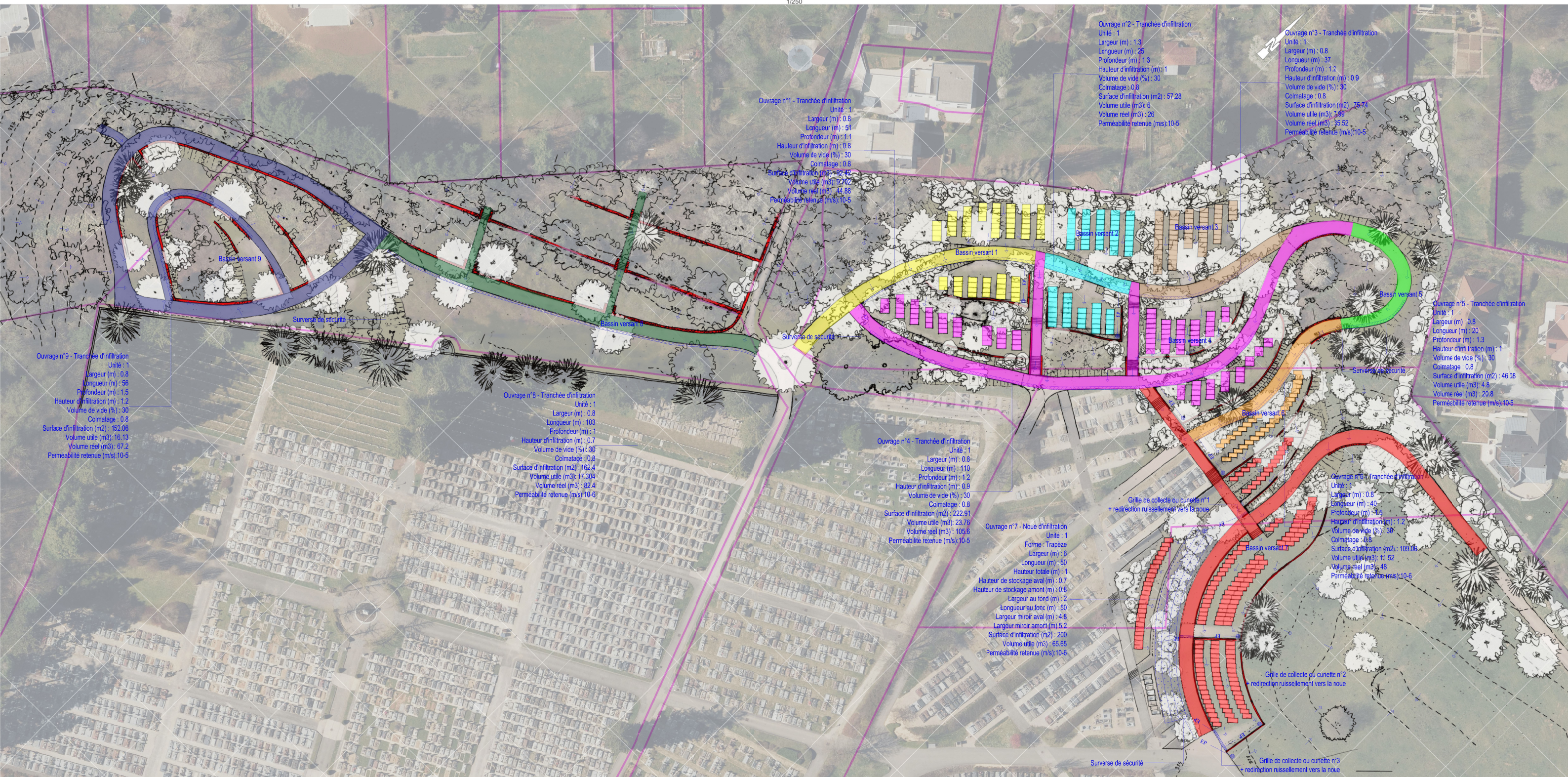
Les canalisations seront réalisées avec des matériaux non fragiles (c.à.d. susceptibles de subir des déformations sans rupture). Elles seront aussi flexibles que possibles, de façon à supporter sans dommage les mouvements du sol.

De façon à ce que les mouvements subis par le bâti ne se transmettent pas aux réseaux, on s'assurera que les canalisations ne soient pas bloquées dans le gros œuvre, aux points d'entrée dans le bâti.

Les entrées et sorties des canalisations du bâtiment s'effectueront autant que possible perpendiculairement par rapport aux murs. De plus, autant que faire se peut, on évitera de faire longer le bâtiment par les canalisations de façon à limiter l'impact des fuites occasionnées, en cas de rupture, sur les structures proches. Il est souhaitable de réaliser de façon régulière des essais d'étanchéité de l'ensemble de réseaux humides.

13. CONCLUSION

En guise de conclusion, un plan schématique des ouvrages est présenté ci-après. La géométrie et, dans une moindre mesure, leurs positions pourront légèrement évoluer dès lors que les volumes et les surfaces présentés dans ce document sont respectés.



Annexe 1

Résultats des investigations



Affaire N° 2503220 Echelle 1/500

PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES

Cimetière de St-Claude - BESANCON (25)



Agence de Besançon
92 Rue de l'Esplanade Ouest
25220 - THISE
Tél : 03 81 80 27 10

Liste des points des sondages - Coordonnées RGF93-CC47			
MAT	X	Y	ALT
MA.1	1928453.63	6233774.24	336.822
MA.2	1928457.87	6233789.55	336.938
MA.3	1928391.81	6233700.58	336.944
MA.4	1928434.88	6233760.03	338.323
PM.1	1928435.63	6233793.75	339.485
PM.2	1928449.00	6233798.85	338.197
PM.3	1928408.43	6233733.33	338.122
PM.4	1928400.79	6233701.59	336.269
PM.5	1928389.11	6233748.87	341.627
PM.6	1928441.68	6233806.55	339.778
PM.7	1928406.67	6233719.58	337.170
PM.8	1928384.92	6233720.76	339.522
PM.9	1928393.74	6233733.93	339.816
PM.10	1928421.99	6233753.23	338.896
PN.1	1928467.47	6233769.12	335.281
PN.2	1928447.07	6233784.33	338.097
PN.3	1928440.28	6233779.81	338.625
PN.4	1928426.80	6233770.52	339.337

Liste des points des sondages - Coordonnées RGF93-CC47			
MAT	X	Y	ALT
PN.5	1928414.74	6233762.12	339.742
PN.6	1928422.46	6233745.49	338.285
PN.7	1928395.79	6233715.74	337.801
SD.1	1928462.82	6233780.87	336.081
SD.2	1928431.28	6233787.03	339.618
SD.3	1928444.28	6233801.26	339.00
SD.4	1928421.20	6233767.93	339.597
SD.5	1928415.50	6233759.74	339.535
SD.6	1928425.01	6233760.02	338.942
SD.7	1928430.73	6233750.23	338.019
SD.8	1928434.26	6233765.47	338.520
SD.9	1928410.49	6233754.54	339.654
SD.10	1928417.88	6233748.09	338.726
SD.11	1928427.34	6233746.01	337.957
SD.12	1928400.93	6233737.34	339.221
SP.1	1928464.04	6233764.43	335.471
SP.2	1928431.62	6233736.58	336.925
SP.3	1928437.64	6233743.36	337.008



Ville de Besançon
Extension du cimetière Saint-Claude
BESANCON (25)

Contrat 2503220

Date : 19/12/2023

Cote NGF : 335.47 m

Machine : Comacchio GEO 205

Profondeur : 0,00 - 6,00 m

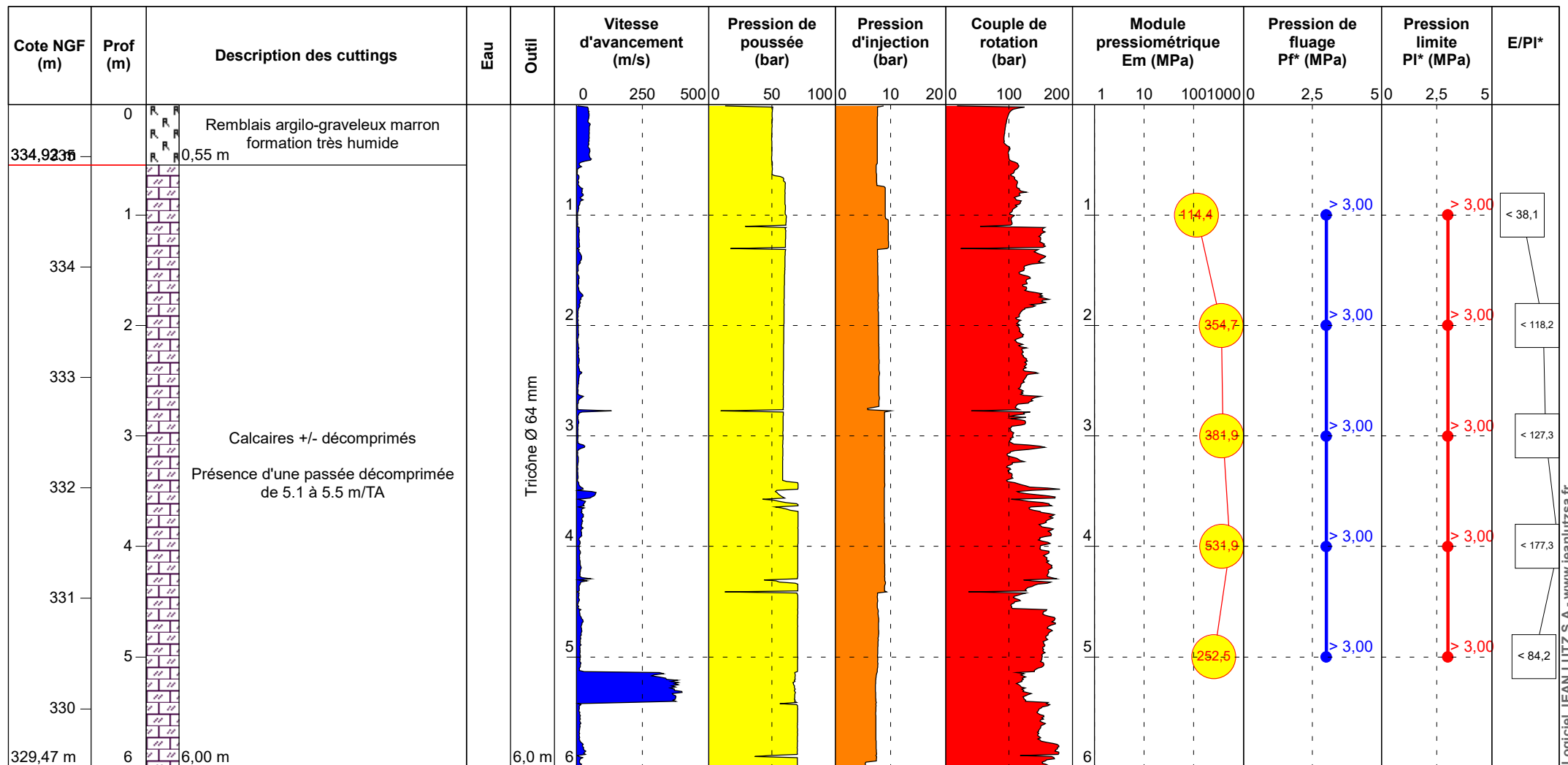
X : 1928464.04

Y : 6233764.43

1/50

Forage : SP1

EXGTE 3.20/LB2EPF584FR





Ville de Besançon
Extension du cimetière Saint-Claude
BESANCON (25)

Contrat 2503220

Date : 21/12/2023

Cote NGF : 336.93 m

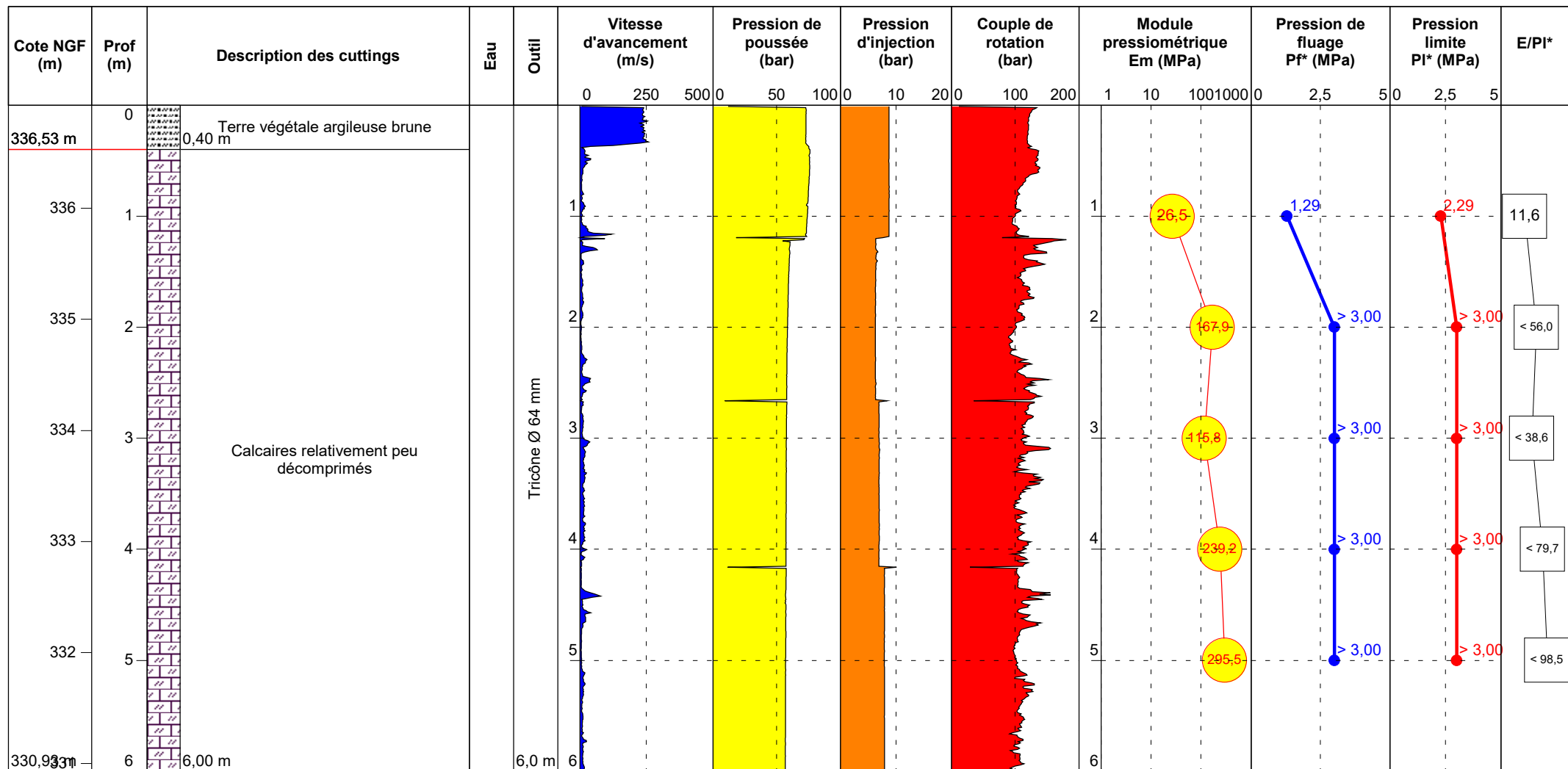
Profondeur : 0,00 - 6,00 m

Machine : Comacchio GEO 205

1/50

Forage : SP2

EXGTE 3.20/LB2EPF584FR





Ville de Besançon
Extension du cimetière Saint-Claude
BESANCON (25)

Contrat 2503220

Date : 20/12/2023

Cote NGF : 337.01 m

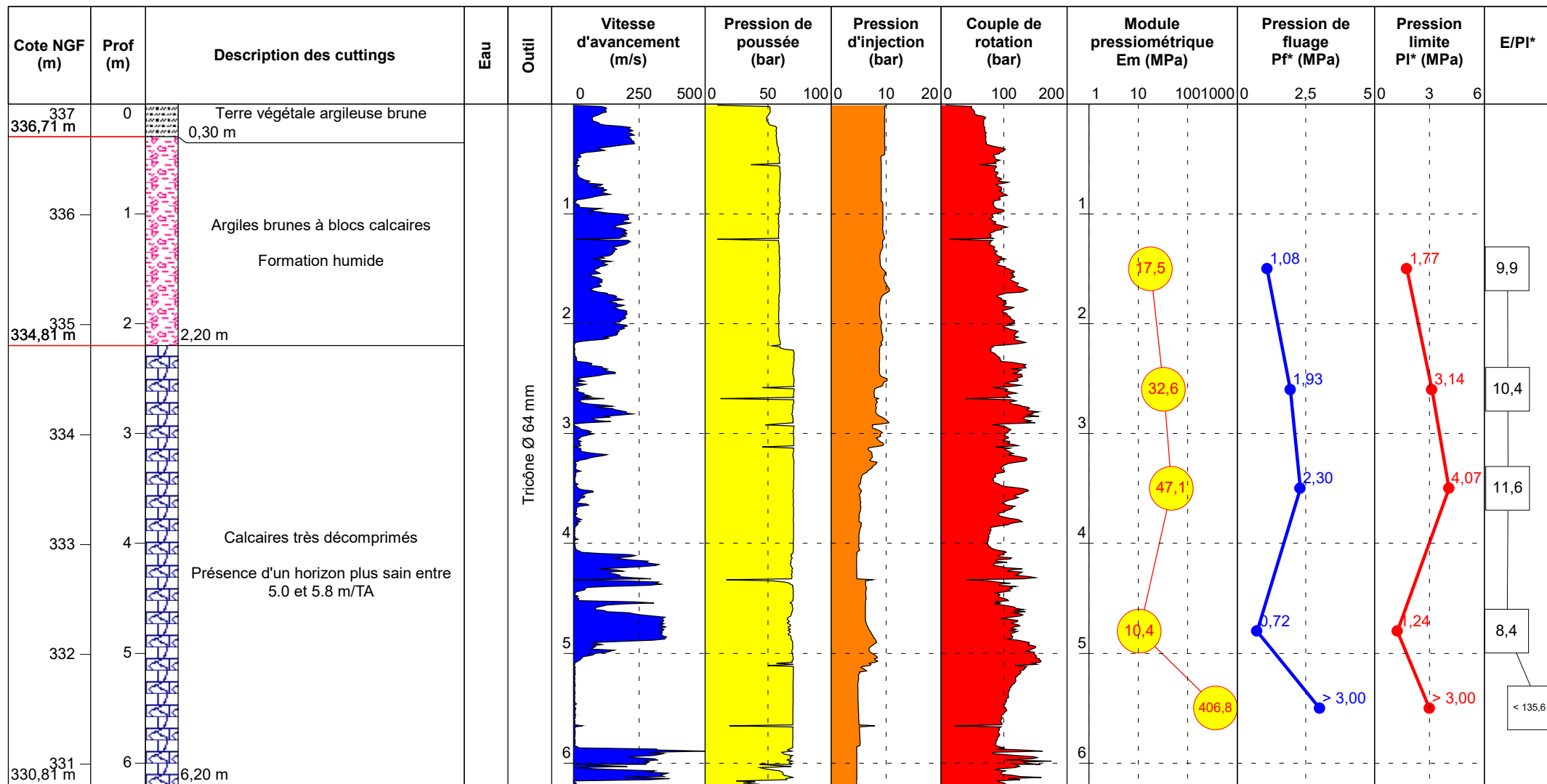
Profondeur : 0,00 - 6,20 m

Machine : Comacchio GEO 205

1/50

Forage : SP3

EXGTE 3.20/LB2EPF584FR





Ville de Besançon
Extension du cimetière Saint-Claude
BESANCON (25)

Contrat 2503220

Date : 19/12/2023

Cote NGF : 336.08 m

Profondeur : 0,00 - 6,01 m

Machine : Comacchio GEO 205

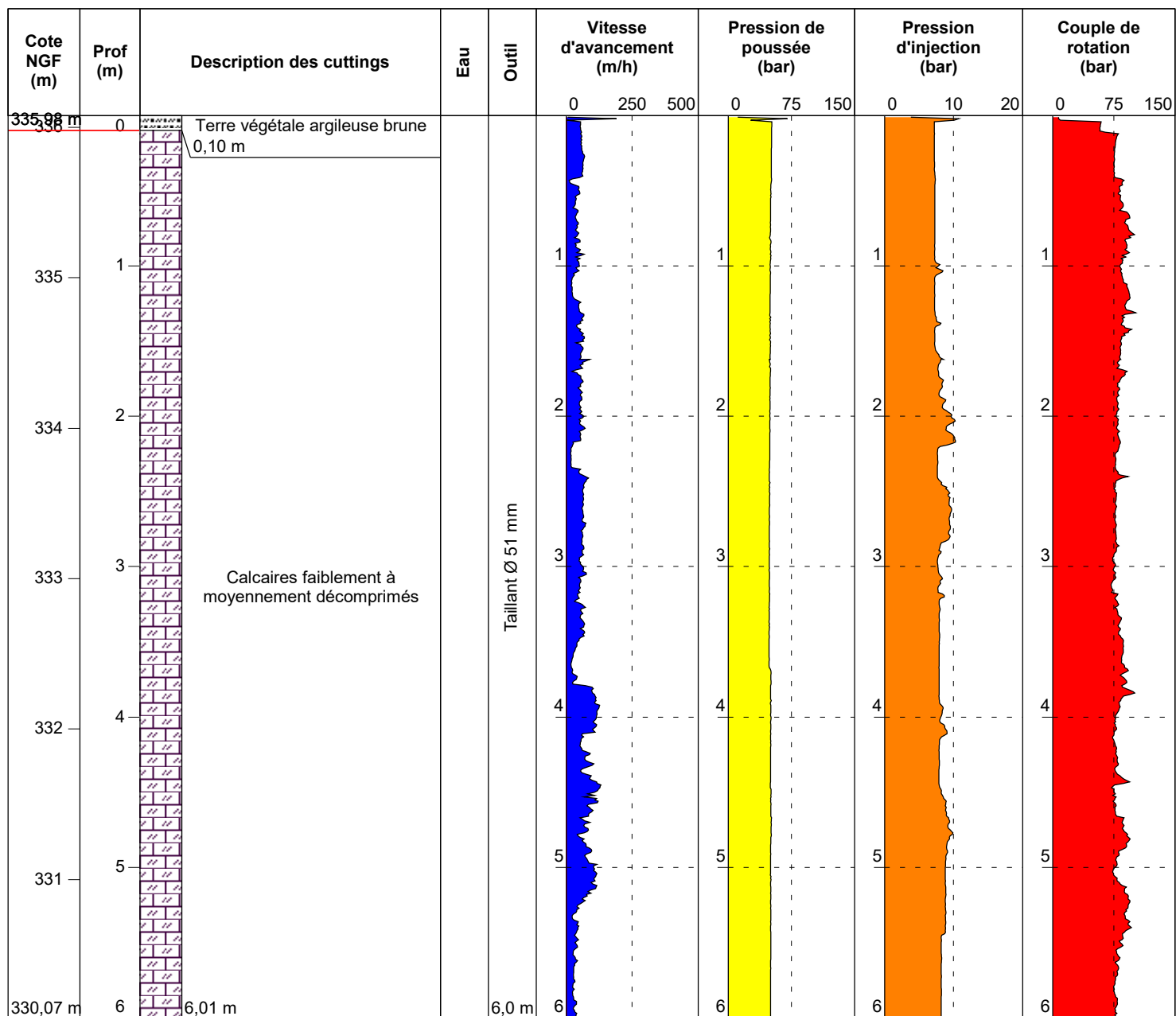
X : 6233780.87

Y : 1928462.82

1/40

Forage : SD1

EXGTE 3.20/LB2EPF584FR





Ville de Besançon
Extension du cimetière Saint-Claude
BESANCON (25)

Contrat 2503220

Date : 21/12/2023

Cote NGF : 339.62 m

Profondeur : 0,00 - 5,91 m

Machine : Comacchio GEO 205

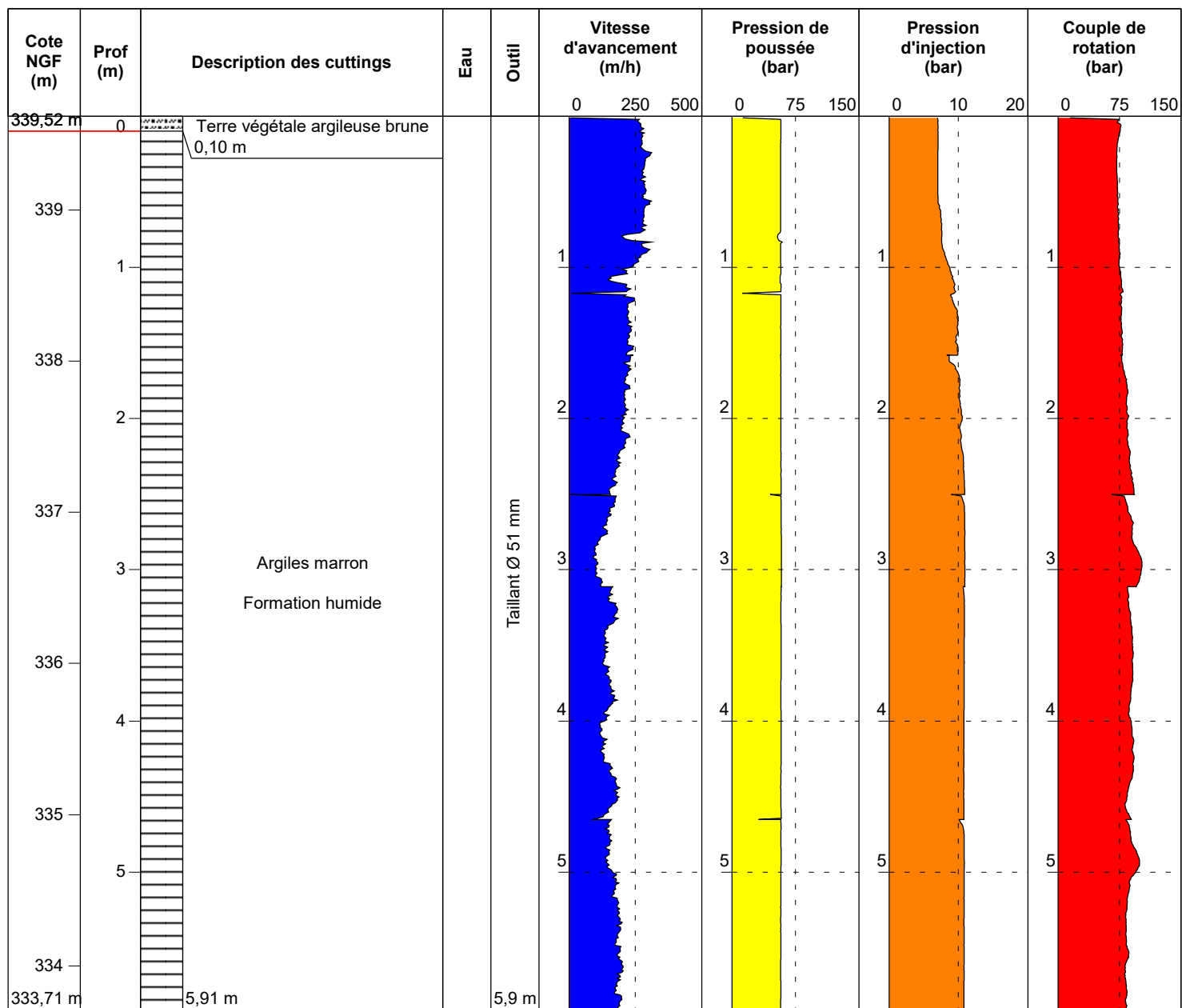
X : 1928431.28

Y : 6233787.03

1/40

Forage : SD2

EXGTE 3.20/LB2EPF584FR





Ville de Besançon
Extension du cimetière Saint-Claude
BESANCON (25)

Contrat 2503220

Date : 21/12/2023

Cote NGF : 339.00 m

Profondeur : 0,00 - 6,01 m

Machine : Comacchio GEO 205

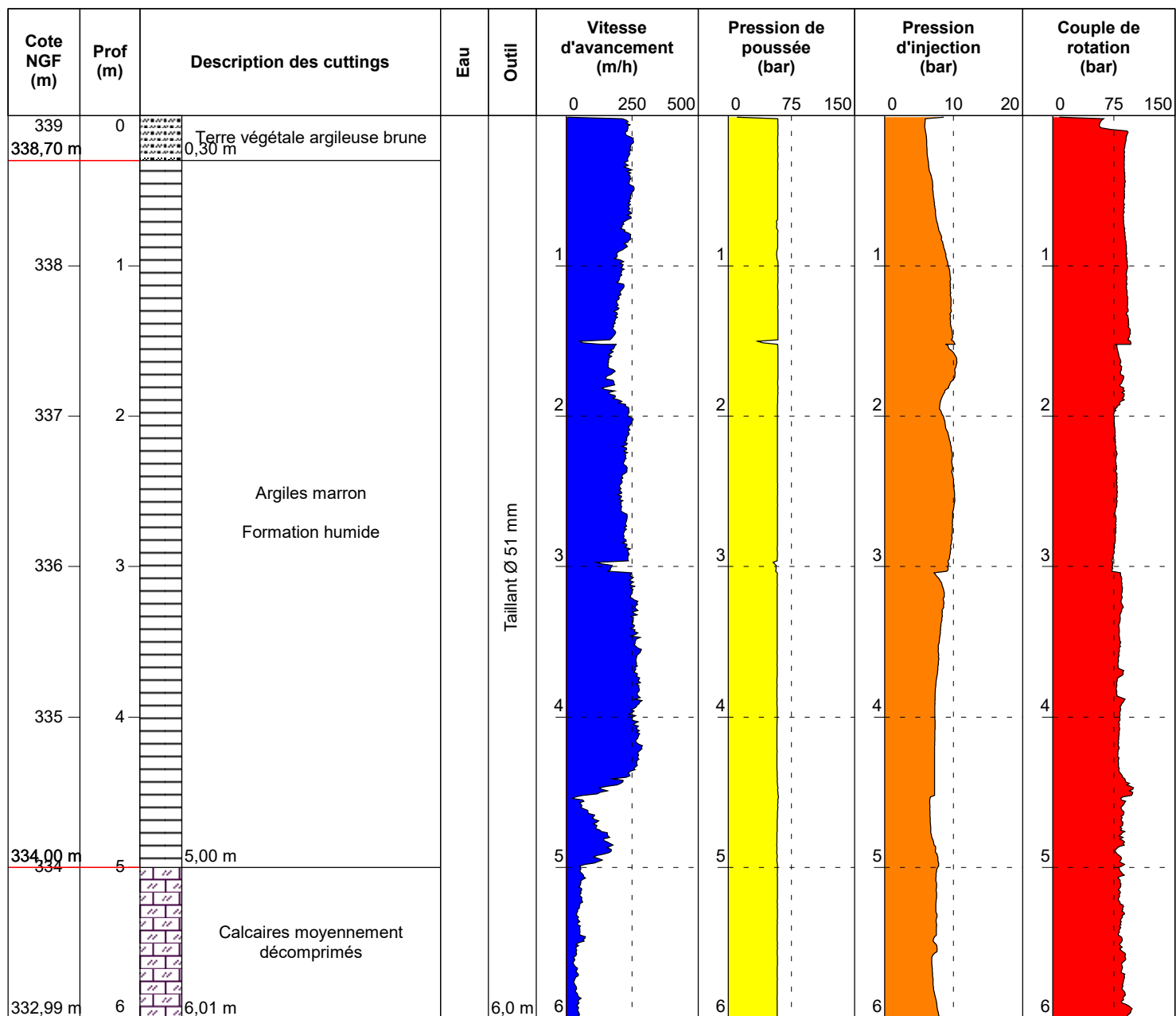
X : 1928444.28

Y : 6233801.26

1/40

Forage : SD3

EXGTE 3.20/LB2EPF584FR





Ville de Besançon
Extension du cimetière Saint-Claude
BESANCON (25)

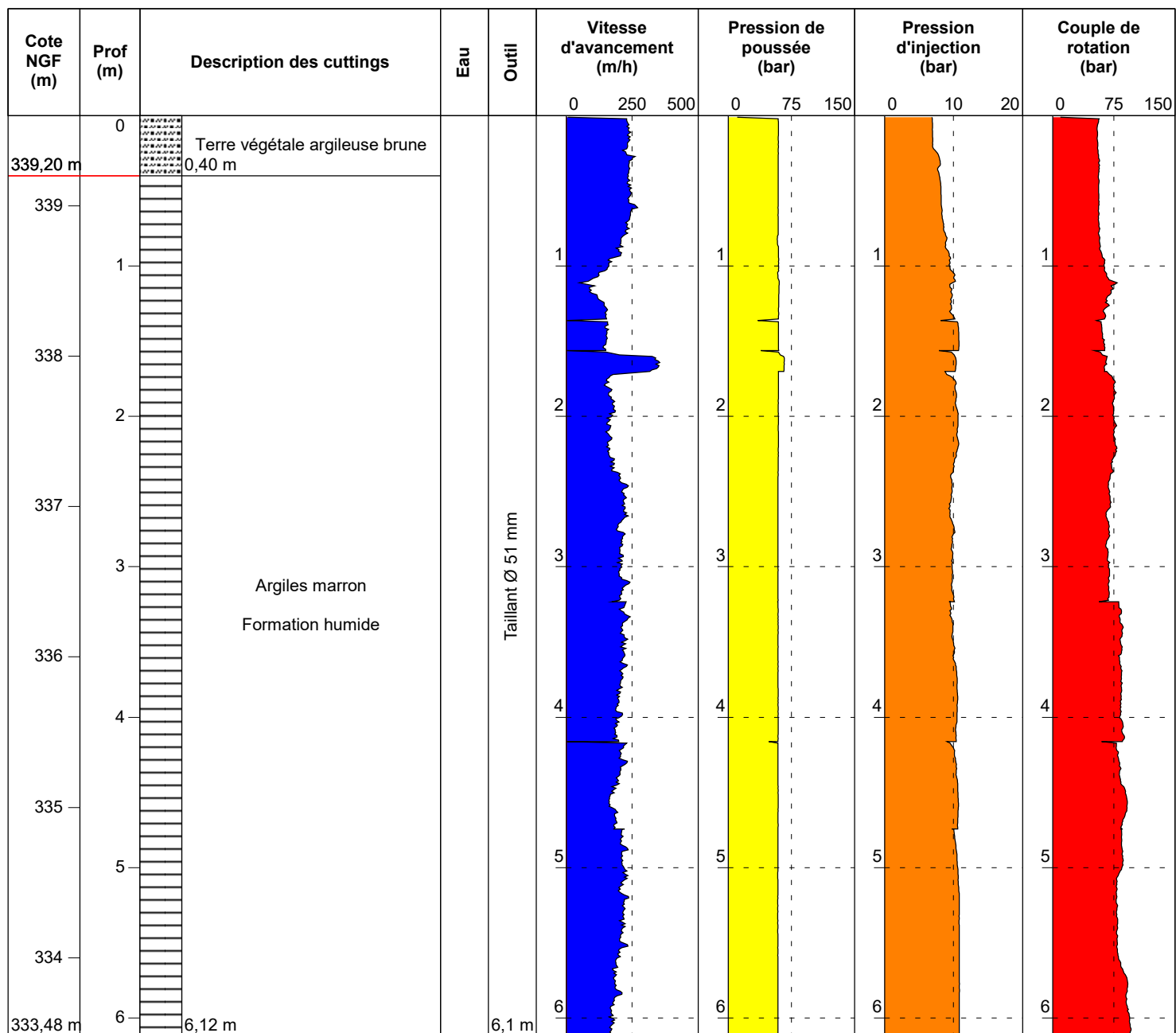
Contrat 2503220

Date : 19/12/2023 Cote NGF : 339.60 m Profondeur : 0,00 - 6,12 m
Machine : Comacchio GEO 205 X : 1928421.20
Y : 6233767.93

1/40

Forage : SD4

EXGTE 3.20/LB2EPF584FR





Ville de Besançon
Extension du cimetière Saint-Claude
BESANCON (25)

Contrat 2503220

Date : 19/12/2023

Cote NGF : 339.54 m

Profondeur : 0,00 - 6,60 m

Machine : Comacchio GEO 205

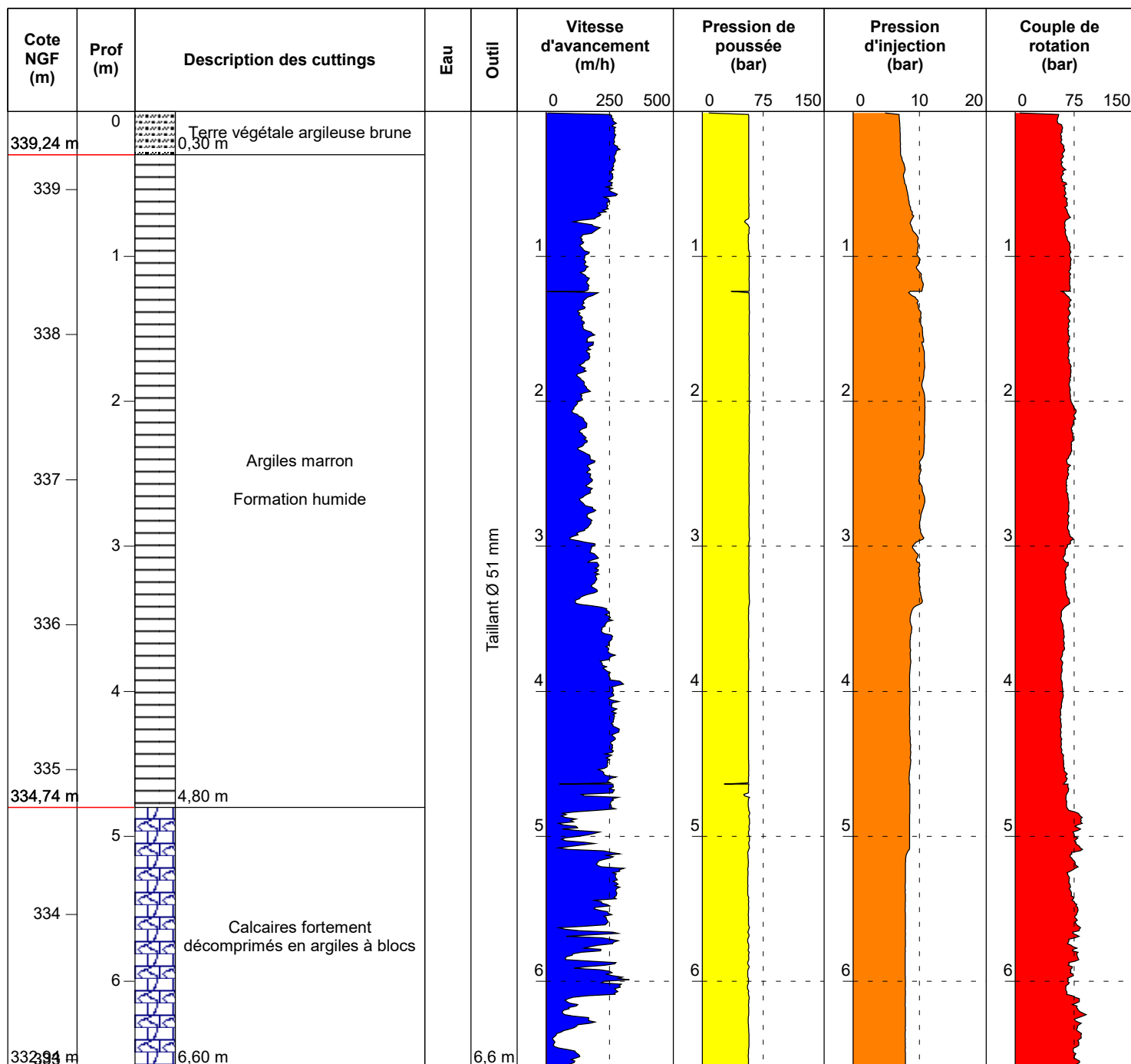
X : 1928415.50

Y : 6233759.74

1/40

Forage : SD5

EXGTE 3.20/LB2EPF584FR





Ville de Besançon
Extension du cimetière Saint-Claude
BESANCON (25)

Contrat 2503220

Date : 19/12/2023

Cote NGF : 338.94 m

Profondeur : 0,00 - 6,68 m

Machine : Comacchio GEO 205

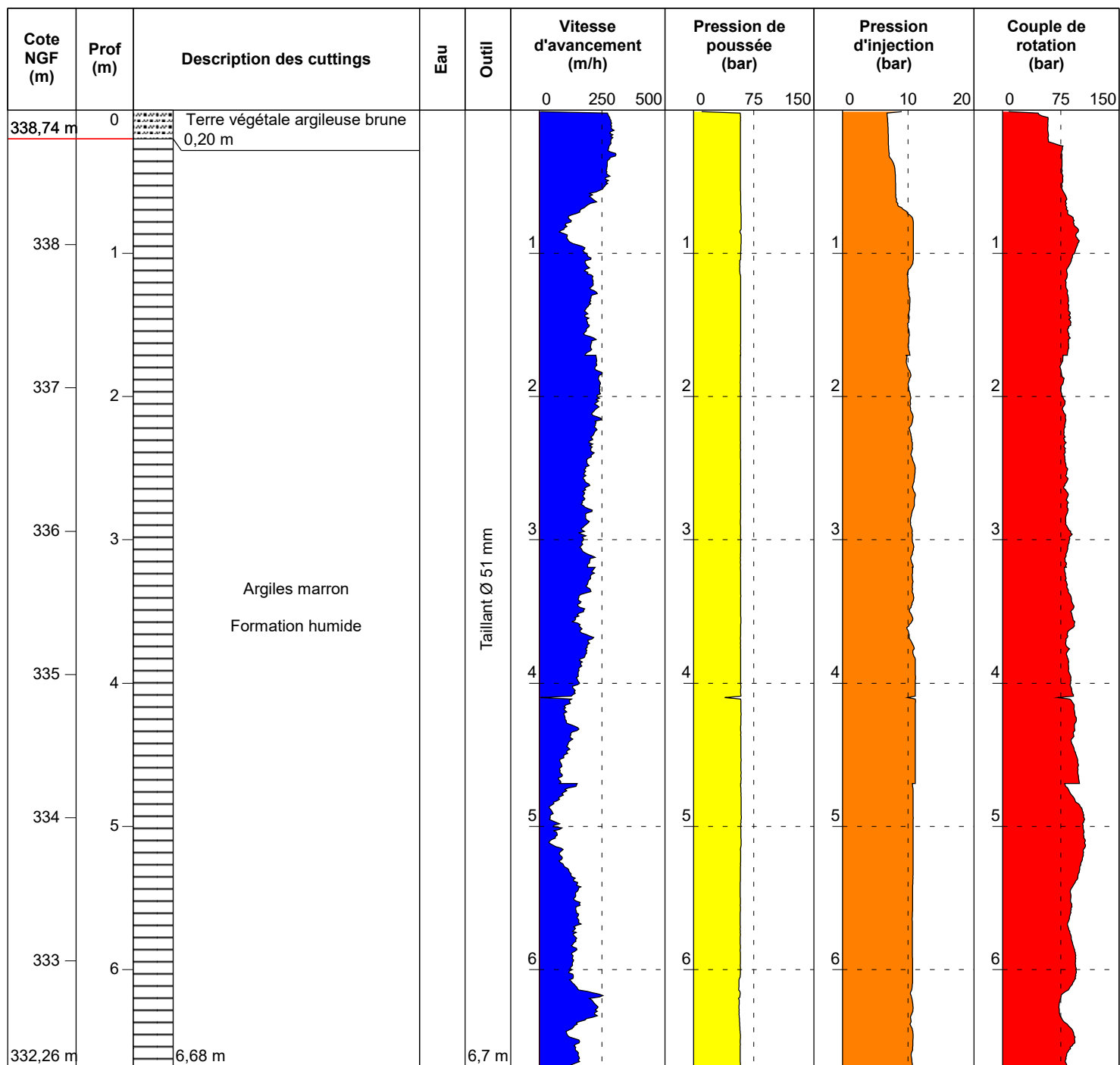
X : 1928425.01

Y : 6233760.02

1/40

Forage : SD6

EXGTE 3.20/LB2EPF584FR





Ville de Besançon
Extension du cimetière Saint-Claude
BESANCON (25)

Contrat 2503220

Date : 19/12/2023

Cote NGF : 338.02 m

Profondeur : 0,00 - 6,50 m

Machine : Comacchio GEO 205

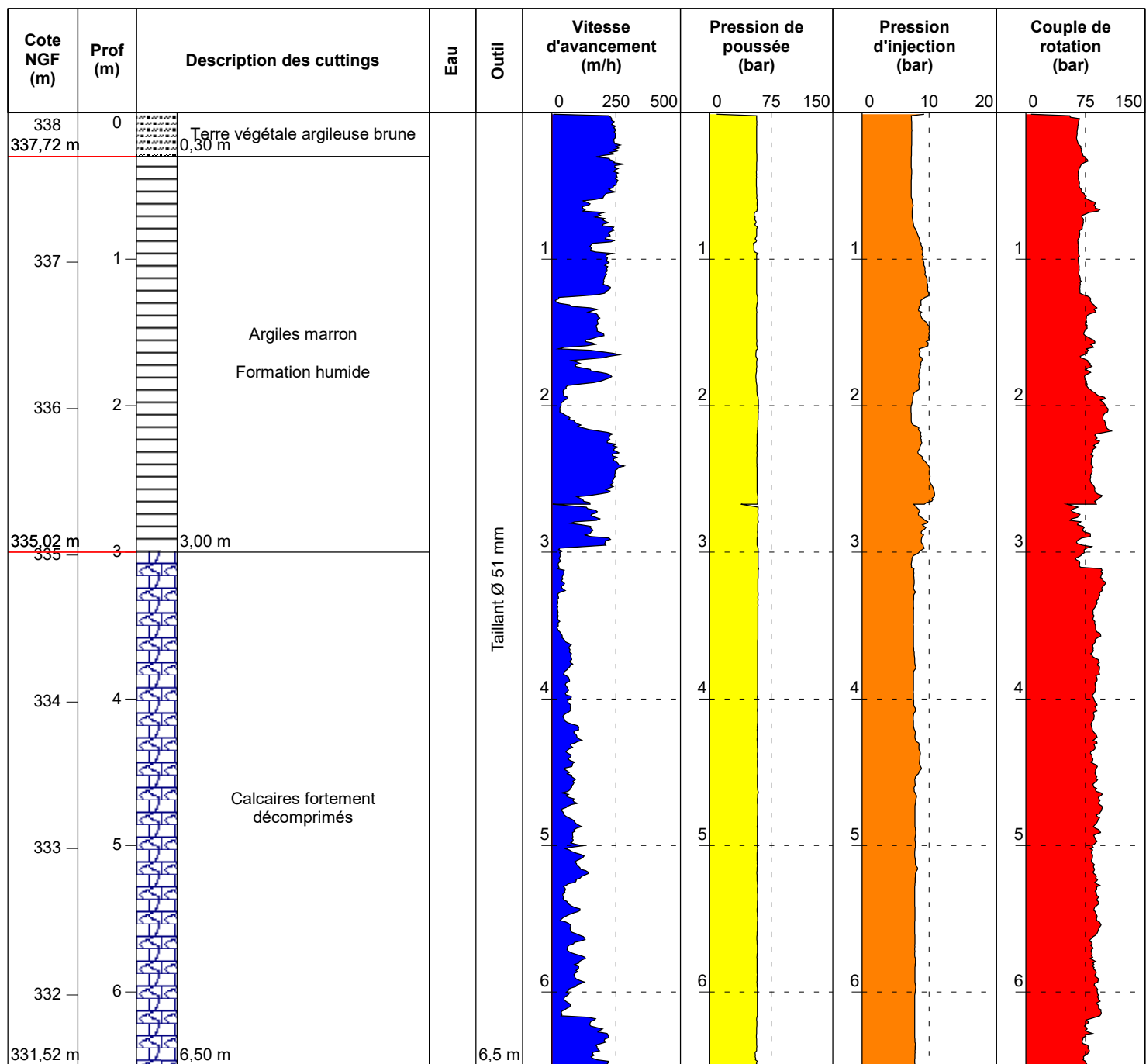
X : 1928430.73

Y : 6233750.23

1/40

Forage : SD7

EXGTE 3.20/LB2EPF584FR





Ville de Besançon
Extension du cimetière Saint-Claude
BESANCON (25)

Contrat 2503220

Date : 20/12/2023

Cote NGF : 338.52 m

Profondeur : 0,00 - 6,63 m

Machine : Comacchio GEO 205

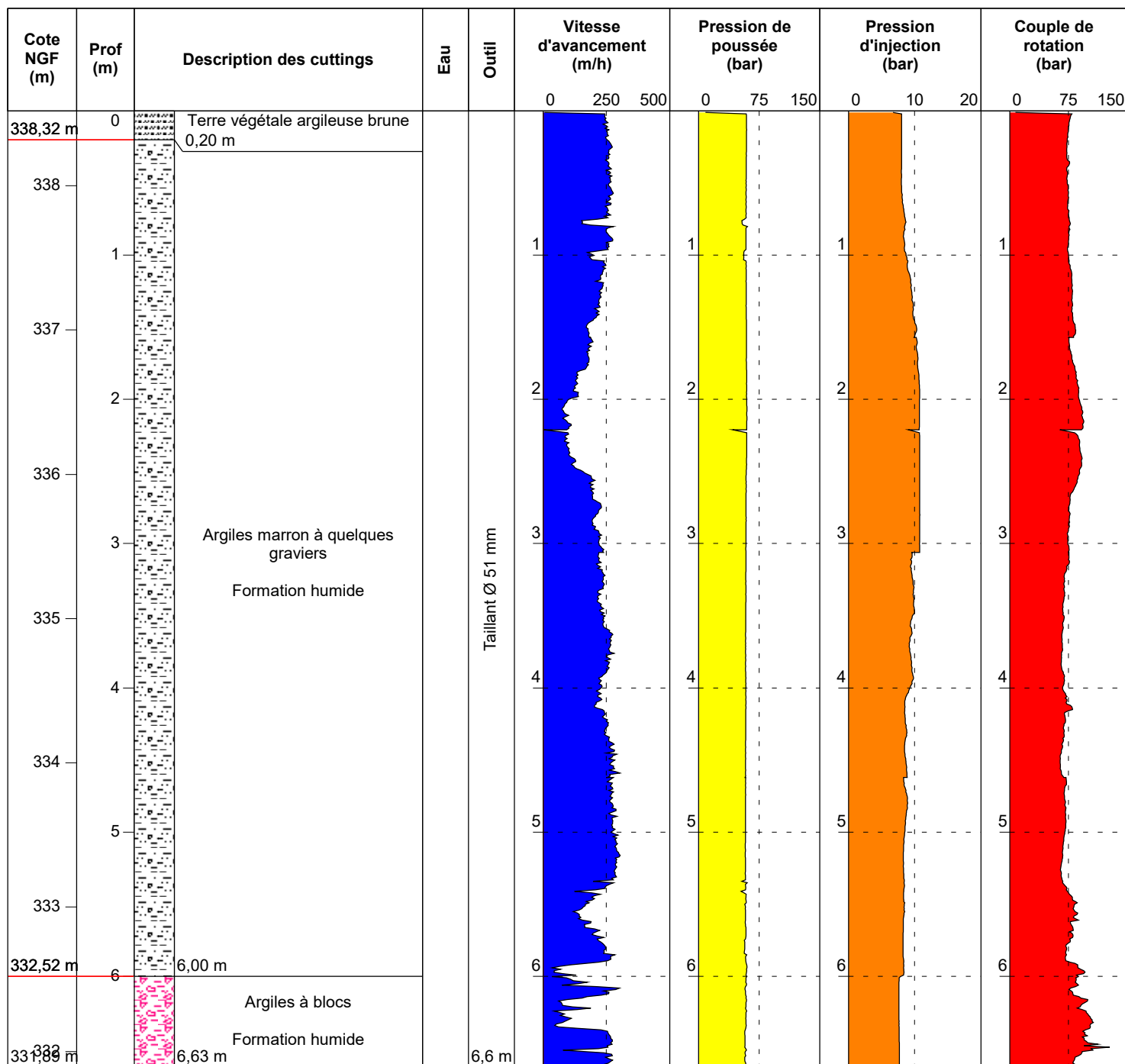
X : 1928434.26

Y : 6233765.47

1/40

Forage : SD8

EXGTE 3.20/LB2EPF584FR





de Besançon
Extension du cimetière Saint-Claude
BESANCON (25)

Contrat 2503220

Date : 20/12/2023

Cote NGF : 339.65 m

Profondeur : 0,00 - 6,68 m

Machine : Comacchio GEO 205

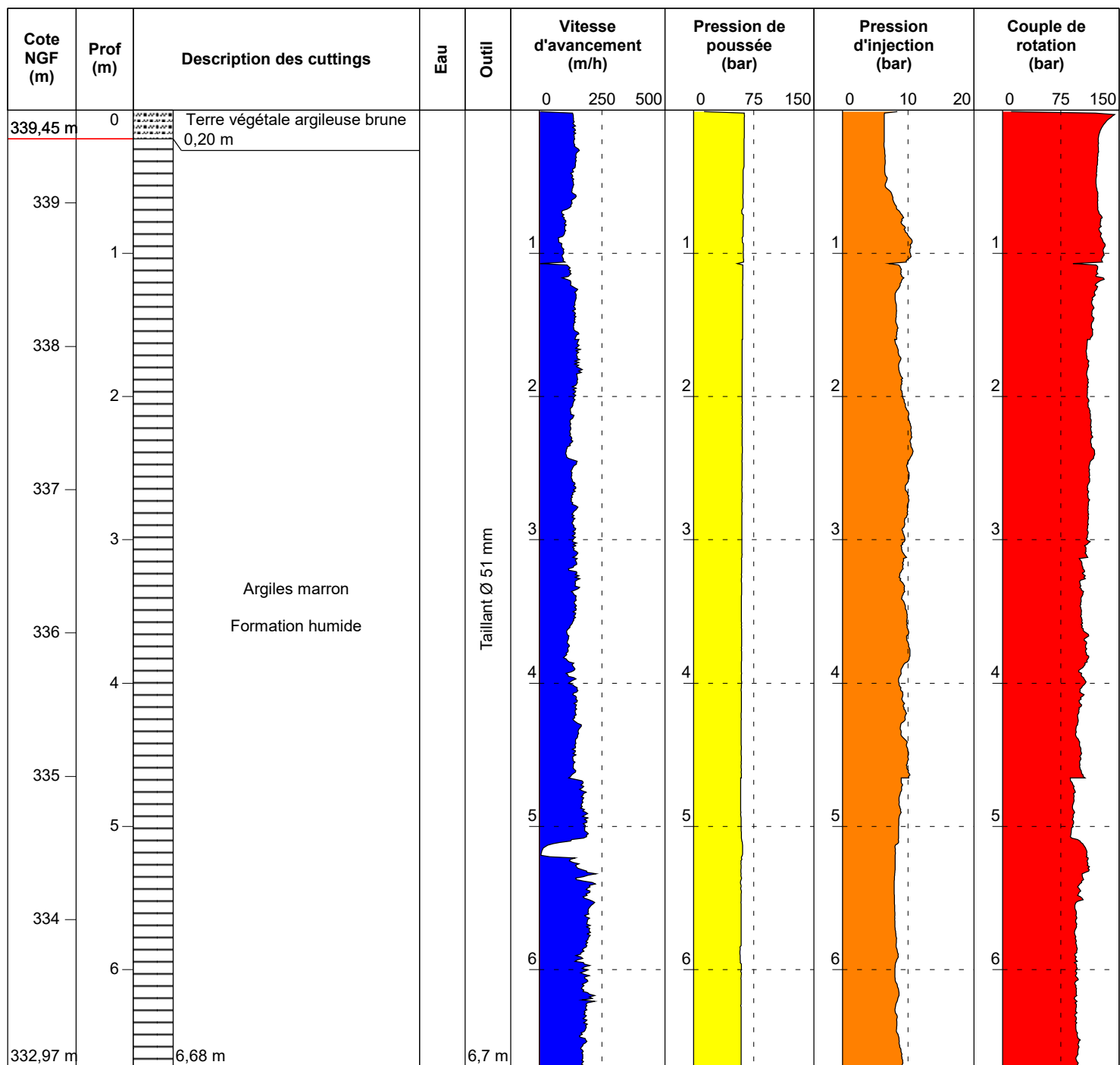
X : 1928410.49

Y : 6233754.54

1/40

Forage : SD9

EXGTE 3.20/LB2EPF584FR





Ville de Besançon
Extension du cimetière Saint-Claude
BESANCON (25)

Contrat 2503220

Date : 19/12/2023

Cote NGF : 338.73 m

Profondeur : 0,00 - 6,51 m

Machine : Comacchio GEO 205

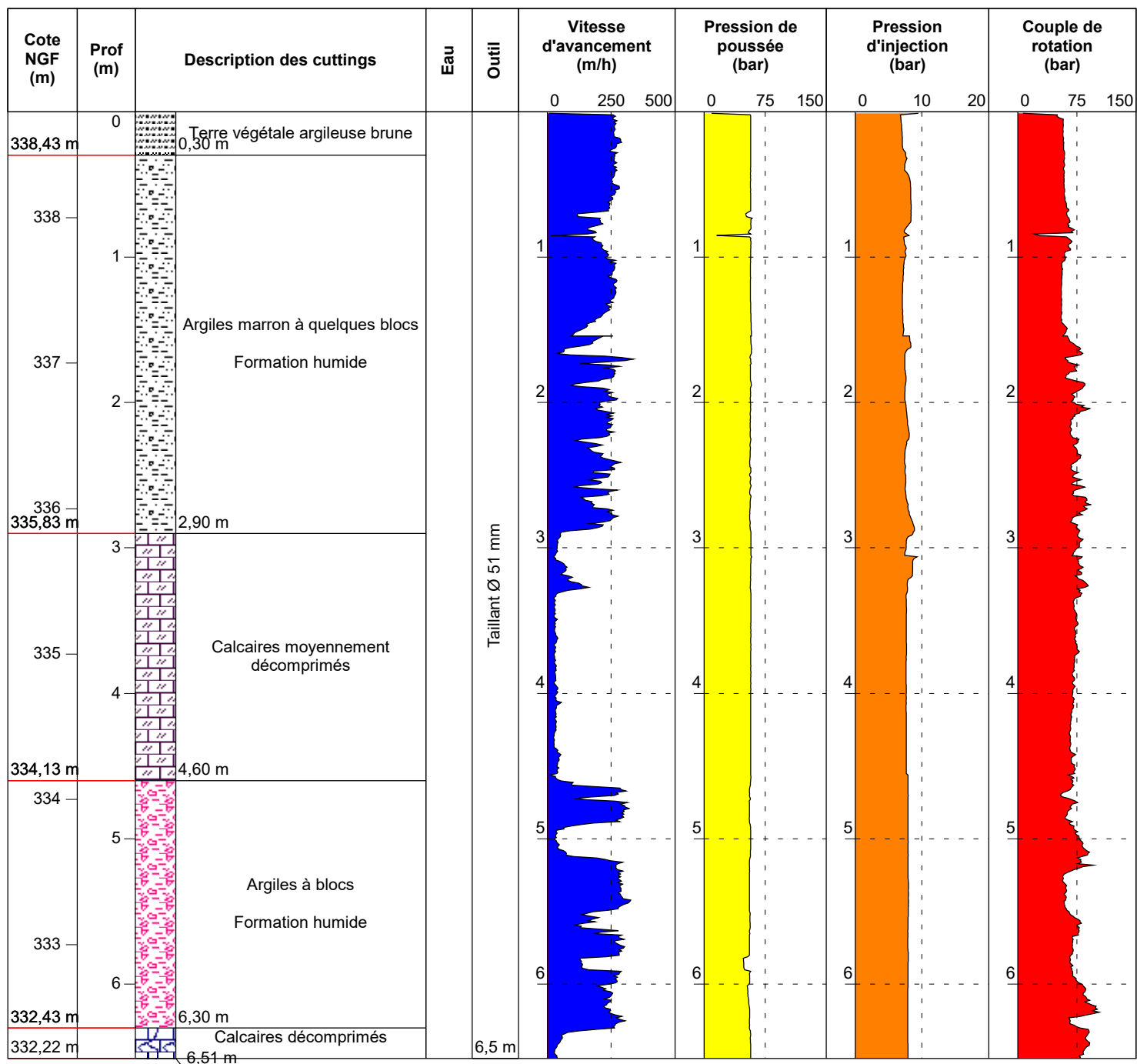
X : 1928417.88

Y : 6233748.09

1/40

Forage : SD10

EXGTE 3.20/LB2EPF584FR





Ville de Besançon
Extension du cimetière Saint-Claude
BESANCON (25)

Contrat 2503220

Date : 19/12/2023

Cote NGF : 337.96 m

Profondeur : 0,00 - 6,27 m

Machine : Comacchio GEO 205

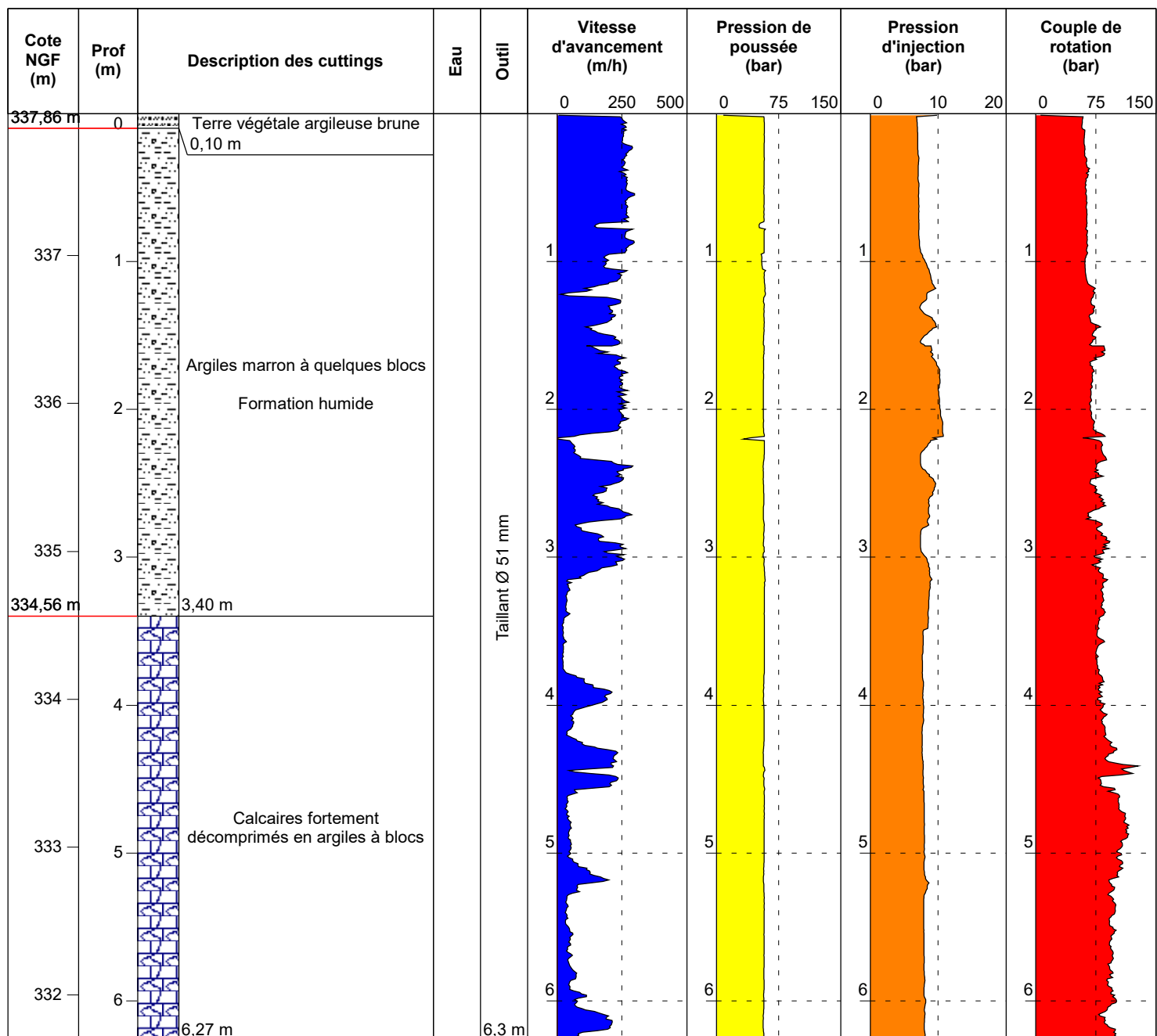
X : 1928427.34

Y : 6233746.01

1/40

Forage : SD11

EXGTE 3.20/LB2EPF584FR





Ville de Besançon
Extension du cimetière Saint-Claude
BESANCON (25)

Contrat 2503220

Date : 20/12/2023

Cote NGF : 339.22 m

Profondeur : 0,00 - 6,00 m

Machine : Comacchio GEO 205

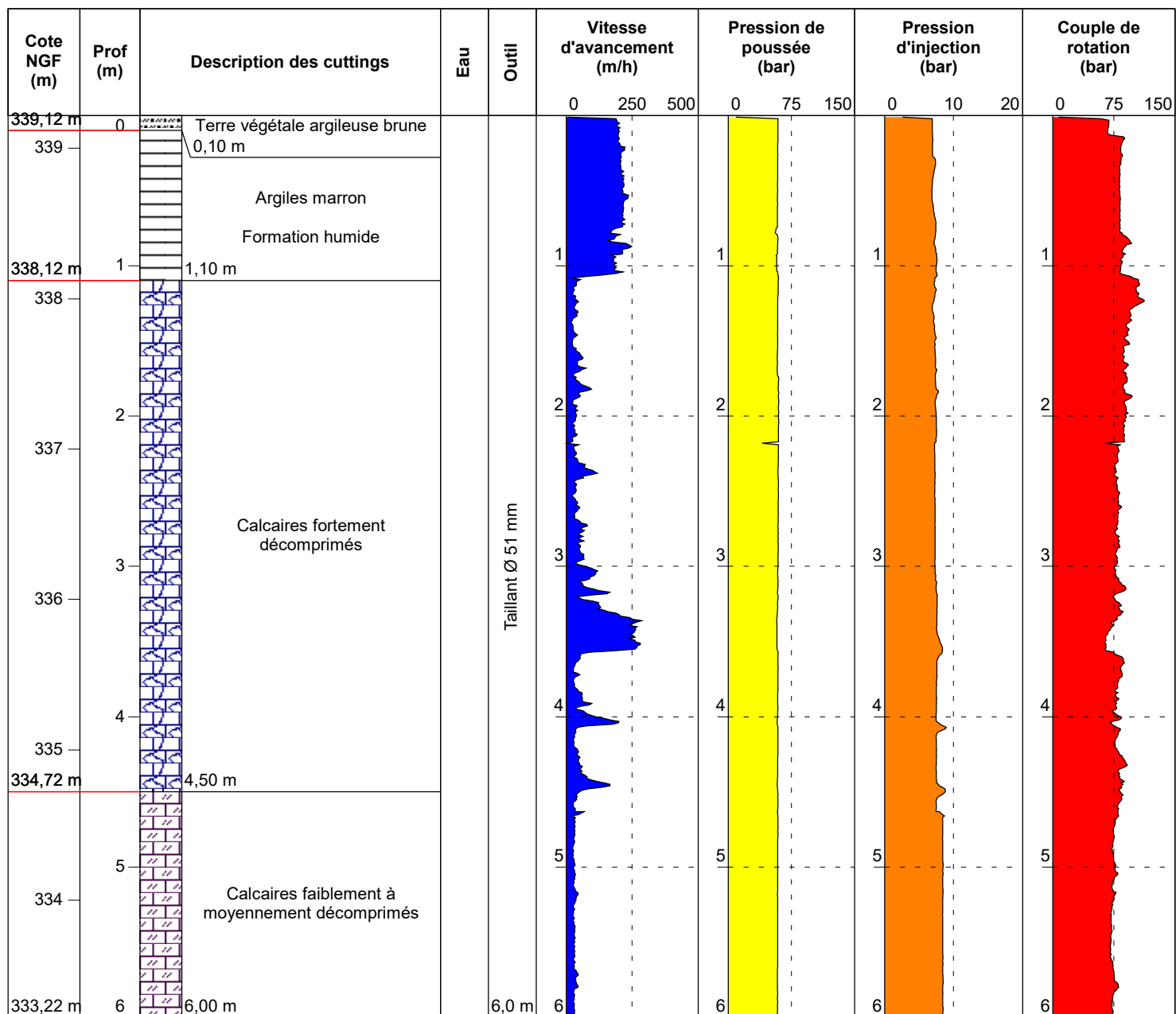
X : 1928400.93

Y : 6233737.34

1/40

Forage : SD12

EXGTE 3.20/LB2EPF584FR



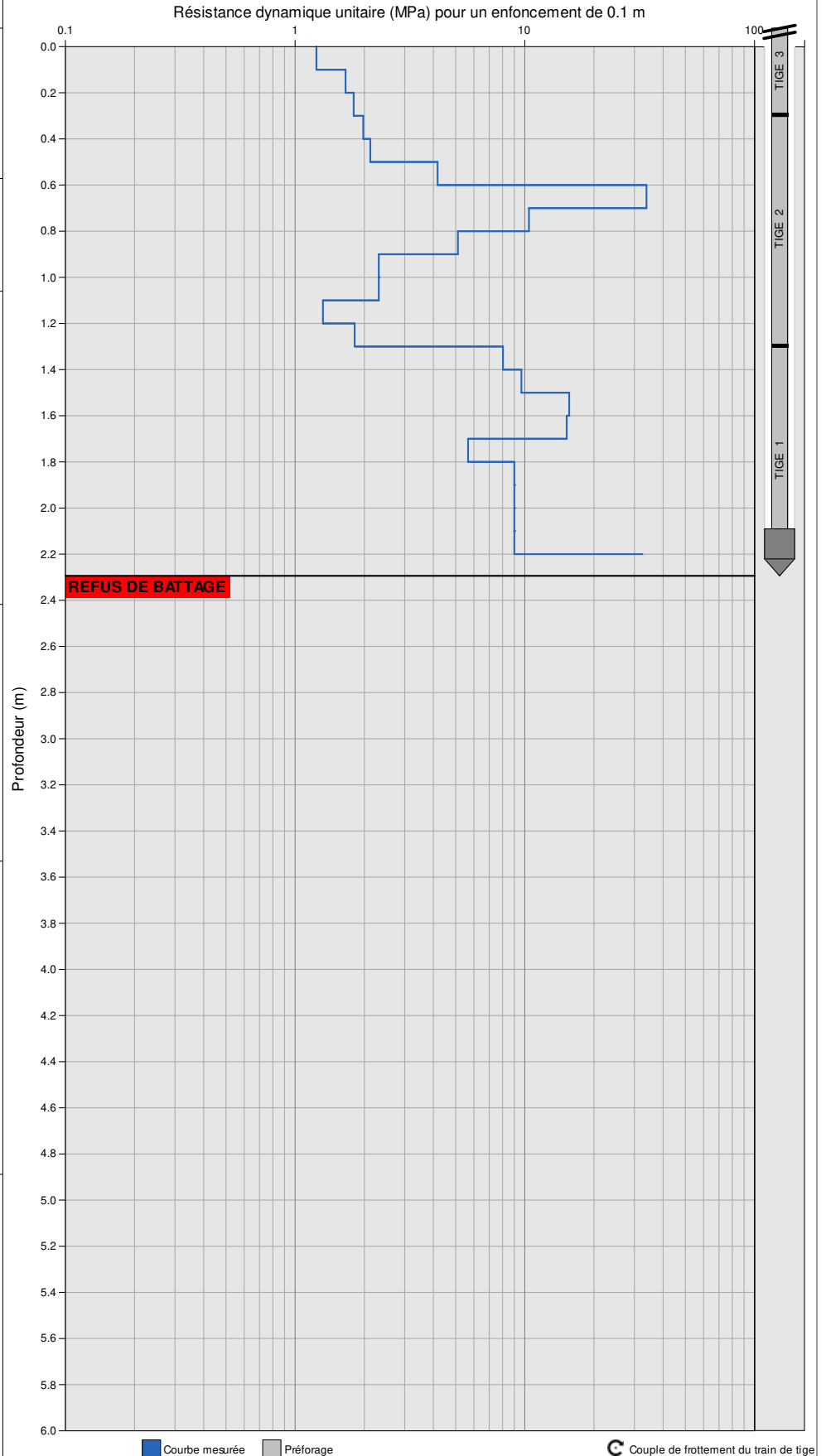
Essai : PN1

Type d'ouvrage : Non défini
Réalisé le : 20/12/2023 à 09h34
Réalisé par : J BAUGEY

Profondeur visée : 6.000 m
Profondeur atteinte : 2.294 m
Préforage : 0.000 m
Nombre de coups : 103

Caractéristiques pénétromètre :

Matériel : GEOTOOL/MAPESOL
N° Serie : MAP90 21050
Sys. d'acquisition : MSBOXV2
Vérifié le : 15/12/2021
Type d'énergie : CONSTANTE
Norme : Non définie
Masse du mouton : 64.000kg
Hauteur de chute : 750mm
Section de pointe : 20.00cm²



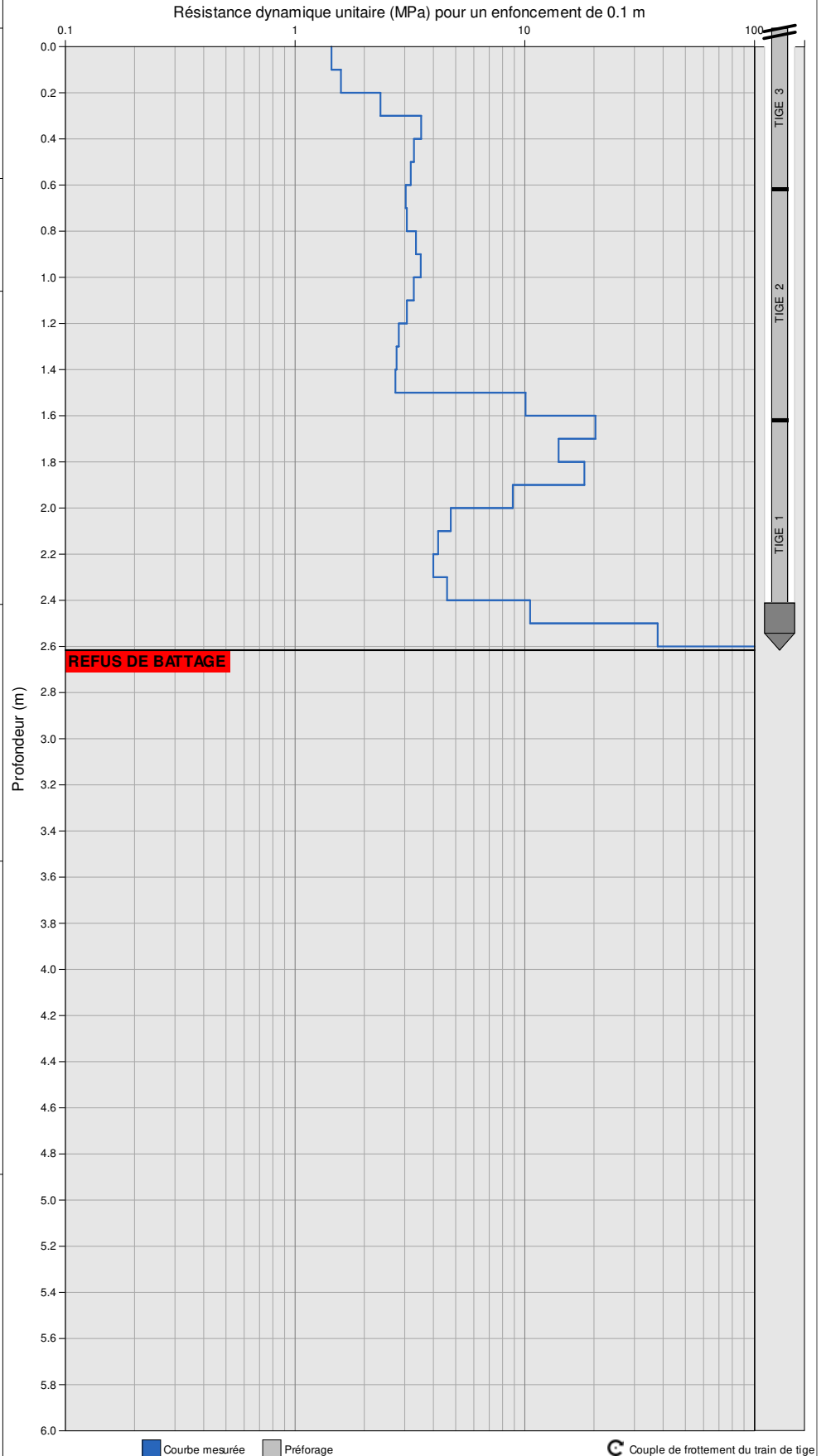
Essai : PN2

Type d'ouvrage : Non défini
Réalisé le : 20/12/2023 à 09h55
Réalisé par : J BAUGEY

Profondeur visée : 6.000 m
Profondeur atteinte : 2.616 m
Préforage : 0.000 m
Nombre de coups : 126

Caractéristiques pénétromètre :

Matériel : GEOTOOL/MAPESOL
N° Serie : MAP90 21050
Sys. d'acquisition : MSBOXV2
Vérifié le : 15/12/2021
Type d'énergie : CONSTANTE
Norme : Non définie
Masse du mouton : 64.000kg
Hauteur de chute : 750mm
Section de pointe : 20.00cm²



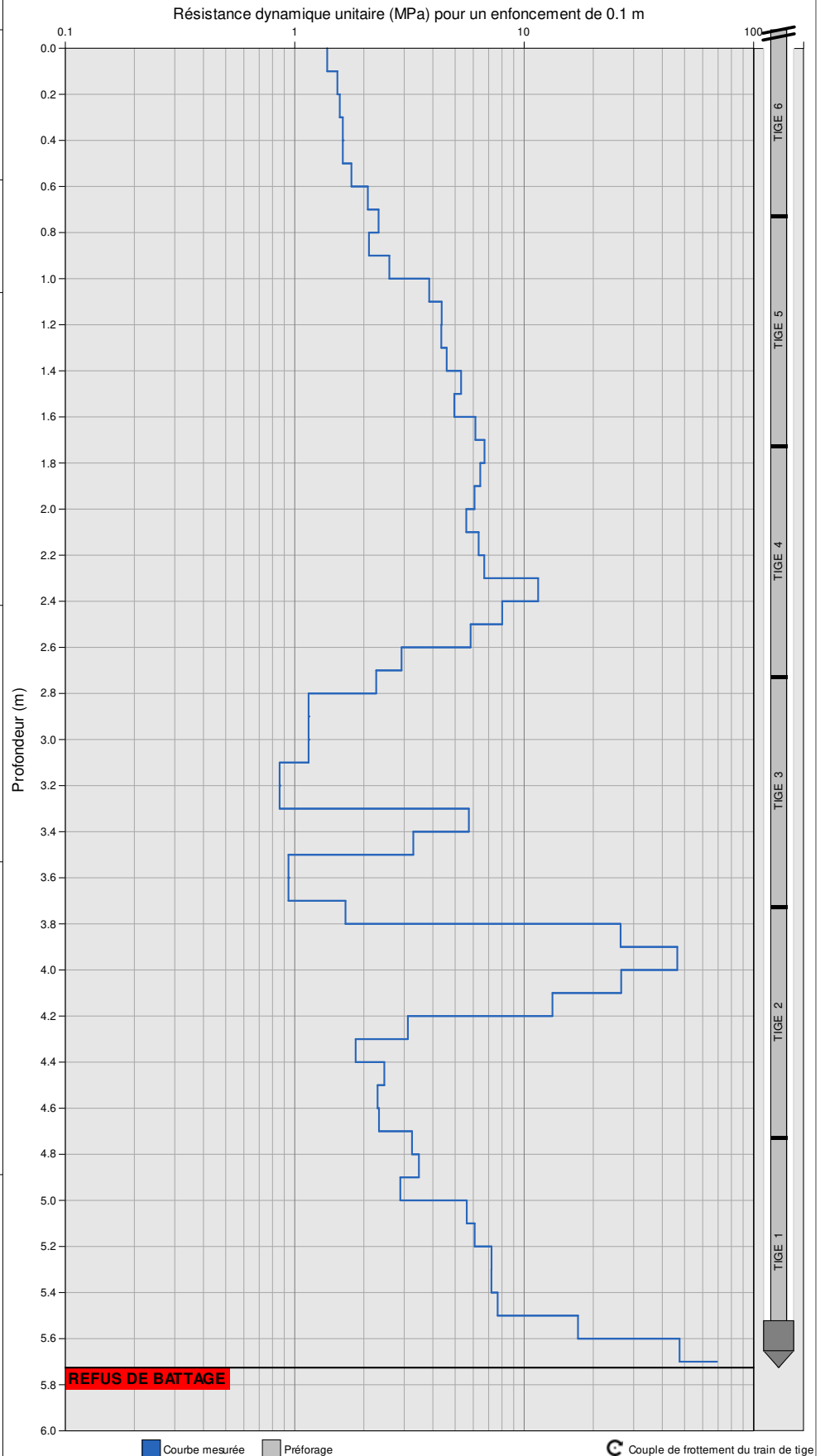
Essai : PN3

Type d'ouvrage : Non défini
Réalisé le : 20/12/2023 à 11h15
Réalisé par : J BAUGEY

Profondeur visée : 6.000 m
Profondeur atteinte : 5.726 m
Préforage : 0.000 m
Nombre de coups : 247

Caractéristiques pénétromètre :

Matériel : GEOTOOL/MAPESOL
N° Serie : MAP90 21050
Sys. d'acquisition : MSBOXV2
Vérifié le : 15/12/2021
Type d'énergie : CONSTANTE
Norme : Non définie
Masse du mouton : 64.000kg
Hauteur de chute : 750mm
Section de pointe : 20.00cm²



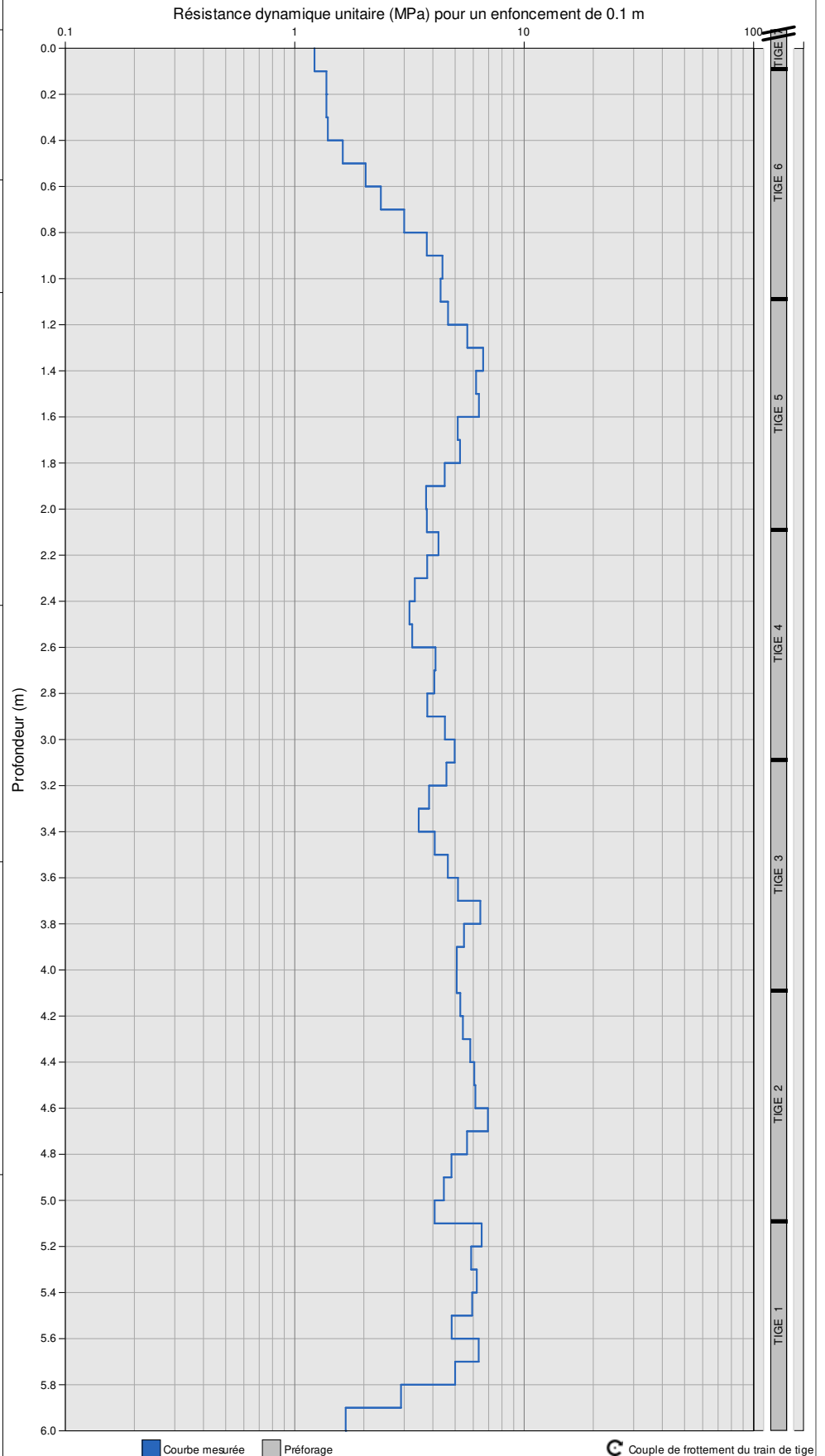
Essai : PN4

Type d'ouvrage : Non défini
 Réalisé le : 20/12/2023 à 11h41
 Réalisé par : J BAUGEY

Profondeur visée : 6.000 m
 Profondeur atteinte : 6.087 m
 Préforage : 0.000 m
 Nombre de coups : 165

Caractéristiques pénétromètre :

Matériel : GEOTOOL/MAPESOL
 N° Serie : MAP90 21050
 Sys. d'acquisition : MSBOXV2
 Vérifié le : 15/12/2021
 Type d'énergie : CONSTANTE
 Norme : Non définie
 Masse du mouton : 64.000kg
 Hauteur de chute : 750mm
 Section de pointe : 20.00cm²



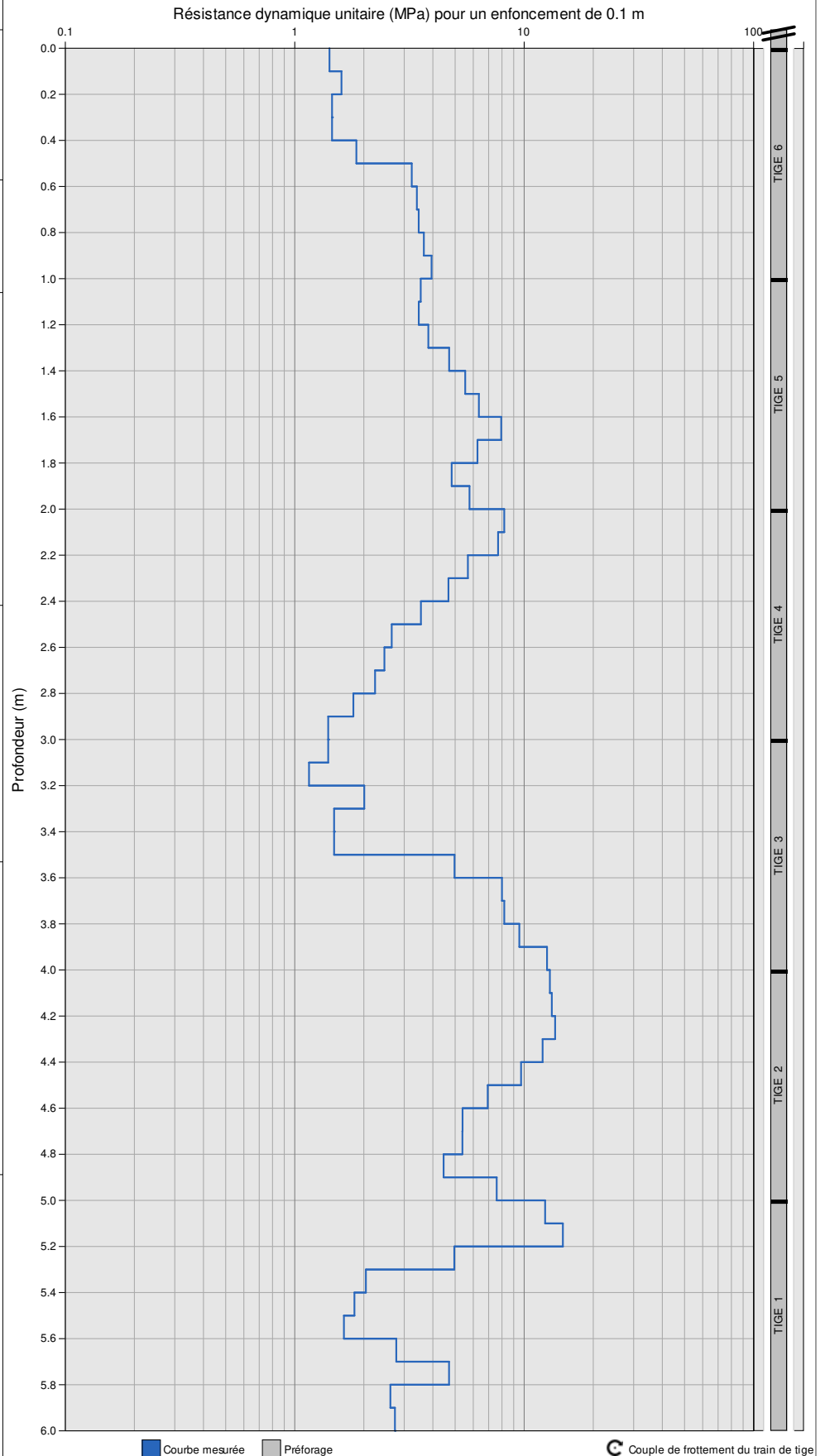
Essai : PN6

Type d'ouvrage : Non défini
Réalisé le : 20/12/2023 à 12h10
Réalisé par : J BAUGEY

Profondeur visée : 6.000 m
Profondeur atteinte : 6.004 m
Préforage : 0.000 m
Nombre de coups : 193

Caractéristiques pénétromètre :

Matériel : GEOTOOL/MAPESOL
N° Serie : MAP90 21050
Sys. d'acquisition : MSBOXV2
Vérifié le : 15/12/2021
Type d'énergie : CONSTANTE
Norme : Non définie
Masse du mouton : 64.000kg
Hauteur de chute : 750mm
Section de pointe : 20.00cm²



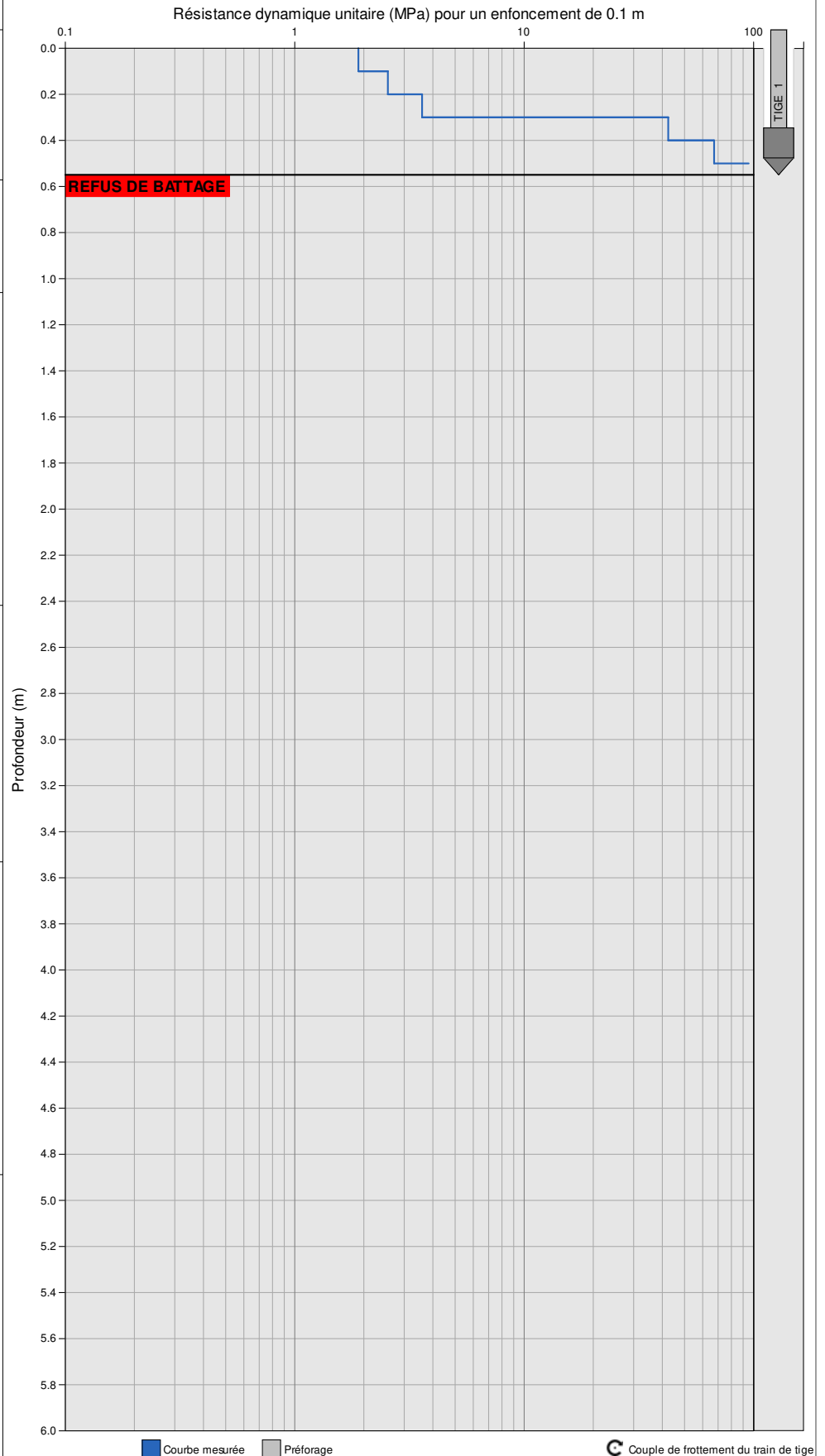
Essai : PN5

Type d'ouvrage : Non défini
Réalisé le : 20/12/2023 à 12h38
Réalisé par : J BAUGEY

Profondeur visée : 6.000 m
Profondeur atteinte : 0.549 m
Préforage : 0.000 m
Nombre de coups : 82

Caractéristiques pénétromètre :

Matériel : GEOTOOL/MAPESOL
N° Serie : MAP90 21050
Sys. d'acquisition : MSBOXV2
Vérifié le : 15/12/2021
Type d'énergie : CONSTANTE
Norme : Non définie
Masse du mouton : 64.000kg
Hauteur de chute : 750mm
Section de pointe : 20.00cm²



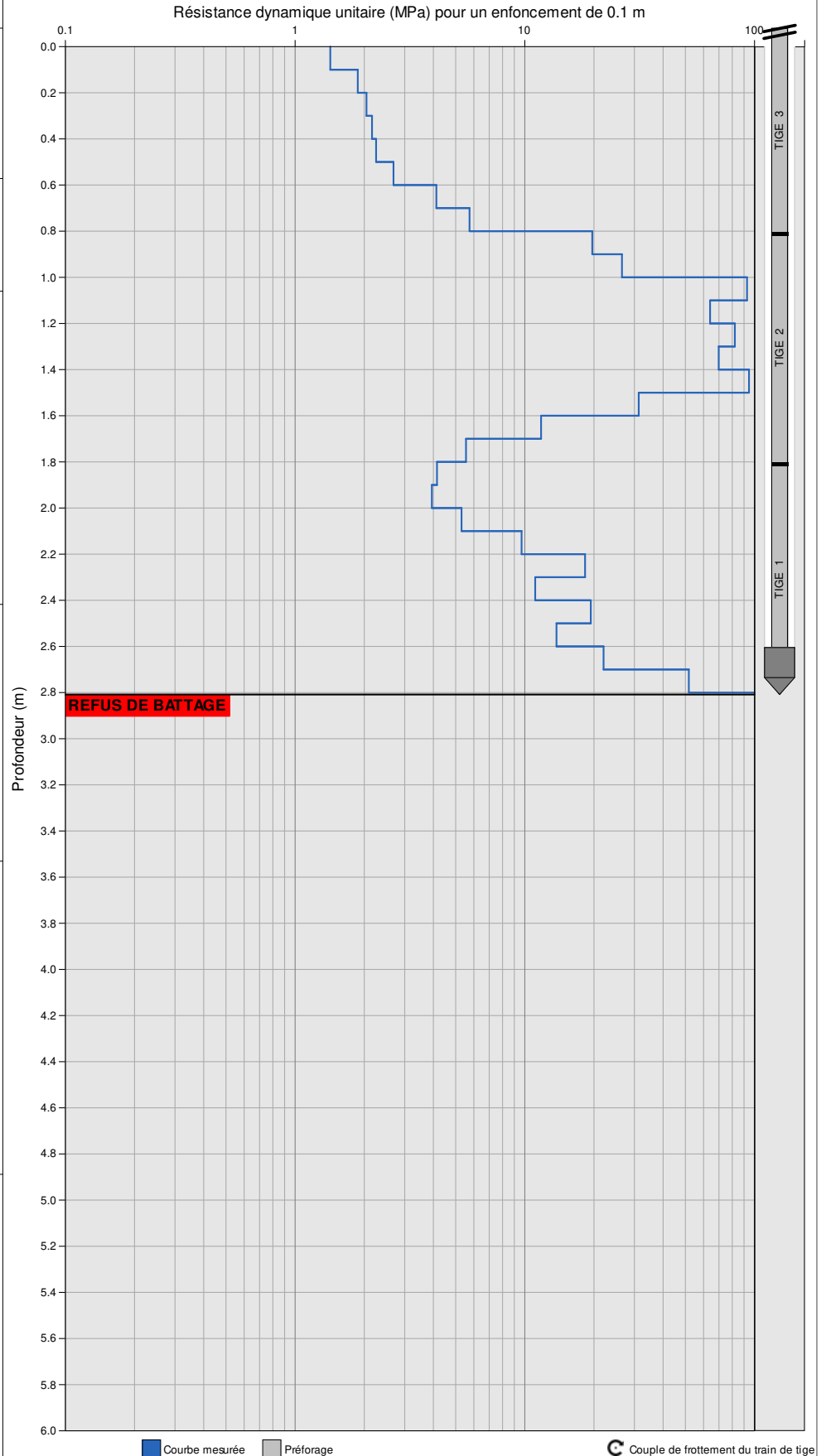
Essai : PN7

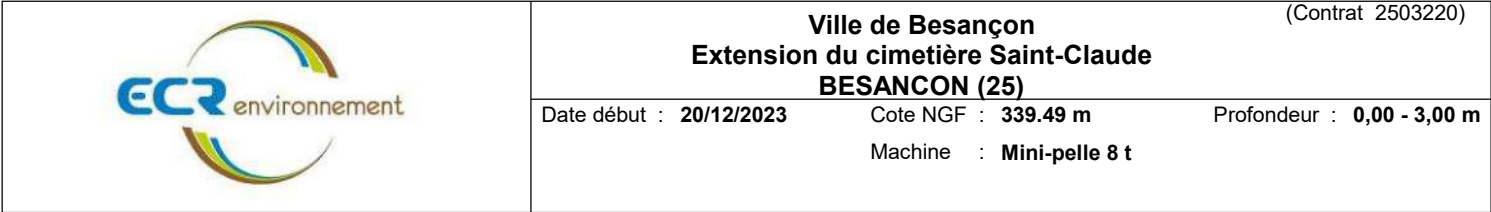
Type d'ouvrage : Non défini
Réalisé le : 20/12/2023 à 12h53
Réalisé par : J BAUGEY

Profondeur visée : 6.000 m
Profondeur atteinte : 2.808 m
Préforage : 0.000 m
Nombre de coups : 385

Caractéristiques pénétromètre :

Matériel : GEOTOOL/MAPESOL
N° Serie : MAP90 21050
Sys. d'acquisition : MSBOXV2
Vérifié le : 15/12/2021
Type d'énergie : CONSTANTE
Norme : Non définie
Masse du mouton : 64.000kg
Hauteur de chute : 750mm
Section de pointe : 20.00cm²





EXGTE 3.20/GTE

Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr



Ville de Besançon
Extension du cimetière Saint-Claude
BESANCON (25)

(Contrat 2503220)

Date début : 20/12/2023

Cote NGF : 338.20 m

Profondeur : 0,00 - 2,50 m

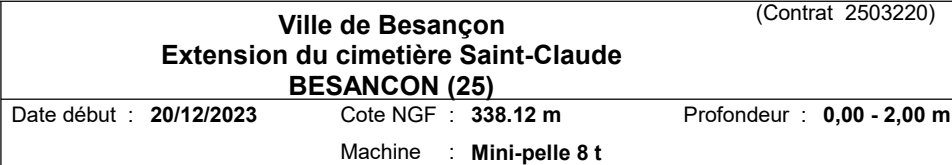
Machine : Mini-pelle 8 t

1/15

Forage : PM2

EXGTE 3.20/GTE

Cote (m NGF)	Prof. (m)	Lithologie	Eau	Outil	Photos
338,00 m	0	Terre végétale argileuse brune			 
337,40 m	0,20 m	Argiles ocre, sèches			
337	1	Argiles brunes à blocs calcaires	Mini-pelle 8 t - godet 0.45 m à dents		
336	2				
335,90 m	2,30 m				
335,70 m	2,50 m	Calcaires			



EXGTE 3.20/GTE

Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr



Ville de Besançon
Extension du cimetière Saint-Claude
BESANCON (25)

(Contrat 2503220)

Date début : 20/12/2023

Cote NGF : 336.27 m

Profondeur : 0,00 - 1,10 m

Machine : Mini-pelle 8 t

1/15

Forage : PM4

EXGTE 3.20/GTE

Cote (m NGF)	Prof. (m)	Lithologie	Eau	Outil	Photos
336,17 m	0	Terre végétale argileuse brune 0,10 m			
336		Argiles brunes à blocs calcaires			
335,37 m		0,90 m			
335,17 m	1	Calcaires 1,10 m			

Mini-pelle 8 t - godet 0.45 m à dents





Ville de Besançon
Extension du cimetière Saint-Claude
BESANCON (25)

(Contrat 2503220)

Date début : 20/12/2023

Cote NGF : 341.63 m

Profondeur : 0,00 - 1,30 m

Machine : Mini-pelle 8 t

1/15

Forage : PM5

EXGTE 3.20/GTE

Cote (m NGF)	Prof. (m)	Lithologie	Eau	Outil	Photos
341,43 m	0	Terre végétale argileuse brune 0,20 m		Mini-pelle 8 t - godet 0.45 m à dents	
341,03 m		Argiles brun / ocre 0,60 m			
341	1	Argiles brunes à blocs calcaires 1,20 m			
340,43 m		Calcaires 1,30 m			
340,33 m					



Ville de Besançon
Extension du cimetière Saint-Claude
BESANCON (25)

(Contrat 2503220)

Date début : 20/12/2023

Cote NGF : 339.78 m

Profondeur : 0,00 - 1,70 m

Machine : Mini-pelle 8 t

1/15

Forage : PM6

EXGTE 3.20/GTE

Cote (m NGF)	Prof. (m)	Lithologie	Eau	Outil	Photos
339,48 m	0	Terre végétale argileuse brune			
339,18 m	0,30 m	Argiles brun / ocre			
339	1	Blocs calcaires à matrice argileuse		Mini-pelle 8 t - godet 0.45 m à dents	
338,18 m	1,60 m				
338,08 m	1,70 m	Calcaires			



Ville de Besançon
Extension du cimetière Saint-Claude
BESANCON (25)

(Contrat 2503220)

Date début : 20/12/2023

Cote NGF : 337.17 m

Profondeur : 0,00 - 1,60 m

Machine : Mini-pelle 8 t

1/15

Forage : PM7

EXGTE 3.20/GTE

Cote (m NGF)	Prof. (m)	Lithologie	Eau	Outil	Photos
336,97 m	0	Terre végétale argileuse brune 0,20 m		Mini-pelle 8 t - godet 0.45 m à dents	
336,67 m		Argiles brun / ocre 0,50 m			
336	1	Blocs calcaires à matrice argileuse 1,40 m			
335,77 m		Calcaires 1,60 m			



Ville de Besançon
Extension du cimetière Saint-Claude
BESANCON (25)

(Contrat 2503220)

Date début : 21/12/2023

Cote NGF : 339.52 m

Profondeur : 0,00 - 1,80 m

Machine : Mini-pelle 8 t

1/15

Forage : PM8

EXGTE 3.20/GTE

Cote (m NGF)	Prof. (m)	Lithologie	Eau	Outil	Photos
	0	Terre végétale argileuse brune		Mini-pelle 8 t - godet 0.45 m à dents	
339,22 m		0,30 m			
339 338,92 m		Argiles ocre à cailloutis 0,60 m			
338 337,92 m	1	Blocs calcaires à matrice argileuse 1,60 m			
337,72 m		Calcaires 1,80 m			



Ville de Besançon
Extension du cimetière Saint-Claude
BESANCON (25)

(Contrat 2503220)

Date début : 21/12/2023

Cote NGF : 339.82 m

Profondeur : 0,00 - 1,50 m

Machine : Mini-pelle 8 t

1/15

Forage : PM9

EXGTE 3.20/GTE

Cote (m NGF)	Prof. (m)	Lithologie	Eau	Outil	Photos
339,62 m	0	Terre végétale argileuse brune 0,20 m		Mini-pelle 8 t - godet 0.45 m à dents	
339,12 m		Argiles brunes à blocs calcaires 0,70 m			
339	1	Blocs calcaires à matrice argileuse 1,40 m			
338,42 m		Calcaires 1,50 m			
338,32 m					



Ville de Besançon
Extension du cimetière Saint-Claude
BESANCON (25)

(Contrat 2503220)

Date début : 21/12/2023

Cote NGF : 338.90 m

Profondeur : 0,00 - 3,60 m

Machine : Mini-pelle 8 t

1/18

Forage : PM10

EXGTE 3.20/GTE

Cote (m NGF)	Prof. (m)	Lithologie	Eau	Outil	Photos
	0	Terre végétale argileuse brune			
338,50 m	0,40 m				
		Argiles brunes			
338,10 m	0,80 m				
338	1	Argiles brunes graveleuses			
337					
336,90 m	2				
		Argiles beiges gravele-sableuse			
336	3	Arrêt en bout de bras			
335,30 m	3,60 m				

Mini-pelle 8 t - godet 0.45 m à dents

Cote (m NGF)	Prof. (m)	Lithologie	Eau	Outil	Photos
	0	Terre végétale argileuse brune 0,20 m			
336	1	Argiles ocre, sèches 1,20 m		Mini-pelle 8 t - godet 0.45 m à dents	
335	2	Argiles ocre à quelques blocs Arrêt en bout de bras 2,50 m			



Ville de Besançon
Extension du cimetière Saint-Claude
BESANCON (25)

(Contrat 2503220)

Date début : 20/12/2023

Cote NGF : 336.94 m

Profondeur : 0,00 - 1,40 m

Machine : Mini-pelle 8 t

X : 1928457.87

Y : 6233789.55

1/15

Forage : MA2

EXGTE 3.20/GTE

Cote (m NGF)	Prof. (m)	Lithologie	Eau	Outil	Photos
	0	Terre végétale argileuse brune 0,20 m			
336	1	Argiles ocreuses à blocs calcaires 1,00 m		Mini-pelle 8 t - godet 0.45 m à dents	
		Blocs calcaires à faible matrice argileuse Refus du sondage sur calcaires 1,40 m			



Ville de Besançon
Extension du cimetière Saint-Claude
BESANCON (25)

(Contrat 2503220)

Date début : 20/12/2023

Cote NGF : 336.94 m

Profondeur : 0,00 - 1,30 m

Machine : Mini-pelle 8 t

X : 1928391.81

Y : 6233700.58

1/15

Forage : MA3

EXGTE 3.20/GTE

Cote (m NGF)	Prof. (m)	Lithologie	Eau	Outil	Photos
	0	Terre végétale argileuse brune 0,20 m			
336	1	Argiles ocre à blocs calcaires Refus du sondage sur calcaires 1,30 m		Mini-pelle 8 t - godet 0.45 m à dents	



Ville de Besançon
Extension du cimetière Saint-Claude
BESANCON (25)

(Contrat 2503220)

Date début : 20/12/2023

Cote NGF : 338.32 m

Profondeur : 0,00 - 2,50 m

Machine : Mini-pelle 8 t

X : 1928434.88

Y : 6233760.03

1/15

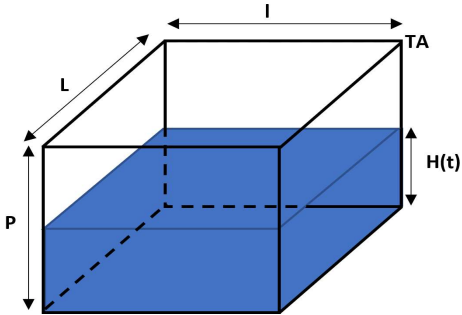
Forage : MA4

EXGTE 3.20/GTE

Cote (m NGF)	Prof. (m)	Lithologie	Eau	Outil	Photos
338	0	Terre végétale argileuse brune			
	0,50 m				
337	1	Argiles ocre à cailloux et rares blocs			
	2	Arrêt sur toit calcaire			
336	2,50 m			Mini-pelle 8 t - godet 0.45 m à dents	

ESSAI DE PERMEABILITE

Essai à la fosse (MATSUO) à charge variable

Lithologie testée	Argile ocre + blocs	Saturation du sol	Oui
		Durée de l'essai [min]	60
			
Longueur de la fouille (L) [m]	1.00		
Largeur de la fouille (I) [m]	0.55		
Profondeur de la fouille / TA (P) [m]	2.50		
Profondeur de la nappe / TA [m]	/		
NB: TA = Terrain actuel (niveau de la surface)			
Observations	/		

Temps t [min]	Charge hydraulique H(t) [m]	Variations de charge $\Delta H(t)$ [m]
0	0.290	0.000
1	0.290	0.000
5	0.290	0.000
6	0.290	0.000
7	0.290	0.000
8	0.290	0.000
9	0.290	0.000
10	0.290	0.000
15	0.280	0.010
20	0.280	0.000
25	0.280	0.000
30	0.280	0.000
35	0.280	0.000
40	0.280	0.000

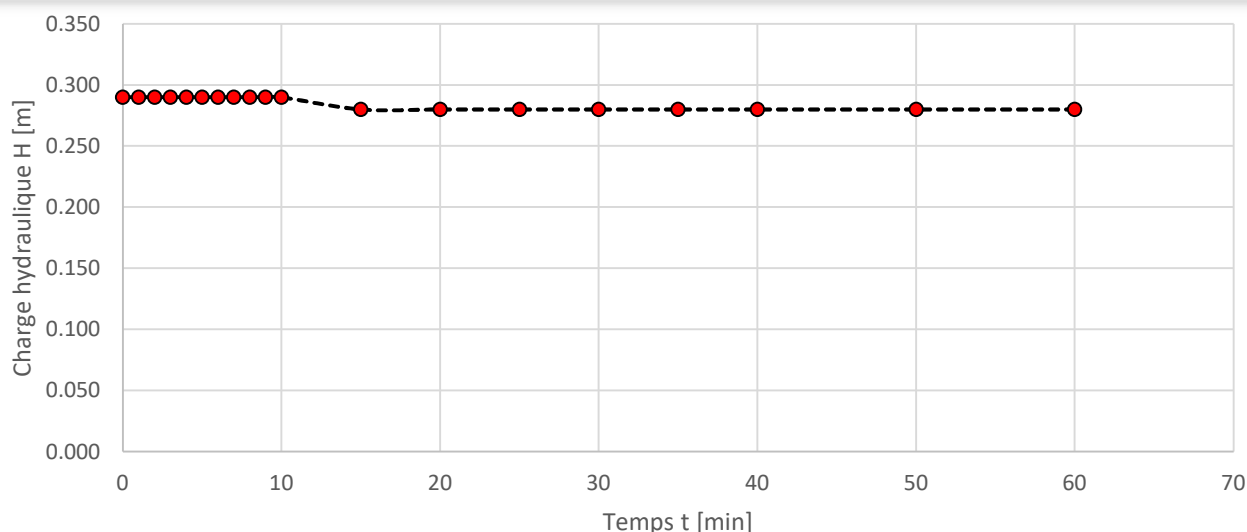
Profondeur de l'essai:

Niveau supérieur	2.21 m/TA
Niveau inférieur	2.50 m/TA

Le coefficient de perméabilité final a été obtenu en réalisant une moyenne des moyennes pondérées des perméabilités (calculées à partir de $t(0)$ et par intervalles de temps) comprises entre 0 et 60 min.

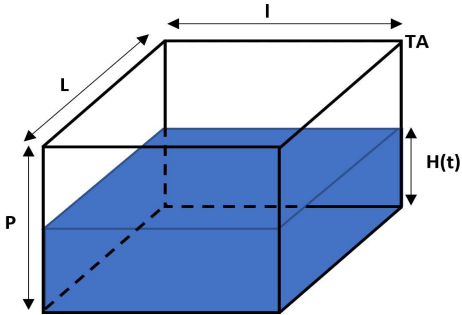
Coefficient de perméabilité K :

K = 3.3E-06 m/s
= 11.706 mm/h



ESSAI DE PERMEABILITE

Essai à la fosse (MATSUO) à charge variable

Lithologie testée	Blocs calcaires		Saturation du sol	Oui
			Durée de l'essai [min]	45
				
Longueur de la fouille (L) [m]		1.10		
Largeur de la fouille (l) [m]		0.80		
Profondeur de la fouille / TA (P) [m]		1.40		
Profondeur de la nappe / TA [m]		/		
NB: TA = Terrain actuel (niveau de la surface)				
Observations	/			

Temps t [min]	Charge hydraulique H(t) [m]	Variations de charge $\Delta H(t)$ [m]
0	0.480	0.000
1	0.480	0.000
5	0.480	0.000
6	0.480	0.000
7	0.480	0.000
8	0.480	0.000
9	0.480	0.000
10	0.470	0.010
15	0.470	0.000
20	0.450	0.020
25	0.430	0.020
30	0.410	0.020
35	0.400	0.010
40	0.390	0.010

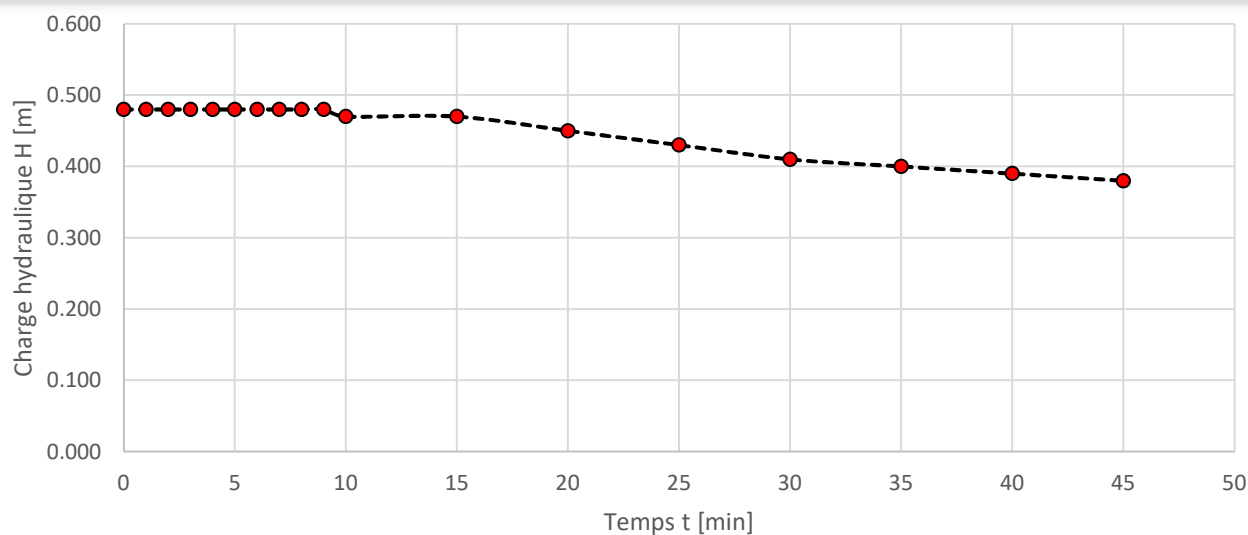
Profondeur de l'essai:

Niveau supérieur	0.92 m/TA
Niveau inférieur	1.40 m/TA

Le coefficient de perméabilité final a été obtenu en réalisant une moyenne des moyennes pondérées des perméabilités (calculées à partir de $t(0)$ et par intervalles de temps) comprises entre 0 et 60 min.

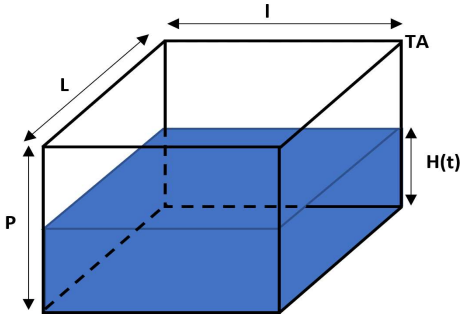
Coefficient de perméabilité K :

K = 1.2E-05 m/s
= 44.050 mm/h



ESSAI DE PERMEABILITE

Essai à la fosse (MATSUO) à charge variable

Lithologie testée		Calcaires francs	Saturation du sol		Oui
			Durée de l'essai [min]		60
					
Longueur de la fouille (L) [m]		1.10			
Largeur de la fouille (I) [m]		0.70			
Profondeur de la fouille / TA (P) [m]		1.30			
Profondeur de la nappe / TA [m]		/			
NB: TA = Terrain actuel (niveau de la surface)					
Observations		/			

Temps t [min]	Charge hydraulique H(t) [m]	Variations de charge $\Delta H(t)$ [m]
0	-0.020	0.000
1	-0.030	0.010
5	-0.030	0.000
6	-0.040	0.010
7	-0.040	0.000
8	-0.040	0.000
9	-0.040	0.000
10	-0.040	0.000
15	-0.040	0.000
20	-0.040	0.000
25	-0.040	0.000
30	-0.040	0.000
35	-0.040	0.000
40	-0.040	0.000

Profondeur de l'essai:

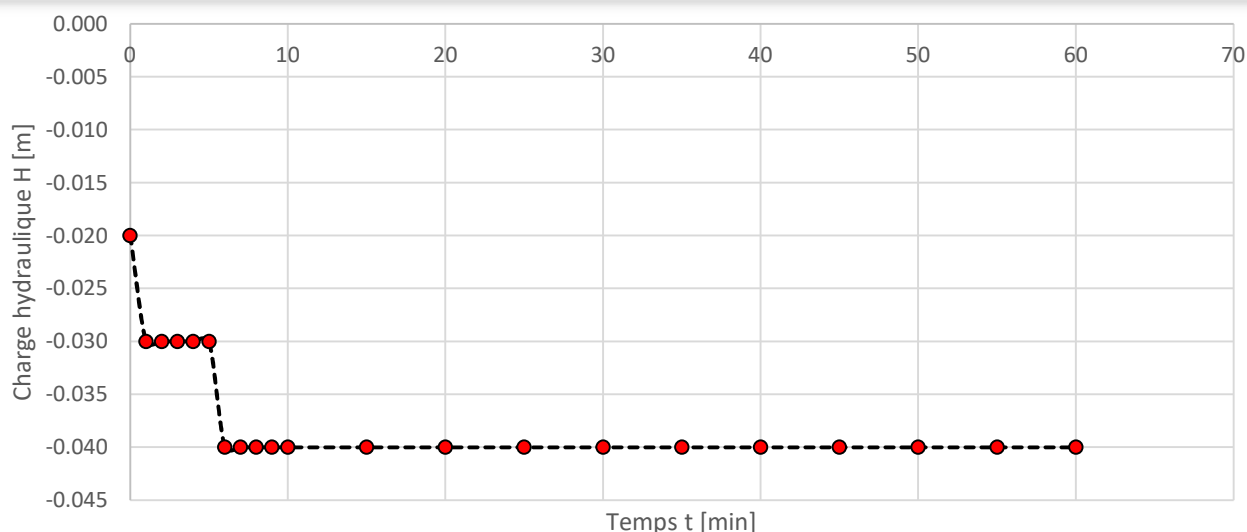
Niveau supérieur	1.32 m/TA
Niveau inférieur	1.30 m/TA

Le coefficient de perméabilité final a été obtenu en réalisant une moyenne des moyennes pondérées des perméabilités (calculées à partir de $t(0)$ et par intervalles de temps) comprises entre 0 et 60 min.

Coefficient de perméabilité K :

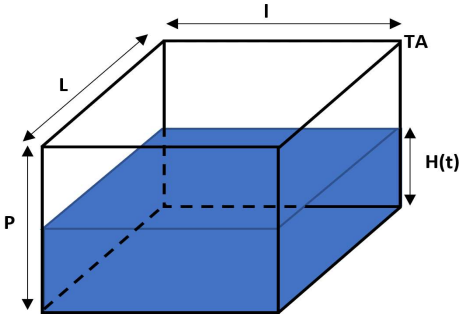
$$K = \#DIV/0!$$

$$= \#DIV/0!$$



ESSAI DE PERMEABILITE

Essai à la fosse (MATSUO) à charge variable

Lithologie testée		Argiles ocre à cailloux		Saturation du sol		Oui	
				Durée de l'essai [min]		60	
							
Longueur de la fouille (L) [m]		1.10					
Largeur de la fouille (I) [m]		0.55					
Profondeur de la fouille / TA (P) [m]		2.50					
Profondeur de la nappe / TA [m]		/					
NB: TA = Terrain actuel (niveau de la surface)							
Observations		/					

Temps t [min]	Charge hydraulique H(t) [m]	Variations de charge $\Delta H(t)$ [m]
0	0.200	0.000
1	0.200	0.000
5	0.200	0.000
6	0.200	0.000
7	0.200	0.000
8	0.200	0.000
9	0.190	0.010
10	0.190	0.000
15	0.170	0.020
20	0.170	0.000
25	0.170	0.000
30	0.170	0.000
35	0.160	0.010
40	0.160	0.000

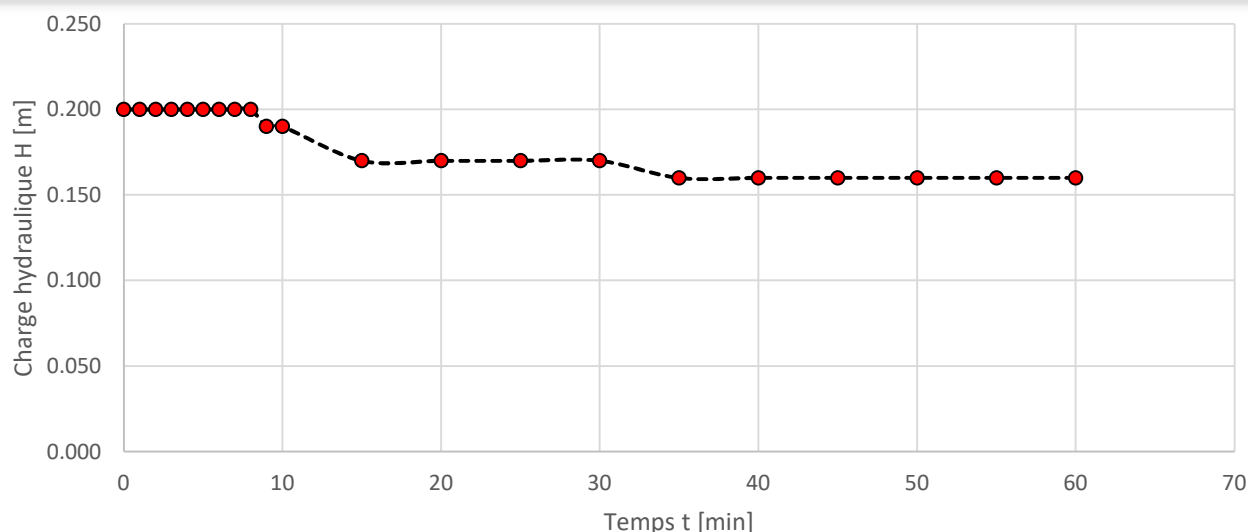
Profondeur de l'essai:

Niveau supérieur	2.30 m/TA
Niveau inférieur	2.50 m/TA

Le coefficient de perméabilité final a été obtenu en réalisant une moyenne des moyennes pondérées des perméabilités (calculées à partir de $t(0)$ et par intervalles de temps) comprises entre 0 et 60 min.

Coefficient de perméabilité K :

K = 1.1E-05 m/s
= 41.093 mm/h



Annexe 2

**Recommandation relative aux critères topographiques,
géologiques, hydrogéologiques et d'hygiène publique à prendre
en compte pour assurer la protection de l'hygiène publique en
matière de cimetière**

CONSEIL SUPERIEUR D'HYGIENE PUBLIQUE DE FRANCE

Section Evaluation des Risques de l'Environnement sur la Santé

Recommandation relative aux critères topographiques, géologiques, hydrogéologiques
et d'hygiène publique à prendre en compte pour assurer la protection de l'hygiène publique
en matière de cimetière

(adoptée lors de sa séance du 5 septembre 1996)

L'article R. 2213-32 du Code général des collectivités territoriales impose l'avis d'un hydrogéologue agréé en matière d'hygiène publique avant délivrance d'une autorisation d'inhumer en terrain privé.

Pour les cimetières urbains soumis à enquête de commodo et incommodo et avis du Conseil départemental d'hygiène, les services sanitaires demandent un avis hydrogéologique sur les risques de pollution de la ressource en eau avant de se prononcer. Cet avis d'un hydrogéologue agréé n'est pas imposé par les textes. Toutefois il permet dans la plupart des cas de lever les doutes subsistant sur l'opportunité d'implanter un cimetière en tel lieu plutôt qu'en tel autre et la décision est prise plus rapidement.

Pour les communes rurales et pour les communes urbaines dont le projet de cimetière n'est pas soumis à avis du Conseil départemental d'hygiène, cet avis d'un hydrogéologue agréé n'est pas requis par les textes. Il est cependant hautement conseillé pour s'assurer de la protection de la ressource en eau.

Juridiquement le suivi de l'avis de l'hydrogéologue agréé n'est pas imposé par la réglementation funéraire. Il peut l'être par la réglementation relative à la protection de la ressource en eau si le projet de cimetière est dans une zone de captage pour l'alimentation en eau potable. Dans tous les cas je vous demande de conseiller aux maires de suivre l'avis de l'hydrogéologue agréé lors de la création d'un cimetière, car le coût de dépollution est toujours sans commune mesure avec le coût de réduction à la source.

Les hydrogéologues agréés en matière d'hygiène publique sont désignés par le Préfet de région, conformément à l'article R. 1321-12 du code de la santé publique.

Les cimetières, qu'ils soient publics ou privés, de même que les tombes privées, sont destinés à recevoir les corps des défunts et doivent être établis sur des sites convenablement choisis et adaptés aux différents types de sépultures afin de ne pas engendrer d'atteintes à l'environnement ou de nuisances sur le plan de l'hygiène publique.

Les terrains d'inhumation doivent présenter des caractéristiques géologiques propices à l'oxydation des corps dans des conditions telles que les produits de décomposition puissent disparaître rapidement et totalement sans entraîner de risques de contamination grave pour les eaux superficielles ou souterraines.

C'est à l'hydrogéologue agréé en matière d'hygiène publique qu'il appartient d'apprécier l'aptitude des terrains à recevoir des inhumations et les risques potentiels de pollution que les cimetières peuvent créer.

Il sera ainsi amené, lors de la visite qu'il effectue sur le site, à étudier :

- 1- les données topographiques,
- 2- les critères géologiques,
- 3- le contexte hydrogéologique,
- 4- les aspects liés à l'hygiène publique,
- 5- les aménagements propres à supprimer ou à réduire les éventuelles nuisances.

On conçoit dès lors que l'intervention de l'hydrogéologue agréé soit nécessaire dès le stade initial, c'est-à-dire dès le choix provisoire, ou envisagé, d'un terrain d'inhumation.

1. CRITERES TOPOGRAPHIQUES

L'installation des cimetières doit se faire, de préférence, sur des terrains à surface horizontale ou de pente faible (de l'ordre de 5 à 7 % au plus).

Lorsque la déclivité est plus forte, il appartient à l'hydrogéologue agréé :

- de prescrire, si nécessaire, des études géotechniques pour vérifier la stabilité non seulement des terrains du cimetière mais également de ceux situés immédiatement au-dessous ;
- de donner des indications sur la nature des travaux à réaliser (création de terrasses ou de banquettes, collecte des eaux de ruissellement, etc...).

2. CRITERES GEOLOGIQUES

2.1 - Aptitude au creusement des terrains superficiels et de la partie supérieure du substratum

Il est indispensable de disposer d'une épaisseur suffisante de terrains faciles à creuser afin que la profondeur d'inhumation empêche l'action des animaux fouisseurs.

Pour les inhumations en pleine terre, il faut un recouvrement minimum de un mètre au-dessus du dernier cercueil. Etant donné que les cercueils ont une hauteur de 0,40 à 0,50 m, ceci impose une possibilité de creusement de :

- 1,40 à 1,50 m pour un corps,
- 1,90 à 2,10 m pour deux corps superposés,
- 2,40 à 2,70 m pour trois corps superposés.

Dans le cas des caveaux maçonnés, une profondeur de 1,40 m peut suffire pour la superposition de deux corps.

Afin d'apprécier l'aptitude au creusement des terrains, l'hydrogéologue agréé doit faire procéder à des travaux de reconnaissance (fouilles à la pelle mécanique, sondages mécaniques, etc...) judicieusement répartis et conduits, sauf impossibilité, jusqu'à une profondeur de 3 mètres.

.../...

Il attirera l'attention sur les éventuelles difficultés de creusement des fosses liées, soit à la nature du substratum, soit à son hétérogénéité.

A titre d'exemples, certaines roches même cohérentes se laissent aisément creuser (craie, schistes, calcaires en plaquettes, calcaires marneux, etc...) alors que d'autres sont difficilement excavables (granites sains, basaltes, calcaires massifs, etc...).

2.2 - Qualité des terrains

Outre la nature des terrains, l'hydrogéologue agréé étudiera leurs caractéristiques physiques et s'assurera, en particulier, qu'ils présentent une porosité et une perméabilité suffisantes pour permettre l'oxydation des matières organiques. Pour cela les formations géologiques concernées doivent favoriser la circulation de l'air et la percolation des eaux, sans que ces dernières stagnent pour autant dans le fond des fosses.

De ce point de vue, les couches d'argiles et les roches compactes doivent être considérées comme inaptes à l'installation de fosses en pleine terre dans les cimetières.

3. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

Il y a lieu de distinguer l'eau provenant de circulations superficielles ou de percolations temporaires liées à la pluviométrie récente et celle des nappes véritables.

L'hydrogéologue agréé devra s'assurer que le fond des fosses ou des caveaux restera, en toutes circonstances, au-dessus du plus haut niveau de la première nappe ; une marge de sécurité d'au moins un mètre paraît souhaitable.

En cas d'implantation de caveaux directement dans la nappe, il paraît en effet impossible que le fabricant engage sa garantie sur la durée d'utilisation des concessions, qui sont renouvelables indéfiniment dans un cimetière, en raison des risques de fissuration ou de corrosion du béton, d'altération des joints d'étanchéité. C'est pourquoi les caveaux, même étanches, ne doivent pas être installés directement dans la nappe.

L'étude devra porter particulièrement sur les points suivants :

3.1 - Identification de l'aquifère sous-jacent

3.1.1 - Lithologie du réservoir aquifère

3.1.2 - Type de nappe

- nappe d'imprégnation en relation ou non avec un cours d'eau ;
- nappe de fissure ;
- nappe libre ou captive.

3.1.3 - Modalités, direction et vitesse d'écoulement des eaux.

3.1.4 - Situation des exutoires naturels (sources) ou artificiels (puits, forages) par rapport au cimetière.

3.1.5 - Qualité de l'eau.

.../...

3. 2 - Evaluation du rôle épurateur des terrains

3.2.1 - Dans la zone non saturée en eau, le fond des fosses devant se trouver au-dessus du niveau des plus hautes eaux de la nappe, c'est la zone non saturée qui va recevoir les produits de la dégradation des corps. Ils y seront soumis à des phénomènes de décomposition aérobie, de filtration et d'adsorption. Ceux-ci sont sous la dépendance de l'aération du milieu pour la décomposition aérobie, de la granulométrie du sol pour la filtration et de la teneur en argiles pour l'adsorption.

Vis-à-vis du risque bactérien, une formation dotée d'une perméabilité d'interstices (sable) permet une élimination par filtration des microorganismes sur des distances d'autant plus courtes que la granulométrie est plus fine.

Par ailleurs, les saturations en eaux temporaires des pores provoquent l'alternance de phases aérobie et anaérobie, mais sont généralement favorables à l'oxydation complète des produits de décomposition.

Dans les terrains finement fissurés par contre, le phénomène de filtration est très réduit alors que celui d'adsorption peut devenir important si les fissures sont tapissées d'argiles.

En milieu largement fissuré, il existe un risque d'entraînement rapide à grande distance et grande profondeur des produits de la décomposition des corps.

L'hydrogéologue agréé devra donc s'efforcer d'apprécier, lorsque des captages d'eau potable sont présents à l'aval hydrogéologique, la durée de transfert d'une éventuelle pollution et le pouvoir d'épuration naturelle des terrains.

3.2.2 - Dans la zone saturée en eau, les phénomènes d'adsorption disparaissent pratiquement alors que la filtration continue à jouer si le réservoir aquifère présente une perméabilité d'interstices.

Par contre la dispersion intervient, liée à la vitesse d'écoulement de l'eau et à l'importance du taux de renouvellement de l'eau de la nappe.

4. ASPECTS D'HYGIENE PUBLIQUE

4.1 - Dégradation des corps

Tous les critères précédents visent à obtenir une dégradation des corps aussi rapide que possible. Il en découle un certain nombre de nuisances parmi lesquelles

4.1.1 - des émanations de gaz qui normalement diffusent à travers le sol s'il est suffisamment perméable et poreux. Dans le cas contraire, des sorties brutales sont à craindre ;

4.1.2 - une dissémination microbienne et virale qui doit être limitée au sol ;

4.1.3 - une dissémination de substances résiduelles entraînées par les eaux de percolation, notamment lorsqu'il y a inhumation en pleine terre.

L'un des principaux objectifs de l'intervention de l'hydrogéologue agréé est de choisir les terrains favorisant au maximum une disparition rapide des corps dans des conditions satisfaisantes pour l'hygiène publique sans, pour autant, entraîner de nuisances pour les eaux souterraines.

De ce point de vue, l'emploi pour l'inhumation de substances inaltérables ou difficilement biodégradables (bois dur, plastiques), comme certains soins de conservation, sont en contradiction avec l'objectif visé.

4.2- Protection des eaux

4.2.1 - Protection des captages d'eau potable

L'article L. 2223-1 du code général des collectivités territoriales régit la création d'un cimetière à moins de 35 mètres des habitations.

L'article L. 2223-5 du code général des collectivités territoriales interdit le creusement d'un puits à moins de 100 mètres des nouveaux cimetières transférés hors du périmètre d'agglomération des communes.

Ces deux articles sont en apparence contradictoires en ce qui concerne la distance devant séparer les cimetières des captages les plus proches.

En l'état actuel des connaissances, la distance minimale de 35 mètres peut être considérée, pour des captages limités à un usage purement familial, comme une marge de sécurité acceptable dans de nombreux cas.

Elle peut, par contre, se révéler insuffisante en cas de contexte hydrogéologique défavorable ou de prélèvement important d'eau souterraine (captage public). Dans ce contexte, il est du ressort de l'hydrogéologue agréé de proposer d'augmenter cette distance de manière à assurer la protection des captages d'alimentation en eau potable.

En application de l'arrêt Labonne (Conseil d'Etat - 1919), une autorité de police municipale peut toujours prescrire des mesures plus contraignantes que celles prévues par une réglementation nationale en matière de protection de la santé publique, sous réserve de motiver cette décision par des circonstances locales particulières de cette décision. Dans ces conditions, le maire peut ajouter une réglementation locale ou des servitudes locales. Ainsi le Conseil d'Etat a reconnu la légalité de l'interdiction d'implantation de caveaux au-dessus du sol prise par un Maire dans l'intérêt de la salubrité publique (CE, 18 mars 1932, sieur Frédéric Bertrand) avant la publication de la circulaire du ministère de l'Intérieur n° 79-141 du 2 avril 1979 interdisant la mise en place de caveaux au-dessus du sol en collectif de grande capacité.

Le Maire peut donc, sur ces bases, augmenter les distances réglementaires entre le cimetière et les habitations voisines ou imposer l'emploi de caveaux étanches évitant toute pollution du milieu.

4.2.2 - Protection des nappes souterraines

Doivent être prises en considération, la qualité des eaux des nappes (propres ou impropres à la consommation), leur utilisation actuelle et leurs possibilités d'emploi ultérieures.

.../...

Le cimetière, à cause des risques de pollution des eaux souterraines qu'il peut engendrer, doit être installé dans des conditions telles qu'il ne puisse entraîner une dégradation importante de la qualité des nappes d'eau souterraines, surtout lorsque ces dernières ont un intérêt économique. Partant, il doit satisfaire aux dispositions de la législation sur la protection des eaux.

4.3- Délai de rotation des tombes

L'article R. 2223-5 du code général des collectivités territoriales impose un délai minimal de 5 ans pour la récupération des tombes en pleine terre. Toutefois le maire peut, conformément à ses pouvoirs de police, augmenter ce délai dans l'intérêt de la salubrité publique.

Un délai minimal de cinq ans de rotation des tombes en pleine terre est compatible avec des terrains sains, secs, poreux et perméables (sables, limons, craie non saturée).

Pour les terrains de natures différentes, le délai de rotation, plus long, doit être apprécié et proposé par l'hydrogéologue agréé en fonction des caractéristiques du terrain (perméabilité, porosité, etc...). Des délais double (10 ans) ou triple (15 ans) semblent acceptables. Au-delà de 20 ans, le problème de l'aptitude des terrains à recevoir des inhumations se pose, surtout en zone urbaine où, pour une utilisation optimale du terrain, le délai de rotation doit être aussi faible que possible et pour cela le recours à des caveaux étanches appelés "autonomes" peut être une solution acceptable.

Dans son arrêt "Communes de Contes / A: Cristini" n° 72 998 du 11 décembre 1987, le Conseil d'Etat considère que la réduction de corps doit avoir lieu avec décence. Ainsi la réduction du corps par des moyens mécaniques pourrait constituer, sous réserve de l'avis des tribunaux compétents, un délit de violation de sépulture visé à l'article 225-17 du code pénal qui réprime toute atteinte à l'intégrité du corps.

Dans ces conditions le maire a tout intérêt à augmenter le délai de rotation des tombes en pleine terre afin qu'il soit supérieur au délai de dégradation des corps.

Le délai de rotation s'applique actuellement aux "inhumations en pleine terre" mais non aux "caveaux traditionnels", maçonnés en parpaings ou en briques. Pour ceux-ci il serait judicieux de fixer un délai préalable à toute réduction de corps qui, en l'état actuel des connaissances, ne paraît pas devoir être inférieur au délai de rotation en pleine terre.

Pour les caveaux autonomes en béton étanche, le délai de dégradation des corps dépend de la météorologie du lieu. Il est inférieur à 5 ans en climat méditerranéen, mais l'on manque de données statistiques pour les autres régions françaises.

5. AMENAGEMENTS PROPRES A REDUIRE LES EVENTUELLES NUISANCES

Dans la mesure où les aménagements peuvent avoir une influence directe ou indirecte sur l'hygiène, l'hydrogéologue agréé doit porter attention aux aspects suivants :

.../...

5.1 - Collecte des eaux pluviales et de ruissellement

Afin d'éviter l'entrée d'eaux superficielles dans les tombes ou les caveaux, l'hydrogéologue agréé devra apprécier l'utilité de la création d'un réseau de collecte intérieur et éventuellement d'un fossé de ceinture extérieur avec évacuation des eaux collectées vers l'aval ou le réseau public d'assainissement.

Il convient de rappeler à ce sujet l'intérêt de maintenir les allées en léger contrebas des carrés d'inhumation.

5.2 - Eventualité d'un drainage profond

Le drainage profond est une solution extrême à n'envisager que s'il est impossible de trouver à proximité un site meilleur ou dans le cas d'un cimetière en remblai sur des terrains peu perméables.

Comme il serait inadmissible de rejeter dans la nature les eaux d'un tel drainage car elles risquent d'être contaminées, il y a lieu de prévoir dans ce cas :

- * soit leur renvoi vers une station d'épuration,
- * soit un dispositif adapté à leur épuration, approuvé par les services sanitaires.

En tout état de cause, la solution technique de rehaussement du sol par apport de matériaux de remblai appropriés est préférable.

5.3- Cas des cimetières en pente

Lorsque la pente du cimetière impose des aménagements particuliers (terrasses par exemple), l'hydrogéologue agréé devra évaluer les risques d'écoulement ou de résurgence des liqueurs à la surface du sol et, si nécessaire, fournira des indications sur les aménagements susceptibles de les éviter (absence de barbacanes dans les murs de soutènement, largeur des talus suffisante pour assurer le confinement, etc...)

5.4 - Superficie

En fonction de ses observations, du nombre de superpositions qu'il juge acceptable dans les concessions, de la nature des terrains et du délai de rotation des tombes, l'hydrogéologue doit vérifier l'adéquation des surfaces proposées avec la mortalité locale, compte tenu des espaces à réserver pour les circulations intérieures nécessaires à un cimetière moderne.

Il est rappelé à cet égard que la surface d'une concession de 2 m² nécessite un empiètement au sol d'une surface double, compte tenu des séparations inter-tombes et ceci sans compter les allées de circulation.

5.5 - Règlement de cimetière

L'établissement d'un règlement de cimetière est indispensable pour une bonne gestion de celui-ci, bien que les communes ne soient pas tenues, juridiquement, d'établir un tel règlement. Dans le cas où un règlement existe, l'hydrogéologue agréé rappellera que ce règlement de cimetière doit notamment reprendre les prescriptions qu'il a édictées (délai de rotation des tombes, aménagements, etc...).

6. CAS PARTICULIER DES CIMETIERES ANCIENS

Pour les cimetières anciens qui ne répondent pas aux critères définis précédemment, plusieurs solutions peuvent être envisagées sur avis de l'hydrogéologue agréé en matière d'hygiène publique :

6.1 - Mise en conformité du cimetière par tout moyen adapté (remblai, déviation des eaux, etc...),

6.2 - Création d'un nouveau cimetière avec interdiction de renouvellement des concessions dans tout ou partie de l'ancien cimetière dès la décision prise,

L'arrêté de désaffectation du cimetière, pris conformément à l'article L. 2223-6 du code général des collectivités territoriales, met un terme à toute nouvelle inhumation.

Toutefois, des inhumations peuvent continuer à être faites dans les caveaux de familles, à concurrence du nombre de places encore disponibles, à la condition que les règles de salubrité et d'hygiène soient respectées.

Cependant cette possibilité n'est pas ouverte aux familles si l'affectation du sol à un autre usage a été reconnue d'utilité publique.

Cette reconnaissance de l'utilité publique de la nouvelle affectation du sol ne peut résulter d'une procédure de déclaration d'utilité publique. En effet, en l'état actuel de la jurisprudence administrative, une opération ne peut être déclarée d'utilité publique sur le fondement de l'article L. 11-1 du code de l'expropriation, si elle ne prévoit pas l'expropriation ou la cession amiable au profit de l'expropriant des terrains compris dans les emprises de la déclaration d'utilité publique (CE, 4 mars 1991, Palanque - CE, 3 décembre 1953, commune de Villeneuve sur Lot). Le cimetière étant une composante du domaine public communal (depuis l'arrêt Marécar du Conseil d'Etat du 28 juin 1935), une telle procédure est inapplicable.

En revanche, la reconnaissance d'utilité publique résulte de la délibération du conseil municipal qui affecte le sol du cimetière à l'exercice d'une autre activité d'utilité publique. Cette délibération doit avoir, par exemple, pour objet de prévoir l'affectation future du sol du cimetière à l'usage libre du public ou à la gestion d'un service public.

Par ailleurs le Maire peut, dans le cadre de ses pouvoirs de police, interdire toute inhumation, même en caveau, pour la protection de la salubrité publique.

6.3 - Installation de caveaux étanches appelés "autonomes" dans les conditions définies au paragraphe 3 (2^{ème} alinéa).

.../...

7. RENOUELEMENT DE L'AVIS DE L'HYDROGEOLOGUE AGREE

Afin de permettre la prise en considération de l'évolution des situations (bouchage des pores d'aération par les matières grasses notamment), il serait nécessaire au plan sanitaire que l'avis de l'hydrogéologue agréé soit renouvelé tous les quinze ans pour les cimetières des communes urbaines et tous les trente ans pour ceux des communes rurales, bien qu'aucune disposition législative ne l'impose juridiquement aux collectivités locales.

Cet avis ne peut être diffusé que dans sa totalité, sans omission ni ajout.

.../...

Annexe 3

Plan de récolement du cimetière Saint-Claude

Maîtrise d'oeuvre :

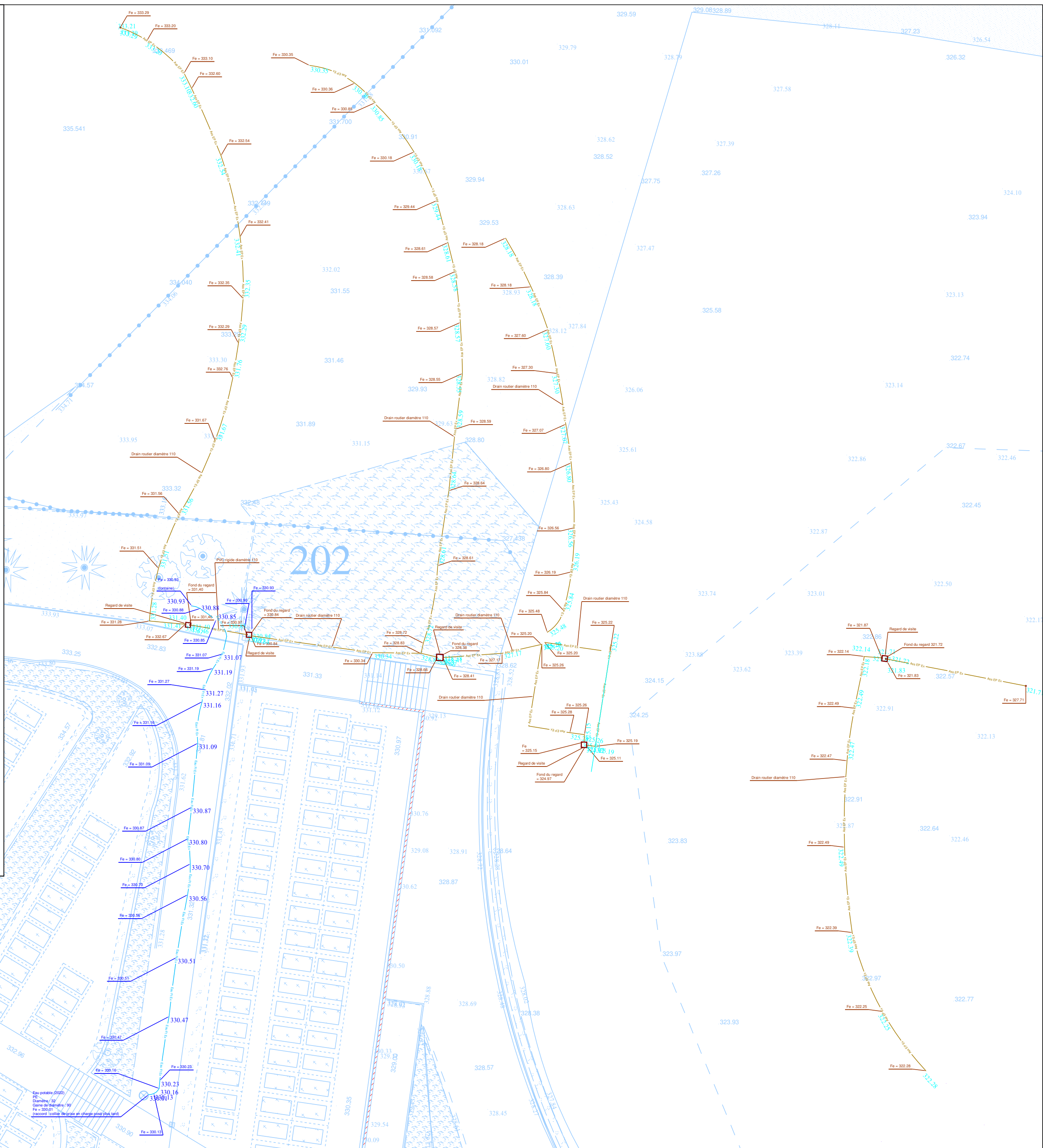


**Direction Grands Travaux
Grand Besançon Métropole**

**Direction Grands Travaux
Grand Besançon Métropole
2, rue Mégevand
25034 Besançon cedex
03 81 61 51 24
grands-travaux@grandbesancon.fr**

Création d'un carré Musulman

RECOLEMENT

[illegible]

Annexe 4

Feuille(s) de calculs du/des dimensionnement(s)



CALCULS HYDRAULIQUES D'UN OUVRAGE DE RETENTION - INFILTRATION

Méthode des pluies

commune (s) :
Opération :
bassin (s) versant (s) :
**Période de défaillance
admissible :**

Besançon
Etude de gestion des eaux pluviales
Sous bassin versant n°1
20 ans

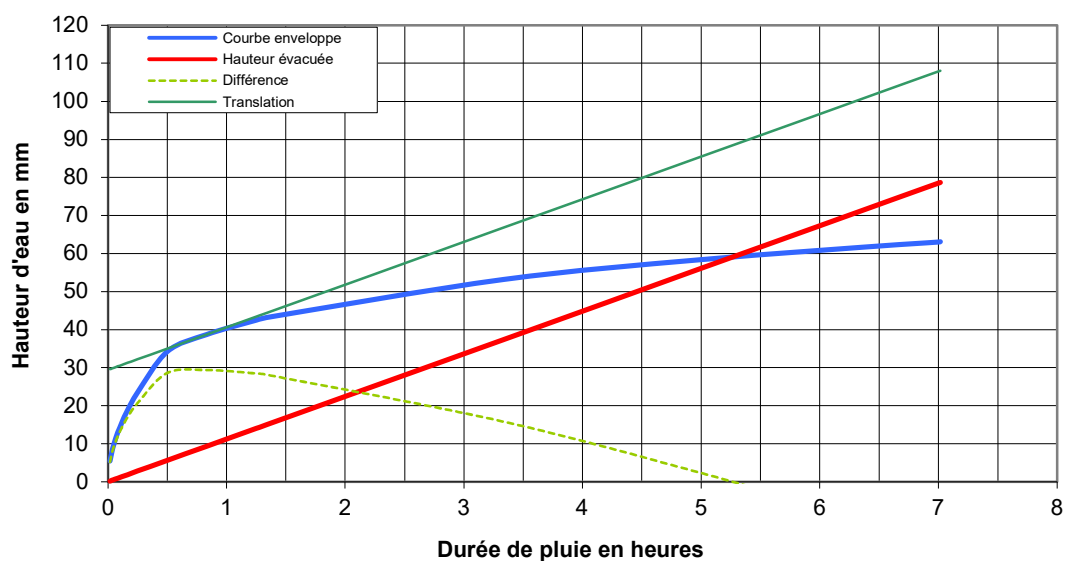
DONNEES

Surface élémentaire	S =	0.05450	ha
Coefficient d'apport	C =	0.54	
Surface active	Sa =	0.02967	ha
Débit de fuite	Qf =	0.92	l/s

Ouvrage de rétention/infiltration n°1

CALCULS INTERMEDIAIRES

q = 11.21 mm / h



$\Delta h = 29.38$ mm

RESULTATS

Volume brut : 8.718 m³

Coefficient majoration : 0%

Volume utile majoré : 8.718 m³



CALCULS HYDRAULIQUES D'UN OUVRAGE DE RETENTION - INFILTRATION

Méthode des pluies

commune (s) :
Opération :
bassin (s) versant (s) :
**Période de défaillance
admissible :**

Besançon
Etude de gestion des eaux pluviales
Sous bassin versant n°2
20 ans

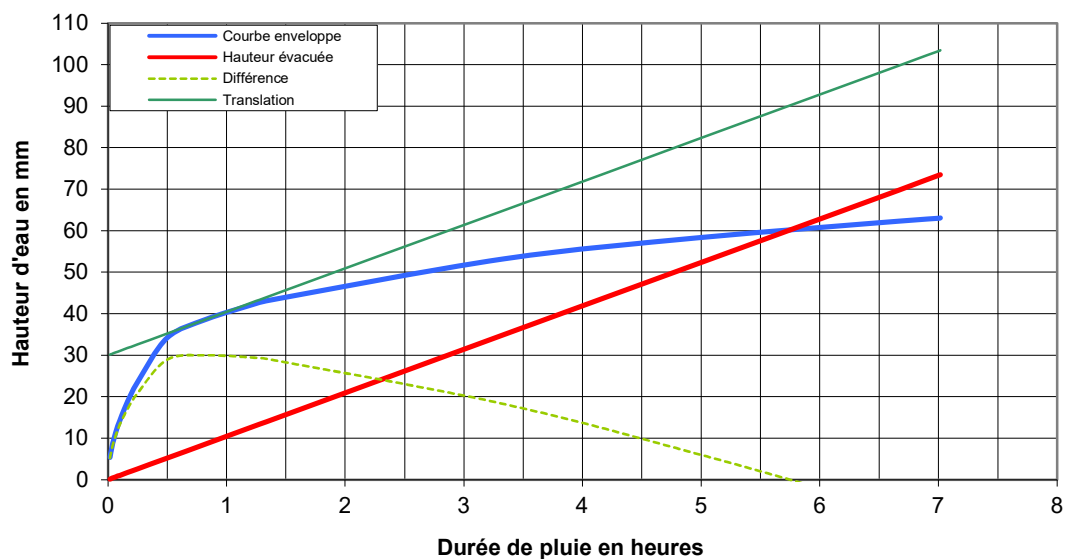
DONNEES

Surface élémentaire	S =	0.03447	ha
Coefficient d'apport	C =	0.57	
Surface active	Sa =	0.01969	ha
Débit de fuite	Qf =	0.57	l/s

Ouvrage de rétention/infiltration n°2

CALCULS INTERMEDIAIRES

q = 10.47 mm / h



$\Delta h = 29.99$ mm

RESULTATS

Volume brut : 5.905 m³

Coefficient majoration : 0%

Volume utile majoré : 5.905 m³



CALCULS HYDRAULIQUES D'UN OUVRAGE DE RETENTION - INFILTRATION

Méthode des pluies

commune (s) :
Opération :
bassin (s) versant (s) :
**Période de défaillance
admissible :**

Besançon
Etude de gestion des eaux pluviales
Sous bassin versant n°3
20 ans

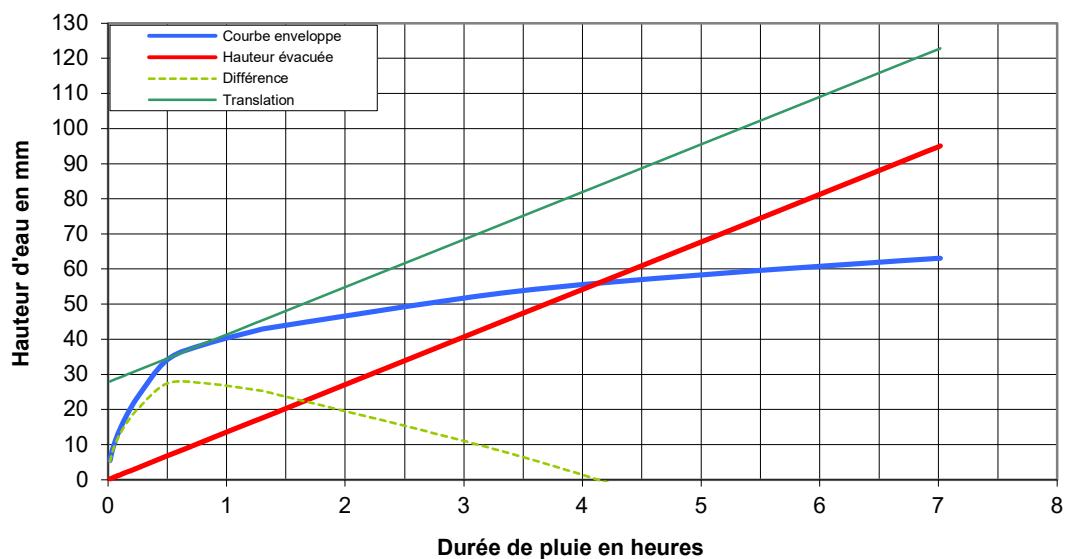
DONNEES

Surface élémentaire	S =	0.03650	ha
Coefficient d'apport	C =	0.55	
Surface active	Sa =	0.02013	ha
Débit de fuite	Qf =	0.76	l/s

Ouvrage de rétention/infiltration n°3

CALCULS INTERMEDIAIRES

q = 13.55 mm / h



$\Delta h = 27.78$ mm

RESULTATS

Volume brut : 5.592 m³

Coefficient majoration : 0%

Volume utile majoré : 5.592 m³



CALCULS HYDRAULIQUES D'UN OUVRAGE DE RETENTION - INFILTRATION

Méthode des pluies

commune (s) :
Opération :
bassin (s) versant (s) :
**Période de défaillance
admissible :**

Besançon
Etude de gestion des eaux pluviales
Sous bassin versant n°4
20 ans

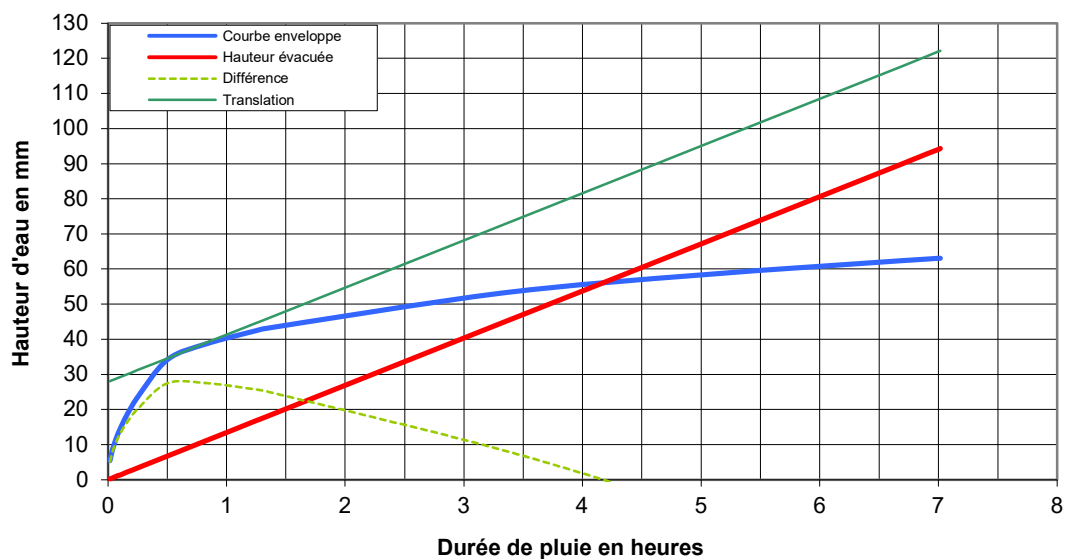
DONNEES

Surface élémentaire	S =	0.11270	ha
Coefficient d'apport	C =	0.53	
Surface active	Sa =	0.05971	ha
Débit de fuite	Qf =	2.23	l/s

Ouvrage de rétention/infiltration n°4

CALCULS INTERMEDIAIRES

q = 13.44 mm / h



$\Delta h = 27.84$ mm

RESULTATS

Volume brut : 16.627 m³

Coefficient majoration : 0%

Volume utile majoré : 16.627 m³



CALCULS HYDRAULIQUES D'UN OUVRAGE DE RETENTION - INFILTRATION

Méthode des pluies

commune (s) :
Opération :
bassin (s) versant (s) :
**Période de défaillance
admissible :**

Besançon
Etude de gestion des eaux pluviales
Sous bassin versant n°5
20 ans

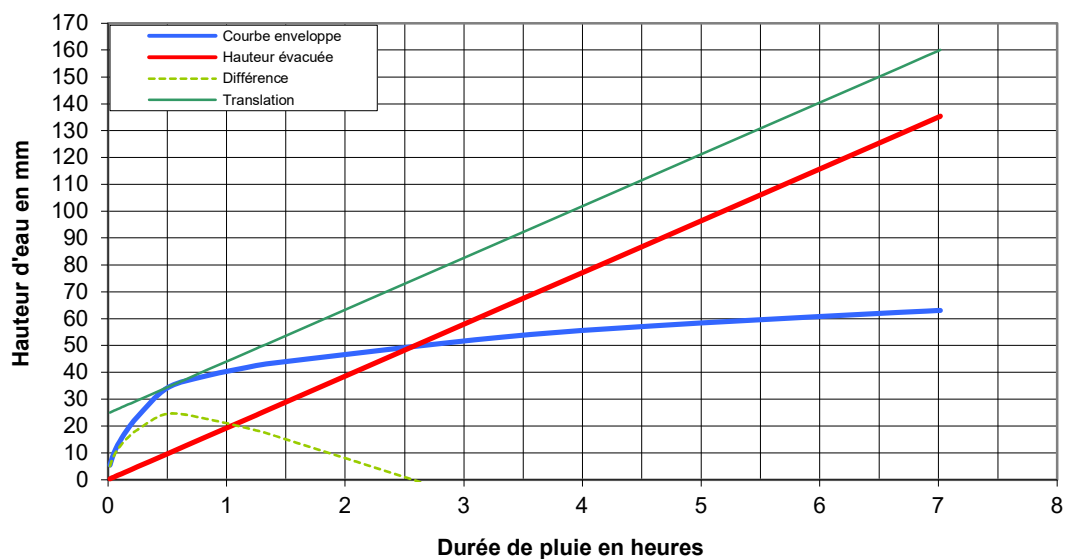
DONNEES

Surface élémentaire	S =	0.01720	ha
Coefficient d'apport	C =	0.50	
Surface active	Sa =	0.00860	ha
Débit de fuite	Qf =	0.46	l/s

Ouvrage de rétention/infiltration n°5

CALCULS INTERMEDIAIRES

q = 19.29 mm / h



$\Delta h = 24.73$ mm

RESULTATS

Volume brut : 2.127 m³

Coefficient majoration : 0%

Volume utile majoré : 2.127 m³



CALCULS HYDRAULIQUES D'UN OUVRAGE DE RETENTION - INFILTRATION

Méthode des pluies

commune (s) :
Opération :
bassin (s) versant (s) :
**Période de défaillance
admissible :**

Besançon
Etude de gestion des eaux pluviales
Sous bassin versant n°6
20 ans

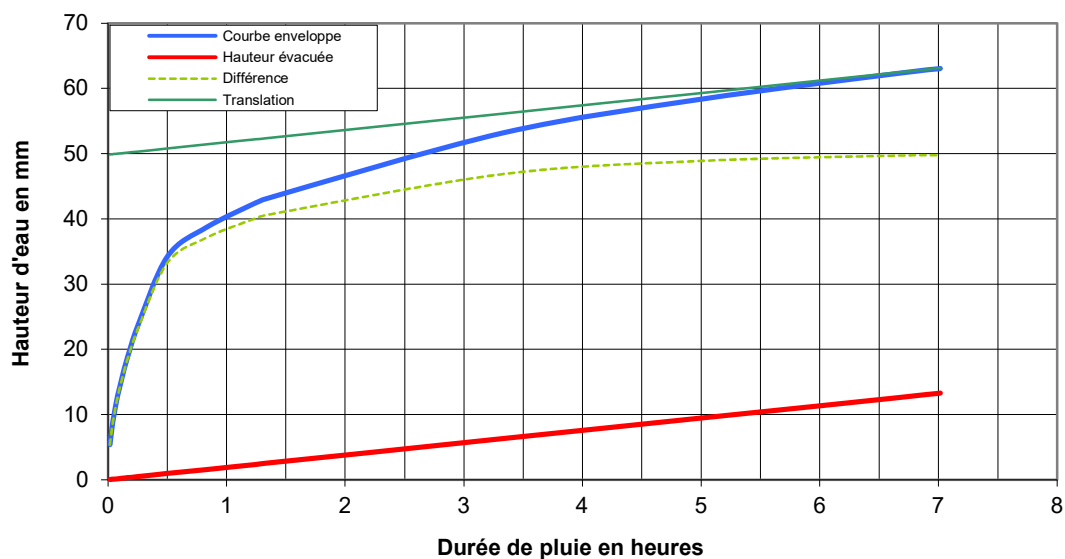
DONNEES

Surface élémentaire	S =	0.03610	ha
Coefficient d'apport	C =	0.57	
Surface active	Sa =	0.02075	ha
Débit de fuite	Qf =	0.11	l/s

Ouvrage de rétention/infiltration n°6

CALCULS INTERMEDIAIRES

q = 1.89 mm / h



$\Delta h = 49.85$ mm

RESULTATS

Volume brut : 10.343 m³

Coefficient majoration : 0%

Volume utile majoré : 10.343 m³



CALCULS HYDRAULIQUES D'UN OUVRAGE DE RETENTION - INFILTRATION

Méthode des pluies

commune (s) :
Opération :
bassin (s) versant (s) :
**Période de défaillance
admissible :**

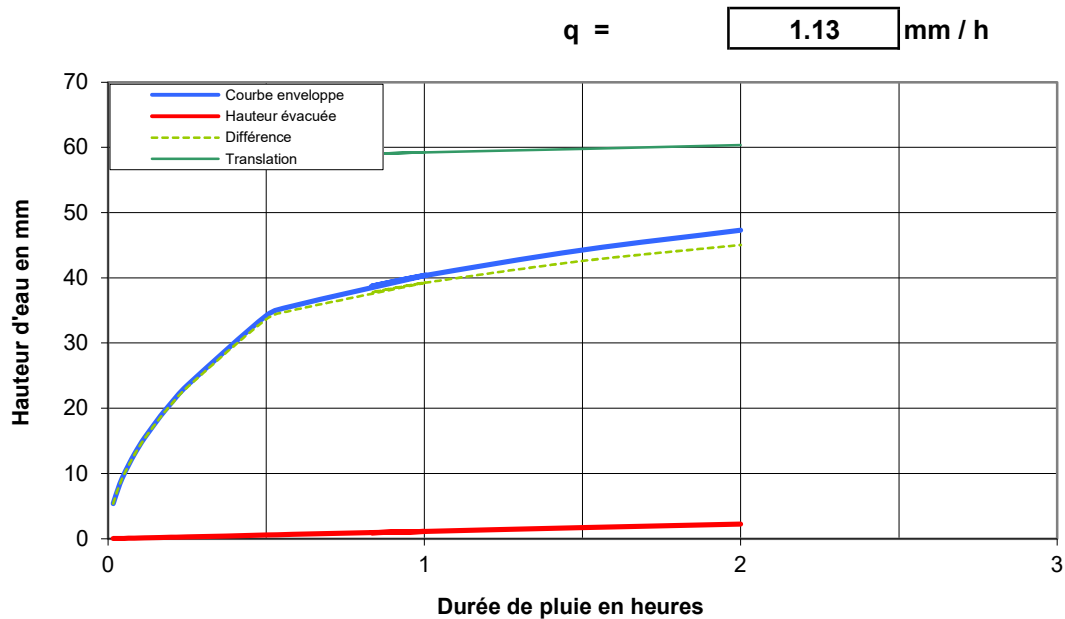
Besançon
Etude de gestion des eaux pluviales
Sous bassin versant n°7
20 ans

DONNEES

Surface élémentaire	S =	0.11510	ha
Coefficient d'apport	C =	0.55	
Surface active	Sa =	0.06374	ha
Débit de fuite	Qf =	0.20	l/s

Ouvrage de rétention/infiltration n°7

CALCULS INTERMEDIAIRES



$\Delta h =$ 58.10 mm

RESULTATS

Volume brut : 37.031 m³

Coefficient majoration : 0%

Volume utile majoré : 37.031 m³



CALCULS HYDRAULIQUES D'UN OUVRAGE DE RETENTION - INFILTRATION

Méthode des pluies

commune (s) :
Opération :
bassin (s) versant (s) :
**Période de défaillance
admissible :**

Besançon
Etude de gestion des eaux pluviales
Sous bassin versant n°8
20 ans

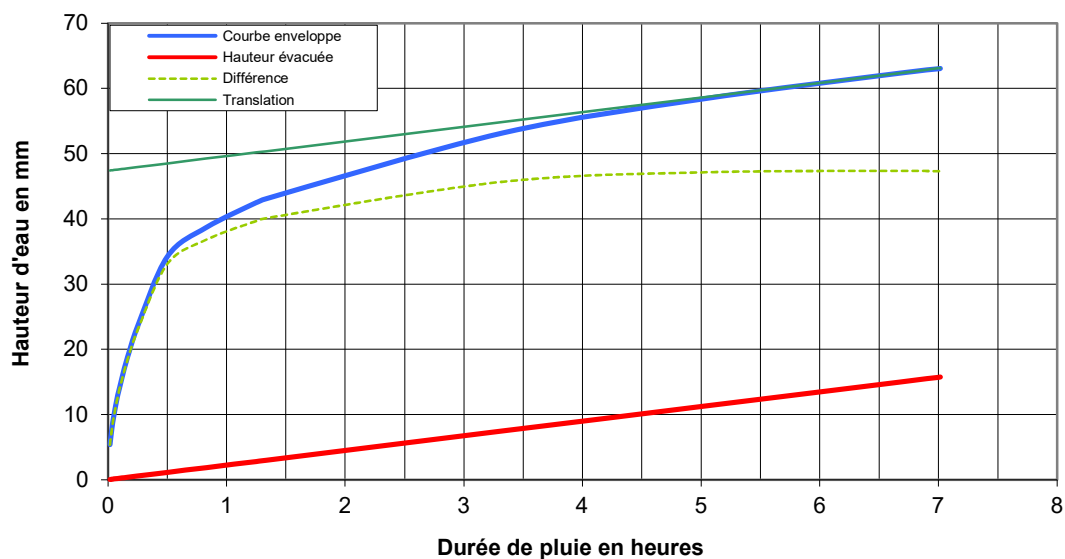
DONNEES

Surface élémentaire	S =	0.05210	ha
Coefficient d'apport	C =	0.50	
Surface active	Sa =	0.02605	ha
Débit de fuite	Qf =	0.16	l/s

Ouvrage de rétention/infiltration n°8

CALCULS INTERMEDIAIRES

q = 2.24 mm / h



$\Delta h = 47.38$ mm

RESULTATS

Volume brut : 12.343 m³

Coefficient majoration : 0%

Volume utile majoré : 12.343 m³



CALCULS HYDRAULIQUES D'UN OUVRAGE DE RETENTION - INFILTRATION

Méthode des pluies

commune (s) :
Opération :
bassin (s) versant (s) :
**Période de défaillance
admissible :**

Besançon
Etude de gestion des eaux pluviales
Sous bassin versant n°9
20 ans

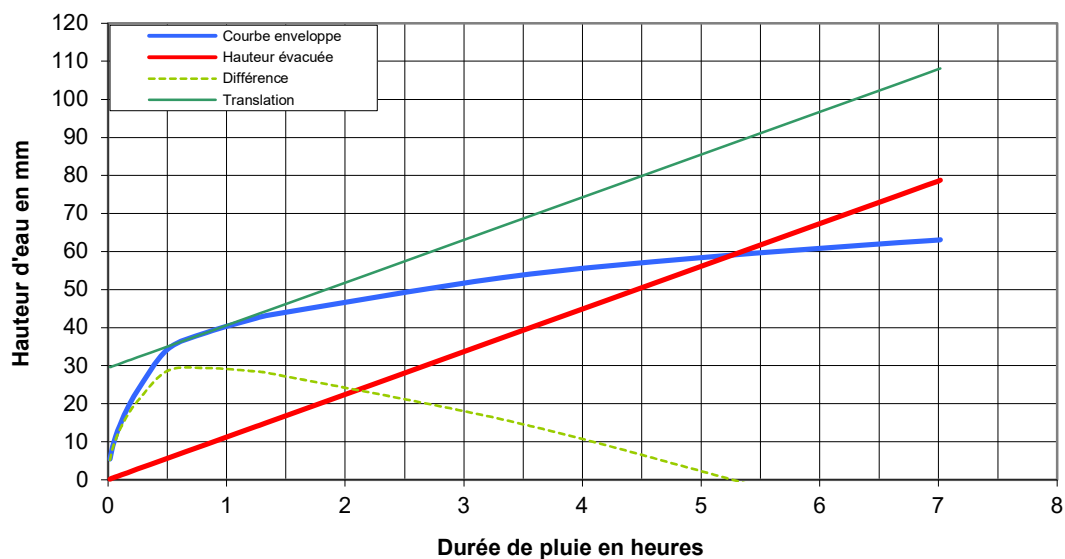
DONNEES

Surface élémentaire	S =	0.09760	ha
Coefficient d'apport	C =	0.50	
Surface active	Sa =	0.04880	ha
Débit de fuite	Qf =	1.52	l/s

Ouvrage de rétention/infiltration n°9

CALCULS INTERMEDIAIRES

q = 11.22 mm / h



$\Delta h = 29.38$ mm

RESULTATS

Volume brut : 14.337 m³

Coefficient majoration : 0%

Volume utile majoré : 14.337 m³