
Rapport n° 2517053.4d

Service des ponts et chaussées, Fribourg

Marly-Matran, nouvelle liaison

Axe 1250 Marly-Matran

Ensemble du tracé

Etude géologique – géotechnique

11 février 2025

Auteur(s)	Thème
Samir Bouslama	Géologie / Hydrogéologie / Mise à jour
Rui Assunção	Géotechnique (anciens rapports)
Samir Bouslama	Mise à jour (version 4c)
Supervision	Contenu contrôlé
Martin Kuhn	Rapport complet (anciens rapports et version 4c)
Claire Sauthier	Géotechnique (anciens rapports)
Benjamin Nowak	Géotechnique (Version 4c)
Remarques	
Compilation des rapports n°2517053.2c, n°2517053.3b, n°2517053.4b et 2517053.6. Cette version remplace ces rapports.	

GEOTEST SA



Martin Kuhn



Samir Bouslama

Table des matières

1.	Introduction.....	6
1.1	Mandat	6
1.2	Projet.....	6
1.3	Documents	7
1.4	But de l'étude	8
2.	Travaux effectués.....	10
2.1	Forages carottés	10
2.2	Sondages à la pelle mécanique	12
2.3	Essais de plaque dynamique (déflectomètre à masse tombante).....	13
2.4	Essais géotechniques en laboratoire	14
2.5	Sondages au pénétromètre dynamique	15
2.6	Essais de pompage.....	16
3.	Résultats	16
3.1	Situation générale	16
3.2	Contexte géologique	16
3.3	Sols (Horizon A et B).....	17
3.4	Stratigraphie	17
3.5	Conditions hydrogéologiques.....	20
3.5.1	Secteur Fontanettes	21
3.5.2	Secteur Ruisseau de Copy	21
3.5.3	Secteur des Planchettes	22
3.5.4	Secteur Vallon de Chésalles	22
3.5.5	Secteur du Gros Essert.....	22
3.5.6	Secteur Vallée de la Sarine.....	22
3.5.7	Secteur La Comba	23
3.5.8	Secteurs et zones de protection	23
3.5.9	Captages existants.....	23
3.5.10	Problématique des drainages secteur Fontanettes	23
3.6	Caractéristiques géotechniques	24
3.7	Qualité et réutilisation des matériaux.....	25
3.7.1	Remblais	25
3.7.2	Décharges (sites pollués).....	26
3.7.2.1	Site pollué du Gros Essert (km 2000 à 2060).....	26
3.7.2.2	Site pollué de La Pila (km 2460 à 2600)	26
3.7.3	Dépôts fluvioglaciaires de retrait.....	26
3.7.4	Moraine rhodanienne et sarinienne	27
3.7.5	Dépôts glaciolacustres de progression	28
3.8	Dangers naturels.....	28
3.9	Séisme	29

4.	Dispositions constructives et recommandations générales pour le projet.....	30
4.1	Fouilles et terrassement.....	30
4.1.1	Bords de fouille : Talutages.....	30
4.1.2	Travaux de terrassement	31
4.1.3	Epuisement des eaux.....	31
4.2	Remblayages	31
4.3	Conditions de fondation des chaussées	33
4.4	Réinfiltration des eaux pluviales	33
5.	Dispositions constructives et recommandations spécifiques.....	35
5.1	PI et carrefour de La Crausa.....	35
5.2	Mur des Fontanettes (km 200 à 400).....	36
5.3	Pont de Vuisserens km 1'580 à km 1'800.....	37
5.4	Pont de Chésalles km 1'587 à km 1'790.....	40
5.4.1	Culée Ouest	40
5.5	Culée Est.....	41
5.6	Piles.....	42
5.6.1	Versant Ouest et fond du vallon de Chésalles.....	42
5.6.2	Versant Est du Vallon de Chésalles.....	43
6.	Conclusions.....	44
6.1	Pont d'Hauterive km 2'079 à km 2'876	45
6.1.1	Culée Ouest	45
6.1.2	Culée Est.....	46
6.1.3	Piles.....	47
6.1.3.1	Versant Ouest (km 2'600 à 2'900).....	47
6.1.3.2	Versant Est (km env. 2'240 à 2'340)	48
6.1.3.3	Fond de la vallée, décharge de la Pila (km env.2'440 à 2'600)	49
6.1.4	Fond de la vallée, rivière La Sarine (km env. 2'340 à 2'440).....	50
6.1.5	Conclusions.....	51
7.	Conclusions.....	52
8.	Investigations complémentaires et recommandations	54

Annexes

1. Plan de situation du tracé avec sondages connus et sondages réalisés
2. Carte géologique avec tracé
3. Profils des forages réalisés dans cette étude
4. Profils des tranchées à la pelle mécanique réalisées dans cette étude
5. Profils des forages connus situés à proximité
6. Profils en long avec coupe géologique
7. Rapport du laboratoire TransGeo AG
8. Plans des drainages sur le secteur Les Fontanettes
9. Photos aériennes historiques des exploitations de gravier
10. Profils de battage des sondages au pénétromètre dynamique
11. .1 Profil –PI de la Crausaz
- .2 Profil – Mur des Fontanettes
- .3 Profil – Pont de Vuisserens
- .4 Profil – Pont de Chésalles
- .5 Profil – Pont d'Hauterive
- .6 Profil – PI de Grangeneuve
12. Résultats des mesures piézométriques
13. Résultats des essais d'infiltration
14. Résultats des essais de pompage
15. Profil décharge
16. Profil des concentrations en PCB dans la décharge de La Pila dans la longueur du tracé du pont
17. Plan des concentrations en PCB par couches dans la décharge de La Pila établi par le bureau CSD SA
18. Exemple de plan hygiène et sécurité établi par le bureau CSD SA dans le cadre des travaux réalisés sur le site de La Pila

1. Introduction

1.1 Mandat

Maître de l'ouvrage & mandant :	Etat de Fribourg, Service des ponts et chaussées, projets routiers
Offre :	OF2517053.2 du 17.10.18 pour l'étude géotechnique ; OF2517053.4 du 08.11.17 pour l'étude géotechnique complémentaire du secteur Fontanettes ; OF2517053.6 du 28.09.18 pour les investigations complémentaires du secteur Fontanettes ; OF2517.053.7 du 27.12.18 pour les essais d'infiltration OF2517053.8 du 05.02.19 pour l'étude géotechnique complémentaire du secteur Crausa ; OF2517053.19a du 3.06.2024 pour les investigations complémentaires des secteurs Crausa, Vuisserens et Grangeneuve.
Commande :	Contrat N° 3860 (ensemble du tracé), 3868 (Fontanettes), 4180 (complément Fontanettes), 4305 (Crausa) et 4306 (Infiltration), 6700 (complément Crausa, Vuisserense et Grangeneuve).

1.2 Projet

Objet :	Nouvelle liaison routière axe 1250 Marly-Matran
Projet :	Tracé du nouvel axe entre Hauterive et Marly, y compris le passage inférieur de la Crausa (PI Crausa), le pont de Vuisserens, le pont de Chésalles, le pont d'Hauterive et le passage inférieur de Grangeneuve (PI Grangeneuve). Le pont de Copy et le mur de la Gérine ne sont pas traités dans ce rapport.
Problématique :	- Secteur en déblai d'une profondeur d'environ 2.5 à 5.5 m (km 1'805 à 2'040) ; - Divers ouvrages d'art ; - Présence d'un site pollué à proximité du déblai important (km 2'000 à 2'080) ; - Sources captées à l'aval et à l'amont du futur tronçon (traité dans le rapport [23]) ; - Présence d'eaux souterraines ; - Secteur Fontanettes avec remblai-déblai avec sources, drainages, venues d'eau et risque de glissement (km 0 à 480) ; - Remblai important d'env. 8 m sur un talus avec risque de glissement pour la réalisation d'un giratoire (carrefour de la Crausa, km 0 à 40).

Lieu : Commune de Marly et commune de Hauterive

Coordonnées : Env. 2'577'290 / 1'180'150

1.3 Documents

Documents transmis par le MO :

- [1] Plan de l'étude préliminaire établi par le bureau Holinger (état au 08.08.17) ;
- [2] Profil en long établi par le bureau Holinger (état au 09.08.17) ;
- [3] Profils types ponts et chaussée et profils en travers établis par le bureau Holinger (état au 27.07.17) ;
- [4] Extraits du rapport d'impact sur l'environnement établi par le bureau Triform SA en janvier 2006 ;
- [5] Profil en long et plan de situation du nouveau tracé routier Marly-Matran, établi par le bureau Emch-Berger AG (état d'avant-projet du 18.10.2018) ;
- [6] Profil en long, profils en travers et plan de situation du nouveau tracé routier Marly-Matran établi par le bureau Emch-Berger AG (état d'avant-projet du 20.03.2019) ;
- [7] Profil en long, profils en travers et plan de situation du nouveau tracé routier Marly-Matran établi par le bureau Emch-Berger AG (phase 33 du 07.03.2023) ;
- [8] Profil en long, profils en travers et plan de situation du nouveau tracé routier Marly-Matran établi par le bureau Emch-Berger AG (phase 33 du 17.03.2023).

Autres documents consultés :

- [9] Guichet cartographique géoportail du canton de Fribourg ;
- [10] Guichet cartographique de Swisstopo (map.geo.admin.ch) ;
- [11] Atlas de l'approvisionnement en eau, feuille 1205 Rossens, Swisstopo ;
- [12] Rapport CSD SA N° FR2706/(D61), Ville de Fribourg, Investigation technique selon l'OSites, Décharge de La Pila, janvier 2005 ;
- [13] Rapport PERSS Ingénieurs-Conseils SA N° 7197.V02, DAEC, Service des ponts et chaussées, Liaison routière Marly-Matran, Réalisation des études d'avant-projet, Synthèse géologique, Rapport géologique, février 2006 ;
- [14] Rapport SD Ingénierie SA N° 1057.V03, Service des ponts et chaussées, Liaison routière Marly-Matran, Réalisation des études d'avant-projet en vue de la mise à l'enquête publique des limites de construction, Mémoire technique, février 2006 ;
- [15] Présentation CSD SA, Liaison routière Marly-Matran, Situation et contraintes environnementales, novembre 2016 ;
- [16] Documentations et plans du bureau CSD SA sur l'état de la pollution dans la décharge de La Pila
- [17] Rapport GEOTEST SA N° 2517053.1, Service des ponts et chaussées, Marly-Matran, Nouvelle liaison routière, Axe 1250 Marly-Matran, Avis géologique-géotechnique, Cahier des charges investigations complémentaires ;

- [18] Rapport GEOTEST SA N° 2517053.3b, Service des ponts et chaussées, Marly-Matran, Nouvelle liaison routière, Axe 1250 Marly-Matran, Pont de Chésalles / km 1'560 à km 1'805, étude géologique – géotechnique préliminaire ;
- [19] Rapport GEOTEST SA N° 2517053.4b, Service des ponts et chaussées, Marly-Matran, Nouvelle liaison routière, Axe 1250 Marly-Matran, Ensemble du tracé sans ouvrages d'art, étude géologique – géotechnique ;
- [20] Rapport GEOTEST SA N° 2517053.5a, Service des ponts et chaussées, Marly-Matran, Nouvelle liaison routière, Axe 1250 Marly-Matran, Pont d'Hauterive – secteur Pila, avis de conformité OSites et plan de gestion des déchets ;
- [21] Rapport GEOTEST SA N° 2517053.6, Service des ponts et chaussées, Marly-Matran, Nouvelle liaison routière, Axe 1250 Marly-Matran, Pont de Vuisserens, avis géologique – géotechnique, cahier des charges investigations complémentaires ;
- [22] Note technique GEOTEST SA N° 2517053.7, Service des ponts et chaussées, Marly-Matran, Nouvelle liaison routière, Axe 1250 Marly-Matran, Influence sur les eaux souterraines ;
- [23] Note technique GEOTEST SA N° 2517053.8a, Service des ponts et chaussées, Marly-Matran, Nouvelle liaison routière, Axe 1250 Marly-Matran, Surveillance des captages.
- [24] Nouvelle liaison Marly-Matran, Rapport d'impact sur l'environnement, Prona Romandie SA, 2025

1.4 But de l'étude

Le but de l'étude est de fournir les informations pour la conception du projet routier par l'ingénieur civil. Le présent rapport traite également des ouvrages d'art suivants : PI de la Crausa, pont de Vuisserens, pont de Chésalles, pont d'Hauterive et PI de Grangeneuve. Le pont de Copy et le mur de la Gérine ne sont pas traité dans ce rapport.

Fondation :	Evaluation et classification des terrains de fondation.
Fouilles et terrassements :	Pente des talus ; Type de soutènement ; Méthodes d'excavation ; Qualité des matériaux excavés (réutilisation sur ou hors site) ; Paramètres géotechniques des terrains.
Gestion de l'eau souterraine :	Présence de sources captées ou non, débits des sources, propriétaires ; Dispositions constructives à prendre.
Sites pollués :	Présence d'un site pollué à proximité du déblai.

Secteur en déblai :

Fondation :	Evaluation et classification des terrains de fondation de la future route, d'un mur de soutènement sur le secteur des Fontanettes, des passages inférieurs au droit du Carrefour de la Crausa et de Grangeneuve et des ponts de Vuisserens, Chésalles et Hauterive.
Fouilles et terrassements :	Pente des talus ; Type de soutènement ; Méthodes d'excavation ; Qualité des matériaux excavés (réutilisation sur ou hors site) ; Paramètres géotechniques des terrains.
Gestion de l'eau souterraine :	Présence de sources captées ou non ; Drainage du talus des Fontanettes ; Dispositions constructives à prendre.
Sites pollués :	Présence d'un site pollué à proximité du déblai.
Réinfiltration des eaux météoriques :	Evaluation de la capacité de rétention / réinfiltration des terrains.

2. Travaux effectués

2.1 Forages carottés

Entreprise : PolyForages SA
Date d'exécution : 14 novembre au 7 décembre 2017
Situation des forages : cf. annexe 1
Relevé géotechnique : cf. annexe 3

Sondage	Altitude du terrain [m s.m.]	Longueur du forage [m]	Nombre d'échantillons prélevés	Nombre d'essais SPT
F1/17	616.82	14	-	4
F2/17	591.20	18	-	4
F3/17	608.81	30	-	4
F4/17	626.34	18	2	4
F5/17	625.20	18	1	4
F6/17	597.04	21	-	4
F7/17	612.34	21	-	4
F8/17	606.51	6	1	1
F9/17	613.76	7	-	2

Entreprise : Fortini SA
Date d'exécution : 14 au 21 février 2019
Situation des forages : cf. annexe 1
Relevé géotechnique : cf. annexe 3

Sondage	Altitude du terrain [m s.m.]	Longueur du forage [m]	Nombre d'échantillons prélevés	Nombre d'essais SPT
F10/19	623.42	14	1	4
F11/19	622.04	14.5	1	4

Entreprise : ISR Injectobohr SA

Date d'exécution : Octobre 2020

Situation des forages : cf. annexe 1

Relevé géotechnique : cf. annexe 3

Sondage	Altitude du terrain [m s.m.]	Longueur du forage [m]	Nombre d'échantillons prélevés	Nombre d'essais SPT
F-P5.1/20	577.95	18	0	4
F-P5.2/20	578.17	19	14	3
F-P6.1/20	578.00	9.5	0	1
F-P6.2/20	578.50	12	4	4
F-P6.4/20	577.20	9.5	0	1

Entreprise : Kibag SA

Date d'exécution : 23.09.2024 au 02.10.2024

Situation des forages : cf. annexe 1

Relevé géotechnique : cf. annexe 3

Sondage	Altitude du terrain [m s.m.]	Longueur du forage [m]	Nombre d'échantillons prélevés	Nombre d'essais SPT
F12/24	614.47	20.7	0	9
F13/24	608.22	9.25	1	1
F14/24	594.95	21	3	6
F15/24	598.82	26	2	8
F16/24	630.49	7.8	1	1

Remarque : Plusieurs forages carottés ont été réalisés dans le cadre d'études anciennes. Ils ont également été utilisés dans le cadre de la présente étude et sont donnés en annexe 5.

2.2 Sondages à la pelle mécanique

Entreprise : Implenia Constructions SA
Date d'exécution : 17-20 novembre 2017
Situation des sondages : cf. annexe 1
Relevé géotechnique : cf. annexe 4

Sondage	Altitude du terrain [m s.m.]	Profondeur du sondage [m]	Nombre d'échantillons prélevés
Tr01/17	631.82	1.5	-
Tr02/17	621.04	3.0	1
Tr03/17	616.80	3.0	1
Tr04/17	612.72	3.0	1
Tr05/17	604.76	2.0	-
Tr06/17	603.17	1.6	-
Tr07/17	606.28	1.7	-
Tr08/17	601.64	1.7	-
Tr09/17	608.09	1.6	-

Entreprise : Cudré-Mauroux Terrassement
Date d'exécution : 11 octobre 2018 et 21 février 2019
Situation des sondages : cf. annexe 1
Relevé géotechnique : cf. annexe 4

Sondage	Altitude du terrain [m s.m.]	Profondeur du sondage [m]	Nombre d'échantillons prélevés
Tr10/18	607.3	4.05	-
Tr11/18	608.1	4.15	-
Tr12/18	609.5	3.80	-
Tr13/19	Env. 605	1.6	-
Tr14/19	Env. 606.5	1.3	-
Tr15/19	Env. 616	1.5	-

2.3 Essais de plaque dynamique (déflectomètre à masse tombante)

Entreprise : GEOTEST SA
 Date d'exécution : 17-20 novembre 2017
 Appareillage : Leichtes Fallgewichtsgerät HMP LFG

Sondage	Profondeur [m]	Lithologie	¹ Module d'élasticité E_{vd1} [MN/m ²]	² Module de compressibilité M_E [MN/m ²]
Tr1/17	1.0	Fluvioglaciaire de retrait : Sable limoneux, graveleux, avec pierres	49.45	64.77
Tr4/17	1.5	Fluvioglaciaire de retrait : Sable, peu graveleux, rares pierres	44.29	56.55
Tr5/17	1.0	Glaciolacustre de retrait : Limon sableux, graveleux, avec pierres	23.78	27.14
Tr6/17	1.0	Alluvions : Sable limoneux, peu argileux, avec pierres	6.80	6.74
Tr7/17	1.0	Alluvions : Limon sableux, peu argileux, graveleux, avec pierres	17.23	18.85
Tr8/17	1.0	Dépôts d'inondation : Sable argilo-limoneux	5.61	5.44

¹ Valeur mesurée

² Valeur estimée sur la base du module E_{vd1} mesurée selon la formule suivante : $M_E = 0.0062 \times E_{vd}^2 + 1.0119 \times E_{vd} - 0.4286$
 (formule selon directive FB 400-0206 « Etudes du lit de ballast », CFF SA, 01.07.2017)

2.4 Essais géotechniques en laboratoire

Laboratoire : TransGeo SA

Sondage	Echantillon	Profondeur [m]	Type d'essai	Résultats
Tr02/17	Tr2.1	2.0 – 3.0	Granulométrie 0-45 mm (tamisage)	Annexe 7
Tr03/17	Tr3.1	1.0 – 2.0	Granulométrie 0-45 mm (tamisage)	
Tr04/17	Tr4.1	1.1 – 2.1	Granulométrie 0-45 mm (tamisage)	
F04/17	F4.1	2.3 – 3.0	Granulométrie 0-45 mm (tamisage)	
F04/17	F4.2	10.5 – 10.8	Granulométrie 0-16 mm (tamisage et sédimentation) Limites de consistance	
F05/17	F5.1	5.4 – 6.0	Granulométrie 0-45 mm (tamisage)	
F08/17	F8.1	5.15 – 5.60	Résistance à la compression simple sur échantillons de roche	
F10/19	F10/19.1	6.3 – 6.8	Granulométrie 0-45 mm (tamisage et sédimentation) ; teneur en eau	
F11/19	F11/19.1	8.0 – 8.7	Granulométrie 0-45 mm (tamisage et sédimentation) Limites de consistance, teneur en eau	
F13/24	Ech_1	5.4 – 5.75	Résistance à la compression simple sur échantillons de roche	
F14/24	Ech_1	0.5 – 1.0	Granulométrie 0-45 mm (tamisage)	
F14/24	Ech_2	8.9 – 9.3	Granulométrie 0-45 mm (tamisage)	
F14/24	Ech_3	14.6 – 14.9	Granulométrie 0-45 mm (tamisage)	
F15/24	Ech_1	14.6 – 15.1	Granulométrie 0-45 mm (tamisage)	
F15/24	Ech_2	17.0 – 17.4	Granulométrie 0-45 mm (tamisage)	

2.5 Sondages au pénétromètre dynamique

Entreprise: GEOTEST S.A.
Type: VAWE léger (Von Moos selon SN 670314)
Date d'exécution: 10 octobre 2018
Situation des sondages : cf. annexe 1
Profils de battage: cf. annexe 10

Sondage	Altitude du terrain [m s.m.]	Longueur [m]
P01/18	610.40	1.91
P02/18	606.14	2.37
P03/18	610.30	1.68
P04/18	607.20	4.55
P05/18	611.60	2.54
P06/18	613.00	2.18
P07/18	606.20	0.44 / 0.78
P08/18	606.30	1.76
P09/18	614.40	1.86
P10/18	600.75	2.74

Remarques: Le pénétromètre P09/18 a été équipé avec un piézomètre de $\varnothing \frac{3}{4}$ ".

Entreprise : GEOTEST S.A.
Type: DPSH-A (ultra-lourd) selon EN ISO 22476-2:2005
 non tubé, pointe 16 cm², masse 63.5 kg, hauteur de chute 0.50 m
Date d'exécution : 20 février 2019
Situation des sondages : cf. annexe 1
Profils de battage : cf. annexe 10

Sondage	Altitude du terrain [m s.m.]	Longueur [m]
P11/19	613.65	6.8
P12/19	624.81	6.2
P13/19	620.50	11.2

2.6 Essais de pompage

Entreprise : GEOTEST SA
Type de pompe PA 37 et MP1
Date d'exécution : 18.09.2024
Situation : cf. annexe 1
Résultats des essais : cf. annexe 14

Piézomètre	Durée de l'essai [min]	Nombre de paliers atteints	Terrain testé
F12/24	88	4	Alluvions et fluvioglaciaires
F13/24	14	1	Dépôts palustres et alluvions

3. Résultats

3.1 Situation générale

Afin de simplifier les dénominations, les lieux-dits suivants ont été retenus pour différencier les secteurs principaux :

- km 0 à 720 : Secteur les Fontanettes, y compris le PI de la Crausa et le mur des Fontanettes ;
- km 720 à 1'200 : Secteur Ruisseau du Copy, y compris le pont de Vuisserens ;
- km 1'200 à 1'560 : Secteur des Planchettes ;
- km 1'560 à 1'800 : Secteur Vallon de Chésalles, y compris le pont de Chésalles ;
- km 1'800 à 2'260 : Secteur du Gros Essert ;
- km 2'260 à 2'840 : Secteur Vallée de la Sarine, y compris le pont d'Hauterive ;
- km 2'840 à 3'490 : Secteur La Comba, y compris PI de Grangeneuve.

3.2 Contexte géologique

Selon l'atlas géologique suisse (cf. annexe 2), le tracé de la route rencontre les lithologies suivantes (du plus jeune au plus ancien) :

- Remblai (remblayage d'anciennes gravières) ;
- Alluvions récentes et cône d'alluvion ;
- Dépôts fluvioglaciaires du retrait würmien ;
- Moraine rhodanienne et sarinienne ;
- Dépôts fluvioglaciaires et glaciolacustres sariniens de progression ;
- Molasse marine supérieure (couches de la Singine).

3.3 Sols (Horizon A et B)

La thématique des sols, incluant la question de la pollution potentielle, est entièrement traitée dans le rapport d'impact réalisé par Prona Romandie SA [24]. Ce document apporte une analyse complète et approfondie de ces aspects, incluant des recommandations spécifiques basées sur des investigations détaillées.

3.4 Stratigraphie

La stratigraphie ci-dessous est établie sur la base des sondages réalisés dans le cadre de la présente étude ainsi que de ceux existants connus réalisés dans le cadre d'études précédentes et de notre connaissance géologique de la région. Le profil géologique en long donné en annexe 6 illustre les terrains présents en profondeur.

Remblai (remblayage d'anciennes gravières)

Ce type de remblais est surtout présent sur les secteurs où les dépôts fluvioglaciaires du retrait würmien ont été exploités. C'est essentiellement le cas vers La Comba (km 2'900 à 3'000), vers Le Gros Essert/La Grangette (km 2'000 à 2'060) en bordure du tracé (côté Nord), ainsi que dans le vallon de Chésalles (km 1'580 à 1'720).

- | | |
|-------------------------------|--|
| Epaisseur / secteurs : | <ul style="list-style-type: none">– L'épaisseur des remblais rencontrés dans les sondages est d'environ 1 m sur le secteur de La Comba au km 2'880 à 3'000 (Tr03/17) et dans le secteur du vallon de Chésalles au km 1'580 à 1'720 (F06/17). Il est toutefois très probable que la nature et l'épaisseur de cette couche varient fortement sur l'ensemble du secteur remblayé ;– Sur le secteur Fontanettes, au droit du carrefour de la Crausa (km 0'000) l'épaisseur de remblais est de 6.3 à 7.3 m (F10/19 et F11/19). |
| Matériau : | <ul style="list-style-type: none">– Gravier sableux à sable graveleux peu limoneux avec pierres ;
Limon sableux à sable limoneux peu graveleux avec pierres. |
| Compacité : | <ul style="list-style-type: none">– Variable : compacité estimée globalement lâche à moyennement compact respectivement consistance ferme à dure. |
| Remarques : | <ul style="list-style-type: none">– La présence d'éléments anthropiques (briques, béton, ferraille, bois) en quantité variable est possible. |

Dépôts d'inondation

- | | |
|------------------------------|---|
| Secteurs / sondages : | <ul style="list-style-type: none">– Le secteur des Fontanettes au km 0 à 400 (Tr08/17, Tr09/17, Tr11/18, F08/17, F09/17, F10/19, F11/19, F12/24 et F13/24). |
| Epaisseur : | <ul style="list-style-type: none">– Env. 0.5 à 2 m. |

- Matériau :**
- **Sable argilo-limoneux, très peu graveleux ; Limon sableux, argileux, peu graveleux ; Sable limoneux, peu à très graveleux, peu argileux ; Avec présence de niveaux avec matière organique et de passages de tourbe.**
- Compacité/ consistance :**
- Variable : compacité lâche à moyenne respectivement consistance molle à très ferme.
- Remarques :**
- Ces dépôts sont surtout présents dans le secteur des Fontanettes (débordement de la Gérine) ;
 - Ces dépôts sont présents en alternance avec des alluvions (plaine de la Gérine) ;
 - Au droit des forages F10/19 et F11/19 les dépôts d'inondation sont intercalés d'une couche d'alluvions ;
 - Au droit du forage F12/24 les dépôts d'inondation se situent entre deux couches d'alluvions ;
 - Au droit du forage F13/24 les dépôts d'inondation recouvrent les alluvions.

Alluvions récentes et cône d'alluvions

- Secteurs / sondages :**
- Le secteur des Fontanettes (Tr08/17, Tr09/17, Tr10/18, Tr12/18, F09/17, F10/19, F11/19, F12/24 et F13/24), le secteur du ruisseau de Copy (Tr06/17, Tr07/17, F14/24 et F15/24) et au fond du vallon de Chésalles (F06/17).
- Epaisseur :**
- Env. 1 à 5 m.
- Matériau :**
- **Sable +/- limoneux ; sable graveleux +/- limoneux ; Gravier sableux +/- limoneux ;**
Localement : limon +/- sableux et graveleux, parfois peu argileux à argileux ; pierres et graviers sableux.
- Compacité / Consistance :**
- Globalement moyennement compact à compact, avec quelques niveaux lâches. Alluvions fines très durs au droit du F14/24.
- Remarques :**
- Ces dépôts sont surtout présents dans le lit de la Sarine, dans la plaine de la Gérine et dans le lit du ruisseau du Copy ;
 - Sur le secteur des Fontanettes, ces dépôts peuvent également se trouver en alternance avec des dépôts d'inondation (débordement de la Gérine).

Dépôts fluvioglaciaires du retrait würmien

- Secteurs / sondages :** – Secteur des Fontanettes (F12/24), du ruisseau du Copy (F14/24 et F15/24), des Planchettes (F07/17), du Gros Essert (F04/17 et F05/17) et de La Comba (Tr01/17, Tr02/17, Tr03/17, F01/17, F02/17 et F16/24).
- Epaisseur :** – Variable le long du tracé (se référer au profil géologique en annexe 6).
- Matériau :** – **Gravier sableux, généralement très peu limoneux avec pierres et blocs ; Sable graveleux avec pierres et blocs ; Sable fin limoneux graveleux.**
- Compacité :** – Très compact.
- Remarques :** – La présence de passages d'origine glaciolacustre et de granulométries essentiellement fines est possible au sein de cette couche.

Moraine rhodanienne et sarinienne

- Secteurs / sondages :** – Secteur des Fontanettes (F09/17, F10/19, F11/19 et F12/24), du ruisseau du Copy (F14/24 et F15/24), des Planchettes (Tr04/17 et F07/17), du Gros Essert (F03/17 et F05/17), de La Comba au (F02/17).
- Epaisseur :** – Variable le long du tracé (se référer au profil géologique en annexe 6).
- Matériau :** – **Sable limoneux à limon sableux, graveleux et +/- argileux ; Limon argileux à argile limoneuse, sableux, +/- graveleux ; Gravier sableux, limoneux, peu argileux.**
- Compacité/ consistance :** – Globalement très compacte, respectivement consistance très dure.
- Remarques :** – Dans les forages F03/17, F07/17 et F14/24, la moraine rencontrée était altérée et présentait une compacité plus faible (moyennement compacte, respectivement dur) ;
- Dans le forage F12/24, la moraine altérée rencontrée était très compacte.

Dépôts glaciolacustres de progression

- Secteurs / sondages :** – Secteur des Fontanettes (F12/24), des Planchettes (Tr05/17, F07/17) et du Gros Essert (F03/17, F04/17, F05/17) et vallon de Chésalles (F06/17).
- Epaisseur :** – Variable le long du tracé (se référer au profil géologique en annexe 6).
- Matériau :** – **Sable fin à moyen, plus ou moins limoneux, pas à très peu graveleux, pas à peu argileux ; Limon argileux et sableux, pas à très peu graveleux.**
- Compacité/ consistance :** – Globalement lâche à moyennement compact, respectivement consistance ferme à dure ;
- Compacte à très compacte au droit du forage F07/17 ;
- Très dur au droit du forage F12/24.

Dépôts fluvioglaciaires de progression

- Secteurs / sondages :** – Secteur Les Fontanettes (F09/17 et F12/24), du ruisseau de Copy (F14/24 et F15/24), des Planchettes (Tr04/17), du vallon de Chésalles (F06/17), de La Comba (F02/17).
- Epaisseur :** – Variable le long du tracé (se référer au profil géologique en annexe 6).
- Matériau :** – **Gravier sableux peu limoneux avec pierres ; Sable +/- limoneux, peu argileux, parfois peu graveleux.**
- Compacité :** – Très compact.
– Compact au droit du forage F15/24.

Molasse

- Profondeur :** – Variable le long du tracé (se référer au profil géologique en annexe 6) ;
– Rencontrée dans les secteurs de Fontanettes (Tr10/18, F08/17, F10/19, F11/19, F12/24 et F13/24), du Ruisseau de Copy (F14/24 et F15/24) et du secteur La Comba (F16/24).
- Matériau :** – **Grès fins à moyens avec niveaux marneux possibles, parfois fracturés ; Marne en bancs centimétriques à décimétriques entrecoupées de fines couches de grès.**
- Résistance à la compression uniaxiale :** – Modérément forte ($\sigma_c \approx 35$ MPa)

3.5 Conditions hydrogéologiques

Les niveaux d'eau souterraine mesurés dans le cadre de la présente étude sont indiqués dans le tableau en annexe 12. Le niveau approximatif de la nappe phréatique le long du tracé peut également être observé sur le profil géologique en annexe 6. La campagne de mesures des niveaux d'eau se poursuit jusqu'en 2027 à raison d'une mesure tous les deux mois.

Les niveaux d'eau mesurés s'établissent au sein des couches de dépôts glaciolacustres, d'alluvions, de dépôts d'inondation, de dépôts fluvioglaciaires de retrait würmien et de moraine altérée. Des écoulements d'eaux souterraines peuvent également être rencontrés dans les formations suivantes :

- Remblais : Il s'agit principalement de venues d'eau sporadiques parfois plus importantes en fonction du type de matériaux présents ;
- Dépôts fluvioglaciaires de progression : Ecoulements d'eau pouvant être importants au contact avec la molasse.

3.5.1 Secteur Fontanettes

Des eaux souterraines sont présentes dans les dépôts d'inondation, les alluvions et les dépôts fluvioglaciaires de retrait et de progression. D'après le géoportail cantonal, deux aquifères sont présents :

- Aquifère de Chésalles ID 112 : graviers peu limoneux hors des fonds de vallée, épaisseur de 15 m ;
- Aquifère de Gérine Ärgera ID 115 : graviers alluviaux propres en fond de vallée, épaisseur de 10 m.

Les dépôts d'inondation ont une faible perméabilité et ne sont pas considérées comme aquifère à proprement parlé, comme le témoigne l'essai de pompage réalisé dans cette couche (cf. annexe 14).

Les alluvions et les dépôts fluvioglaciaires sont aquifères et sont à priori en connexion hydraulique dans ce secteur. L'épaisseur de ces couches varient d'environ 2 - 10 m selon les forages. Il s'agit probablement de l'aquifère ID 115. L'essai de pompage réalisé dans ces formations témoignent d'une perméabilité d'environ 4×10^{-5} m/s. Une direction d'écoulement vers l'Ouest est attendue dans le secteur, avec probablement un apport d'eaux du versant Sud.

Le projet se situe donc :

- Est du secteur de Fontanettes (F12/24) : au droit de l'aquifère ID 115 ;
- Centre du secteur de Fontanettes (F10/19 et F11/17) : en bordure intérieure de l'aquifère ID 115 ;
- Ouest du secteur de Fontanettes (F08//17 et F13/24) : en bordure extérieure de l'aquifère ID 115 / ID 112.

Le niveau d'eau semble stable à la base du talus du secteur des Fontanettes à environ 1 m sous le niveau du terrain (piézomètre F08/17). Ceci peut correspondre à la profondeur des drains mis en place sur cette zone (cf. chap.3.5.10).

3.5.2 Secteur Ruisseau de Copy

Des eaux souterraines sont présentes dans les alluvions et les dépôts fluvioglaciaires de progression. D'après le géoportail cantonal, deux aquifères sont présents :

- Aquifère de Chésalles ID 112 : graviers peu limoneux hors des fonds de vallée, épaisseur de 15 m ;
- Aquifère de Gérine Ärgera ID 115 : graviers alluviaux propres en fond de vallée, épaisseur de 10 m.

Les alluvions rencontrées du côté Est du ruisseau de Copy sont secs, tandis que ceux rencontrées du côté Ouest sont saturées. Du côté Ouest, le niveau s'établit à environ 3.5 m de profondeur pour une épaisseur d'aquifère d'environ 2 m. Du côté Ouest, le niveau s'établit à environ 7.5 m de profondeur. Une direction d'écoulement vers l'Ouest/Nord-Ouest est attendue dans le secteur, avec probablement un apport d'eaux du versant Sud.

Les dépôts fluvioglaciaires de progression sont saturés. L'épaisseur de cet aquifère est d'environ 4-5 m. Du côté Est, le niveau s'établit à environ 3 m de profondeur. A noter que les eaux souterraines sont en pression

(env. 7 m). Du côté Ouest, le niveau s'établit à environ 7.5 m de profondeur. Une direction d'écoulement vers l'Ouest/Nord-Ouest est attendue dans le secteur, avec probablement un apport d'eaux du versant Sud.

3.5.3 Secteur des Planchettes

Aucun forage n'a été réalisé dans ce secteur. D'après un forage situé à proximité (F07/17), des eaux souterraines sont présentes dans les dépôts glaciolacustres de progression du côté Ouest du Vallon. D'après le géoportail cantonal, il s'agit de l'aquifère de Chésalles ID 112 : graviers peu limoneux hors des fonds de vallée, épaisseur de 15 m.

Une direction d'écoulement vers l'Ouest / Nord-Ouest est attendue dans le secteur.

3.5.4 Secteur Vallon de Chésalles

Des eaux souterraines sont présentes dans les dépôts glaciolacustres de progression du côté Ouest du Vallon. D'après le géoportail cantonal, il s'agit de l'aquifère de Chésalles ID 112 : graviers peu limoneux hors des fonds de vallée, épaisseur de 15 m.

Lors des travaux de forage, une venue d'eau a été observée vers 4 m de profondeur au sein de ces dépôts. Les mesures piézométriques réalisées entre 2017 – 2018 indiquent un niveau d'eau à environ 5 – 6 m de profondeur. Lors des mesures réalisées entre 2023 – 2024, le piézomètre F06/17 était sec, sauf en octobre 2024 où un niveau à 5.68 m de profondeur a été mesuré.

Une direction d'écoulement vers l'Ouest / Nord-Ouest est attendue dans le secteur.

3.5.5 Secteur du Gros Essert

Des eaux souterraines sont présentes dans les dépôts glaciolacustres de progression. D'après le géoportail cantonal, il s'agit de l'aquifère de Chésalles ID 112 : graviers peu limoneux hors des fonds de vallée, épaisseur de 15 m.

Les mesures réalisées dans les forages F03/17 et F04/17 démontrent que le niveau d'eau peut rapidement monter en fonction des précipitations. Ceci est plus particulièrement le cas pour le forage F03/17 qui montre une forte élévation du niveau après une période de précipitations importantes (fin janvier 2018 ou début décembre 2023).

Une direction d'écoulement vers l'Ouest / Nord-Ouest est attendue dans le secteur.

3.5.6 Secteur Vallée de la Sarine

Côté Matran, les terrains rencontrés dans les forages F01/17 et F02/17 étaient secs et aucune venue d'eau n'a été observée. Les couches composant ce versant (dépôts fluvioglaciaires de retrait, moraine et dépôts fluvioglaciaires de progression) ne sont pas aquifères sur les profondeurs investiguées et atteintes par les fondations du projet.

Côté Marly, le forage F03/17 montre la présence d'un niveau d'eau souterraine au sein de la couche de dépôts glaciolacustres. D'après le géoportail cantonal, il s'agit de l'aquifère de Chésalles ID 112 d'une épaisseur d'environ 15 m. Les mesures réalisées dans ce forage démontrent que le niveau d'eau peut rapidement monter en fonction des précipitations. Une direction d'écoulement générale vers le Nord / Nord-Ouest est attendu pour l'aquifère ID 112.

Les remblais et déchets présents dans la décharge peuvent présenter des écoulements sporadiques variables selon la perméabilité des terrains. L'eau s'écoulant dans les déchets peut être fortement chargée en polluants.

Les alluvions de la Sarine rencontrées en fond de vallée, partiellement couvertes par la décharge de la Pila, sont le siège d'une nappe phréatique, dont le niveau maximum s'élève à environ 568.94 m s.m.. D'après le géoportail cantonal, il s'agit de l'aquifère ID 111 d'une épaisseur d'environ 5 m.

3.5.7 Secteur La Comba

Aucun écoulement d'eau n'a été constaté dans les dépôts fluvioglaciaires de retrait, dans la moraine et dans les dépôts fluvioglaciaires de progression sur ce secteur. Le piézomètre F16/24 témoigne d'une absence d'eaux souterraines dans le secteur.

3.5.8 Secteurs et zones de protection

Le projet est entièrement situé en secteur A_U de protection des eaux. L'influence du projet sur l'écoulement des eaux souterraines est traitée dans un rapport spécifique [22].

3.5.9 Captages existants

Plusieurs captages se situent à proximité ou au droit du futur projet. L'influence du projet sur les captages existants est traitée dans un rapport spécifique [23].

3.5.10 Problématique des drainages secteur Fontanettes

Le pied de talus du secteur des Fontanettes est entièrement drainé depuis le km 140 jusqu'au km 480. Les eaux sont ensuite évacuées dans les canalisations d'eaux claires et d'eaux mixtes. Plusieurs de ces canalisations sont présentes sur le tracé de la route entre le km 480 et le km 600. Selon les observations de terrain (conduite de drainage rencontrée lors de travaux sur la parcelle N° 928), les drainages sont relativement anciens et une partie d'entre eux, voire tous, sont constitués de tuyaux en terre cuite. Il faut donc considérer que ces drainages ne supporteraient pas une charge de remblai importante. Un remplacement de ceux-ci ou du système de drainage du talus dans le cadre du projet est nécessaire.

Un plan des drainages fourni par la commune de Marly figure en annexe 8. Le remplacement des drains ou du système de drainage existant devrait être réalisé en coordination avec la commune de Marly afin d'optimiser l'évacuation des eaux drainées.

3.6 Caractéristiques géotechniques

Sur la base de notre expérience de sols similaires étudiés auparavant, nous proposons les **paramètres géotechniques estimés probables (moyenne probable) et extrêmes (minimales et maximales)** (SIA 267 3.3.4) comme suit :

	Unités	Remblais ⁽¹⁾	Alluvions et Cône d'Alluvions	Dépôts d'inondation	Dépôts fluvioglaciaires de retrait et de progression ⁽¹⁾	Moraine ⁽²⁾	Dépôts glaciolacustres de progression	Molasse gréseuse ⁽³⁾
Classification USCS ⁽⁴⁾		SM, SP-SM, SP, SW. SW-SM	GP-GM, GM, SM , SM-SC, SC, ML	SM , SC, CL-ML, CL, CM, OL	GP , GP-GM, GC-GM, SP, SP-SM, SM, SW-SM	SM, SC, SC-SM ML, CL-ML	SC, SC-SM, CL-ML , CL	-
Teneur en eau ⁽⁵⁾		Moyenne	Moyenne à saturé	Élevée / saturé	Faible	Faible à moyenne	Moyenne à saturé	-
Masse vol. apparente ρ	kN·m⁻³	20 (19 - 21)	21 (19 - 23)	20 (19 - 21)	22.5 (21 - 24)	22 (21 - 23)	21 (19 - 22)	24 (23 - 26)
Angle de frottement eff. φ'	[°]	30 (28 - 32)	32 (28 - 36)	25 (20 - 32)	38 (37 - 44)	33 (32 - 40)	31 (28 - 36)	38 (35 - 45)
Cohésion effective c'	kN·m⁻²	0 (0 - 0)	0 (0 - 4)	0 (0 - 4)	0 (0 - 0)	5 (0 - 20)	2 (0 - 8)	1'500 (1'000 - 3'000)
Module d'élasticité (Young), E	MN·m⁻²	8 (5 - 25)	12 (5 - 40)	4 (3 - 10)	80 (45 - >100)	60 (20 - >100)	10 / 40 ⁽⁶⁾ (5 - 40)	1'000 (500 - 3'000)
Perméabilité, k	m/s	10 ⁻⁵ (10 ⁻³ - 10 ⁻⁷)	10 ⁻⁵ (10 ⁻³ - 10 ⁻⁷)	10 ⁻⁷ (10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁹)	10 ⁻⁴ (10 ⁻² - 10 ⁻⁵)	10 ⁻⁶ (10 ⁻⁵ - 10 ⁻⁸)	10 ⁻⁷ (10 ⁻⁵ - 10 ⁻⁹)	-
Classe de fondation et degré de gélivité (fondation des chaussées)								
Classe de fondation ⁽⁷⁾		S0 à S2	S1 à S2	S0 à S1	S3 à S4	S3	S1 (km 1'800 à 2'300) S2 (km 1'200 à 1'500)	-

Degré de Gelivité ⁽⁸⁾		G2 à G3 (faible à moyen)	G2 à G3 (faible à moyen)	G3 à G4 (moyen à fort)	G1 à G2 (négligeable à faible)	G3 à G4 (moyen à fort)	G3 à G4 (moyen à fort)	-
---	--	-----------------------------	-----------------------------	---------------------------	-----------------------------------	---------------------------	---------------------------	---

⁽¹⁾ Paramètres indicatifs pour le secteur du PI La Crausa. Non-valables pour d'autres secteurs avec matériau de remblai car nature inconnue.

Les couches de dépôts fluvioglaciers de retrait et de dépôts fluvioglaciers de progression décrites dans le chapitre 3.4 sont similaires en nature et en compacité. Les mêmes paramètres géotechniques sont de ce fait proposés pour ces deux couches.

⁽²⁾ Paramètres proposés pour la moraine rhodanienne et sarinienne compact à très compacte. Pour la moraine altérée moyennement compacte rencontrée aux forages F03/17 et F07/17, nous proposons d'admettre les valeurs minimales indiquées comme la moyenne probable et une classe de portance S2.

⁽³⁾ Paramètres valables pour la molasse rencontrée au droit des forages F08/17, F12/24, F13/24, F14/24, F15/24 et F16/24 et au sein de la matrice rocheuse. A noter que la molasse peut contenir des discontinuités et interlits marneux pour lesquels les conditions de cisaillement peuvent être très différentes.

⁽⁴⁾ La classification des échantillons analysés en laboratoire est indiquée en gras. Les autres classifications sont estimées sur la base des relevés in situ et de notre expérience.

⁽⁵⁾ Appréciation qualitative de la teneur en eau selon relevés in situ.

⁽⁶⁾ E = 40 MPa au droit du forage F07/17, E = 10 MPa sur les secteurs restants du projet.

⁽⁷⁾ Selon la norme VSS SN 670 324.

⁽⁸⁾ Selon la norme VSS SN 670 140b.

3.7 Qualité et réutilisation des matériaux

3.7.1 Remblais

Selon la documentation récoltée ainsi que les sondages réalisés, les secteurs suivants contiennent des matériaux de remblai :

- Secteur de La Crausa (F10/19 et F11/19) : Les deux forages réalisés indiquent la présence de 6.3 à 7.3 m de remblais sous le niveau de la route de la Gruyère. L'épaisseur des remblais est moindre au pied de la route de la Gruyère (F12/24) ;
- Secteur du vallon de Chésalles (F06/17) : Selon les photos aériennes historiques (annexe 9), une exploitation de gravier a été active sur le versant Est du vallon ainsi que dans le creux de celui-ci. Le secteur a été localement comblé avec des matériaux de remblai de nature et de qualité inconnues. Ceux-ci n'ont été rencontrés qu'en très faible épaisseur au droit du forage F06/17 dans le cadre des investigations réalisées. Une investigation de la qualité chimique des remblais au droit des futures zones d'excavation (piles versant Est et culée Est) doit être réalisée afin de vérifier la présence de pollution et de définir leur filière d'évacuation. Nous pouvons admettre qu'en l'état des connaissances, une évacuation en décharge de type B sera probablement nécessaire ;
- Secteur de La Comba (Tr03/17) : Un mince niveau de remblai contenant une faible proportion d'éléments anthropiques a été rencontré. Il s'agit probablement de petites exploitations sporadiques des graviers.

Une investigation de la qualité chimique des remblais rencontrés sur le tracé lors de leur excavation doit être réalisée afin de définir leur filière d'évacuation. Par précaution, nous pouvons admettre qu'en l'état des connaissances, une évacuation en décharge de type B sera probablement nécessaire pour les matériaux provenant de La Comba et du vallon de Chésalles.

En l'absence de pollution, une réutilisation des remblais rencontrés sur le secteur de La Crausa pour des nouveaux remblayages peu exigeants (valeur M_E maximal admis de 15 à 30 MPa après compactage) est possible. Ces remblais seront creusés lors de la construction du PI de la Crausa et sont composés majoritairement de sable plus ou moins limoneux et peu graveleux (constitués majoritairement de grès molassique). Ces matériaux étant sensibles à l'eau, leur mise en place et compactage doit être réalisé par temps sec.

3.7.2 Décharges (sites pollués)

3.7.2.1 Site pollué du Gros Essert (km 2'000 à 2'060)

Ce site se situe au Nord du tracé sur le secteur avec une excavation importante. A priori, le tracé ne devrait pas toucher ce site. Néanmoins, la position définie sur le cadastre des sites pollués n'est pas précise. Il est donc possible que des matériaux de remblai issus du remblayage de cette ancienne gravière puissent être rencontrés. Les photos aériennes en annexe 9 montrent l'extension de la gravière lors de son exploitation. Le cas échéant, il est nécessaire de prévoir un surcoût pour les travaux d'excavation avec tri des matériaux ainsi que pour leur évacuation en décharge. Nous pouvons admettre que les matériaux de remblai éventuellement rencontrés ne sont pas fortement pollués et que ceux-ci peuvent être évacués en décharge de type B.

3.7.2.2 Site pollué de La Pila (km 2'460 à 2'600)

Cette thématique est traitée dans un rapport spécifique avec avis de conformité selon OSites et plan de gestion des matériaux [20].

3.7.3 Dépôts fluvioglaciaires de retrait

Les dépôts fluvioglaciaires de retrait présentent un potentiel d'économie important pour le projet. Les matériaux composant cette couche sont globalement de bonne qualité et seront rencontrés lors des excavations réalisées sur le secteur Vallon de Chésalles et de Gros Essert, le versant Ouest de la Vallée de la Sarine et le secteur La Comba.

Quatre échantillons de matériaux provenant des dépôts fluvioglaciaires de retrait graveleux ont été analysés en laboratoire dans le cadre de la présente étude (échantillons Tr2.1, Tr3.1, F4.1 et F5.1). Un cinquième échantillon, Tr4.1, a été prélevé dans un passage sableux des dépôts fluvioglaciaires. Ce passage n'est

toutefois pas jugé représentatif de l'ensemble de cette couche, dont la nature est majoritairement graveleuse.

Dans le cas des échantillons Tr2.1 et Tr3.1 un tri préalable de la composante très grossière (pierres et blocs) a été réalisé lors de la prise de ces échantillons. Les analyses réalisées attestent la bonne qualité des matériaux, composés essentiellement de gravier et de sable, avec un pourcentage de fines (argile et limon) faible variant de 1.3 à 14.1 %. Selon les sondages réalisés, entre les km 2'860 et 3'200 (secteur La Comba), les dépôts fluvioglaciaires présentent beaucoup de pierres et plusieurs blocs, le pourcentage masse de ces éléments très grossiers est estimé de 20 à 40%. Le pourcentage masse de pierres et de blocs est toutefois moins important entre les km 1'780 à 2'060 (secteur Gros Essert), estimé 5 à 20%.

La composition granulométrique de ces matériaux ne correspond pas exactement aux critères d'une grave 0/45 selon la norme VSS SN 670 119a mais reste assez proche. Pour une réutilisation des matériaux issus des dépôts fluvioglaciaires de retrait en tant que grave 0/45 ou en tant que remblai avec une exigence de portance élevée, il conviendra de prévoir les travaux suivants :

- Tri et concassage des pierres de grosse taille et des blocs ;
- Selon le pourcentage effectif de la partie fine (limon et argile) après tri et concassage des pierres et blocs et selon le type de réutilisation prévu, un tri complémentaire d'une partie des matériaux fins, voire un rajout de matériaux grossiers peut s'avérer nécessaire afin de réduire le pourcentage masse de matériaux fins à un maximum de 12% (critère pour grave 0/45) ;
- Selon le pourcentage effectif de la partie fine (limon et argile) et le type de réutilisation prévue pour les matériaux : vérification de la résistance au gel en laboratoire au moyen d'un essai CBR (critère pour grave 0/45 si pourcentage de fins > 3%).

A noter que les dépôts fluvioglaciaires de retrait ont déjà été exploités en plusieurs endroits dans la région. Ceci est par exemple le cas au Nord du tracé sur le plateau du Gros Essert (site remblayé inscrit au cadastre des sites pollués).

3.7.4 Moraine rhodanienne et sarinienne

La présence de moraine en fond de fouille n'est pas attendue le long du tracé de la route. Elle pourra toutefois être rencontrée lors de l'excavation des culées des ponts de Chésalles et d'Hauterive. La composition de cette couche est majoritairement sableuse et limoneuse avec une composante de gravier variable. Les matériaux issus de cette couche peuvent être réutilisés pour des remblayages peu exigeants (valeur M_E maximal admis de 15 à 30 MPa après compactage). La mise en place et le compactage de ces matériaux nécessitent toutefois la maîtrise de leur teneur en eau. A cet effet, la réalisation d'essais complémentaires en laboratoire est à prévoir (classification granulométrique, teneur en eau, compactage Proctor).

Pour des remblayages avec des exigences de portance élevées, une stabilisation des matériaux avec un mélange chaux-ciment est jugée nécessaire.

La moraine est également observée au droit de la future culée Est du pont de Vuisserens et pourrait être rencontrée lors de l'excavation de cette culée. Les matériaux composant cette couche étant très fins (limon +/- argileux), ils ne sont pas réutilisables en l'état pour des nouveaux remblayages. Toutefois, ces matériaux pourront être stabilisés avec de la chaux aérienne voir un mélange chaux-ciment permettant de réduire leur teneur en eau et d'améliorer leur portance et maniabilité et ainsi être remployés.

3.7.5 Dépôts glaciolacustres de progression

La présence de dépôts glaciolacustres en fond de fouille n'est pas attendue le long du tracé de la route. Ils pourront toutefois être rencontrés lors de l'excavation des culées des ponts de Chésalles et d'Hauterive. Les matériaux composant cette couche, étant très fins et généralement à forte teneur en eau, ne sont pas réutilisables en l'état pour des nouveaux remblayages. Toutefois, ces matériaux pourront être stabilisés avec de la chaux aérienne, voire un mélange chaux-ciment, permettant de réduire leur teneur en eau et d'améliorer leur portance et maniabilité et ainsi être réutilisés.

3.8 Dangers naturels

Plusieurs tronçons sont situés en zone de danger faible de glissement. Il s'agit principalement des secteurs suivants :

- Secteur des Fontanettes (km 0 à 460) : Talus en forte pente boisé avec venues d'eau à sa base ;
- Secteur de La Comba (km 2'740 à 3'140) : Talus en forte pente boisé en bordure du futur tracé ainsi qu'au niveau de la culée Ouest.

Le versant Est du vallon de Chésalles est inscrit en zone de danger indicatif de glissement en raison de la pente importante du talus et de la nature inconnue et variable des matériaux.

Il faut essentiellement tenir compte des éléments suivants :

- Secteur des Fontanettes (km 0 à 460) : la mise en place d'un remblai contre le talus existant permettra d'en améliorer la stabilité. Il sera nécessaire d'assurer le drainage du bas du talus existant afin d'éviter les risques de mise en pression des eaux au contact entre le remblai et le talus. Les eaux d'écoulement de surface provenant du talus naturel au niveau du nouveau tracé devront être également drainées pour réduire les risques d'instabilités locales ;
- Secteur La Comba (km 2'740 à 3'140) : Le nouveau tracé ne devra pas être implanté en bordure immédiate du talus ceci surtout en cas de rehaussement du niveau du terrain. Le talus étant constitué de gravier sableux avec pierres et blocs de petites instabilités locales sont possibles ;
- Le versant Est du vallon de Chésalles est constitué de matériaux de remblai mis en place suite à l'exploitation d'une gravière. Une analyse de risque devra être réalisée en cas de chargement du terrain sur les talus afin de déterminer plus précisément le risque de glissement éventuel ;
- Pour ces trois secteurs, il conviendra d'éviter une réinfiltrations des eaux de chaussées dans les zones indiqués en danger de glissement, en particulier en bordure des talus.

3.9 Séisme

Sur la base de nos investigations et de notre interprétation géologique du tracé du projet, nous présentons ci-dessous la classification sismique des terrains de fondation au niveau de la cote du projet selon SIA 261, SN 505 261. Les classes de fondation indiquées ci-dessous sont à valider en fonction du type, importance et niveau de fondation effectif de chaque ouvrage.

Zone de risque sismique (cf. SIA 261, Annexe F) :	Z1
Classe de terrain de fondation (cf. SIA 261, chap. 16.2.2) :	
Secteurs Les Fontanettes (y compris PI de la Crausa), Ruisseau du Copy (y compris pont de Vuisserens), Les Planchettes et Vallon de Chésalles : km 0 à 1'800	E
Pont de Chésalles : km 1'587 à 1'790	
- Culée Ouest	D
- Piles (versant Est et Ouest du Vallon de Chésalles)	E
- Culée Est	E / C ¹⁾
Secteur Gros Essert : km 1'800 à 2'240	D
Versant Est de la vallée de la Sarine : km 2'240 à 2'340	D / E ²⁾
Fond de la vallée de la Sarine : km 2'340 à 2'440	E / A ³⁾
Secteur Décharge de la Pila : km 2'440 à 2'600	F ⁴⁾
Versant Ouest de la vallée de la Sarine : km 2'600 à 2'840	B
Secteur La Comba : km 2'840 à 3'500 (PI de Grangeneuve = A)	B / A ⁵⁾

¹⁾ Classe E ou C dépendant du niveau de fondation, de l'épaisseur de la couche de moraine altérée et de la profondeur de la couche de fluvioglaciaire de progression.

²⁾ Classe D ou E dépendant de l'emplacement des fondations et de l'épaisseur effective de la couche des dépôts glaciolacustres sous le niveau de fondation.

³⁾ Classe E ou A dépendant de l'emplacement et de la profondeur des fondations et de l'épaisseur effective des dépôts fluviaux (alluvions de la Sarine) surmontant le rocher molassique.

⁴⁾ Présence de matériaux avec beaucoup de matière organique et de déchets.

⁵⁾ Le sondage F01/17 réalisé à l'extrémité Est de ce secteur témoigne d'une épaisseur de terrains meubles d'au moins 14 m, tandis que le forage F16/24 réalisé à l'extrémité Ouest de ce secteur témoigne de la présence du rocher à une profondeur d'environ 2 m. Les autres sondages réalisés entre ces deux points n'ont jamais atteint le rocher pour une profondeur d'investigation jusqu'à 3 m.

4. Dispositions constructives et recommandations générales pour le projet

4.1 Fouilles et terrassement

4.1.1 Bords de fouille : Talutages

Nous présentons ci-dessous, pour chaque lithologie rencontrée le long du tracé de la route, les pentes admissibles pour des talus temporaires et définitifs. Ces pentes sont valables au-dessus du niveau de la nappe et en l'absence de charges en tête de talus. Pour les talus de hauteur importante (admis $H > 4\text{m}$) et/ou ceux affectés par des charges en amont, il est nécessaire de vérifier les pentes indiquées sur la base d'un calcul géotechnique.

Couche (cf. chap. 3.2)	Pente admissible	
	Talus temporaires	Talus définitifs
Remblais	2v : 3h	2v : 3h
Dépôts fluvio-glaciaires de retrait	2v : 3h	2v : 3h
Moraine	3v : 2h	1v : 1h
Moraine altérée	1v : 1h	1v : 2h
Dépôts glaciolacustres de progression	2v : 3h	1v : 2h
Dépôts d'inondation	2v : 3h	1v : 2h
Alluvions et cône d'alluvions	2v : 3h	1v : 2h

Remarques :

- Hormis les talus composés de matériaux issus de la couche de dépôts fluvio-glaciaires (matériaux grossiers non sensibles à l'eau), les talus temporaires devront être protégés des effets des eaux météoriques au moyen de géotextiles. Les talus définitifs devront êtreensemencés et protégés contre l'érosion ;
- Les dépôts glaciolacustres de progression sont majoritairement composés de sable fin limoneux et de limon finement sableux et sont donc sensibles au phénomène d'érosion interne. En cas de venue d'eau, il conviendra d'être particulièrement attentif au problème d'érosion dans ces terrains. Le cas échéant, des mesures seront rapidement prises pour limiter ce phénomène (par ex. consolidation des talus avec du béton drainant / caverneux).

4.1.2 Travaux de terrassement

Les terrains (sauf molasse) sont normalement exploitables à la pelle mécanique sur les profondeurs d'excavation prévues dans le projet. Une perte de rendement des engins de terrassement est toutefois à prévoir pour la moraine et les dépôts fluvioglaciaires (terrains à compacité élevée, difficilement exploitables). La molasse correspond aux classes d'exploitation 5 et 6 selon SN 640 575. Un godet à rocher voire un marteau type Montabert sont nécessaires.

Une présence importante de blocs pouvant poser des difficultés d'exploitation est attendue au sein de la couche de dépôts fluvioglaciaires de retrait, particulièrement entre les km 2'860 et 3'200. La présence de rares blocs au sein de la couche de moraine est également possible.

4.1.3 Epuisement des eaux

De manière générale, les excavations pour les secteurs en déblai ne devraient pas intercepter les eaux souterraines. Des venues d'eau sporadiques au-dessus du niveau de la nappe phréatique sont toutefois possibles au sein des couches de dépôts fluvioglaciaires de retrait, de moraine et de dépôts glaciolacustres, particulièrement lors de périodes pluvieuses. Dans ce cas il faudra capter l'eau et l'évacuer.

Au niveau du portail Est du futur PI de la Crausa (F12/24), des eaux souterraines sont rencontrées dans les dépôts fluvioglaciaires de retrait présents dès environ 4.3 m de profondeur. Le niveau piézométrique se situe à 4.69 m de profondeur, soit à une altitude de 609.78 m s.m.. L'essai de pompage réalisé dans le piézomètre témoigne de la présence d'un aquifère avec une perméabilité d'environ 10^{-5} à 10^{-4} m/s (cf. annexe 14). Dans ce secteur, le projet se situe donc au droit de cet aquifère. Au niveau du portail Ouest du futur PI de la Crausa (F13/24) et de la partie centrale de l'ouvrage (F10/19), des eaux souterraines sont rencontrées dans les dépôts d'inondation et dans les alluvions, qui forment une couverture d'une épaisseur d'environ 2 m. Le niveau piézométrique se situe dans les alluvions ou dépôts d'inondation. L'essai de pompage réalisé dans le piézomètre témoigne d'une perméabilité d'environ 10^{-6} à 10^{-5} m/s (cf. annexe 14). Dans ce secteur, le projet se situe a priori en bordure de cet aquifère. Le niveau de fondation du futur PI de la Crausa sera situé au sein des dépôts d'inondation et des alluvions, environ 1.8 m sous le niveau piézométrique maximum au droit du forage F10/19, soit à une altitude de 615.52 m s.m. et environ 3.2 m au-dessus du niveau piézométrique au droit du forage F11/19, soit à une altitude de 610.29 m s.m. Un drainage est prévu au pied du mur du PI, soit en dessus du niveau piézométrique maximum enregistré. Un collecteur récoltant les eaux de chaussées est prévu sous le radier de l'ouvrage, soit en-dessous du niveau piézométrique maximum enregistré au droit du forage F10/19. Dans ce secteur, un apport d'eau du versant Sud est probable. Il est recommandé de prévoir la réalisation de tranchée drainantes et de puisard pour épuiser l'eau en phase chantier.

4.2 Remblayages

Des travaux de remblayage importants sont prévus sur plusieurs secteurs du projet. Pour chaque principal secteur de remblayage, une appréciation des conditions de fondation et du risque de tassement des terrains existants sous le poids de ces remblais sont présentés ci-après.

Secteur / Kilométrage	Hauteur maximale de remblayage	Conditions de fondation / Risque de tassement
Les Fontanettes km 0 à env. km 200		Cf. chap. 5.1
Les Fontanettes km 200 à env. km 400		Cf. chap. 5.2
Ruisseau du Copy Env. km 400 à km 700	Env. 4 m	Mauvaises à moyennes : Présence possible de terrains argileux, avec matière organique, compressibles (dépôts d'inondation / alluvions fins), reposant sur des alluvions graveleuses peu compressibles. Risque de tassement moyen : Présence possible de dépôts d'inondation argileux et compressibles pouvant atteindre 3.0 m selon sondage F08 (km 0'360). Tassements importants sur le long-terme possibles en fonction de l'épaisseur effective de cette couche et de la teneur en matière organique entre les km 0'400 et 0'600. Réalisation de sondages complémentaires recommandés dans cette zone afin d'évaluer l'épaisseur effective de terrains compressibles. A noter que ces dépôts n'ont pas été observés au droit des forages F14/24 et F15/24 réalisés au droit du futur pont de Vuisserens.
Les Planchettes Env. km 1'200 à km 1'460	Env. 3 m	Moyennes à bonnes : Terrains de fondations limono-sableux de consistance estimée très ferme à dure (dépôts glaciolacustres, localement fluvio-glaciaire possible). Risque de tassement peu important : Tassements faibles, développement des tassements estimé essentiellement pendant les travaux.
La Comba km 3'220 à km 3'491	Env. 5 m	Bonnes : Terrains de fondation grossiers et très compacts (dépôts fluvio-glaciaires). Risque de tassement négligeable.

Remarques :

- Le risque de tassement susmentionné concerne uniquement les terrains en place sous la charge des nouveaux remblais. Des tassements complémentaires peuvent se développer au sein des remblais eux-mêmes en fonction de la qualité du compactage et du type de matériaux utilisés ;
- Un réseau de drainage important est présent en sous-sol entre les km 0 et env. 500, secteur les Fontanettes (voir chap. 3.5.10). Les remblayages prévus sur ce secteur conduiront probablement à l'endommagement de ce réseau (rupture de drains due à la surcharge ou modifications des pentes en raison des tassements). La réalisation d'un nouveau système de drainage est ainsi à prévoir ;

- Les possibilités de réutilisation et de revalorisation des matériaux excavés dans le cadre du projet pour la réalisation des nouveaux remblayages sont évaluées au chapitre 3.7.

4.3 Conditions de fondation des chaussées

Les caractéristiques géotechniques et la classe de fondation des différentes lithologies rencontrées le long du tracé de la route sont indiquées au chap. 3.9.

4.4 Réinfiltration des eaux pluviales

Le tableau ci-dessous présente une synthèse de la perméabilité des différentes couches géologiques rencontrées le long du tracé du projet :

Secteur / Kilométrage	Perméabilité
Dépôts fluvioglaciaires de retrait	Bonne
Moraine	Globalement faible à moyenne (localement, présence possible de niveaux graveleux et sableux avec bonne perméabilité)
Dépôts glaciolacustres de progression	Perméabilité globalement faible (localement, présence possible de niveaux sableux avec bonne perméabilité)
Dépôts d'inondation	Perméabilité faible
Alluvions et cône d'alluvions	Perméabilité faible à moyenne

En considérant la perméabilité des terrains susmentionnée ainsi que les conditions hydrogéologiques locales (présence de la nappe phréatique), la faisabilité d'une réinfiltration des eaux de chaussée le long du tracé de la nouvelle route est estimée comme suit :

Secteur / Kilométrage	Faisabilité d'une réinfiltration des eaux de chaussée
Secteurs les Fontanettes et ruisseau du Copy km 0 à 1'200	Réinfiltration à priori non envisageable (Terrains avec perméabilité faible à moyenne et présence d'une nappe phréatique à faible profondeur. Danger de glissement et nombreux drainages sur le secteur des Fontanettes, km 0 à 460) Selon les essais réalisés (résultats ci-après), le secteur Ouest des Fontanettes (km 450) semble favorable à une réinfiltration. Le secteur Copy (km 750) n'est pas du tout favorable (mauvaise perméabilité et venues d'eau peu profondes)

Secteur les Planchettes km 1'200 à 1'560	Réinfiltration possible La faisabilité d'une réinfiltration sur cette zone dépend de l'étendue et de l'épaisseur de la couche fluvioglaciaire de retrait présente en surface. Sur la base de l'essai réalisé (résultats ci-après), le secteur est favorable à une réinfiltration des eaux
Secteur Gros Essert km 1'800 à 2'260	Réinfiltration non envisageable (terrains globalement peu perméables au niveau de la cote du projet (dépôts glaciolacustres et localement de moraine), présence de la nappe phréatique à faible profondeur, voire supérieure, de la cote du projet).
Secteur La Comba km 2'840 à 3'490	Réinfiltration possible au sein des dépôts fluvioglaciaires de retrait (couche très perméable et non aquifère). <u>Remarque</u> : Il faudra tenir compte du danger de glissement lors du choix de l'emplacement d'un éventuel ouvrage d'infiltration sur ce secteur (cf. chap. 3.8)

Des essais d'infiltration ont été réalisés le 21 février 2019 sur les secteurs Fontanettes (km 450), Copy (km 775) et Planchettes (km 1'525). Les essais ont été réalisés durant une période sèche avec un terrain couvert à partiellement couvert d'une couche de neige. Les terrains étaient globalement secs à légèrement humide en surface (jusqu'à 0.5-0.6 m de profondeur).

Sur la base des essais d'infiltration réalisés, les résultats suivants peuvent être donnés :

Sondage	Coordonnées	Description des matériaux	Perméabilité [m/s]	Remarque
Tr13/19 km 1'525	2'577'070/1'180'113	Sable fin à moyen, très peu graveleux, quelques pierres	$5 \cdot 10^{-5}$	Perméabilité mesurée à environ $1.5 \cdot 10^{-4}$ m/s en début d'essai
Tr14/19 km 775	2'577'792/1'180'194	Sable limoneux, graveleux, peu argileux, avec pierres, rares blocs	$5.7 \cdot 10^{-6}$	Venue d'eau en fond de fouille (1.3 m)
Tr15/19 km 450	2'578'131/1'180'157	Sable limoneux, peu argileux, graveleux, quelques pierres, traces de charbon	$5.4 \cdot 10^{-5}$	Secteur comprenant de nombreux drainages. Influence possible

Sur la base de ces résultats, il peut être admis que le secteur Planchettes (km 1'525) est favorable à une réinfiltration des eaux. Il semblerait également que le secteur Fontanettes (km 450) soit également favorable à une réinfiltration des eaux. Néanmoins à la vue de la lithologie ainsi qu'à la présence de drains sur ce secteur, il ne peut être exclu que le système de drainage en place ait pu influencer les résultats de l'essai.

5. Dispositions constructives et recommandations spécifiques

5.1 PI et carrefour de La Crausa

Un PI est prévu au niveau du carrefour de La Crausa afin de construire un axe de circulation direct entre Marly et Chésalles. Des bretelles transversales seront construites de part et d'autre de cet axe afin de permettre une connexion via le carrefour de La Crausa à l'axe en direction de Le Mouret. Plusieurs sondages (forages carottés et sondages au pénétromètre) ont été réalisés sur le secteur du carrefour de La Crausa afin de préciser les conditions géotechniques du site. La stratigraphie des terrains sur ce secteur est illustrée dans les annexes 6 (profil en long) et 11 (profils en travers). Le PI est implanté dans un secteur présentant plusieurs problématiques géologiques / géotechniques à savoir :

- Présence de matériaux de remblai constitués majoritairement de débris de molasse gréseuse, parfois plus marneuse, de compacité lâche. Les matériaux de remblais sont rencontrés jusqu'à une profondeur d'environ 6 à 7 m sous le niveau actuel de la route de la Gruyère ;
Remarque : Contrairement aux sondages F9/18, P12/19 et P13/19, les remblais rencontrés au droit du forage F11/19 ont une compacité élevée. Ce forage étant situé à côté du bassin de rétention existant, nous estimons que les matériaux de remblais entourant cet ouvrage aient été compactés plus soigneusement afin d'améliorer la stabilité du bassin ;
- Présence de dépôts d'inondation fins, avec passages de tourbe, sous le remblai, en alternance avec des alluvions, soit à une profondeur de 6.3 à 7.5 m (F10/19) et de 9.3 à 12.5 m (F10/19 et F11/19) ;
- Présence de dépôts d'inondation fins, avec passages de tourbe, en surface (F12/24 et F13/24) ;
- Présence d'écoulements d'eau sporadique à la base du remblai ;
- Présence d'une nappe phréatique au sein de la couche d'alluvions / dépôts dont le niveau s'établit à environ 615.52 m s.m (F10/19) et au sein de la couche de fluvioglaciales dont le niveau s'établit à environ 609.78 m s.m. (F12/24).

Sur la base des investigations réalisées, nous formulons ci-dessous des recommandations constructives préliminaires pour l'établissement du projet :

- Des soutènements de fouille du type paroi berlinoise / parisienne (soutènement temporaire) ou du type paroi de pieux sécants / jointifs (soutènement temporaire ou définitif) peuvent être envisagés pour la réalisation de la fouille du PI. Nous recommandons de favoriser un étayage des parois de fouille au moyen de buttons et pas d'ancrages / clous en raison des mauvaises caractéristiques géotechniques des terrains rencontrés (remblais, dépôts d'inondation), ou alors un scellement des ancrages / clous dans la moraine ou molasse. Si l'espace à disposition est suffisant, un simple talutage selon les recommandations du chap. 4.1.1 est envisageable.
- Le niveau de fondation du PI sera situé dans la couche de remblais voir dans la transition remblais / dépôts d'inondation. Ces terrains sont hétérogènes, globalement de faible portance et dans le cas des dépôts d'inondation peuvent contenir des passages organiques / tourbeux. Malgré le fait que les terrains de fondation du PI ont déjà enduré un premier chargement lors de la mise en place des remblais existants, nous estimons qu'une transmission des charges de l'ouvrage en profondeur sur

les couches de moraine ou de molasse soit nécessaire afin de limiter le risque de tassements différentiels trop importants.

- Des remblayages de hauteur importante jusqu'à 9 m sont prévus en bordure Nord de la route existante (route de la Gruyère) permettant de créer suffisamment de place pour la construction du Carrefour de la Crausa. Nous considérons que l'ampleur des tassements résultants de ce remblayage est très difficile à estimer, mais peut attendre plusieurs centimètres. Le tassement total effectif dépendra fortement des variations de l'épaisseur des dépôts d'inondation et de leur contenu en matière organique / tourbe. En effet, au droit des forages F09/17, F12/24 et F13/24 ces dépôts sont peu épais et ne contiennent pas ou peu de matière organique alors que dans les forages F10/19 et F11/19 leur épaisseur est plus importante et ils contiennent des niveaux tourbeux. Etant donné la nature majoritairement sableuse des dépôts d'inondation rencontrés au droit des sondages F09/18, F10/19, F11/19 et F12/24, et le fait que ces dépôts sont souvent intercalés d'une couche d'alluvions assez perméable, nous estimons que les tassements se produiront majoritairement à court terme, pendant les travaux. En présence de matériaux tourbeux, nous ne pouvons toutefois pas exclure le développement de tassements à long terme. Il conviendra de vérifier le tassement effectif des terrains à l'avancement des travaux au moyen, par exemple de tubes de mesure type Inkrex et de vérifier la stabilité des déformations avant la pose des couches de finition des routes ou la réalisation des petits ouvrages annexes fondés superficiellement (barrières, lampadaires, etc). La réalisation d'un préchargement du terrain peut également être envisagée.

Remarque : Le projet étant situé en secteur Au de protection des eaux, les éventuels ancrages, clous et micropieux devront à priori être pourvus de chaussettes pour éviter toute fuite de coulis. Cette exigence sera à vérifier auprès du service de l'environnement de l'état de Fribourg dans le cadre du projet.

5.2 Mur des Fontanettes

Un mur de soutènement est prévu en amont et aval de la route le long, respectivement entre les km 193 à 421 et km 226 à 401 afin de limiter l'emprise des travaux. Ces murs sont implantés dans un secteur présentant plusieurs problématiques géologiques / géotechniques à savoir :

- Présence de dépôts d'inondation avec matière organique entre environ les km 300 et 400 ;
- Présence d'un niveau d'eau à faible profondeur. A noter que les terrains rencontrés en surface sur le secteur du mur des Fontanettes sont toujours très humides, même en périodes sèches et malgré l'important réseau de drainage existant (cf. annexe 8) ;
- Secteur présentant un danger de glissement faible. Ce danger est interprété en liaison avec le glissement de la couche de colluvions (dépôts de pente) d'une épaisseur d'env. 1.5 à 2.5 m sur le rocher molassique sous l'effet de l'eau souterraine.

Plusieurs sondages ont été réalisés sur le secteur Fontanettes afin de préciser les conditions géotechniques de ce secteur (forages carottés, pénétromètres, tranchées à la pelle). La stratigraphie des terrains sur ce secteur est illustrée dans les annexes 6 (profil en long) et annexe 11 (profil en travers).

Sur la base de ces investigations, nous formulons les recommandations constructives suivantes :

- Une fondation du mur sur la couche de dépôts d'inondation n'est pas possible, cette couche étant de très faible portance, assez compressible et contenant de la matière organique. Entre environ les km 320 et 380, l'épaisseur de dépôts d'inondation pouvant toutefois atteindre 3.5 m, le recours à une fondation sur des pieux est estimée nécessaire sur cette zone. A noter que la réalisation de puits / tranchées remplis de béton maigre jusqu'à la couche portante (alluvions / rocher) en alternative aux pieux est estimée difficile à exécuter en raison de la faible tenue des terrains et de la présence d'eau souterraine à faible profondeur ;
- Le développement de tassements sur le moyen/long terme suite au remblayage derrière le mur des Fontanettes est possible entre environ les km 320 et 380 en raison de la présence des dépôts d'inondation organiques. Sur cette zone il conviendra de réaliser un préchargement du terrain afin de limiter toute déformation après la pose du revêtement de la route ;
- En aval de l'emprise de terrassement, il conviendra de réaliser en début de travaux une tranchée drainante prolongée jusqu'au toit du rocher et parallèle à la route afin de capter les écoulements d'eau du versant. Ce drainage permettra d'améliorer la stabilité des terrains lors de la réalisation des travaux de terrassement et de construction des soutènements provisoires ou définitifs.

5.3 Pont de Vuisserens

5.3.1 Culée Ouest

Cote du projet : Env. 599 m s.m.

Conditions de fondation : Présence d'une couche d'alluvions grossières compacte (épaisseur env. 5 m) surmontant une fine couche de dépôts fluvioglaciaires de retrait (épaisseur env. 0.4 m), suivi d'une couche de moraine compacte à très compacte (épaisseur env. 8.8 m) altérée dans les premiers mètres (épaisseur altérée env. 5.3 m). Une alternance de moraine et de dépôts fluvioglaciaires de progression est ensuite observée jusqu'au rocher (molasse), présent à partir 21 m de profondeur, soit à une altitude d'environ 577.8 m s.m.

Type de fondation proposée : Pieux forés tubés

Fondation superficielle au niveau de la couche d'alluvions compacte à très compacte a priori envisageable (à vérifier selon descentes de charge effectives et en tenant compte du talus). Le cas échéant, réalisation de fondations sur pieux forés tubés.

**Conditions de terrassement
 (exécution de la culée) :**

Terrassement dans la couche d'alluvions compact. Terrains non aquifères pour une profondeur de terrassement d'environ 3 m et exploitables à la pelle mécanique.

Talutage 2v/3h dans les alluvions (talus temporaires) ou soutènement au moyen de parois berlinoises ou clouées.

Paramètres géotechniques proposés pour calcul des fondations :

- Taux de travail admissible (ELS) pour une fondation superficielle au niveau de la couche d'alluvions compacte à très compacte (indicatif) : $\sigma_{adm} = 300 \text{ kN/m}^2$
- Valeurs caractéristiques pour pré-dimensionnement des pieux forés tubés (indicatif) :

Couche de sol	Pieux forés	
	Frottement latéral $q_{s,k} [\text{kN/m}^2]$	Résistance en pointe $q_{p,k} [\text{kN/m}^2]$
Alluvions	140	-
Moraine altérée	100	-
Moraine	120	2'000
Dépôts fluvioglaciaires de progression	160	4'000
Molasse	300	8'000

- Remarques :**
- L'épaisseur de différentes couches de sol susmentionnées peut être estimée sur la base du profil géologique en annexe 4 et des profils de forage en annexe 3 ;
 - La capacité portante des pieux devra être confirmée par des essais de charge in situ ;
 - La réalisation d'essais de vérification de l'intégrité des pieux (par ex. réflexion sonique) est également conseillée ;
 - La pointe du pieu devra pénétrer d'au moins 3 fois son diamètre dans la couche portante pour la mobilisation de l'effort de résistance en pointe susmentionné.

5.3.2 Culée Est

Cote du projet :

Env. 599.5 m s.m.

Conditions de fondation :

Présence d'une couche d'alluvions compacte à très compacte resp. très dure (épaisseur env. 3.5 m) surmontant une couche de moraine compacte à très compacte (épaisseur env. 7.7 m) altérée dans les premiers mètres (épaisseur altérée env. 1.3 m). Une alternance de moraine et de dépôts fluvioglaciaires de progression est ensuite

observée jusqu'au rocher (molasse), présent à partir de 16.5 m de profondeur, soit à une altitude d'environ 578.45 m s.m.

Type de fondation préconisée : **Pieux forés tubés**

Fondation superficielle au niveau de la couche d'alluvions compacte à très compacte a priori envisageable (à vérifier selon descentes de charge effectives). Le cas échéant, si risque de tassement estimé important, réalisation de fondations sur pieux forés tubés.

Conditions de terrassement (exécution de la culée) :

Terrassement dans la couche d'alluvions compact à très compact resp. très dure. Terrains non aquifères pour une profondeur de terrassement d'environ 3 m et exploitables à la pelle mécanique.

Talutage 2v/3h dans les alluvions (talus temporaires) ou soutènement au moyen de parois berlinoises ou clouées.

Paramètres géotechniques proposés pour calcul des fondations :

- Taux de travail admissible (ELS) pour une fondation superficielle au niveau de la couche d'alluvions compacte à très compacte (indicatif) : $\sigma_{adm} = 300 \text{ kN/m}^2$
- Valeurs caractéristiques pour pré-dimensionnement des pieux forés tubés (indicatif) :

Couche de sol	Pieux forés	
	Frottement latéral $q_{s,k} [\text{kN/m}^2]$	Résistance en pointe $q_{p,k} [\text{kN/m}^2]$
Alluvions	140	-
Moraine altérée	100	-
Moraine	120	2'000
Dépôts fluvioglaciaires de progression	160	4'000
Molasse	300	8'000

- Remarques :**
- L'épaisseur de différentes couches de sol susmentionnées peut être estimée sur la base du profil géologique en annexe 4 et des profils de forage en annexe 3 ;
 - La capacité portante des pieux devra être confirmée par des essais de charge in situ ;
 - La réalisation d'essais de vérification de l'intégrité des pieux (par ex. réflexion sonique) est également conseillée ;
 - La pointe du pieu devra pénétrer d'au moins 3 fois son diamètre dans la couche portante pour la mobilisation de l'effort de résistance en pointe susmentionné.

5.3.3 Conclusions

Les principales conclusions ci-après sont formulées sur la base des investigations réalisées :

- Les conditions de fondations sont généralement estimées bonnes avec de matériaux de portance élevé. En alternative à une fondation profonde, une fondation superficielle pour les culées est estimée possible au sein des alluvions en fonction des descentes de charge du projet et du risque de tassement ;
- L'excavation pour les culées Ouest et Est ne devrait pas intercepter les eaux souterraines. Ils pourront être réalisés au moyen de talutages ou de soutènements de fouille type paroi clouée ou berlinoise.

5.4 Pont de Chésalles

5.4.1 Culée Ouest

Cote du projet : Env. 621.0 m s.m.

Conditions de fondation : Présence d'une couche mince de moraine compacte à très compacte (épaisseur env. 3 m) surmontant des dépôts glaciolacustres sablo-limoneux de compacité lâche à moyennement compact et d'épaisseur estimée à 25 m. La couche glaciolacustre est de faible portance et compressible.

Type de fondation proposée : **Pieux forés tubés**

Remarque : Fondation superficielle non préconisée en raison du risque de tassements importants au niveau de la couche glaciolacustre.

Conditions de terrassement (exécution de la culée) : Terrassement en dépôts fluvioglaciaires et en moraine compacte à très compacte. Terrains non aquifères et exploitables à la pelle mécanique. Présence de blocs attendue au niveau des dépôts fluvioglaciaires et possible au niveau de la moraine pouvant poser des difficultés d'exploitation.

Talutage 2v/3h dans les dépôts fluvioglaciaires et 3v/2h dans la moraine (talus temporaires) ou soutènement au moyen de parois berlinoises.

Paramètres géotechniques proposés pour calcul des fondations :

- Valeurs caractéristiques pour pré-dimensionnement des pieux forés tubés (indicatif) :

Couche de sol	Pieux forés	
	Frottement latéral $q_{s,k}$ [kN/m ²]	Résistance en pointe $q_{p,k}$ [kN/m ²]
Moraine	130	-
Dépôts glaciolacustres lâches à moyennement compacts	80	1'200
Dépôts fluvioglaciaires de progression	160	5'000

- Remarques :**
- L'épaisseur de différentes couches de sol susmentionnées peut être estimée sur la base du profil géologique en annexe 4 et des profils de forage en annexe 3 ;
 - La capacité portante des pieux devra être confirmée par des essais de charge in situ ;
 - La réalisation d'essais de vérification de l'intégrité des pieux (par ex. réflexion sonique) est également conseillée ;
 - La pointe du pieu devra pénétrer d'au moins 3 fois son diamètre dans la couche portante pour la mobilisation de l'effort de résistance en pointe susmentionné.

5.4.2 Culée Est

Cote du projet : Env. 614.5 m s.m.

Conditions de fondation : Présence d'une couche mince de moraine altérée lâche à moyennement compacte (épaisseur env. 3 m) ou potentiellement des remblais de nature et d'épaisseur inconnues, surmontant des dépôts glaciolacustres sableux et limoneux compacts à très compacts (épaisseur estimée 18 m).

Type de fondation préconisée : **Pieux forés tubés**

Fondation superficielle au niveau de la couche glaciolacustre compacte à une profondeur d'env. 3 m éventuellement possible (à vérifier selon charge effective et calcul de tassements).

Conditions de terrassement (exécution de la culée) : Terrassement en dépôts fluvioglaciaires et en moraine altérée. Terrains non aquifères et exploitables à la pelle mécanique. Présence de remblais probable, en particulier sur la moitié Sud de la culée.

Talutage 1v/1h en moraine altérée et 2v/3h en dépôts fluvioglaciaires et remblais (talus temporaires) ou soutènement au moyen de parois clouées ou de parois berlinoises.

Paramètres géotechniques proposés pour calcul des fondations :

- Taux de travail admissible (ELS) pour une fondation superficielle au niveau de la couche glaciolacustre compacte (indicatif) : $\sigma_{adm} = 300 \text{ kN/m}^2$
- Valeurs caractéristiques pour pré-dimensionnement des pieux forés tubés (indicatif) :

Couche de sol	Pieux forés	
	Frottement latéral $q_{s,k} [\text{kN/m}^2]$	Résistance en pointe $q_{p,k} [\text{kN/m}^2]$
Moraine altérée	80	-
Dépôts glaciolacustres compacts	100	2'000
Dépôts fluvioglaciaires de progression	160	5'000

- Remarques :**
- L'épaisseur de différentes couches de sol susmentionnées peut être estimée sur la base du profil géologique en annexe 4 et des profils de forage en annexe 3 ;
 - La capacité portante des pieux devra être confirmée par des essais de charge in situ ;
 - La réalisation d'essais de vérification de l'intégrité des pieux (par ex. réflexion sonique) est également conseillée ;
 - La pointe du pieu devra pénétrer d'au moins 3 fois son diamètre dans la couche portante pour la mobilisation de l'effort de résistance en pointe susmentionné.

5.4.3 Piles

Le projet prévoit la réalisation de 3 piles au sein du vallon de Chésalles. Une évaluation générale des conditions géotechniques le long des versants et en fond du vallon de Chésalles est de ce fait présentée ci-dessous.

5.4.3.1 Versant Ouest et fond du vallon de Chésalles

Conditions de fondation :

Terrains composés essentiellement de dépôts glaciolacustres sableux et limoneux de compacité lâche à moyennement compacte. Ces dépôts ont une épaisseur variable le long du versant (environ 18 m au droit de la pile 3 et env. 7 m au droit de la pile 2) et surmontent des dépôts fluvioglaciaires de progression compacts à très compacts (voir profil géologique en annexe 4).

D'après le forage F06/17, en fond du vallon les dépôts glaciolacustres sont recouverts d'une couche mince de remblais et d'alluvions (épaisseur env. 2m).

Type de fondation préconisée : **Pieux forés tubés**

**Conditions de terrassement
(exécution des piles) :**

Versant Ouest :

- Présence possible de venues d'eau ou d'une nappe phréatique à faible profondeur au sein des dépôts glaciolacustres. Par ailleurs, les terrains composant cette couche (sables fins, limons) sont sensibles au phénomène d'érosion interne et peuvent devenir instables lors de venues d'eau. Soutènement étanche (par ex. palplanches) potentiellement nécessaire.

- Talutage avec pente maximale 2v/3h (au-dessus du niveau de la nappe).

Fond du vallon :

- Terrassement essentiellement en remblais, alluvions et dépôts glaciolacustres non aquifères (niveau de la nappe à profondeur d'env. 5.4 m selon piézomètre F06/17). Terrains exploitables à la pelle mécanique.

- Talutages avec pente maximale 2v/3h.

Paramètres géotechniques proposés pour calcul des fondations :

– Valeurs caractéristiques pour pré-dimensionnement des pieux forés tubés cf. chap. 5.4.1.

5.4.3.2 Versant Est du Vallon de Chésalles

Conditions de fondation :

Versant Est probablement couvert de matériaux de remblai de nature inconnue et d'épaisseur variable. Les remblais surmontent des dépôts glaciolacustres sablo-limoneux de compacité pouvant également être variable (lâche à moyennement compact selon forage F06/17, compact à très compact selon forage F07/17). Les dépôts glaciolacustres reposent sur des dépôts fluvioglaciaires compacts à très compacts. Au droit de la pile 1, l'épaisseur des dépôts glaciolacustre est d'environ 10 m.

Type de fondation préconisée : **Pieux forés tubés**

**Conditions de terrassement
(exécution des piles) :**

Excavation sur matériaux de remblai de nature inconnu et sur des dépôts glaciolacustres.

Présence d'eau souterraine non attendue, hormis d'éventuelles venues sporadiques en cas de pluie.

Talutages avec pente maximale 2v3h (à vérifier en fonction de la qualité effective des matériaux de remblais rencontrés)

Paramètres géotechniques proposés pour calcul des fondations :

- Valeurs caractéristiques pour pré-dimensionnement des pieux forés tubés cf. chap. 5.4.1.

5.4.4 Conclusions

Les principales conclusions ci-après sont formulées sur la base des investigations réalisées :

- En raison de la faible portance des terrains composant le vallon de Chésalles, essentiellement des dépôts glaciolacustres et dans le cas du versant Est, des remblais, une fondation sur pieux forés tubés est à prévoir pour les piles et les culées du pont, hormis éventuellement pour la culée Est.
- L'excavation pour la réalisation de piles sur le versant Ouest du Vallon doit tenir compte de la présence possible d'eau souterraine à faible profondeur. Par ailleurs les terrains composant ce versant (dépôts glaciolacustres) sont sensibles au phénomène d'érosion interne et peuvent devenir instables lors de venues d'eau. La réalisation d'un ouvrage temporaire de soutènement étanche (par ex. enceinte de palplanches) peut s'avérer nécessaire pour la réalisation de fouilles sur ce versant.
- Le versant Est du vallon de Chésalles est estimé couvert par un volume important de remblais dont la nature et la qualité restent inconnues. Ces remblais seront excavés pour la réalisation des piles sur ce versant et probablement pour la réalisation de la culée Est. Il ne peut pas être exclu que ces remblais puissent présenter des traces de pollution nécessitant une mise en décharge pour matériaux pollués type B ou E. La réalisation d'analyses chimiques de pollution est à prévoir pour la suite du projet. Une analyse de risque peut également s'avérer nécessaire en cas de chargement de matériaux sur le secteur en remblai.

5.5 Pont d'Hauterive km 2'079 à km 2'876

5.5.1 Culée Ouest

Cote du projet :	Env. 615.50 m s.m.
Conditions de fondation :	Sous-sol composé de dépôts fluvioglaciers de retrait (gravier sableux avec nombreuses pierres) très compacts et d'épaisseur supérieure à 14m.
Type de fondation proposée :	Fondation superficielle a priori envisageable (à vérifier selon descentes de charge effectives). Le cas échéant, si risque de tassement estimé important, réalisation de fondations sur pieux forés tubés.
Conditions de terrassement (exécution de la culée) :	Terrains non aquifères et exploitables à la pelle mécanique. La compacité importante des dépôts fluvioglaciers et la présence attendue de blocs peuvent poser des difficultés d'exploitation ; Talutage 2v/3h (talus temporaires sans surcharge en amont) ou soutènement au moyen de parois berlinoises.

Paramètres géotechniques proposés pour calcul des fondations :

- Taux de travail admissible (ELS) pour une fondation superficielle au niveau de la fluvioglaciaire de retrait (indicatif) : $\sigma_{adm} = 450 \text{ kN/m}^2$
- Valeurs caractéristiques pour pré-dimensionnement des pieux forés tubés (indicatif) :

Couche de sol	Pieux forés	
	Frottement latéral $q_{s,k} [\text{kN/m}^2]$	Résistance en pointe $q_{p,k} [\text{kN/m}^2]$
Dépôts fluvioglaciers de retrait et progression	160	5'000
Moraine	120	3'000

- Remarques :**
- L'épaisseur des différentes couches de sol susmentionnées peut être estimée sur la base du profil géologique en annexe 7 et des profils de forage en annexe 3 ;
 - La capacité portante des pieux devra être confirmée par des essais de charge in situ ;
 - La réalisation d'essais de vérification de l'intégrité des pieux (par ex. réflexion sonique) est également conseillée ;

- La pointe du pieu devra pénétrer d'au moins 3 fois son diamètre dans la couche portante pour la mobilisation de l'effort de résistance en pointe susmentionné.

5.5.2 Culée Est

Cote du projet : Env. 623.40 m s.m.

Conditions de fondation : Sous-sol composé essentiellement de dépôts glaciolacustres de nature sableuse et limoneuse et de compacité lâche à moyennement compact. Ces dépôts sont rencontrés jusqu'à une profondeur supérieure à 30 m et sont couverts par une couche peu épaisse de moraine altérée (épaisseur de 2 m selon forage F03/17).

Type de fondation préconisée : **Pieux forés tubés**

Remarque : Fondation superficielle exclue en raison de la faible portance de la couche de glaciolacustre.

**Conditions de terrassement
(exécution de la culée) :**

Terrassement essentiellement en moraine altérée et en dépôts glaciolacustres. Présence de la nappe phréatique possible dès environ 3 m de profondeur (selon mesure du 23.01.2018 au piézomètre F03/17) ;

Terrains exploitables à la pelle mécanique ;

Talutage 2v/3h (talus temporaires sans surcharge en amont) ou soutènement au moyen de palplanches pour des fouilles devant aller au-dessous du niveau de la nappe.

Paramètres géotechniques proposés pour calcul des fondations :

- Valeurs caractéristiques pour pré-dimensionnement des pieux forés tubés (indicatif) :

Couche de sol	Pieux forés	
	Frottement latéral $q_{s,k}$ [kN/m ²]	Résistance en pointe $q_{p,k}$ [kN/m ²]
Moraine altérée	80	-
Dépôts glaciolacustres lâches é moyennement compacts	80	1'200
Dépôts fluvioglaciaires de progression	160	5'000

Molasse gréseuse ¹⁾	250	8'000
--------------------------------	-----	-------

- Remarques :**
- ¹⁾ La molasse n'a pas été rencontrée au droit de la vallée de la Sarine dans le cadre de la présente étude et se situe à une profondeur relativement importante. Les paramètres susmentionnés sont donnés à titre indicatif et doivent absolument être vérifiés sur la base d'une inspection visuelle de la molasse sur le secteur de la vallée de la Sarine et de sondages complémentaires s'il est envisagé d'atteindre la molasse avec les pieux de fondations ;
 - L'épaisseur de différentes couches de sol susmentionnées peut être estimée sur la base du profil géologique en annexe 7 et des profils de forage en annexe 3;
 - La capacité portante des pieux devra être confirmée par des essais de charge in situ ;
 - La réalisation d'essais de vérification de l'intégrité des pieux (par ex. réflexion sonique) est également conseillée ;
 - La pointe du pieu devra pénétrer d'au moins 3 fois son diamètre dans la couche portante pour la mobilisation de l'effort de résistance en pointe susmentionné.

5.5.3 Piles

Le projet prévoit la réalisation de 10 piles au sein du vallon de la Sarine. Une évaluation générale des conditions géotechniques le long de la vallée de la Sarine est de ce fait présentée ci-dessous :

5.5.3.1 Versant Ouest (km 2'600 à 2'900)

Conditions de fondation : Dans la partie supérieure du versant (piles 9 et 10), le sous-sol est composé de dépôts fluvioglaciaires très compacts de nature graveleuse, sableuse avec de nombreuses pierres. Dans sa partie inférieure (piles 6, 7 et 8), il est constitué de moraine sablo-limoneuse très compacte (voir profil géologique en annexe 6).

Type de fondation préconisée : **Fondation superficielle a priori envisageable au niveau des dépôts fluvioglaciaires de retrait.**

Fondation superficielle au niveau de la moraine pas exclue, à vérifier en fonction des descentes de charge effectives et du risque de tassement.

Le cas échéant, si risque de tassement estimé important, réalisation de fondations sur pieux forés tubés.

**Conditions de terrassement
(exécution des piles) :**

Terrains non aquifères et exploitables à la pelle mécanique.
L'importante compacité des terrains et la présence attendue de blocs au sein des dépôts fluvioglaciaires peuvent poser des difficultés d'exploitation. Venues d'eau ponctuelles possibles au sein de la moraine.

Talutage 2v/3h en dépôts fluvioglaciaires ou 3v/2h en moraine (talus temporaires sans surcharge en amont) ou soutènement au moyen de parois berlinoises (moraine et dépôts fluvioglaciaires) ou de parois clouées (moraine).

Paramètres géotechniques proposés pour calcul des fondations :

- Taux de travail admissible (ELS) pour une fondation superficielle (indicatif) :
 - Dépôts fluvioglaciaires de retrait : $\sigma_{adm} = 450 \text{ kN/m}^2$
 - Moraine : $\sigma_{adm} = 300 \text{ kN/m}^2$
- Valeurs caractéristiques pour pré-dimensionnement des pieux forés tubés : cf. chap. 5.5.1.

5.5.3.2 Versant Est (km env. 2'240 à 2'340)

Conditions de fondation :

Terrains composés essentiellement de dépôts glaciolacustres sableux et limoneux de compacité lâche à moyenne. Ces dépôts ont une épaisseur variable le long du versant (environ 13 m au droit de la pile 1, 12 m au droit de la pile 2, 11 m au droit de la pile 3 et 2 m au droit de la pile 4) et sont recouverts par des dépôts morainiques d'épaisseur faible (~2 m d'épaisseur au droit du F03/17). Ils reposent sur des dépôts fluvioglaciaires de progression estimés très compacts (voir profil géologique en annexe 6).

Type de fondation préconisée : Pieux forés tubés

**Conditions de terrassement
(exécution des piles) :**

Présence possible de venues d'eau ou d'une nappe phréatique à faible profondeur au sein des dépôts glaciolacustres. Par ailleurs, les terrains composant cette couche (sables fins, limons) sont sensibles au phénomène d'érosion interne et peuvent devenir instables lors de venues d'eau. Soutènement étanche (par ex. palplanches) potentiellement nécessaire.

Talutage avec pente maximale 2v/3h (talus temporaires sans surcharge en amont) au-dessus du niveau de la nappe.

Paramètres géotechniques proposés pour calcul des fondations :

- Valeurs caractéristiques pour pré-dimensionnement des pieux forés tubés cf. chap. 5.5.2.

5.5.3.3 Fond de la vallée, décharge de la Pila (km env. 2'440 à 2'600)

Conditions de fondation : Très défavorables et hétérogènes : Matériaux de décharge composés de sols de granulométrie diverse et contenant généralement beaucoup de matière organique, mélangés avec des déchets organiques et non organiques.

Type de fondation préconisée : **Pieux forés tubés fondés sur la molasse.**

Fondation superficielle envisageable sur la molasse.

Remarque : Le concept de fondation retenu pour les piles devra prendre en compte les contraintes liées au futur projet d'assainissement de la décharge de la Pila. Ce projet peut nécessiter l'excavation et l'évacuation d'une partie importante voir de l'ensemble des matériaux composant cette décharge (thématique traitée dans le rapport [20]).

Conditions de terrassement (exécution de la culée) : Restrictions importantes pour le terrassement, le transport et la mise en décharge des matériaux de la décharge en lien avec la présence d'une pollution importante (thématique traitée dans le rapport [20]).

Terrassement dans les remblais de la Pila et les alluvions. Présence possible de la nappe phréatique logée dans les alluvions dès 9 m de profondeur. Il est prévu de réaliser une fouille étanche avec paroi verticale ;

Terrains exploitables à la pelle mécanique.

Paramètres géotechniques proposés pour calcul des fondations :

- Taux de travail admissible (ELS) pour une fondation superficielle au niveau de la molasse (indicatif) : élevé mais non déterminant pour ce type de fondation.
- Valeurs caractéristiques pour pré-dimensionnement des pieux forés tubés (indicatif) :

Couche de sol	Pieux forés	
	Frottement latéral $q_{s,k}$ [kN/m ²]	Résistance en pointe $q_{p,k}$ [kN/m ²]
Matériaux de décharge	Négligeable à - 20 kN/m ² (frottement négatif possible si travaux de remblayage réalisés)	Négligeable
Alluvions de la Sarine	100 / 0 ²⁾	2000

Molasse gréseuse ¹⁾	250	8'000
--------------------------------	-----	-------

- Remarques :**
- ¹⁾ La molasse n'a pas été rencontrée au droit de la vallée de la Sarine dans le cadre de la présente étude. Les paramètres susmentionnés sont donnés à titre indicatif et doivent absolument être vérifiés sur la base d'une inspection visuelle de la molasse sur le secteur de la vallée de la Sarine ainsi que d'éventuelles analyses en laboratoire ;
 - ²⁾ En cas d'appui des pieux sur la molasse, le frottement mobilisé dans la couche d'alluvions sera limité et dépendra du tassement effectif du pieu. Il conviendra dans ce cas d'évaluer une réduction de la valeur de frottement dans la couche d'alluvions ou de dimensionner les pieux en travaillant uniquement par pointe ;
 - L'épaisseur de différentes couches de sol susmentionnées peut être estimée sur la base du profil géologique en annexe 6 ;
 - La capacité portante des pieux devra être confirmée par des essais de charge in situ ;
 - La réalisation d'essais de vérification de l'intégrité des pieux (par ex. réflexion sonique) est également conseillée ;
 - La pointe du pieu devra pénétrer d'au moins 3 fois son diamètre dans la couche portante pour la mobilisation de l'effort de résistance en pointe susmentionné.

5.5.3.4 Fond de la vallée, rivière La Sarine (km env. 2'340 à 2'440)

- Conditions de fondation :** Présence de dépôts glaciolacustres et fluvioglaciaires de progression qui surmontent la molasse gréseuse présente à partir d'environ 10 m de profondeur.
- Type de fondation préconisée :** **Pieux forés tubés fondés sur la molasse.**
- Fondation superficielle envisageable sur la molasse.** Etant donnée la situation de la pile, la stabilité de la pente doit être contrôlée pour la molasse
- Conditions de terrassement (exécution de la culée) :** Terrassement en dépôts glaciolacustres et fluvioglaciaires. Présence de la nappe phréatique possible dès la surface ;
- Terrains exploitables à la pelle mécanique ;
- Talutage 2v/3h (talus temporaires sans surcharge en amont) ou soutènement de fouille ancré type paroi clouée ou berlinoise. La présence d'eau ainsi son niveau devront encore être vérifiés au droit de la pile.

Paramètres géotechniques proposés pour calcul des fondations :

- Taux de travail admissible (ELS) pour une fondation superficielle au niveau de la molasse (indicatif) : élevé mais non déterminant.
- Valeurs caractéristiques pour pré-dimensionnement des pieux forés tubés (indicatif) cf. chap. 5.5.1.

5.5.4 Conclusions

Les principales conclusions suivantes sont formulées sur la base des investigations réalisées :

- Une fondation superficielle de la culée Ouest et des piles intermédiaires sur la partie supérieure du versant ouest de la vallée (km env. 2'780 à 2'900) est estimée possible au sein des dépôts fluvioglaciaires de retrait. Sur la partie inférieure de ce versant (km env. 2'600 à 2'780), une fondation superficielle au sein de la moraine n'est pas exclue et reste à évaluer en fonction des descentes de charge du projet et du risque de tassement ;
- Au niveau du fond de la vallée et de son versant Est, une fondation en profondeur des piles et de la culée au moyen de pieux forés tubés est à prévoir. Les pieux seront idéalement appuyés sur les couches de dépôts fluvioglaciaires de progression ou de rocher molassique ;
- L'excavation pour la réalisation de piles sur le versant Est de la vallée de la Sarine doit tenir compte de la présence possible d'eau souterraine à faible profondeur. Par ailleurs les terrains composant ce versant (dépôts glaciolacustres) sont sensibles au phénomène d'érosion interne et peuvent devenir instables lors de venues d'eau. La réalisation d'un ouvrage temporaire de soutènement étanche (par ex. enceinte de palplanches) peut s'avérer nécessaire pour la réalisation de fouilles sur ce versant ;

5.6 PI de Grangeneuve

Un PI est prévu au niveau du carrefour d'Hauterive. Deux sondages (TR1/17 et F16/24) ont été réalisés sur le secteur afin de préciser les conditions géotechniques du site. La stratigraphie des terrains sur ce secteur est illustrée dans les annexes 6 (profil en long) et 11 (profils en travers).

Sur la base des investigations réalisées, nous formulons ci-dessous des recommandations constructives pour l'établissement du projet :

- Talutage avec pente maximale 2v/3h (talus temporaires sans surcharge en amont) peut être envisagés pour la réalisation de la fouille du PI dans les dépôts fluvioglaciaires de retrait ;
- Talutage avec pente maximale 1v/1h (talus temporaires sans surcharge en amont) peut être envisagés pour la réalisation de la fouille du PI dans la molasse ;
- Le niveau de fondation du PI sera situé environ 1 m dans la molasse. Ces terrains sont favorables pour une fondation superficielle. Une variation du niveau du toit de la molasse est possible. En cas de présence de matériaux meubles au niveau du fond de fouille, une purge et un remplacement par de la grave compactée est à prévoir.

6. Conclusions

Les principales conclusions suivantes sont formulées sur la base des investigations réalisées :

Réutilisation des matériaux

- Les matériaux issus de la couche de dépôts fluvioglaciers de retrait sont de bonne qualité et présentent un potentiel d'économie important pour le projet. Ces matériaux pourront être revalorisés dans le cadre du projet pour la réalisation de remblais de portance élevée ou en tant que grave 0/45 si un tri d'une partie des matériaux est réalisé (cf. chap. 3.7).

Travaux de remblayage

- Les conditions de fondation pour les principales zones à remblayer sont globalement favorables, hormis éventuellement entre les km 300 à 700 (secteur ruisseau du Copy) où des investigations complémentaires sont proposées afin vérifier les conditions géotechniques locales. Sur les secteurs restants du projet, les terrains rencontrés sont globalement de nature limoneuse, sableuse et graveleuse et peu compressibles (sols moyennement compacts à très compacts). Les tassements devront de ce fait se produire essentiellement pendant les travaux et non sur le long-terme.

PI et carrefour de La Crausa

- Les conditions géotechniques pour la réalisation du PI du carrefour de La Crausa sont défavorables, caractérisées par la présence de remblais peu compacts sur une couche de dépôts d'inondation contenant de la matière organique. Le recours à des fondations profondes est estimé nécessaire pour la réalisation du PI. Il est aussi nécessaire de surveiller la problématique de tassement des terrains lors de la réalisation des importants travaux de remblayage prévus ;
- Lors des terrassements, un apport d'eaux en provenance du versant Sud doit être envisagé.

Mur des Fontanettes

- La présence de dépôts d'inondation organiques et d'eau souterraine à faible profondeur impliquent des difficultés d'exécution particulières pour la construction de l'ouvrage. La réalisation de fondations sur pieux, d'un système efficace de drainage des terrains en place ainsi qu'un éventuel préchargement de la couche de dépôts d'inondation sont estimés nécessaires.

Remblai km 0 à 440 (secteur Les Fontanettes)

- La présence de sources et de drainage dans le talus ainsi qu'en pied de talus démontre que des écoulements souterrains peuvent être importants. Il est donc nécessaire de prévoir un drainage des eaux à la base de talus avant la mise en place du remblai afin d'éviter une mise en pression à l'amont du remblai. Un drainage du talus à l'amont du nouveau tracé sera également nécessaire.

Pont de Vuisserens

- Les conditions de fondations sont généralement estimées bonnes avec de matériaux de portance élevée. En alternative à une fondation profonde, une fondation superficielle pour les culées est estimée possible au sein des alluvions en fonction des descentes de charge du projet et du risque de tassement.

Pont de Chésalles

- En raison de la faible portance des terrains, il est recommandé d'utiliser des pieux forés tubés pour les piles et les culées du pont, à l'exception possible de la culée est. Cette technique permet de transférer les charges élevées sur des horizons porteurs plus profonds ;
- Sur le versant ouest, la présence probable d'eau souterraine à faible profondeur, combinée à la sensibilité des dépôts glaciolacustres à l'érosion interne, peut entraîner une instabilité des fouilles. Il est donc conseillé de mettre en place un soutènement temporaire étanche, tel qu'une enceinte de palplanches, pour sécuriser les excavations ;
- Le versant Est est recouvert d'un volume significatif de remblais dont la nature et la qualité sont inconnues. Ces matériaux devront être excavés pour la construction des piles et possiblement de la culée est. Il est possible que ces remblais contiennent des polluants nécessitant une mise en décharge de type B ou E. Des analyses chimiques sont donc prévues pour évaluer le niveau de pollution. Une analyse de risque pourrait également être nécessaire en cas de chargement de matériaux sur cette zone remblayée.

Pont d'Hauterive

- Culée ouest et piles intermédiaires (km env. 2'780 à 2'900) : Les dépôts fluvioglaciaires de retrait présents dans cette zone permettent d'envisager des fondations superficielles ;
- Partie inférieure du versant ouest (km env. 2'600 à 2'780) : Une fondation superficielle dans la moraine est envisageable, sous réserve d'une évaluation approfondie des charges et des risques de tassement ;
- Piles et culée Est : Des pieux forés tubés sont recommandés, s'ancrant idéalement dans les dépôts fluvioglaciaires de progression ou le rocher molassique ;
- La présence possible d'eau souterraine à faible profondeur, combinée à la sensibilité des dépôts glaciolacustres à l'érosion interne, peut compromettre la stabilité des fouilles. Il est donc conseillé d'installer un soutènement temporaire étanche, tel qu'une enceinte de palplanches, pour sécuriser les excavations ;
- Restrictions importantes pour le terrassement, le transport et la mise en décharge des matériaux de la décharge en lien avec la présence d'une pollution importante (thématique traitée dans le rapport [20]).
- Présence de la nappe phréatique logée dans les alluvions dès environ 9 m de profondeur.

PI de Grangeneuve

- Le niveau de fondation sera situé environ 1 mètre dans la molasse, offrant des conditions favorables pour une fondation superficielle ;
- Étant donné la possible variation du toit de la molasse, si des matériaux meubles sont présents au fond de la fouille, il est recommandé de les purger et de les remplacer par de la grave compactée.

7. Investigations complémentaires et recommandations

La présente étude géotechnique est réalisée en phase d'avant-projet et permet de mettre en évidence la problématique d'ensemble des conditions de sol pour le projet de la nouvelle liaison routière axe 1250 Marly-Matran. Elle a comme principal but d'optimiser les avant-projets de construction en y intégrant les recommandations constructives formulées à ce stade.

Lors de l'élaboration des projets d'ouvrage respectifs, la nécessité de réaliser des sondages complémentaires doit être évaluée en fonction de l'importance de l'ouvrage et de son emplacement par rapport aux sondages réalisés dans le cadre de la présente étude. L'analyse des conditions géotechniques et la définition des mesures constructives nécessaires seront à préciser par le géotechnicien de manière spécifique aux divers éléments et en fonction de la configuration qui sera retenue dans les projets d'ouvrage.

A l'état actuel de nos connaissances, nous préconisons les investigations complémentaires minimales suivantes :

- Un sondage à la pelle ou un forage carotté au km 520 dans le but de vérifier la présence de terrains argileux compressibles sous la future zone remblayée (risque de tassements sur le long-terme). En cas de résultats défavorables lors de la réalisation de ce sondage, il conviendra de prélever des échantillons pour la réalisation d'essais œdométriques en laboratoire. Ces essais permettront de déterminer les caractéristiques des terrains nécessaires à la réalisation d'un calcul de tassements précis ;
- Forage complémentaire au niveau de la culée Ouest du pont de Chésalles étant donné que le forage F05/17 n'atteint pas le niveau de fondation envisagé ;
- Forage complémentaire au niveau du versant Est du pont d'Hauterive entre les forages F03/17 et F04/17. D'un point de vue général et sécuritaire, un sondage au droit de chaque pile serait recommandé ;
- Forages carottés au droit des piles / culées du Pont de Copy ;
- Poursuite des mesures piézométriques sur tous les piézomètres existants (actuellement prévu jusqu'en 2027) ;
- Essais de classification granulométrique complémentaires et essais de compactage en laboratoire pour les éventuels matériaux de moindre qualité devant être réutilisés avec stabilisation (dépôts glaciolacustres / dépôts d'inondation) ou sans stabilisation (moraine) ;
- Il conviendra de réaliser des sondages à la pelle mécanique complémentaire ainsi que des sondages à la tarière à main afin d'établir une cartographie détaillée des sols (horizons A et B). Lors

de la réalisation des sondages à la pelle mécanique, le Service d'Archéologie devra être prévenu pour qu'il puisse suivre les travaux.

Annexe 1

Plan de situation

ÉTAT DE FRIEBURG
 Direction de l'aménagement, de l'environnement et des constructions
 DAEC
 RUBD
 Service des ponts et chaussées
 SPC
 TBA

GEOTEST SA
 RUE JEAN PROUVE 14
 CASE POSTALE 49
 CH-1762 GIVISSEZ
 T +41 (0)26 407 74 20
 F +41 (0)26 407 74 21
 fribourg@geotest.ch
 www.geotest.ch

Plan de situation
 Situation d'ensemble, km 0.000 à 3.500

Échelle: 1:2000
 1250 0 - 350 PCAM 10712 R 2517053-33-6001

FRIBOURG, LE : L'AUTEUR DU PROJET :

Éléments connus

- Sites pollus
- Sources captées avec conduites d'alimentation
- débit min. moy. / débit max. moy. / qualité bactériologique (a=bon, b=assez bon, c=mauvais)
- Sources non captées
- Forages / Sondages d'étude précédentes (profondeur de la molasse)
- Forages réalisés par GEOTEST SA (2017)
- Tranchées réalisées par GEOTEST SA (2017)
- Tranchées réalisées par GEOTEST SA (2018)
- Sondages au pénétrétre réalisés par GEOTEST SA (2018)
- Dangers faibles de glissements
- Dangers indicatifs de glissements
- Eau potable
- Eau usée
- Eau claire
- Objet de la servitude

Sondages 2020

- Forage carotté
- Forage carotté avec piézomètre

Sondages 2024

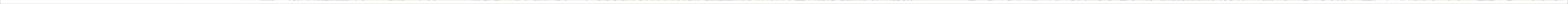
- Forage carotté
- Forage carotté avec piézomètre

Projet de nouvelle route
Projet de nouveaux ponts

Annexe 2

Géologie

- [illegible]



Annexe 3

Forages carottés

F1/17



2517053.4B
 Marly-Matran, Nouvelle liaison routière
 Axe 1250 / Ensemble du tracé
 Etude géologique et géotechnique

F2/17



Objet :

Marly-Matran, Nouveau tracé

Forage F03/17

Echelle 1:100

Mandat No. :
2517053.4B

Exécuter
Date :
16.-17.11.2017

Entreprise :
PolyForages SA

Maître foreur :
Sylvere Packa

Méthode de
forage :
Roto-percussion

Coordonnées :
2°576'325 / 1°180'064

Plan No. :
2517053.4_F03/17

Relevé par :
M. Kuhn

Dessiné par :
U. Pfyffer

Contrôlé par :
-

Format :
A3

Elévation du terrain :
ca. 608.81 m s.M.
Pm :
ca. 609.31 m s.M.

GEOTEST

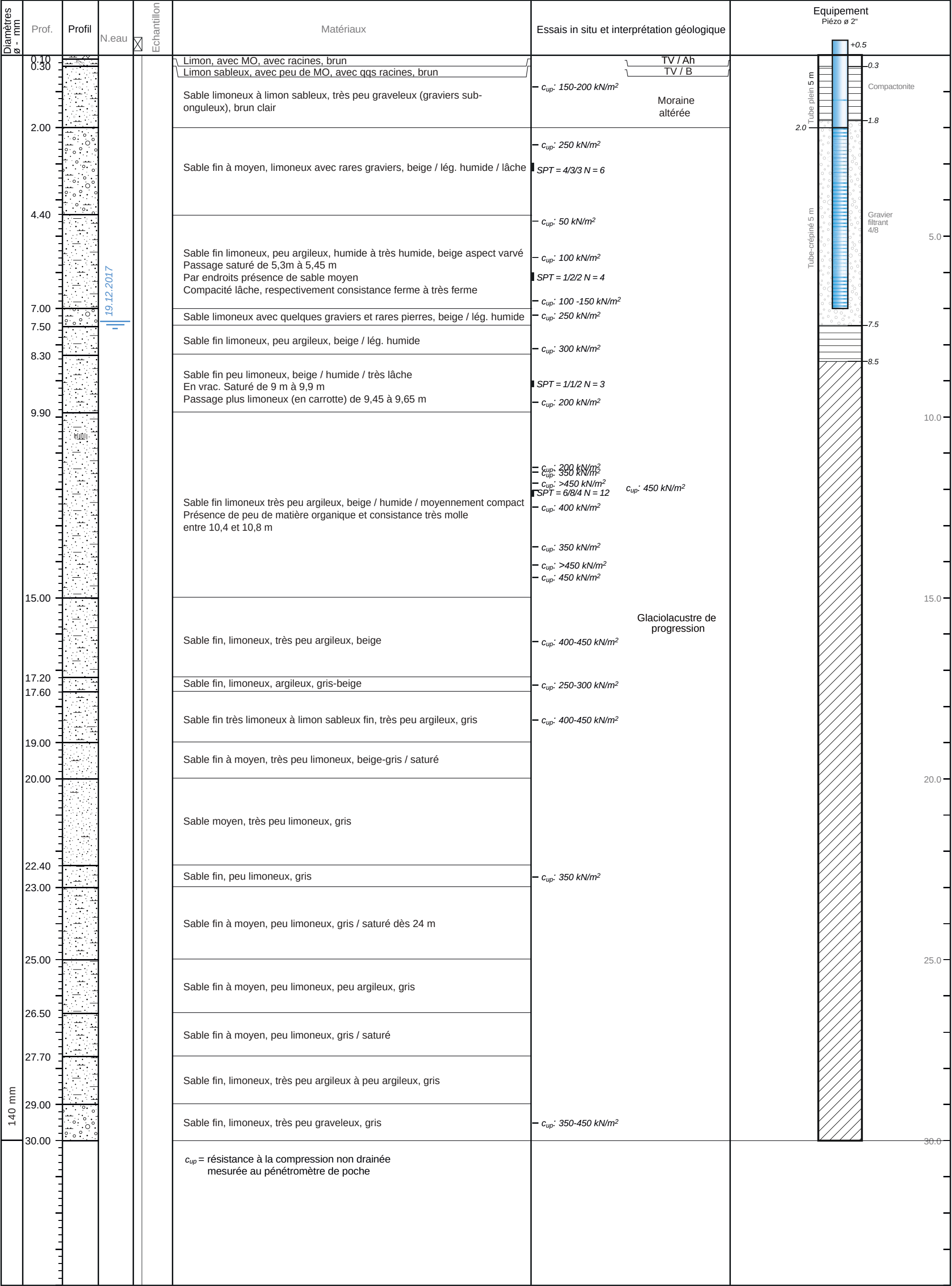
GEOLOGIE / INGENIERIE /
GEOPHYSIQUE /
ENVIRONNEMENT

GEOTEST SA

RUE JEAN PROUVÉ 14
CASE POSTALE 49
CH-1762 GIVISIEZ

T + 41 (0)26 407 74 20
F + 41 (0)26 407 74 21

fribourg@geotest.ch
www.geotest.ch

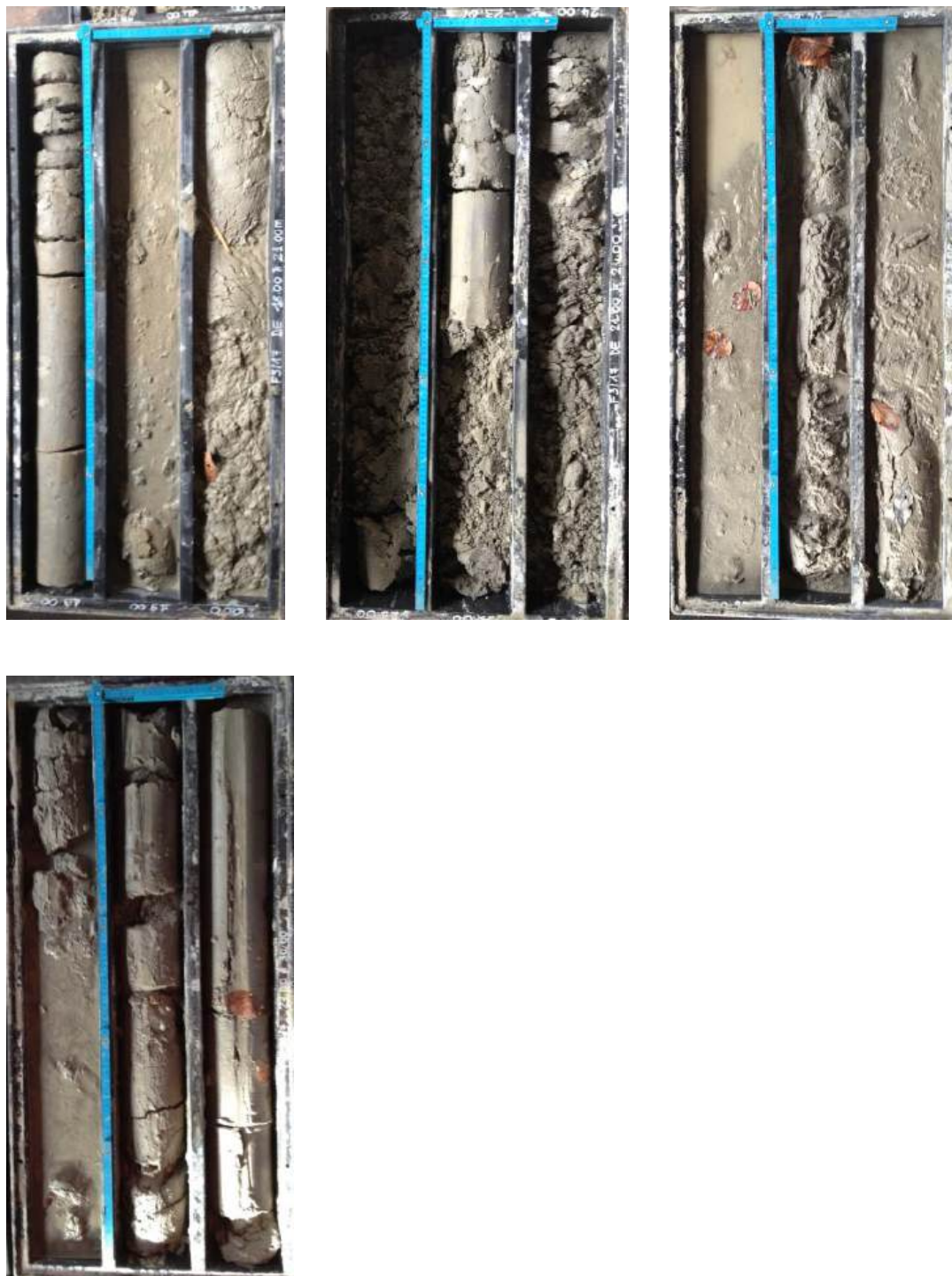


F3/17



2517053.4B
Marly-Matran, Nouvelle liaison routière
Axe 1250 / Ensemble du tracé
Etude géologique et géotechnique

F3/17 suite



F4/17



Objet :

Forage F05/17

Echelle 1:100

Mandat No. :
Exécuter
Date :
Entreprise :
Maître foreur :
Méthode de forage :
Coordonnées :

2517053.4B
20.-22.11.2017
PolyForages SA
Sylvere Packa
Roto-percussion
2°57'6"773 / 1°18'0"150

Plan No. :
Relevé par :
Dessiné par :
Controlé par :
Format :
Elévation du terrain :
Pm :

2517053.4_F05/17
M. Kuhn
U. Pfyffer
-
A3
ca. 625.20 m s.M.
ca. 626.02 m s.M.

GEOTEST

GEOTEST SA
RUE JEAN PROUVÉ 14
CASE POSTALE 49
CH-1762 GIVISIEZ

GEOLOGIE / INGENIERIE /
GEOPHYSIQUE /
ENVIRONNEMENT

T + 41 (0)26 407 74 20
F + 41 (0)26 407 74 21
fribourg@geotest.ch
www.geotest.ch

Diamètres ø - mm	Prof.	Profil	N.eau	Echantillon	Matériaux	Essais in situ et interprétation géologique	Equipement Piézo ø 2"
140 mm	0.30				Sable limoneux, avec MO, peu graveleux, avec quelques pierres, brun	TV / Ah	
	Sable très peu limoneux, graveleux, avec pierres, brun-beige				TV / B(c)		
	Sable limoneux, graveleux, avec pierres, brun-beige				Fluvioglaciaire de retrait		
	Sable peu limoneux, graveleux avec pierres, brun-beige						
	Sable très graveleux, avec pierres, rares blocs, beige					SPT = 28/31/38 N = 69	
	Sable moyen, très graveleux, avec pierres, gris-beige / sec / très compact					SPT = 32/32/43 N = 75	
	Gravier sableux très peu limoneux, avec pierres, gris / sec / très compact				SPT = 33/28/41 N = 69 c _{up} : >450 kN/m²	Moraine	
	Limon sableux, peu argileux, gris-vert				c _{up} : 200-250 kN/m² c _{up} : >450 kN/m² c _{up} : 250-300 kN/m²		
	Gravier sableux, gris						
	Limon sableux, argileux, peu graveleux, gris-vert / dur						
	Limon argileux, peu sableux, gris-beige / dur à très dur						
	Gravier sableux, peu limoneux, avec pierres, gris				SPT = 39/29/refus 7 cm N >50		
	Sable limoneux, très graveleux, avec pierres, gris / très compact				Glaciolacustre de progression		
	Gravier sablo-limoneux, avec bcp de pierres, rares blocs, gris-beige très compact						
	Gravier sableux, très limoneux, quelques pierres, beige						
	Sable moyen à grossier, peu limoneux, gris						
	Sable fin à moyen, limoneux, gris-beige / saturé				c _{up} : 200-300 kN/m²		
	Sable moyen à grossier, peu limoneux, gris						
	Sable fin, limoneux, peu argileux, beige						
	Limoneux, peu sableux, argileux, gris-beige / consistance dure						
c _{up} = résistance à la compression non drainée mesurée au pénétromètre de poche							

Annexe 3.5

25.0

F5/17



Objet :

Marly-Matran, Nouveau tracé

Forage F06/17

Echelle 1:100

Mandat No. :
2517053.4B

Exécuter
Date :
27.-28.11.2017

Entreprise :
PolyForages SA

Maître foreur :
Sylvere Packa

Méthode de
forage :
Roto-percussion

Coordonnées :
2°576'900 / 1°180'148

Plan No. :
2517053.4_F06/17

Relevé par :
M. Kuhn

Dessiné par :
U. Pfyffer

Controlé par :
-

Format :
A3

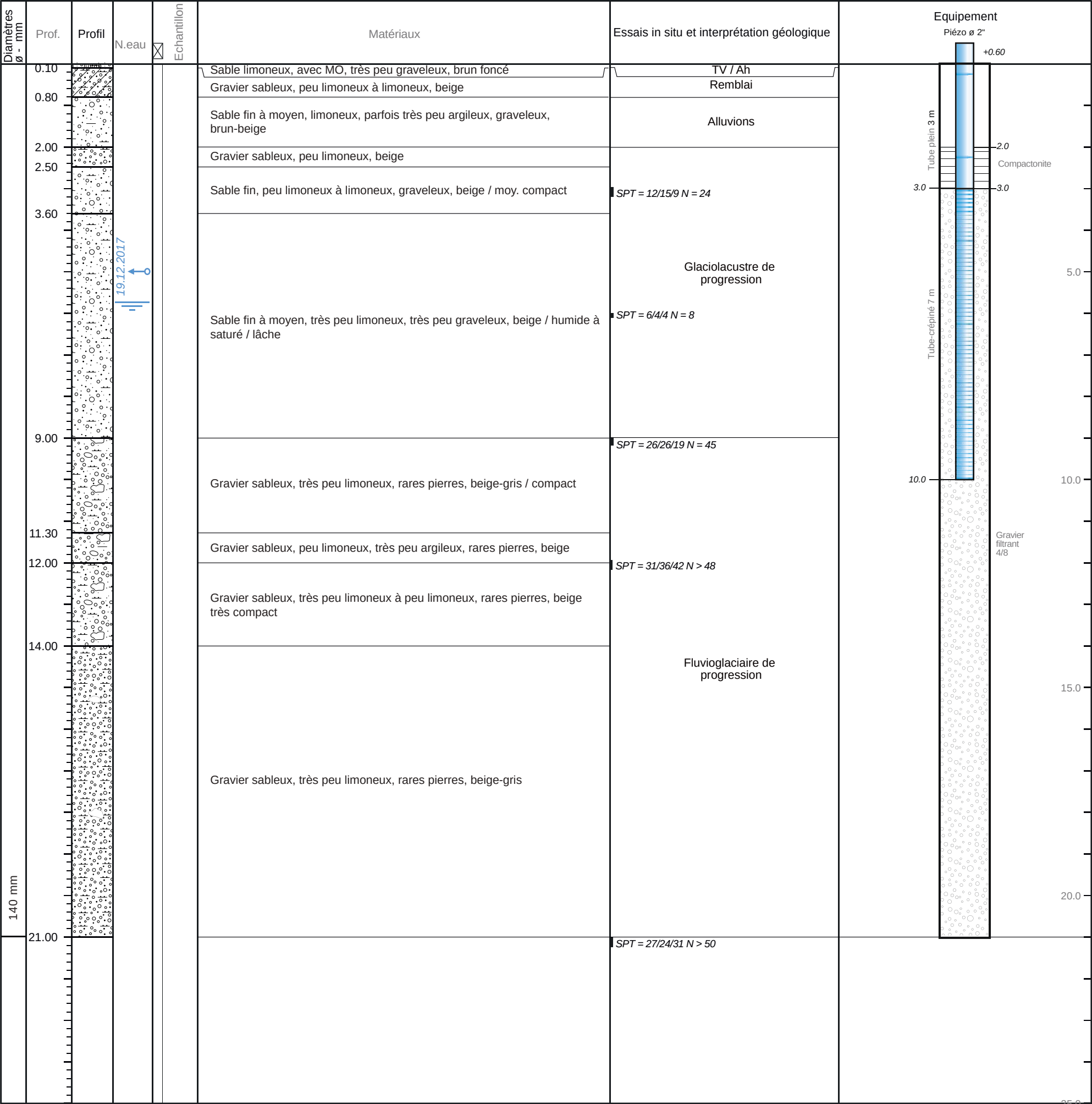
Elévation du terrain :
ca. 597.04 m s.M.
Pm :
ca. 597.64 m s.M.

GEOTEST

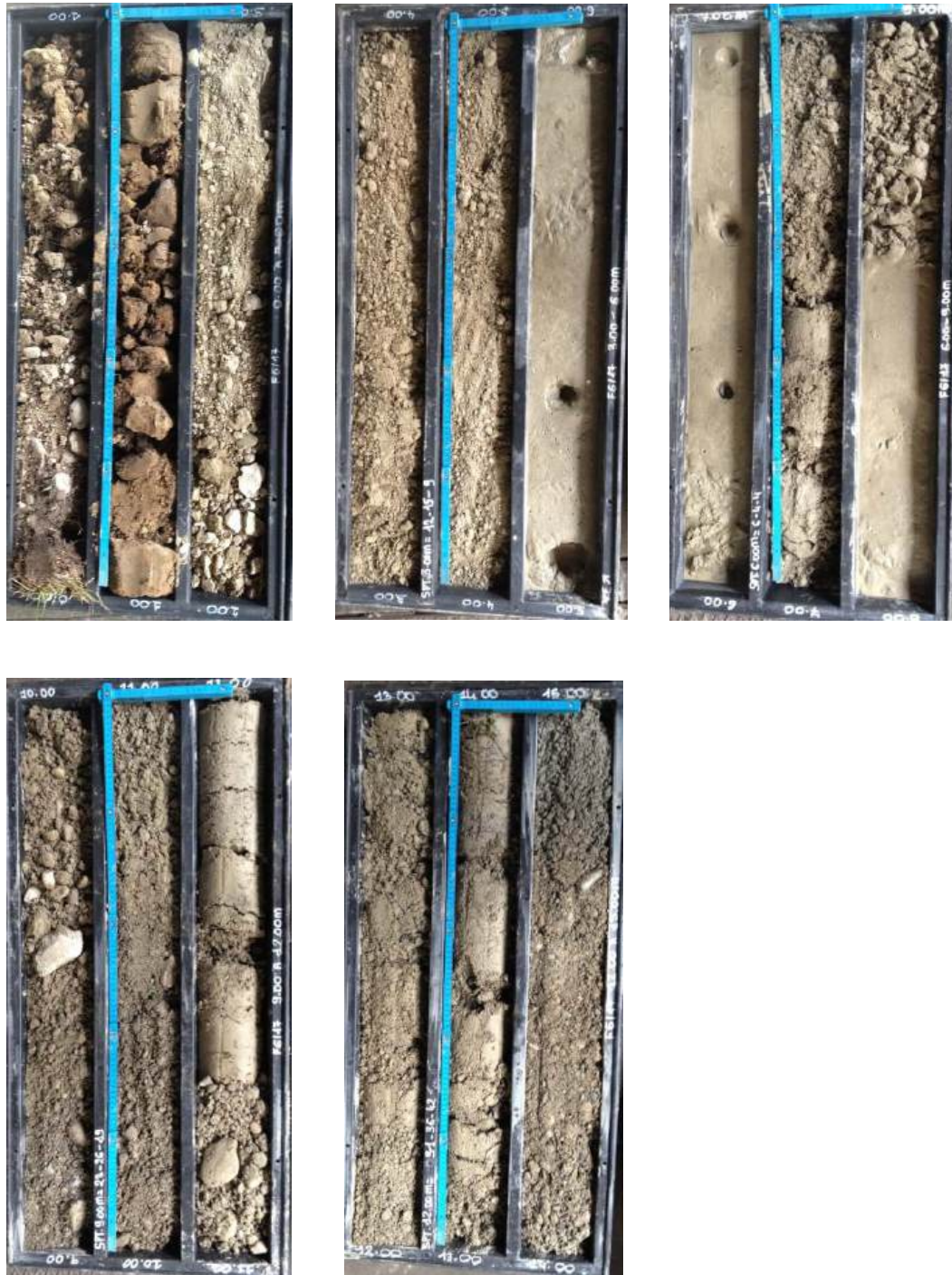
GEOLOGIE / INGENIERIE /
GEOPHYSIQUE /
ENVIRONNEMENT

GEOTEST SA
RUE JEAN PROUVÉ 14
CASE POSTALE 49
CH-1762 GIVISIEZ

T + 41 (0)26 407 74 20
F + 41 (0)26 407 74 21
fribourg@geotest.ch
www.geotest.ch



F6/17



Objet :

Marly-Matran, Nouveau tracé

Forage F07/17

Echelle 1:100

Mandat No. :
2517053.4B

Exécuter
Date :
28.-29.11.2017

Entreprise :
PolyForages SA

Maître foreur :
Sylvere Packa

Méthode de
forage :
Roto-percussion

Coordonnées :
2°576'988 / 1°180'159

Plan No. :
2517053.4_F07/17

Relevé par :
M. Kuhn

Dessiné par :
U. Pfyffer

Contrôlé par :
-

Format :
A3

Elévation du terrain :
ca. 612.34 m s.M.

GEOTEST

GEOLOGIE / INGENIERIE /
GEOPHYSIQUE /
ENVIRONNEMENT

GEOTEST SA

RUE JEAN PROUVÉ 14
CASE POSTALE 49
CH-1762 GIVISIEZ

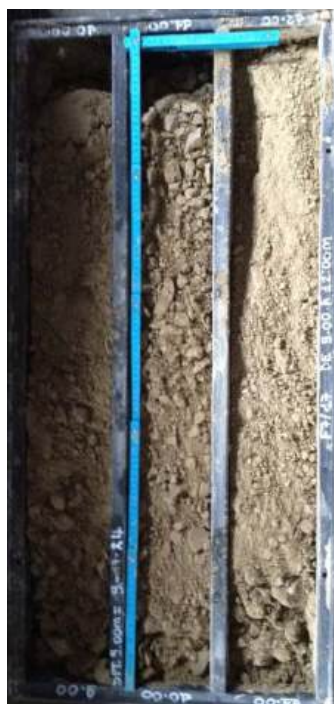
T + 41 (0)26 407 74 20
F + 41 (0)26 407 74 21

fribourg@geotest.ch
www.geotest.ch

Diamètres ø - mm	Prof.	Profil	N.eau	Echantillon	Matériaux	Essais in situ et interprétation géologique	Equipement
	0.15				Sable peu limoneux, peu graveleux, avec MO, avec racines, brun	TV / Ah	
	0.40				Sable limoneux, graveleux, avec racines, brun	TV / B	
					Gravier sableux, très peu limoneux, rares pierres, brun-beige		
	1.20				Bloc calcaire, gris	Fluvioglaciare de retrait	
	1.40				Sable limoneux, très graveleux, avec racines d'arbres, rares pierres, beige		
	1.90				Sable limoneux, très graveleux, avec quelques pierres, brun-beige		
	2.90				Sable limoneux, très graveleux, très peu argileux, quelques pierres, brun-beige / moyennement compact	SPT = 6/6/4 N = 10	
	3.60				Sable limoneux, graveleux, brun-beige	Moraine altéré	
	4.00				Sable peu limoneux, graveleux, rares pierres, beige		
	4.60				Sable limoneux, très graveleux, quelques pierres, beige		
	5.00				Sable moyen, très peu limoneux, très peu graveleux, beige / très compact	SPT = 27/36/48 N = 84	5.0
	6.50				Sable fin à moyen, peu limoneux, beige		
	7.00				Sable moyen, très peu limoneux, beige		
	7.90				Sable fin, peu limoneux, beige		
	8.70				Sable fin, limoneux, très peu argileux, beige / compact	SPT = 9/17/24 N = 41	
	9.20				Sable moyen, très peu limoneux, beige / compact		
	10.00				Sable fin, peu limoneux, beige		10.0
	11.00				Sable fin, très peu limoneux, beige		
	12.00				Sable fin à moyen, très peu limoneux, beige / très compact	SPT = 27/32/26 N = 58	
	13.00				Sable fin, limoneux, peu argileux, beige	Glaciolacustre de progression	
	13.30				Sable fin à moyen, limoneux, beige / très humide à saturé dès 14 m		15.0
	17.20				Sable fin, limoneux, beige		
	18.00				Sable moyen, très peu limoneux, gris-beige		
	18.40				Sable fin, limoneux, beige		
	18.70				Sable moyen, peu limoneux, gris-beige / très humide à saturé		
	19.60				Sable fin, limoneux, beige		20.0
	20.00				Sable fin, très limoneux, peu argileux, beige		
	20.70				Sable moyen, peu limoneux, beige		
	21.00						

2517053.4B
Marly-Matran, Nouvelle liaison routière
Axe 1250 / Ensemble du tracé
Etude géologique et géotechnique

F7/17



2517053.4B
Marly-Matran, Nouvelle liaison routière
Axe 1250 / Ensemble du tracé
Etude géologique et géotechnique

F7/17 suite



Forage F08/17 Echelle 1:100	Objet : Marly-Matran, Nouveau tracé	Mandat No. : 2517053.4B	Plan No. : 2517053.4_F08/17	GEOTEST GEOLOGIE / INGENIERIE / GEOPHYSIQUE / ENVIRONNEMENT GEOTEST SA RUE JEAN PROUVÉ 14 CASE POSTALE 49 CH-1762 GIVISIEZ T + 41 (0)26 407 74 20 F + 41 (0)26 407 74 21 fribourg@geotest.ch www.geotest.ch
		Exécuter Date : 04.-05.12.2017	Relevé par : M. Kuhn	
		Entreprise : PolyForages SA	Dessiné par : U. Pfyffer	
		Maître foreur : Sylvere Packa	Contrôlé par : -	
		Méthode de forage : Roto-percussion	Format : A3	
		Coordonnées : 2°57'8"212 / 1°18'0"141	Elévation du terrain : ca. 606.51 m s.M. Pm : ca. 607.44 m s.M.	

Diamètres Ø - mm	Prof.	Profil	N.eau	Echantillon	Matériaux	Essais in situ et interprétation géologique	Equipement Piézo Ø 2" +0.93 Tube plein 1 m 3.0 0.5 1.0 Compactionite Tube-crépiné 4 m 5.0 Gravier filtrant 4/8
140 mm	0.10				Limon sableux, riche en MO, avec racines, brun foncé	TV / Ah	0.5 1.0 Compactionite Gravier filtrant 4/8
	0.40				Sable limoneux, très peu argileux, peu graveleux, avec racines, riche en MO, brun	TV / Bh	
	0.80				Limon sablo-argileux, peu graveleux, rares pierres très altérées, riche en MO, brun	$c_{up} < 50 \text{ kN/m}^2$	
	3.00				Limon argileux à très argileux, peu sableux, très peu graveleux, très riche en MO (proche de la tourbe), brun foncé / très humide consistance molle à ferme	$c_{up} < 50 \text{ kN/m}^2$ SPT = 1/2/4 N = 6	
	3.50				Argile limoneuse, très peu sableuse, riche en MO, gris-brun /très humide/molle	$c_{up} < 50 \text{ kN/m}^2$	
	3.70				Sable moyen, très peu limoneux, avec morceaux de grès, gris	Molasse altérée	5.0 Gravier filtrant 4/8 10.0
	6.00				Grès fin, parfois moyen, gris très fracturé entre 3,7 et 4,2m. Fractures horizontales à 4,3m, 4,5 m, 4,8 m, 5,15m, 5,6 m et 5,8m.	Molasse	
					c_{up} = résistance à la compression non drainée mesurée au pénétromètre de poche		

2517053.4B
Marly-Matran, Nouvelle liaison routière
Axe 1250 / Ensemble du tracé
Etude géologique et géotechnique

F8/17



2517053.4B
Marly-Matran, Nouvelle liaison routière
Axe 1250 / Ensemble du tracé
Etude géologique et géotechnique

F9/17



Objet : Marly-Matran, Nouveau tracé Forage F10/19 Echelle 1:100	Mandat No. : 2517053.4b	Plan No. : 2517053.4b_F10/19	GEOTEST GEOLOGIE / INGENIERIE / GEOPHYSIQUE / ENVIRONNEMENT GEOTEST SA RUE JEAN PROUVÉ 14 CASE POSTALE 49 CH-1762 GIVISIEZ T + 41 (0)26 407 74 20 F + 41 (0)26 407 74 21 fribourg@geotest.ch www.geotest.ch
	Exécuter Date : 14.-15.02.2019	Relevé par : M. Kuhn	
	Entreprise : Entreprise : Fortini SA	Dessiné par : U. Pfyffer	
	Maître foreur : Antonio	Contrôlé par : M. Kuhn	
	Méthode de forage : Roto-percussion	Format : A3	
	Coordonnées : 2'578'549/1'180'018	Élévation du terrain : ca. 624.21 m s.m.	

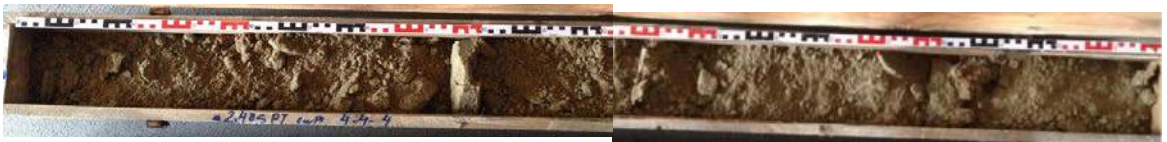
[illegible]

Photos F10/19

Profondeur 0 – 2 m:



Profondeur 2 – 4 m:



Profondeur 4 – 8 m:



Profondeur 8 – 12 m :



Profondeur 12 - 14 m :



Objet : Marly-Matran, Nouveau tracé Forage F11/19 Echelle 1:100	Mandat No. : 2517053.4b	Plan No. : 2517053.4b_F10/19	GEOTEST GEOLOGIE / INGENIERIE / GEOPHYSIQUE / ENVIRONNEMENT GEOTEST SA RUE JEAN PROUVÉ 14 CASE POSTALE 49 CH-1762 GIVISIEZ T + 41 (0)26 407 74 20 F + 41 (0)26 407 74 21 fribourg@geotest.ch www.geotest.ch
	Exécuter Date : 18.-20.02.2019	Relevé par : M. Kuhn	
	Entreprise : Entreprise : Fortini SA	Dessiné par : U. Pfyffer	
	Maître foreur : Antonio	Controlé par : M. Kuhn	
	Méthode de forage : Roto-percussion	Format : A3	
	Coordonnées : 2°57'8"574/1°18'0"012	Elévation du terrain : ca. 622.04 m s.M.	

Diamètres ø - mm	Prof.	Profil	N.eau	Echantillon	Matériaux	Essais in situ et interprétation géologique	Equipement
140 mm	0.10				Gravier sableux, avec humus, avec quelques racines, brun	TV	Piézo ø 2" Tube plein 5 m 5.0 5.0 Compactionite 6.0 6.0 Tube crépiné 3 m Gravier filtrant 4/8 10.0 10.0 13.0 plein 1m 15.0 20.0
	0.90				Gravier sableux avec quelques pierres, beige-brun	Remblai	
					Sable, parfois peu limoneux, rares morceaux de bois, vert olive. Compact	Remblai de molasse	
	4.10				Sable limoneux, peu graveleux, quelques pierres, avec matière organique (légère odeur d'ammonium), gris-brun	SPT = 11/21/23 N = 45 Remblai	
	4.50				Sable graveleux, rares pierres, beige		
	5.20				Sable fin, peu graveleux, rares pierres, beige. Compact		
	5.60				Sable graveleux à gravier sableux, avec pierres, rares blocs, beige. Compact	SPT = 4/7/13 N = 20 Dépôts d'inondation	
	7.30				Sable peu limoneux, graveleux, quelques pierres, gris, légèrement humide		
	7.70				Limon peu sableux, graveleux, très riche en matière organique, qq. pierres, parfois tourbeux, gris-brun, légèrement humide. Moy. compact	Alluvions	
	8.00				Sable graveleux, peu limoneux, avec pierres, gris-beige, humide Venue d'eau à 8 m.		
	9.30				Tourbe, brun, humide	Dépôts d'inondation	
	9.50				Sable fin, peu graveleux, peu limoneux, quelques pierres, gris, humide		
	10.00				Tourbe, brun		
	10.70				Sable fin, limoneux, peu argileux, très peu graveleux, niveaux plus riches en matière organique, gris. Moyennement compact	Moraine altérée c _{up} : 100-150 kN/m ²	
	11.20				Sable graveleux, peu limoneux, avec pierres, gris, peu humide		
	12.40				Sable graveleux, peu limoneux, avec pierres, gris	Moraine	
	13.80				Grès altéré, gris	Molasse altérée	
	14.50						

2517053.4B
Marly-Matran, Nouvelle liaison routière
Axe 1250 / Ensemble du tracé
Etude géologique et géotechnique

Photos F11/19

Profondeur 0 – 2 m:



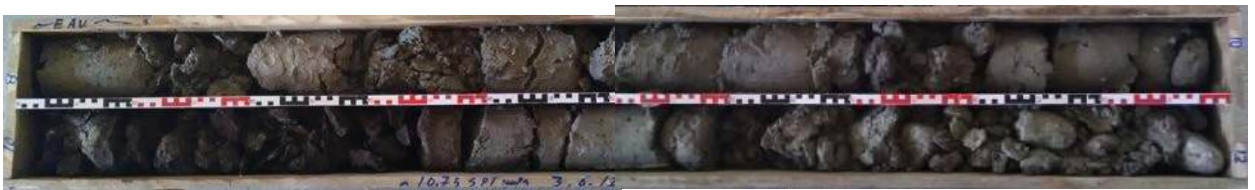
Profondeur 2 – 4 m:



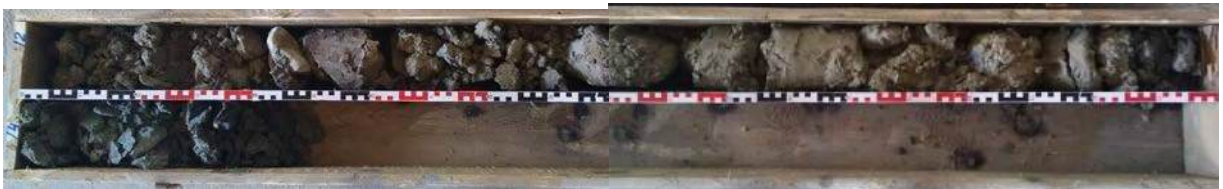
Profondeur 4 – 8 m:

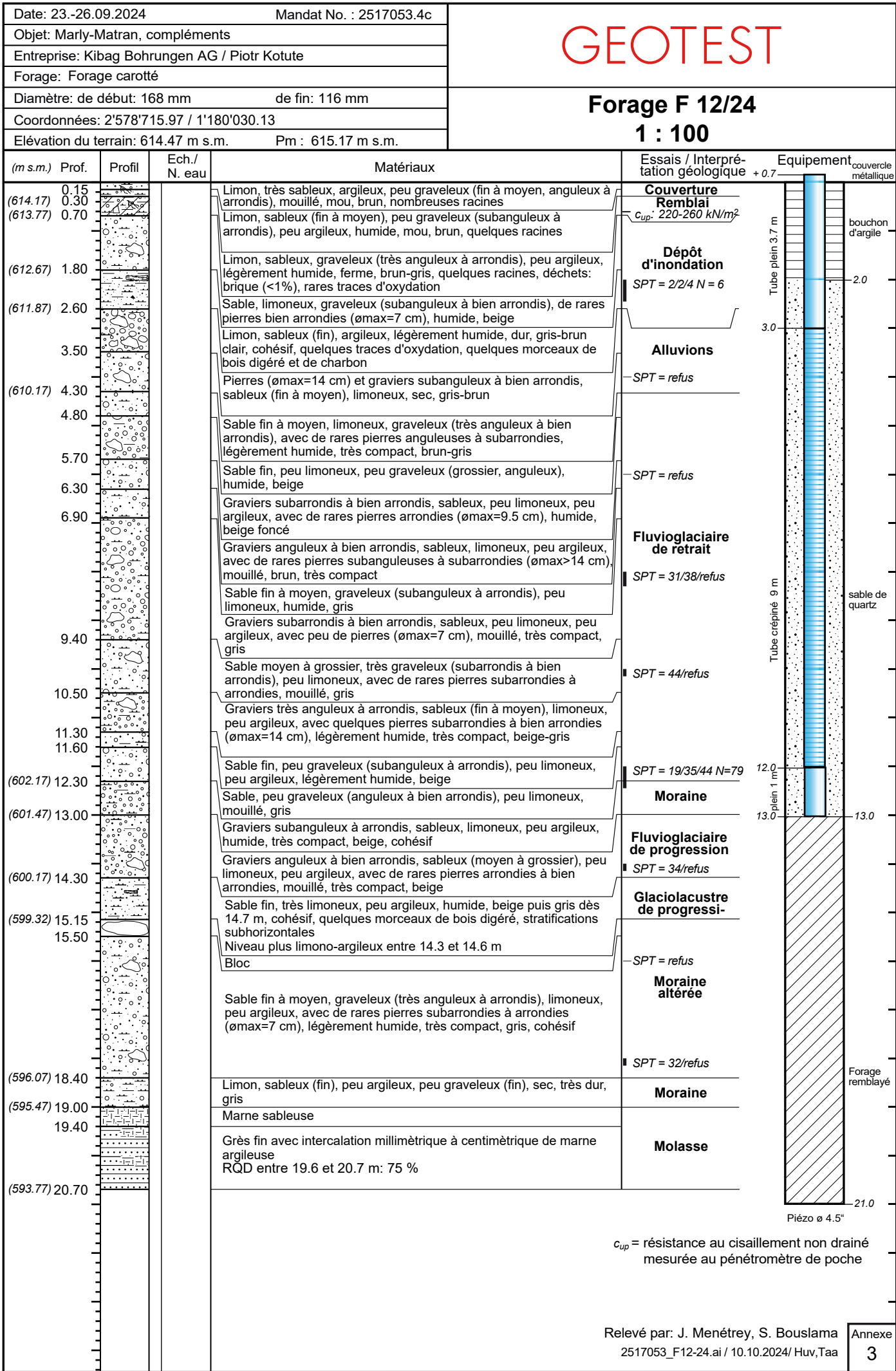


Profondeur 8 – 12 m :



Profondeur 12 – 14.5 m :





Date: 23.-26.09.2024	Mandat No. : 2517053.9
Objet: Marly-Matran, compléments	
Entreprise: Kibag Bohrungen AG / Piotr Kotute	
Forage: Forage carotté	
Diamètre: de début: 168 mm	de fin: 116 mm
Coordonnées: 2°57'8"715.97 / 1°18'0"030.13	
Elévation du terrain: 614.47 m s.m.	Pm : 615.17 m s.m.

GEOTEST

Forage F 12/24 Photos

0 - 3 m



12 - 15 m



3 - 6 m



15 - 18 m



6 - 9 m

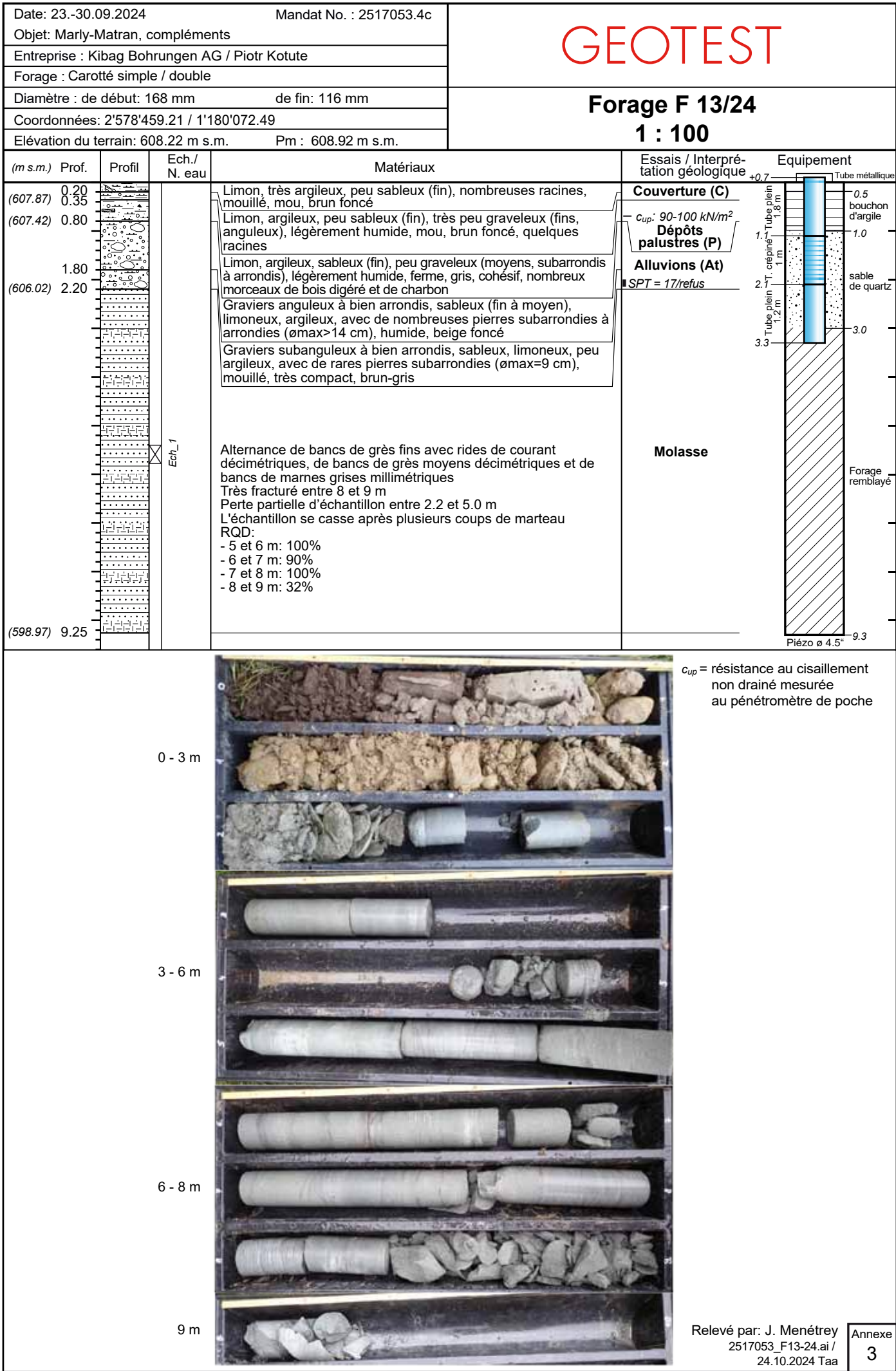


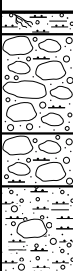
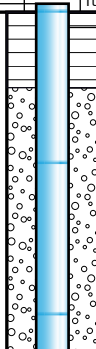
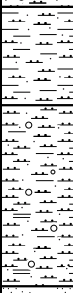
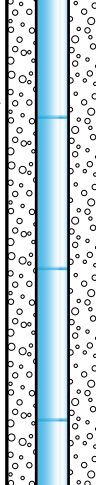
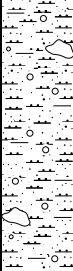
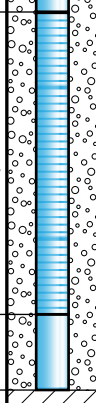
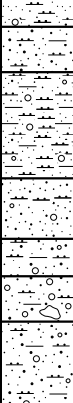
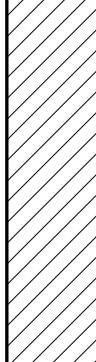
18 - 21 m



9 - 12 m





Date: 27.09.-01.10.2024		Mandat No. : 2517053.4c		GEOTEST Forage F 14/24 1 : 100		
Objet: Marly-Matran, compléments						
Entreprise : Kibag Bohrungen AG / Giuseppe						
Forage : Forage carotté						
Diamètre : de début: 278 mm de fin: 131 mm						
Coordonnées: 2°57'7"534.17 / 1°18'0"290.38						
Elévation du terrain: 594.95 m s.m. Pm : 595.17 m s.m.						
(m s.m.)	Prof.	Profil	Ech./ N. eau	Matériaux	Essais / Interprétation géologique	Equipement
(594.65)	0.30		F14/24 Alluvions 1 GP-GM	Limon, sableux, graveleux (subarrondis à bien arrondis), peu argileux, humide, mou, brun foncé, nombreuses racines	Couverture	
	1.60			Pierres (ømax=12 cm) et graviers subanguleux à bien arrondis, sableux, peu limoneux, peu argileux, légèrement humide, beige foncé	Alluvions	
	2.30			Pierres (ømax=15 cm) et graviers très anguleux à bien arrondis, sableux, limoneux, légèrement humide, beige foncé		
				Limon, très graveleux (anguleux à bien arrondis), sableux, peu argileux, avec quelques pierres subarrondies à arrondies (ømax>14 cm), légèrement humide, très dur, beige foncé	SPT = 42/50/refus	
(591.45)	3.50		F14/24 Moraine CL-ML	Limon, argileux, peu sableux (fin), légèrement humide, très ferme, gris, cohésif	Moraine altérée	
(590.15)	4.80			Limon, peu sableux (fin), peu argileux, très peu graveleux (anguleux à arrondis), légèrement humide, dur à très dur, gris, cohésif	c_{up} : 180-200 kN/m ² SPT = 11/13/17 N=30 c_{up} : 350-400 kN/m ²	
	7.20			Humide entre 5.5 et 5.8, 6.4 et 6.5, 6.8 et 7.0 m	c_{up} : 440-580 kN/m ² SPT = 21/23/29 N=52 c_{up} : 400->600 kN/m ²	
				Limon, argileux, sableux (fin), très peu graveleux (subanguleux à arrondis), avec de rares pierres subanguleuses (ømax=13 cm), légèrement humide, très dur, gris, cohésif	c_{up} : >600 kN/m ² SPT = 24/23/29 N=52	
(583.75)	11.20		F14/24 Fluvio-glaciaire 3 GP-GM	Sable fin à moyen, limoneux, peu argileux, mouillé, gris clair	Fluvioglaciaire	
(583.15)	11.80			Limon, sableux, argileux, peu graveleux (anguleux à arrondis), légèrement humide, très dur, gris, cohésif	Moraine SPT = 17/19/38 N=57	
(581.95)	13.00			Sable fin à moyen, peu limoneux, très peu graveleux (grossiers, arrondis), mouillé, gris clair, quelques lentilles limoneuses	Fluvioglaciaire	
	14.00			Sable fin, limoneux, peu graveleux (subarrondis à arrondis), mouillé, très compact, gris clair, quelques lentilles de limon argileux	SPT = 48/50/refus	
(580.45)	14.50		F14/24 Fluvio-glaciaire 3 GP-GM	Graviers subanguleux à bien arrondis, très sableux, limoneux, peu argileux, avec quelques pierres subarrondies à bien arrondies (ømax=11 cm), mouillé, très compact, gris	Molasse altérée	
(579.85)	15.10					
(578.45)	16.50			Sable fin, limoneux, peu argileux, peu graveleux (grossiers, bien arrondis), légèrement humide, gris-bleu		
				Alternance de bancs de grès fins décimétriques, de bancs de grès moyens décimétriques et de bancs de marnes grises millimétriques	Molasse	
		Perte partielle d'échantillons entre 17.8 et 21 m				
(573.95)	21.00					
					c_{up} = résistance au cisaillement non drainé mesurée au pénétromètre de poche	
					Relevé par: J. Menétrey	Annexe
					2517053_F14-24.ai / 24.10.2024 Taa	3

Date: 27.09.-01.10.2024	Mandat No. : 2517053.9	GEOTEST Forage F 14/24 Photos
Objet: Marly-Matran, compléments		
Entreprise : Kibag Bohrungen AG / Giuseppe		
Forage : Forage carotté		
Diamètre : de début: 278 mm	de fin: 131 mm	
Coordonnées: 2'577'534.17 / 1'180'290.38		
Elévation du terrain: 594.95 m s.m.	Pm : 595.17 m s.m.	

0 - 4 m



4 - 12 m

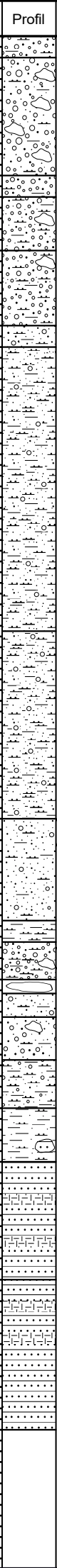
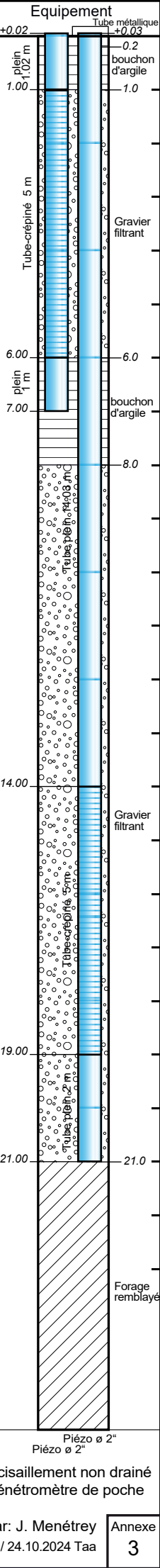
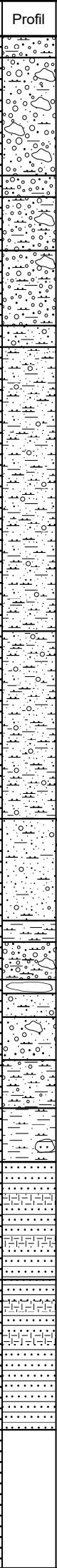
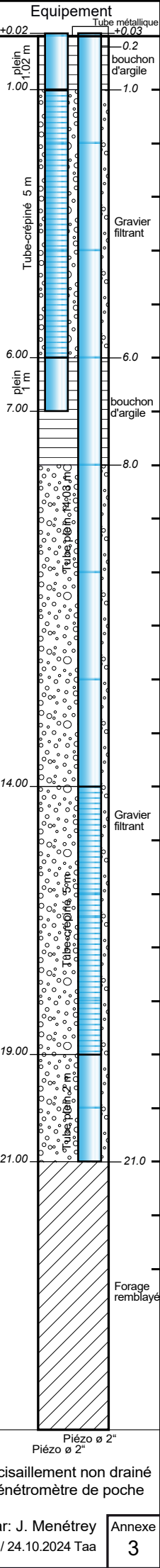
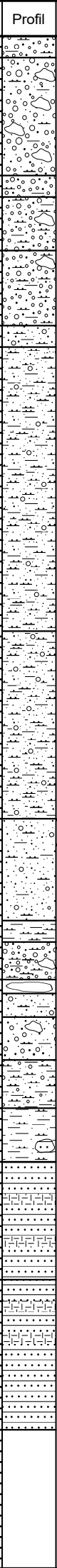
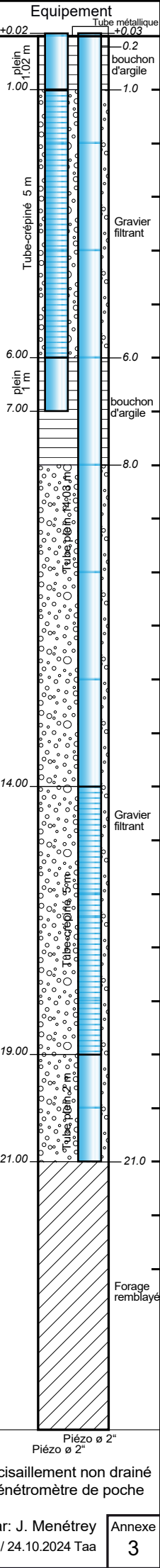
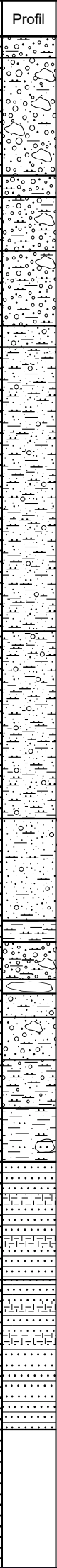
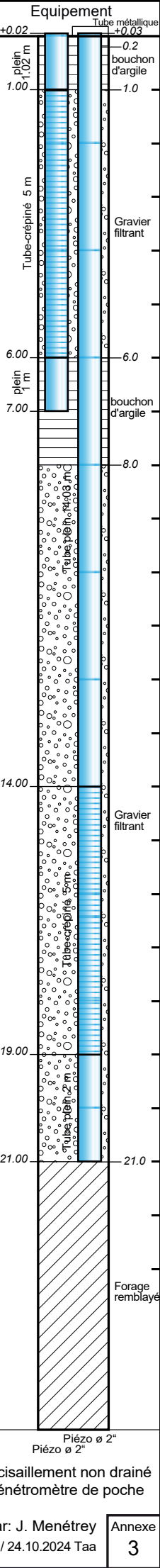
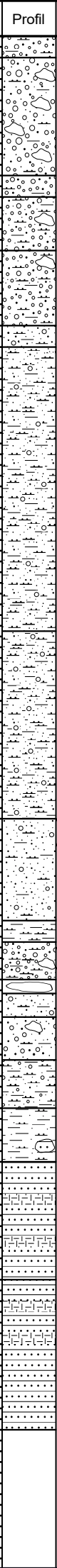
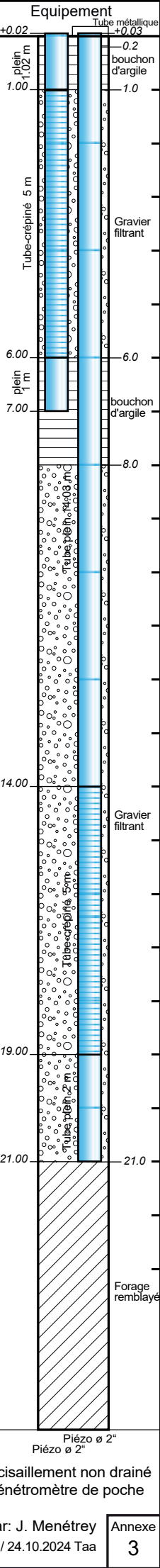


12 - 18 m



18 - 21 m



Date: 23.09.-02.10.2024		Mandat No. : 2517053.4c		GEOTEST Forage F 15/24 1 : 100		
Objet: Marly-Matran, compléments						
Entreprise: Kibag Bohrungen AG / Giuseppe						
Forage: Forage carotté						
Diamètre: de début: 278 mm de fin: 131 mm						
Coordonnées: 2°57'505.48 / 1°18'0'277.44						
Elévation du terrain: 598.82 m s.m. Pm1 : 598.84 m s.m., Pm2: 598.85 m s.m.						
(m s.m.)	Prof.	Profil	Ech./ N. eau	Matériaux	Essais / Interpré- tation géologique	Equipement
(598.42)	0.40			Graviers anguleux à bien arrondis, sableux, limoneux, argileux, humide puis mouillé dès 0.25 m, brun clair	Coffre	
	2.60			Graviers (très anguleux à bien arrondis), sableux, peu limoneux, peu argileux, avec de nombreuses pierres subarrondies à bien arrondies (ømax=16 cm), légèrement humide, compact, brun clair	Alluvions	
	3.00			Graviers (anguleux à bien arrondis), sableux, limoneux, peu argileux, légèrement humide, beige foncé	SPT = 28/19/23 N = 42	
	4.00			Graviers (anguleux à bien arrondis), très sableux, limoneux, peu argileux, avec quelques pierres subarrondies à arrondies (ømax=14 cm), sec, beige clair		
				Graviers (subanguleux à bien arrondis), sableux, limoneux, peu argileux, avec de rares pierres arrondies (ømax=9 cm), mouillé, compact, beige foncé	SPT = 9/18/17 N = 35	
				Poches plus sableuse, limoneuses et argileuses		
(593.42)	5.40			Sable fin, limoneux, peu graveleux (subarrondis à bien arrondis), peu argileux, humide, brun clair	Fluvioglacière de retrait	
(593.02)	5.80				SPT = 11/14/16 N = 30 C _{up} : 250-300 kN/m²	
				Limons, argileux, sableux (fin), très peu graveleux (anguleux à arrondis), légèrement humide à humide (localement), dur à très dur, gris, cohésif	Moraine altérée	
				Horizon sableux entre 5.8 et 6.0 m	C _{up} : 210-250 kN/m² SPT = 23/27/26 N = 53	
(587.72)	11.10				Moraine	
				Limons, argileux, sableux (fin), peu graveleux (subarrondis à arrondis), légèrement humide à humide (localement), dur à très dur, gris, cohésif	SPT = 19/22/25 N = 47	
					C _{up} : 300-480 kN/m² SPT = 23/26/21 N = 47	
(584.22)	14.60			Sable fin à moyen, limoneux, peu graveleux (subarrondis à bien arrondis), peu argileux, humide, compact, gris	Fluvioglacière de progression	
				Lentilles limono-argileuses dont une importante à 15.3 m	SPT = 20/19/20 N = 39	
(582.32)	16.50			Limons, très argileux, peu sableux (fin), légèrement humide, très dur, gris, cohésif	Moraine	
(581.92)	16.90			Graviers (anguleux à bien arrondis), sableux, très limoneux, argileux, avec de rares pierres subarrondies (ømax=7 cm), mouillé, gris	Fluvioglacière de progression	
	17.60			Bloc		
	17.85			Sable fin, peu limoneux, peu graveleux (grossiers, arrondis), humide, gris clair	SPT = 31/36/refus C _{up} : 480->600 kN/m²	
	18.30			Rares lentilles limono-argileuses		
(579.72)	19.10			Sable moyen à grossier, graveleux (subarrondis à bien arrondis), peu limoneux, peu argileux, avec de rares pierres subarrondies à arrondies (ømax=8 cm), mouillé, très compact, gris	Moraine	
				Rares lentilles limono-argileuses		
(578.82)	20.00			Limons, très argileux, sableux (fin), graveleux (anguleux à arrondis), sec, dur à très dur, gris, cohésif	Molasse altérée	
				Argile, limoneux, peu sableux (fin), mouillé, gris		
(577.82)	21.00			Nombreux morceaux de grès induré		
				Marnes en bancs centimétriques à décimétriques entrecoupées de fines couches de grès fin avec rides de courant en bancs millimétriques à centimétriques, très fracturé		
				Coup de marteau émoussé, la pointe du marteau pénètre d'environ 5 mm : roche faible (roche tendre)		
	23.20			RQD de 21 à 22 m: 0%	Molasse	
				Grès fins en bancs décimétriques entrecoupés de bancs marneux gris centimétriques à 23.6 et 24.4 m		
				RQD entre 24 et 26 m: 0%		
				Perte partielle d'échantillon entre 24 et 26 m		
(572.82)	26.00					
						
				C _{up} = résistance au cisaillement non drainé mesurée au pénétromètre de poche		
				Relevé par: J. Menétrey		
				2517053_F15-24.ai / 24.10.2024 Taa		
				Annexe 3		

Date: 23.09.-02.10.2024	Mandat No. : 2517053.9	GEOTEST Forage F 15/24 Photos
Objet: Marly-Matran, compléments		
Entreprise: Kibag Bohrungen AG / Giuseppe		
Forage: Forage carotté		
Diamètre: de début: 278 mm	de fin: 131 mm	
Coordonnées: 2'577'505.48 / 1'180'277.44		
Elévation du terrain: 598.82 m s.m.	Pm : 598.84 m s.m.	

0 - 6 m



6 - 14 m



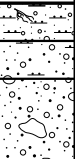
14 - 20 m



20 - 24 m



Date: 02.09.2024	Mandat No. : 2517053.4c	GEOTEST Forage F 16/24 1 : 100
Objet: Marly-Matran, compléments		
Entreprise : Kibag Bohrungen AG / Piotr Kotute		
Forage : Carotté simple / double		
Diamètre : de début: 168 mm de fin: 116 mm		
Coordonnées: 2°57'53"96.87 / 1°18'04"75.59		
Elévation du terrain: 630.49 m s.m. Pm : 630.30 m s.m.		

(m s.m.)	Prof.	Profil	Ech./ N. eau	Matériaux	Essais / Interpré- tation géologique	Equipement Piézo ø 4.5"
(629.99)	0.50		Ech. 1	Limon, sableux (fin à moyen), peu graveleux, racines, sec, dur, brun	Couverture	-0.19
	1.00			Sable fin à moyen, graveleux, peu limoneux, subarrondi, légèrement humide, beige, quelques tâches oranges de rouilles	Fluvioglaciale de retrait	
(628.34)	2.15			Sable fin à moyen, très graveleux, avec des pierres (ø jusqu'à 15 cm), subanguleux jusqu'à subarrondi, sec, beige-gris	SPT = refus (12 cm)	
	3.00			Sable fin à moyen, peu limoneux, sec, gris-verdâtre (carottier simple)	Molasse altérée	
	6.20			Grès (sable fin), sec, gris-verdâtre, fissures obliques remplies de fines	Molasse	
	6.75			L'échantillon se brise avec un coup de marteau léger RQD (3.6 à 6 m) : 80%		
				Grès (sable moyen), sec, gris-verdâtre L'échantillon se brise avec un coup de marteau léger RQD : 100%		
(622.69)	7.80			Grès (sable fin), sec, gris-verdâtre, l'échantillon se brise avec un coup de marteau léger, RQD : 100%		7.8

0 - 3 m



3 - 6 m



6 - 8 m



Objet :
Marly-Matran, Nouvelle jonction,
Géotechnique

Forage F-P5.1/20

Echelle 1:100

Mandat No. : 2517053.2D

Exécuter
Date : 08.10.2020

Entreprise : ISR Injectobohr SA

Maître foreur : Giuseppe Cardillo

Méthode de forage : Forage par roto-percussion

Coordonnées : 2'576'087 / 1'180'021

Plan No. : 2517053.2D_P5.1.ai

Relevé par : M. Kuhn

Dessiné par : Rom

Controlé par : MK

Format : A3

Elévation du terrain : env. 578.00 m s.m.
Pm : env. 578.60 m s.m.

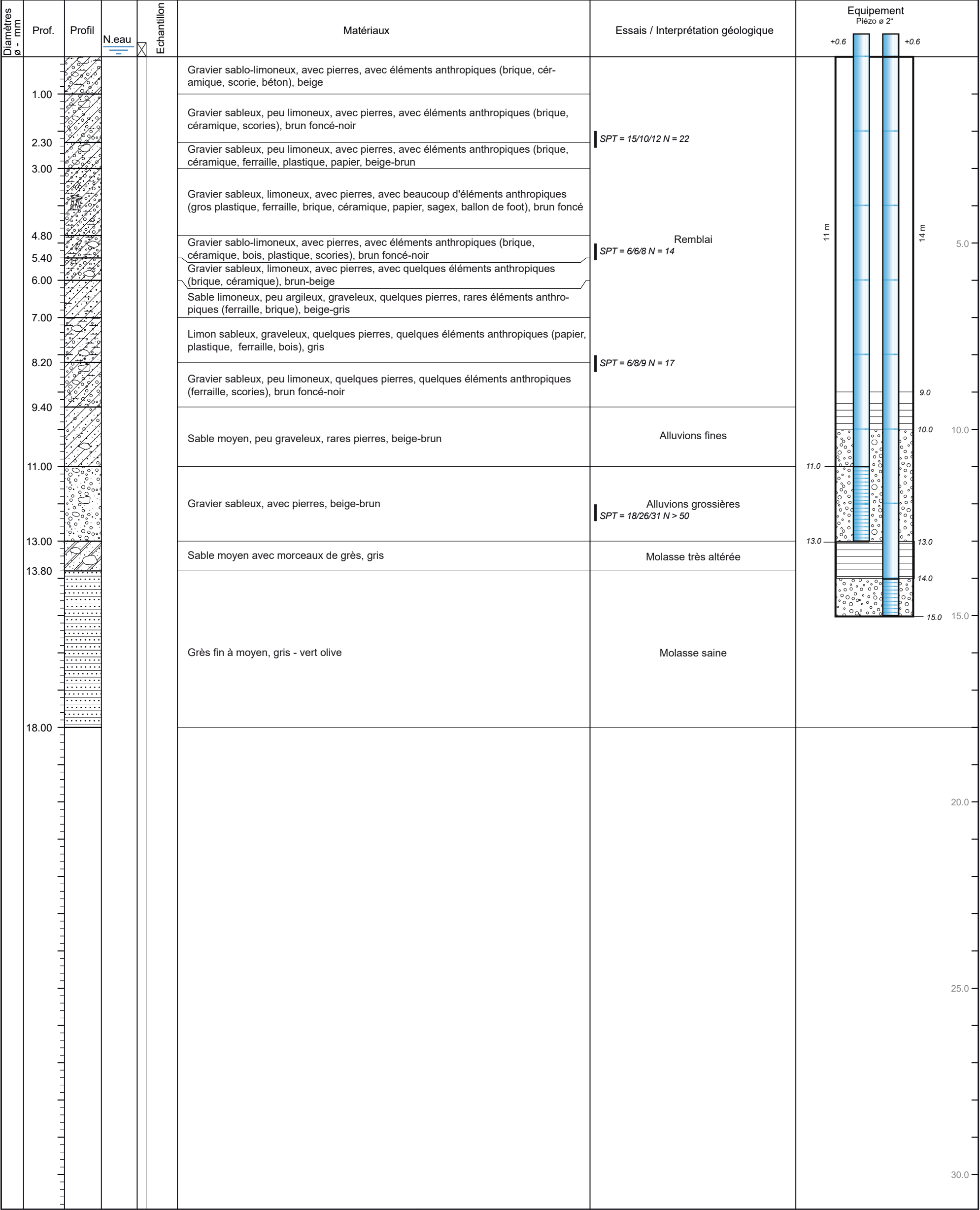
GEOTEST

GEOTEST SA

RUE JEAN PROUVÉ 14
CASE POSTALE 49
CH-1762 GIVISIEZ

GEOLOGIE / INGENIERIE /
GEOPHYSIQUE /
ENVIRONNEMENT

T + 41 (0)26 407 74 20
F + 41 (0)26 407 74 21
fribourg@geotest.ch
www.geotest.ch



Annexe 3.4

Objet : Marly-Matran, Nouvelle jonction, Géotechnique Forage F-P6.1/20 Echelle 1:100	Mandat No. : 2517053.2D	Plan No. : 2517053.2D_P6.1.ai	GEOTEST GEOLOGIE / INGENIERIE / GEOPHYSIQUE / ENVIRONNEMENT GEOTEST SA RUE JEAN PROUVÉ 14 CASE POSTALE 49 CH-1762 GIVISIEZ T + 41 (0)26 407 74 20 F + 41 (0)26 407 74 21 fribourg@geotest.ch www.geotest.ch
	Exécuter Date : 08.10.2020	Relevé par : M. Kuhn	
	Entreprise : ISR Injectobohr SA	Dessiné par : Rom	
	Maître foreur : Giuseppe Cardillo	Contrôlé par : MK	
	Méthode de forage : Forage par roto-percussion	Format : A3	
	Coordonnées : 2'575'989 / 1'180'003	Elévation du terrain : env. 579.18 m s.m.	

Diamètres ø - mm	Prof.	Profil	N.eau	Echantillon	Matériaux	Essais / Interprétation géologique	Equipement
	0.40				Limon sableux, peu argileux, peu graveleux, avec racines, beaucoup de pierres anguleuses, rares éléments anthropiques (brique), brun	Remblai	
	1.00				Limon sableux, peu argileux, rares éléments anthropiques, (brique, céramique), graveleux, quelques pierres, brun-beige	Molasse altérée	
	1.90				Sable limono-argileux, rares pierres, graveleux, brun-beige	SPT = refusé Molasse très altérée	
	3.30				Sable moyen, avec petits morceaux de grès, vert olive		
	4.30				Grès fin à moyen, beige-vert olive	Molasse faiblement altérée	
	5.00				Grès fin, très fracturé, beige-vert olive		5.0
					Grès moyen à fin, vert olive-gris	Molasse saine	
	9.50						10.0
							15.0
							20.0
							25.0
							30.0

Objet : Marly-Matran, Nouvelle jonction, Géotechnique Forage F-P6.2/20 Echelle 1:100	Mandat No. : 2517053.2D	Plan No. : 2517053.2D_P6.2.ai	GEOTEST GEOLOGIE / INGENIERIE / GEOPHYSIQUE / ENVIRONNEMENT GEOTEST SA RUE JEAN PROUVÉ 14 CASE POSTALE 49 CH-1762 GIVISIEZ T + 41 (0)26 407 74 20 F + 41 (0)26 407 74 21 fribourg@geotest.ch www.geotest.ch
	Exécuter Date : 08.10.2020	Relevé par : J. B. Phytton	
	Entreprise : ISR Injectobohr SA	Dessiné par : Rom	
	Maître foreur : Giuseppe Cardillo	Controlé par : MK	
	Méthode de forage : Forage par roto-percussion	Format : A3	
	Coordonnées : 2'575'998 / 1'180'004	Elévation du terrain : env. 578.72 m s.m.	

Diamètres ø - mm	Prof.	Profil	N.eau	Echantillon	Matériaux	Essais / Interprétation géologique	Equipement
	0.20				Sable, silteux, graveleux, légèrement humide	Couche sus-jacente de sol	
	1.20				Sable, silteux, graveleux, légèrement humide		
	1.60				Silt, graveleux, faiblement, sableux, sec	Remblai	
	2.00				Silt, sableux, faiblement, graveleux, légèrement humide	SPT = 6/8/10 N = 18	
	2.20				Sable, silteux, légèrement humide		
	2.50			F-P6.2/2-3m	Silt, sableux, faiblement graveleux, légèrement humide		
				F-P6.2/3-4m		SPT = 5/7/9 N = 16	
					Sable, graveleux, avec peu de pierres, légèrement humide	Remblai de la pila	5.0
						SPT = 6/8/11 N = 19	
				F-P6.2/7-8m		SPT = 7/9/10 N = 19	
	8.80						
	10.00			F-P6.2/9-10m	Sable moyen avec morceaux de grès, gris	Molasse très altérée	10.0
					Grès fin à moyen, gris - vert olive	Molasse altérée	
					Grès fin à moyen, gris - vert olive	Molasse saine	
	12.00						
							15.0
							20.0
							25.0
							30.0

Annexe 4

Tranchées

Date : 17.11.2017				Mandat No.2517053.4B		GEOTEST GEOLOGIE / INGENIERIE / GEOPHYSIQUE / ENVIRONNEMENT	
Objet : Marly-Matran, Nouveau tronçon							
Entreprise : Implenja Constructions SA							
Machine : Pelle 8 to à chenille							
Coordonnées : 2°57'53.88.50 / 1°18'0'47.0.48							
Sondage à la pelle mécanique 1 : 50							
Pm. N.eau	Prof.	Profil	éch.	Matériaux		Remarques, essais	
Tr 01/17 Altitude.: 631.82 m s. m.							
0.25 0.50 1.10 1.50			Limon sableux, très peu graveleux, rares pierres, avec MO, brun		TV / Ah		
			Sable limoneux, avec racines, activité biologique (vers), peu graveleux, rares pierres, brun - beige		TV / B		
			Sable limoneux, rares racines, graveleux, quelques pierres, beige		Fluvioglaciaire et glaciolacustre de retrait		
			Sable peu limoneux à limoneux, graveleux, quelques pierres, beige				
					- Fouille stable		
Relevé par: M. Kuhn 2517053.4_Tr01-17.ai/22.11.2017Pfy Annexe 4.1							

Date : 17.11.2017				Mandat No.2517053.4B		GEOTEST GEOLOGIE / INGENIERIE / GEOPHYSIQUE / ENVIRONNEMENT	
Objet : Marly-Matran, Nouveau tronçon							
Entreprise : Implenja Constructions SA							
Machine : Pelle 8 to à chenille							
Coordonnées : 2°57'5"589.57 / 1°18'0"234.98							
						Sondage à la pelle mécanique 1 : 50	
Pm. N.eau	Prof.	Profil	éch.	Matériaux			Remarques, essais
Tr 02/17 Altitude.: 621.04 m s. m.							
0.25 0.60 1.00 2.00 3.00		Tr 2.1	Sable limoneux à limon sableux, très peu graveleux, avec MO, brun			TV / Ah	
			Sable limoneux graveleux, rares pierres, avec quelques racines, brun-beige			TV / Bw	
			Gravier grossier, sableux, très peu limoneux, bcp de pierres, très rares blocs, gris-beige			Fluvioglaciaire de retrait	
			Gravier grossier, sableux, bcp de pierres, très rares blocs, gris-beige				
			Gravier très sableux, bcp de pierres, rares blocs, gris				
						- Fouille moyennement stable	
Relevé par.: M. Kuhn 2517053.2_Tr02-17.ai/22.11.2017Pfy							
							Annexe 4.2

Date :	17.11.2017	Mandat No.2517053.4B
Objet :	Marly-Matran, Nouveau tronçon	
Entreprise :	Implenia Constructions SA	
Machine :	Pelle 8 to à chenille	
Coordonnées :	2°57'5"678.63 / 1°18'0"105.66	
GEOTEST GEOLOGIE / INGENIERIE / GEOPHYSIQUE / ENVIRONNEMENT		
Sondage à la pelle mécanique 1 : 50		

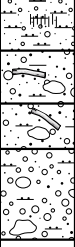
Pm. N.eau	Prof.	Profil	éch.	Matériaux	Remarques, essais
Tr 03/17 Altitude.: 616.80 m s. m.					

0.20 0.50 1.40 3.00		Sable limoneux, très peu graveleux, avec MO, brun	TV / Ah
		Sable peu limoneux à limoneux, avec quelques racines, graveleux, avec pierres et rares morceaux de brique, brun-beige	Remblai Bw
		Gravier sableux, très peu limoneux, avec bcp de pierres et blocs, beige	Fluvioglaciaire de retrait
		Gravier sableux, avec pierres et blocs, gris	
			- Fouille stable



Date : 17.11.2017				Mandat No.2517053.4B		GEOTEST GEOLOGIE / INGENIERIE / GEOFYSIQUE / ENVIRONNEMENT	
Objet : Marly-Matran, Nouveau tronçon							
Entreprise : Implenia Constructions SA							
Machine : Pelle 8 to à chenille							
Coordonnées : 2°57'064.36 / 1°18'0147.92							
						Sondage à la pelle mécanique 1 : 50	
Pm. N.eau	Prof.	Profil	éch.	Matériaux			Remarques, essais
Tr 04/17 Altitude.: 612.72 m s. m.							
0.20 0.60 1.10 2.10 3.00		Tr 4.1	Sable limoneux, peu graveleux, riche en MO, très rares pierres, brun foncé			TV / Ah	
			Sable limoneux, très peu argileux, activité biologique (vers), quelques racines, peu graveleux, rares pierres, brun - beige			TV / B	
			Sable peu limoneux, peu graveleux, très rares pierres, beige			Moraine altérée	
			Sable moyen à grossier, peu graveleux, rares pierres, gris			Fluvioglaciaire de progression	
			Gravier sableux, avec pierres, rares blocs, gris				
						- Fouille stable	
Relevé par.: M. Kuhn 2517053.4_Tr04-17.ai/22.11.2017Pfy							
							Annexe 4.4

Date : 17.11.2017		Mandat No.2517053.4B		GEOTEST GEOLOGIE / INGENIERIE / GEOPHYSIQUE / ENVIRONNEMENT		
Objet : Marly-Matran, Nouveau tronçon						
Entreprise : Implenja Constructions SA						
Machine : Pelle 8 to à chenille						
Coordonnées : 2°57'332.56 / 1°18'143.92						
				Sondage à la pelle mécanique 1 : 50		
Pm. N.eau	Prof.	Profil	éch.	Matériaux		Remarques, essais
Tr 05/17 Altitude.: 604.76 m s. m.						
0.20 0.60 1.00 2.00			Sable limoneux, peu graveleux, rares pierres, avec MO, brun		TV / Ah	
			Sable limoneux à limon sableux, peu graveleux, rares pierres, avec racines, activité biologiques (vers), brun-beige		TV / B	
			Limon sableux, graveleux, quelques pierres, brun-beige Consistance dure à très dure		- c_{up} : 350->450 kN/m ²	
			Limon sableux, très peu argileux, graveleux, quelques pierres, brun-beige / consistance dure		Glaciolacustre de progression - c_{up} : 250-300 kN/m ²	
					- Fouille stable - Traces de charbon	
Relevé par.: M. Kuhn 2517053.4_Tr05-17.ai/22.11.2017Pfy Annexe 4.5						

Date : 20.11.2017				Mandat No.2517053.4B		GEOTEST GEOLOGIE / INGENIERIE / GEOPHYSIQUE / ENVIRONNEMENT	
Objet : Marly-Matran, Nouveau tronçon							
Entreprise : Implenja Constructions SA							
Machine : Pelle 8 to à chenille							
Coordonnées : 2°57'541.12 / 1°18'182.79							
Sondage à la pelle mécanique 1 : 50							
Pm. N.eau	Prof.	Profil	éch.	Matériaux		Remarques, essais	
Tr 06/17 Altitude.: 603.17 m s. m.							
	0.35 0.70 1.00 1.60			Limon sableux, très peu graveleux, avec MO, brun		TV / Ah	
			Sable limoneux à limon sableux, peu argileux, très graveleux, avec restes organiques (bois), avec pierres, gris-beige / humide / consistance dure		$C_{up}: 200-250 \text{ kN/m}^2$ C(B)		
			Sable limoneux, peu argileux, avec restes organiques (bois), bcp de pierres, gris / humide		$C_{up}: 150-250 \text{ kN/m}^2$		
			Gravier sableux, très peu limoneux, bcp de pierres, gris saturé		Alluvions		
						- Fouille peu stable	
							
Relevé par.: M. Kuhn 2517053.4_Tr06-17.ai/22.11.2017Pfy							
							Annexe 4.6

Date : 20.11.2017		Mandat No.2517053.4B		GEOTEST GEOLOGIE / INGENIERIE / GÉOPHYSIQUE / ENVIRONNEMENT		
Objet : Marly-Matran, Nouveau tronçon						
Entreprise : Implenja Constructions SA						
Machine : Pelle 8 to à chenille						
Coordonnées : 2°57'7"39.09 / 1°18'0"187.30						
				Sondage à la pelle mécanique 1 : 50		
Pm. N.eau	Prof.	Profil	éch.	Matériaux		Remarques, essais
Tr 07/17 Altitude.: 606.28 m s. m.						
0.25 0.60 0.80 1.70				Sable limoneux à limon sableux, avec MO, très peu graveleux, rares pierres, brun	TV / Ah	
				Sable limoneux à limon sableux, peu graveleux, rares pierres, avec racines, brun-beige	TV / B(p)	
				Limon sableux, peu argileux, graveleux, avec quelques pierres, beige / consistance dure	c_{up} : 250-350 kN/m ²	
				Limon sableux, peu argileux (parfois plus argileux), graveleux, avec nombreuses pierres, avec blocs, brun-beige Consistance dure	c_{up} : 200-300 kN/m ² Alluvions	
					- Fouille stable	
Relevé par:: M. Kuhn 2517053.4_Tr07-17.ai/22.11.2017Pfy Annexe 4.7						

Date : 20.11.2017		Mandat No.2517053.4B		GEOTEST GEOLOGIE / INGENIERIE / GEOPHYSIQUE / ENVIRONNEMENT		
Objet : Marly-Matran, Nouveau tronçon						
Entreprise : Implenja Constructions SA						
Machine : Pelle 8 to à chenille						
Coordonnées : 2°57'7"969.52 / 1°18'0"189.32						
				Sondage à la pelle mécanique 1 : 50		
Pm. N.eau	Prof.	Profil	éch.	Matériaux		Remarques, essais
Tr 08/17 Altitude.: 601.64 m s. m.						
	0.20			Limon sableux, peu graveleux, avec MO, brun	TV / Ah	
	0.40			Limon sableux, peu argileux, très peu graveleux, avec racines, traces d'oxydo-réduction, beige-gris-rouille	- c_{up} : 200-250 kN/m ² TV / Bgg	
	0.60			Sable limono-argileux, très peu graveleux, nombreuses traces d'oxydo-réduction, beige-gris-rouille	- c_{up} : 250-300 kN/m ²	
	1.10			Sable argilo-limoneux, nombreuses traces d'oxydo-réduction, gris-rouille / consistance ferme	- c_{up} : 100 kN/m ² Dépôts d'inondation	
	1.30			Argile sableuse, très peu graveleuse, rares pierres, gris	- c_{up} : 50-100 kN/m ²	
	1.70			Gravier sablo-limoneux, très peu argileux, gris	Alluvions	
				- Fouille stable à 1.5 m, puis instable - eau à 1.6 m - très humide		
Relevé par:: M. Kuhn 2517053.4_Tr08-17.ai/22.11.2017Pfy Annexe 4.8						

Date : 20.11.2017		Mandat No.2517053.4B		GEOTEST GEOLOGIE / INGENIERIE / GEOPHYSIQUE / ENVIRONNEMENT		
Objet : Marly-Matran, Nouveau tronçon						
Entreprise : Implenia Constructions SA						
Machine : Pelle 8 to à chenille						
Coordonnées : 2°57'8.457.41 / 1°18'0'83.78						
				Sondage à la pelle mécanique 1 : 50		
Pm. N.eau	Prof.	Profil	éch.	Matériaux		Remarques, essais
Tr 09/17 Altitude.: 608.09 m s. m.						
	0.25 0.40 0.70 1.60			Limon sableux, très peu graveleux, avec MO, brun	TV / Ah	
	Limon sableux, très peu graveleux, avec racines, rares traces de charbon, brun-beige / consistance dure			c_{up} : 200-300 kN/m ² TV / B (w)		
	Limon sableux, peu argileux, peu graveleux, rares pierres, beige / consistance très ferme			c_{up} : 150-200 kN/m ² Dépôts d'inondation		
	Gravier limono-sableux, peu argileux, avec pierres et blocs, beige			Alluvions		
				- Fouille stable		
Relevé par:: M. Kuhn 2517053.4_Tr09-17.ai/22.11.2017Pfy Annexe 4.9						

Date : 11.10.2018		Mandat No.2517053.4B		GEOTEST GEOLOGIE / INGENIERIE / GÉOPHYSIQUE / ENVIRONNEMENT		
Objet : Marly-Matran, Nouvelle jonction						
Entreprise : Cudré-Mauroux Terrassement						
Machine : Pelle rétro 9t						
Coordonnées : 2°57'173 / 1°18'148						
				Sondage à la pelle mécanique 1 : 50		
Pm. N.eau	Prof.	Profil	éch.	Matériaux		Remarques, essais
Tr 10/18 Altitude.: 607.3 m s. m.						
0.30 1.70 2.20 2.80 4.00 4.05			Limon terreux, brun, très humide, avec présence de racines et de radicules		Terre végétale	
			Sable limoneux, peu graveleux avec quelques pierres (majoritairement molasse gréseuse), beige-grisâtre, humide. Présence d'un bloc de molasse gréseuse fracturé à 1.2 m. Avec tâches redox. Dès 1.3 m couleur grise et moins limoneux.		c_{up} : 100 - 150 KPa Colluvions	
			Sable limono-argileux, beige-verdâtre, humide à très humide. Présence de peu de matière organique de 1.7 à 2.0 m. Avec tâches redox.		c_{up} : 100 KPa Dépôts d'inondation	
			Sable moyen à grossier très graveleux et peu limoneux, très humide, beige-jaunâtre.		Alluvions	
			Gravier sableux peu limoneux, avec nombreuses pierres et quelques blocs, très humide à saturé, gris-jaunâtre			
			Grès moyen gris-verdâtre		Molasse	
Relevé par:: R. Assunção 2517053.4_Tr10-18.ai/16.10.2018Pfy Annexe 4.10						

GEOTEST GEOLOGIE / INGENIERIE /
GÉOPHYSIQUE /
ENVIRONNEMENT

Annexe 5

Sondages existants

IX Gr. 1 F 1

cote: 622.85

foré à sec

2 février 1963.

t 0.00

brun
forcé

terre végétale

0.25

sable graveleux, limoneux
et argileux, avec pierres

1.10

gravier sableux, limoneux
et argileux, avec pierres

1.70

Retrait

gravier limoneux, un peu
sableux, très peu argileux,
avec beaucoup de pierres

No 2727

Prof. 2.00 - 2.60 (1/3)
2.60 - 3.00 (2/3)
3.00 - 3.30 (3/3)

3.40

gris-vert

Melasse: grès fin, marneux,
très finement micacé, assez
dur. (Carottes désagrégées
par rotation à sec)

4.40

Pas d'eau

9 mars 1963.

brun
foncé

0.00

terre végétale

0.50

alluvions fluvioglaciaires

gravier sableux, un peu limoneux, très peu argileux, avec pierres; blocs de 5.25 à 5.60, de 8.75 à 9.00

No 2768	Prof.	0.50- 1.25 (1/1)
2769		2.75- 3.45 (1/1)
2770		4.45- 5.50 (1/4)
		6.50- 7.30 (2/4)
		8.00- 8.70 (3/4)
		9.30-10.40 (4/4)
2771		10.70-10.95 (1/1)

10.95

compact
faciès
moraine

gravier très limoneux, et très sableux, argileux, avec rares pierres

2772 10.95-11.30 (1/1)

11.30

meuble
alluvions

sable graveleux et limoneux, très peu argileux

2773 11.30-11.65 (1/1)

11.65

compact
faciès
moraine

gravier très sableux, limoneux et argileux avec pierres

2774 11.65-12.10 (1/1)

12.10

meuble
alluvions

gravier très sableux, un peu limoneux, très peu argileux, avec rares pierres

2775 12.10-12.45 (1/1)

12.45

gravier sableux, très peu limoneux et très peu argileux, avec qqs pierres

2776 12.45-13.10 (1/1)

13.10

gravier très sableux, un peu limoneux, très peu argileux

2777 13.10-13.45 (1/1)

13.45

26 avril 1963.

	0.00		
		terre végétale	
	0.55		
t o p s o i l		limon sableux et argileux, avec peu de gravier et rares pierres	
	1.70		
		sable graveleux, li- moneux et argileux	
	2.65		
alluvions		gravier sableux, très peu limoneux, et très peu argileux, avec pierres (galets bien arrondis)	No 2906 Prof. 3.00-3.45 (1/1)
	4.00		
Molasse		grès moyen marneux, peu micacé, friable. (Carotte complètement désagrégée par la rotation à sec)	
	6.85		

Eau: 25.4.1963 : 3.95m

cote:

foré à sec

5 juin 1963.

0.00					
brun		terre végétale			
0.20					
brun	cohérent	sable limoneux et grave-			
topsoil II		leux, un peu argileux			
1.80					
	meuble	gravier sableux, un peu	No 3072	Prof. 2.00-2.65 (1/1)	
	alluvions	limoneux, très peu argi-	3073	4.00-4.65 (1/1)	
4.65		leux, avec pierres			
	cohérent	gravier sableux, un peu	3074	5.00-5.50 (1/1)	
	alluvions	limoneux, très peu argi-			
	à faciès	leux, avec pierres et			
	moraine	blocs			
6.00					
	meuble	sable limoneux, un peu ar-	3075	6.00-6.60 (1/1)	
	alluvions	gileux, avec peu de gravil-			
8.00		lon; 1m25 de carottes			
	gris-vert	<u>Molasse</u> : grès moyen, friable,			
	en fra-	peu et finement micacé,			
9.00	Molasse				

Eau: 4.6.63 : 5.95 m

IX.GR.1 / F9

cote: 621.51

rotation à sec

20 mars 1964

	0.00	terre végétale
brun foncé	0.25	
brun meuble altéré bon pour grave+con- cassé	0.55	graviers pierreux, un peu sableux, un peu limoneux, très peu argileux
meuble excellent pour grave	6.00	graviers sableux, pierreux, un peu limoneux, très peu argileux, avec 11 bloc

alluvions fl.-glaciées

forage interrompu pour cause de danger d'électrocution !

pas d'eau

IX.Gr.1 / F9 bis

côte: 622.16

rotation à sec

20 mars 1964

0.00

brun

terre végétale

0.30

brun
cohérent
humus

graviers sableux, limoneux et
argileux, avec rares pierres

0.95

brun
collant
zone d'
altération

graviers très sableux, pierreux,
un peu limoneux, très peu
argileux

No 1774 Prof. 1.10-1.50

1.50

meuble
excellent pr.
gravg, év.
pr. concassé
all. fl.-gl.

graviers très pierreux, sableux,
très peu limoneux et très peu
argileux

1775

3.00-3.50

5.60

beige
cohérent
moraine

sables très graveleux, limoneux
et argileux, avec qqs pierres

1787

5.70-6.15

6.15

gris-vert
meuble +
fragm. de
grès, altérée

Molasse altérée: sables fins
limoneux, un peu argileux

7.40

gris-vert
cohérent
remaniée
par rota-
tion

limons graveleux (molasse) et
argileux, très peu sableux

7.90

Pas d'eau

Annexe 6

Profil géologique

2517053.4d
Marly-Matran, nouvelle liaison
Étude géologique - géotechnique

GEOTEST

Annexe 7

Laboratoire



Rapport d'analyses

Granulats pour matériaux traités et non traités

pour les travaux de génie civil et la construction de chaussées

Projet: Marly-Matran 2517053

Mandat: Geotest SA

Mandant

Geotest SA
Monsieur Rui Assunção
En Boudron E 7
CH-1052 Le Mont-sur-Lausanne

Laboratoire d'essai

N° de rapport: 08.211-065-1 2517053
N° de mandat: 08.211
Date: 14.12.2017
Auteur: fog
Destinataire: Mandant

Matériau testé / programme d'essais

Données du mandant

N° d'échantillon: **Marly-Matran 17/20/24.11.2017**
Désignation: **Echantillon du sol**
Lot de chantier: Marly-Matran, Nouvelle jonction
Provenance: Chantier
Lieu de prélèvement: Divers profondeurs
Mode d'excavation: -
Date de prélèvement: 17_20_24-11-17
Prélevé par: Mandant
Remarques: -

Données du laboratoire

Chef de projet: fog Visa: wy
Date de livraison: 29.11.2017
Date de début de l'essai: 29.11.2017
Communication des résultats: Document pdf au mandant
Conditionnement de l'échantillon: cf. feuille Résultats
N° de labo.: 17.2340 à 17.2345

Remarques -

Programme d'essais

Essai		Classe granulaire [mm]			
		0/16	0/22.4	0/45	0/X
Analyse granulométrique	G	-	-	-	X
Teneur en eau	w	-	-	-	X
Teneur en fines	f	-	-	-	X
Coefficient d'aplatissement	FI	-	-	-	-
Teneur en grains concassés	C	-	-	-	-
Masse volum. réelle et coeff. d'absorption d'eau	P_{rd} / WA_{24}	-	-	-	-
Test Los Angeles	LA	-	-	-	-
Classification des composantes		-	-	-	-
Documentation photo		-	-	-	-
Analyses chimiques	AS/ S/ SS	-	-	-	-
Essai Proctor	W_{opt}	-	-	-	-
Essais CBR	CBR, CBR ₂ , CBR _F	-	-	-	-
Permeabilité	k	-	-	-	-
Autres essais		-	-	-	X

Remarques, essais complémentaires: Sédimentométrie, Limites de consistance selon Atterberg, Classification USCS

Ch. Wyss

Christian Wyss, lic. phil. nat., géologue
Directeur

Folco Giacomini

Folco Giacomini, dr sc. nat., géologue
Directeur du projet

Ce rapport d'analyse comprend: 7 Pages et 0 annexes

Les essais homologués selon la norme ISO/IEC 17025 sont
signalés par notre logo STS dans les rapports d'analyses



La reproduction même partielle des rapports d'analyses n'est pas autorisée sans le consentement de TransGeo AG. Les résultats portent uniquement sur les échantillons étudiés.

Granulats pour matériaux non traités

SN VSS 670 119-NA pour SN EN 13242 / 13285

Matériau testé

Données du mandant

N° d'échantillon: **Marly-Matran 17/20/24.11.2017**
 Désignation: **Echantillon du sol**
 Lot de chantier: **Marly-Matran, Nouvelle jonction**
 Provenance: **Tr 2.1**
 Lieu de prélèvement: **Profondeur 2.0 - 3.0m**
 Mode d'excavation: **-**
 Date de prélèvement: **17_20_24-11-17**
 Prélevé par: **Mandant**
 Remarques: **-**

Données du laboratoire

N° de laboratoire: **17.2340**
 Opérateur: **nm** Visa: **dr**
 Date de livraison de l'échantillon: **29.11.2017**
 Date de début de l'essai: **29.11.2017**
 Communication des résultats: **Document pdf au mandant**
 Conditionnement de l'échantillon: **Selon la norme**
 Remarques: **-**

Tamis / dg* [mm]	Passant [M-%]	Granulométrie par tamisage (SN EN 933-1) et sédimentométrie (SN 670 816a)	
500		Poids total de l'échantillon sec [kg]:	13.061
400		Teneur en fines f [M % < 0.063 mm]:	1.3
300		Argile° [M % < 0.002 mm]:	-
200		Analyses supplémentaires w , FI , LA	
125		Teneur en eau w (SN EN 1097-5) [M-%]:	-
90		Classe granulométrique [mm]	
63	100.0	4/8 8/16 16/32 32/80 Total	
45	97.5		
31.5	93.8	Coefficient d'aplatissement FI (SN EN 933-3):	-
22.4	85.1		
16	75.0		
11.2	67.1		
8	60.3		
5.6	54.3		
4	48.6		
2	38.5		
1	23.9		
0.5	8.3		
0.25	2.7		
0.125	1.7		
0.063	1.3		
0.044			
0.033			
0.022			
0.013			
0.008			
0.005			
0.0033			
0.0015			

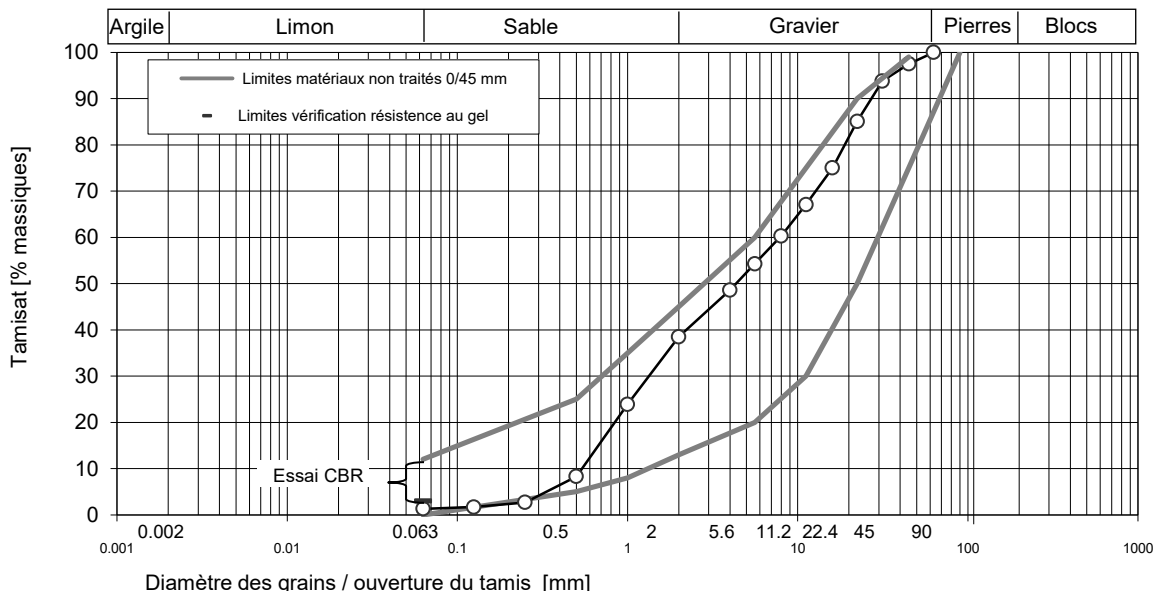
Limite de plasticité (SN VSS 670 345b) et classification USCS (SN VSS 670 008a)

Limite de liquidité WL [%]: **-**
 Limite de plasticité WP [%]: **-**

Indice de plasticité Ip [%]: **-**

Classification (USCS): **GP**

Légende: 2 tamis décisif Tamis / dg*: tamis / diamètre des grains Argile°: valeur calculée



Granulats pour matériaux non traités

SN VSS 670 119-NA pour SN EN 13242 / 13285

Matériau testé

Données du mandant

N° d'échantillon: **Marly-Matran 17/20/24.11.2017**
 Désignation: **Echantillon du sol**
 Lot de chantier: **Marly-Matran, Nouvelle jonction**
 Provenance: **Tr 3.1**
 Lieu de prélèvement: **Profondeur 1.0 - 2.0m**
 Mode d'excavation: **-**
 Date de prélèvement: **17_20_24-11-17**
 Prélevé par: **Mandant**
 Remarques: **-**

Données du laboratoire

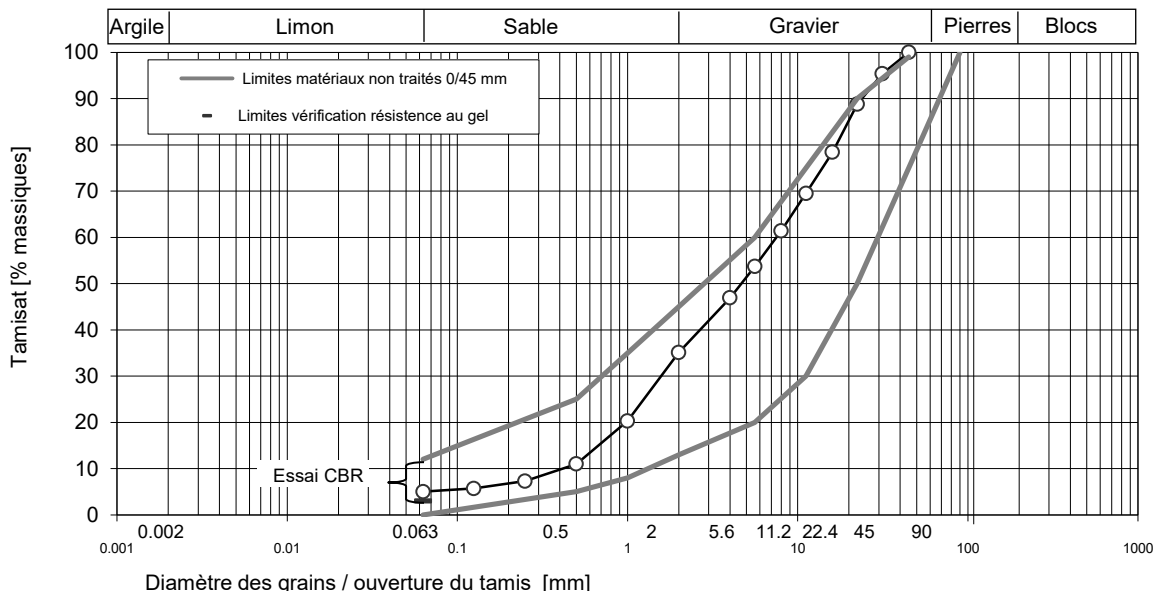
N° de laboratoire: **17.2341**
 Opérateur: **nm** Visa: **dr**
 Date de livraison de l'échantillon: **29.11.2017**
 Date de début de l'essai: **29.11.2017**
 Communication des résultats: **Document pdf au mandant**
 Conditionnement de l'échantillon: **Selon la norme**
 Remarques: **-**

Tamis / dg* [mm]	Passant [M-%]	Granulométrie par tamisage (SN EN 933-1) et sédimentométrie (SN 670 816a)
500		Poids total de l'échantillon sec [kg]: 11.875
400		Teneur en fines f [M % < 0.063 mm]: 5.0 Argile° [M % < 0.002 mm]: -
300		
200		
125		
90		
63		
45	100.0	Analyses supplémentaires w, FI, LA
31.5	95.4	Teneur en eau w (SN EN 1097-5) [M-%]: -
22.4	88.8	Classe granulométrique [mm]
16	78.4	4/8 8/16 16/32 32/80 Total
11.2	69.5	Coefficient d'aplatissement FI (SN EN 933-3): - - - - -
8	61.4	
5.6	53.7	
4	46.9	
2	35.1	
1	20.3	
0.5	11.0	Coefficient Los Angeles LA (SN EN 1097-2): 4/8 11/16
0.25	7.3	- -
0.125	5.7	
0.063	5.0	
0.044		
0.033		
0.022		
0.013		
0.008		
0.005		
0.0033		
0.0015		
		Limite de plasticité (SN VSS 670 345b) et classification USCS (SN VSS 670 008a)
		Limite de liquidité WL [%]: -
		Limite de plasticité Wp [%]: -
		Indice de plasticité Ip [%]: -
		Classification (USCS): GP

Légende: ⇨ 2 tamis décisif

Tamis / dg*: tamis / diamètre des grains

Argile°: valeur calculée



Granulats pour matériaux non traités

SN VSS 670 119-NA pour SN EN 13242 / 13285

Matériau testé

Données du mandant

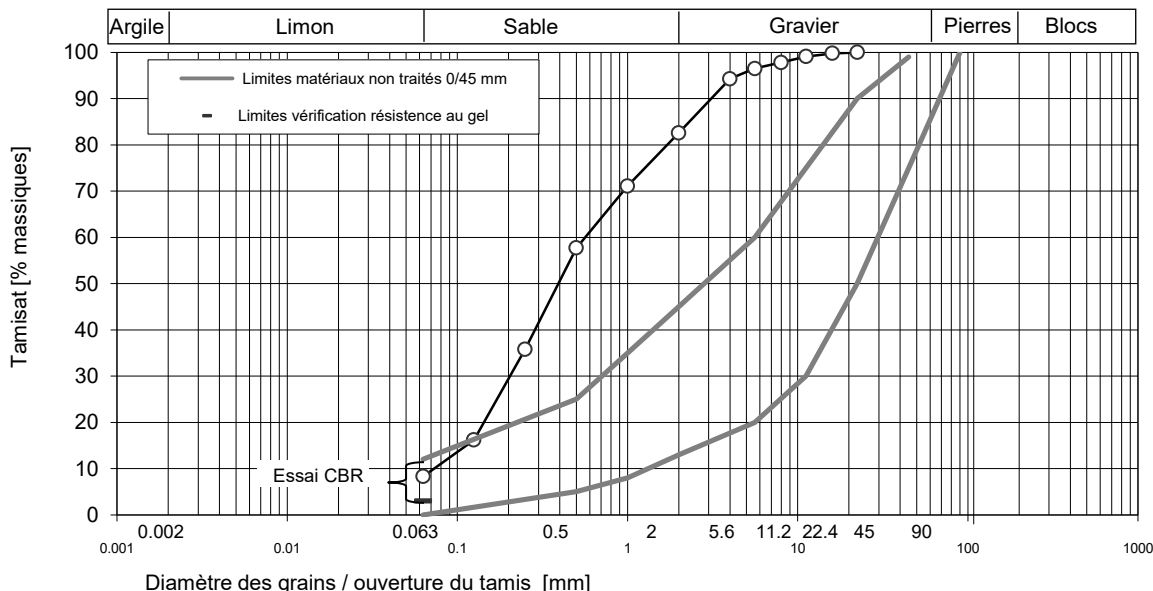
N° d'échantillon: **Marly-Matran 17/20/24.11.2017**
 Désignation: **Echantillon du sol**
 Lot de chantier: **Marly-Matran, Nouvelle jonction**
 Provenance: **Tr 4.1**
 Lieu de prélèvement: **Profondeur 1.1 - 2.1m**
 Mode d'excavation: **-**
 Date de prélèvement: **17_20_24-11-17**
 Prélevé par: **Mandant**
 Remarques: **-**

Données du laboratoire

N° de laboratoire: **17.2342**
 Opérateur: **nm** Visa: **dr**
 Date de livraison de l'échantillon: **29.11.2017**
 Date de début de l'essai: **29.11.2017**
 Communication des résultats: **Document pdf au mandant**
 Conditionnement de l'échantillon: **Selon la norme**
 Remarques: **-**

Tamis / dg* [mm]	Passant [M-%]	Granulométrie par tamisage (SN EN 933-1) et sédimentométrie (SN 670 816a)
500		Poids total de l'échantillon sec [kg]: 6.512
400		Teneur en fines f [M % < 0.063 mm]: 8.3 Argile° [M % < 0.002 mm]: -
300		
200		
125		
90		
63		
45		
31.5		
22.4	100.0	Analyses supplémentaires w, FI, LA
16	99.8	Teneur en eau w (SN EN 1097-5) [M-%]: -
11.2	99.1	Classe granulométrique [mm]
8	97.8	4/8 8/16 16/32 32/80 Total
5.6	96.5	Coefficient d'aplatissement FI (SN EN 933-3): - - - - -
4	94.3	
2	82.6	
1	71.1	Coefficient Los Angeles LA (SN EN 1097-2): 4/8 11/16
0.5	57.7	- -
0.25	35.8	
0.125	16.2	
0.063	8.3	
0.044		
0.033		
0.022		
0.013		
0.008		
0.005		
0.0033		
0.0015		
		Limite de plasticité (SN VSS 670 345b) et classification USCS (SN VSS 670 008a)
		Limite de liquidité WL [%]: -
		Limite de plasticité WP [%]: -
		Indice de plasticité I_p [%]: -
		Classification (USCS): -

Légende: 2 tamis décisif Tamis / dg*: tamis / diamètre des grains Argile°: valeur calculée



Granulats pour matériaux non traités

SN VSS 670 119-NA pour SN EN 13242 / 13285

Matériau testé

Données du mandant

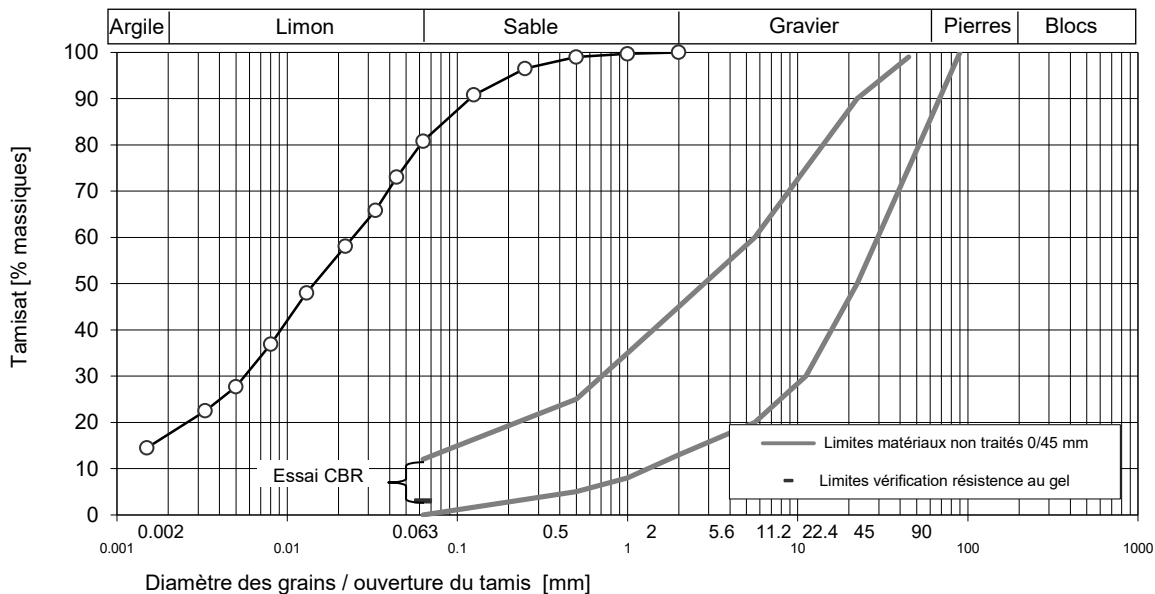
N° d'échantillon: **Marly-Matran 17/20/24.11.2017**
 Désignation: **Echantillon du sol**
 Lot de chantier: **Marly-Matran, Nouvelle jonction**
 Provenance: **F4/17**
 Lieu de prélèvement: **Profondeur entre 10.5 et 10.8m**
 Mode d'excavation: **-**
 Date de prélèvement: **17_20_24-11-17**
 Prélevé par: **Mandant**
 Remarques: **-**

Données du laboratoire

N° de laboratoire: **17.2343**
 Opérateur: **nm** Visa: **dr**
 Date de livraison de l'échantillon: **29.11.2017**
 Date de début de l'essai: **29.11.2017**
 Communication des résultats: **Document pdf au mandant**
 Conditionnement de l'échantillon: **Selon la norme**
 Remarques: **-**

Tamis / dg*	Passant	Granulométrie par tamisage (SN EN 933-1) et sédimentométrie (SN 670 816a)				
[mm]	[M-%]	Poids total de l'échantillon sec [kg]: 6.560 Teneur en fines f [M % < 0.063 mm]: 80.8 Argile° [M % < 0.002 mm]: 16.7				
500		Analyses supplémentaires w, FI, LA Teneur en eau w (SN EN 1097-5) [M-%]: - Classe granulométrique [mm] 4/8 8/16 16/32 32/80 Total Coefficient d'aplatissement FI (SN EN 933-3): - - - - - Coefficient Los Angeles LA (SN EN 1097-2): 4/8 11/16 - -				
400						
300		Limite de plasticité (SN VSS 670 345b) et classification USCS (SN VSS 670 008a) Limite de liquidité WL [%]: 22.3 Limite de plasticité Wp [%]: 17.6 Indice de plasticité I_p [%]: 4.7 Classification (USCS): CL-ML				
200						
125		Légende: $\Rightarrow$ 2 tamis décisis Tamis / dg*: tamis / diamètre des grains Argile°: valeur calculée				
90						
63						
45						
31.5						
22.4						
16						
11.2						
8						
5.6						
4						
2	100.0					
1	99.7					
0.5	99.0					
0.25	96.5					
0.125	90.8					
0.063	80.8					
0.044	73.0					
0.033	65.8					
0.022	58.1					
0.013	48.0					
0.008	36.9					
0.005	27.7					
0.0033	22.5					
0.0015	14.5					

Légende: $\Rightarrow$ 2 tamis décisif Tamis / dg*: tamis / diamètre des grains Argile°: valeur calculée



Granulats pour matériaux non traités

SN VSS 670 119-NA pour SN EN 13242 / 13285

Matériau testé

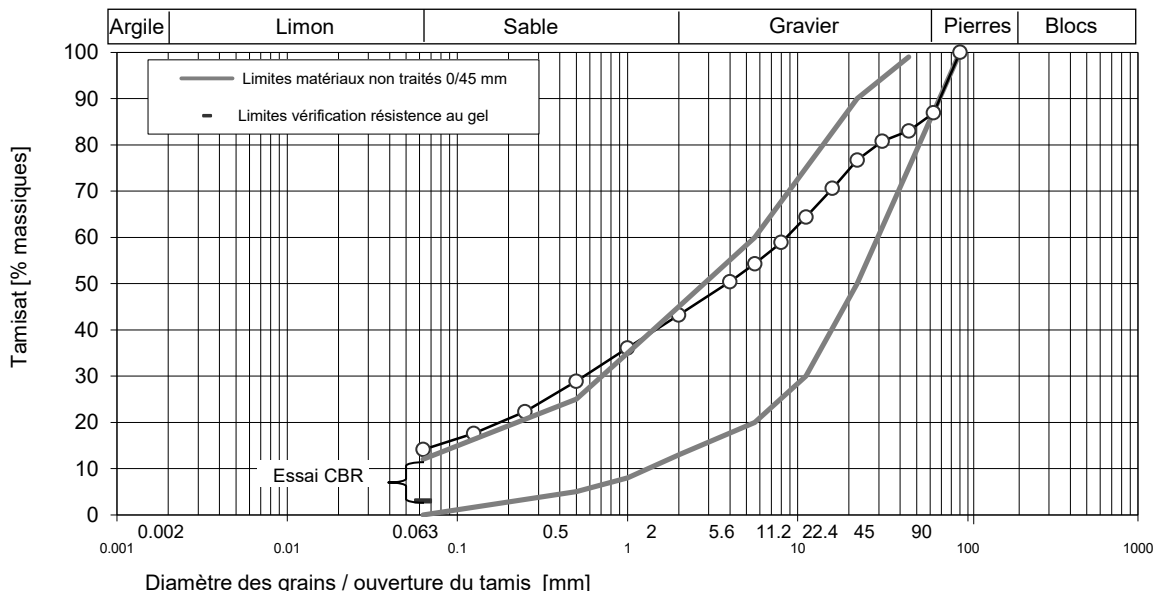
Données du mandant

N° d'échantillon: **Marly-Matran 17/20/24.11.2017**
 Désignation: **Echantillon du sol**
 Lot de chantier: **Marly-Matran, Nouvelle jonction**
 Provenance: **F4.1**
 Lieu de prélèvement: **Profondeur entre 2.3 et 3.0m**
 Mode d'excavation: **-**
 Date de prélèvement: **17_20_24-11-17**
 Prélevé par: **Mandant**
 Remarques: **-**

Données du laboratoire

N° de laboratoire: **17.2344**
 Opérateur: **nm** Visa: **dr**
 Date de livraison de l'échantillon: **29.11.2017**
 Date de début de l'essai: **29.11.2017**
 Communication des résultats: **Document pdf au mandant**
 Conditionnement de l'échantillon: **Selon la norme**
 Remarques: **-**

Tamis / dg* [mm]	Passant [M-%]	Granulométrie par tamisage (SN EN 933-1) et sédimentométrie (SN 670 816a)	
500		Poids total de l'échantillon sec [kg]:	13.333
400		Teneur en fines f [M % < 0.063 mm]:	14.1
300		Argile° [M % < 0.002 mm]:	-
200		Analyses supplémentaires w , FI , LA	
125		Teneur en eau w (SN EN 1097-5) [M-%]:	-
90	100.0	Classe granulométrique [mm]	
63	86.9	4/8 8/16 16/32 32/80 Total	
45	83.0	Coefficient d'aplatissement FI (SN EN 933-3):	-
31.5	80.8		
22.4	76.7		
16	70.6		
11.2	64.4		
8	58.9		
5.6	54.3		
4	50.4		
2	43.2		
1	36.1		
0.5	28.9		
0.25	22.3		
0.125	17.6		
0.063	14.1		
0.044			
0.033			
0.022			
0.013			
0.008			
0.005			
0.0033			
0.0015			



Granulats pour matériaux non traités

SN VSS 670 119-NA pour SN EN 13242 / 13285

Matériau testé

Données du mandant

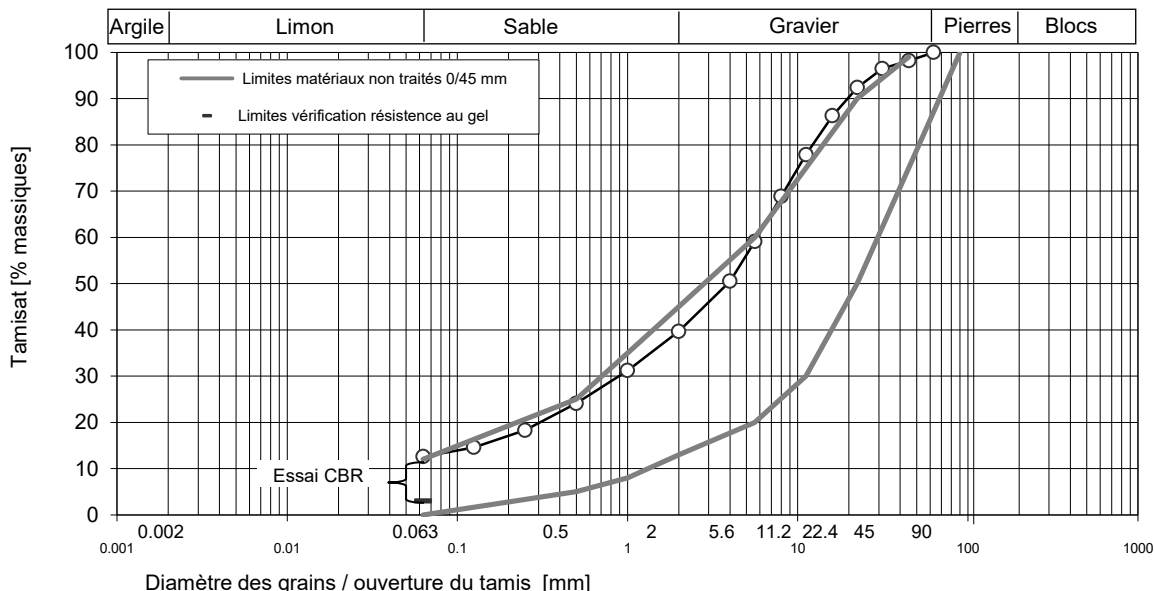
N° d'échantillon: **Marly-Matran 17/20/24.11.2017**
 Désignation: **Echantillon du sol**
 Lot de chantier: **Marly-Matran, Nouvelle jonction**
 Provenance: **F5.1**
 Lieu de prélèvement: **Profondeur entre 5.4 et 6.0m**
 Mode d'excavation: **-**
 Date de prélèvement: **17_20_24-11-17**
 Prélevé par: **Mandant**
 Remarques: **-**

Données du laboratoire

N° de laboratoire: **17.2345**
 Opérateur: **nm** Visa: **dr**
 Date de livraison de l'échantillon: **29.11.2017**
 Date de début de l'essai: **29.11.2017**
 Communication des résultats: **Document pdf au mandant**
 Conditionnement de l'échantillon: **Selon la norme**
 Remarques: **-**

Tamis / dg* [mm]	Passant [M-%]	Granulométrie par tamisage (SN EN 933-1) et sédimentométrie (SN 670 816a)
500		Poids total de l'échantillon sec [kg]: 10.200
400		Teneur en fines f [M % < 0.063 mm]: 12.6 Argile° [M % < 0.002 mm]:
300		
200		
125		
90		
63	100.0	Analyses supplémentaires w, FI, LA
45	98.2	Teneur en eau w (SN EN 1097-5) [M-%]: -
31.5	96.5	Classe granulométrique [mm]
22.4	92.4	4/8 8/16 16/32 32/80 Total
16	86.3	Coefficient d'aplatissement FI (SN EN 933-3): - - - - -
11.2	77.9	
8	68.9	Coefficient Los Angeles LA (SN EN 1097-2): 4/8 11/16
5.6	59.1	- -
4	50.5	
2	39.7	
1	31.2	
0.5	24.1	
0.25	18.3	
0.125	14.6	
0.063	12.6	Limite de plasticité (SN VSS 670 345b) et classification USCS (SN VSS 670 008a)
0.044		Limite de liquidité WL [%]: -
0.033		Limite de plasticité Wp [%]: -
0.022		Indice de plasticité Ip [%]: -
0.013		Classification (USCS): -
0.008		
0.005		
0.0033		
0.0015		

Légende: ⇨ 2 tamis décisif Tamis / dg*: tamis / diamètre des grains Argile°: valeur calculée





Rapport d'analyses roche- / matériaux d'excavation

Projet: Marly-Matran 2517053

Mandat: Geotest SA

Mandant

Geotest SA
Monsieur Rui Assunção
En Boudron E 7
CH-1052 Le Mont-sur-Lausanne

Laboratoire d'essai

N° de rapport: 08.211-065-2 2517053
N° de mandat: 08.211
Date: 14.12.2017
Auteur: fog
Destinataire: Mandant

Matériau testé / programme d'essais

Données du mandant

N° d'échantillon: **Marly-Matran F8 07-12-2017**
Désignation: **Carotte**
Lot de chantier: Marly-Matran, Nouvelle jonction
Provenance: -
Lieu de prélèvement: Profondeur entre 5.15 et 5.6m
Mode d'excavation: -
Date de prélèvement: 07.12.2017
Prélevé par: Mandant
Remarques: -

Données du laboratoire

Chef de projet: fog Visa: wy
Date de livraison: 12.12.2017
Date de début de l'essai: 12.12.2017
Communication des résultats: Document pdf au mandant
Conditionnement de l'échantillon: cf. feuille Résultats
N° de labo.: 17.2461

Remarques -

Programme d'essais

Essai

Abrasivité- Broyabilité	ABR / BR	-
Index Point Load	PLT I _{SS0}	-
Résistance à la compression uniaxiale	σ_c	X
Module d'élasticité	E_b	-
Traction indirecte	σ_t	-
Résistance à la flexion	R_{ff}	-
Analyse granulométrique	G	-
Teneur en eau	w	-
Teneur en fines	f	-
Coefficient d'aplatissement	FI	-
Analyse pétrographique microscopique (lame mince)		-
Analyse pétrographique		-
Eléments de nature pétrographique impropres à l'usage		-
RAG, essai microbar		-
Masse volum. réelle et coeff. d'absorption d'eau	P_{rd} / WA_{24}	-
Documentation photographique		-
Résistance au gel-dégel	F	-
Résistance au gel-dégel en présence de sel		-
Abrasivité CERCHAR	CAI	-
Autres essais		
Remarques, essais complémentaires:		

Ch. Wyss

Christian Wyss, lic. phil. nat., géologue

Directeur

Ce rapport d'analyse comprend: 2 Pages et 0 annexes

Folco Giacomini

Folco Giacomini, dr sc. nat., géologue

Directeur du projet

Les essais homologués selon la norme ISO/IEC 17025 sont signalés par notre logo STS dans les rapports d'analyses



Résistance à compression uniaxiale (SN VSS 670 353a)

Matériau testé

Données mandant

N° d'échantillon: **Marly-Matran F8 07-12-2017**
 Désignation: **Carotte**
 Lot de chantier: Marly-Matran, Nouvelle jonction
 Provenance: -
 Lieu de prélèvement: Profondeur entre 5.15 et 5.6m
 Mode d'excavation: -
 Date de prélèvement: 143076
 Prélevé par: Mandant
 Remarques: -

Données laboratoire

Opérateur: fog Visum: wy
 Date de livraison de l'échantillon: 12.12.2017
 Date de début de l'essai: 12.12.2017
 Communication des résultats: Document pdf aux destinataires
 Conditionnement de l'échantillon: selon norme
 N° de labo: 17.2461
 Prélèvement des échantillons: mandant
 Echantillon testé: Carotte 80mm
 Remarques:

Données éprouvette et conditions d'analyse

Description pétrographique de la roche: Grès (Molasse)
 Teneur en eau à la livraison [M-%]: 6.3
 Région d'extraction: -
 Fournisseur: -
 Orientation des anisotropies: Perpendiculaire à l'axe de la carotte
 Traitement de la surface: sciée, rectifiée
 Rectangularité de l'éprouvette: conforme
 Surface latérale: conforme
 Orientation de la charge: perpendiculaire à l'anisotropie
 Vitesse de charge: 0.6 MPa/s

Résultats de l'essai

Éprouv. Nr.	Dimensions		Rapport L/D	Surface A [mm²]	Masse volumique [kg/m³]	Force F_{max} [kN]	Résistance à compression		Orientation de la charge sur l'anisotropie, type de fracture, remarques
	d [mm]	L [mm]					σ_{ca} [MPa]	σ_c^* [MPa]	
A	83.5	166.5	1.99	5476	2442	170.6	31.2	31.1	S, tfn
B	83.5	166.5	1.99	5476	2440	173.1	31.6	31.6	S, tfn
Moyenne					2'441	171.9	31.4	31.4	
Écart type					1.4	1.8	0.3	0.3	

Abréviation

n.a.: non analysé / Orientation de la charge: I: isotrope, S: perpendiculaire, P: parallèle, A30°: angle de 30° / tfn: type de fracture normale

* Résistance à compression σ_{ca} corrigée sur rapport L/D 2.0



Rapport d'analyses

Granulats pour matériaux traités et non traités

pour les travaux de génie civil et la construction de chaussées

Projet: Marly-Matran 2517053

Mandat: Geotest SA

Mandant

Geotest SA
Monsieur Rui Assunção
En Boudron E 7
CH-1052 Le Mont-sur-Lausanne

Laboratoire d'essai

N° de rapport: 08.211-065-3 corrigé
N° de mandat: 08.211
Date: 12.03.2019
Auteur: fog
Destinataire: Mandant

Matériau testé / programme d'essais

Données du mandant

N° d'échantillon: **F10/19.1 et F11/19.1**
Désignation: **Échantillons de sol**
Lot de chantier: Marly-Matran, Nouvelle jonction
Provenance: -
Lieu de prélèvement: entre 6.3 et 8.7m
Mode d'excavation: Forage
Date de prélèvement: 22.02.2019
Prélevé par: Mandant
Remarques:

Données du laboratoire

Chef de projet: fog Visa: wy
Date de livraison: 26.02.2019
Date de début de l'essai: 28.02.2019
Communication des résultats: Document pdf au mandant
Conditionnement de l'échantillon: cf. feuille Résultats
N° de F10/19.1 19.4665
labo.: F11/19.1 19.4666

Remarques

Programme d'essais

Essai		Classe granulaire [mm]			
		0/16	0/22.4	0/45	0/X
Analyse granulométrique	G	-	-	-	2x
Teneur en eau	w	-	-	-	2x
Teneur en fines	f	-	-	-	2x
Coefficient d'aplatissement	FI	-	-	-	-
Teneur en grains concassés	C	-	-	-	-
Masse volum. réelle et coeff. d'absorption d'eau	P_{rd} / W_{A24}	-	-	-	-
Test Los Angeles	LA	-	-	-	-
Classification des composantes		-	-	-	-
Documentation photo		-	-	-	-
Analyses chimiques	AS / S / SS	-	-	-	-
Essai Proctor	W_{opt}	-	-	-	-
Essais CBR	CBR, CBR ₂ , CBR _F	-	-	-	-
Permeabilité	k	-	-	-	-
Sédimentometrie		-	-	-	2x
Limites de consistance selon Atterberg	Ip	-	-	-	2x
Classification USCS		-	-	-	2x
Essai oedométrique		-	-	-	-
Autres essais		-	-	-	-
Remarques, essais complémentaires:					

Ch. Wyss

Christian Wyss, lic. phil. nat., géologue
Directeur

Folco Giacomini

Folco Giacomini, dr sc. nat., géologue
Directeur du projet

Ce rapport d'analyse comprend: 3 Pages et 0 annexes

Les essais homologués selon la norme ISO/IEC 17025 sont
signalés par notre logo STS dans les rapports d'analyses

La reproduction même partielle des rapports d'analyses n'est pas autorisée sans le consentement de TransGeo AG. Les résultats portent uniquement sur les échantillons étudiés.

Granulats pour matériaux non traités

SN VSS 670 119-NA pour SN EN 13242 / 13285

Matériau testé

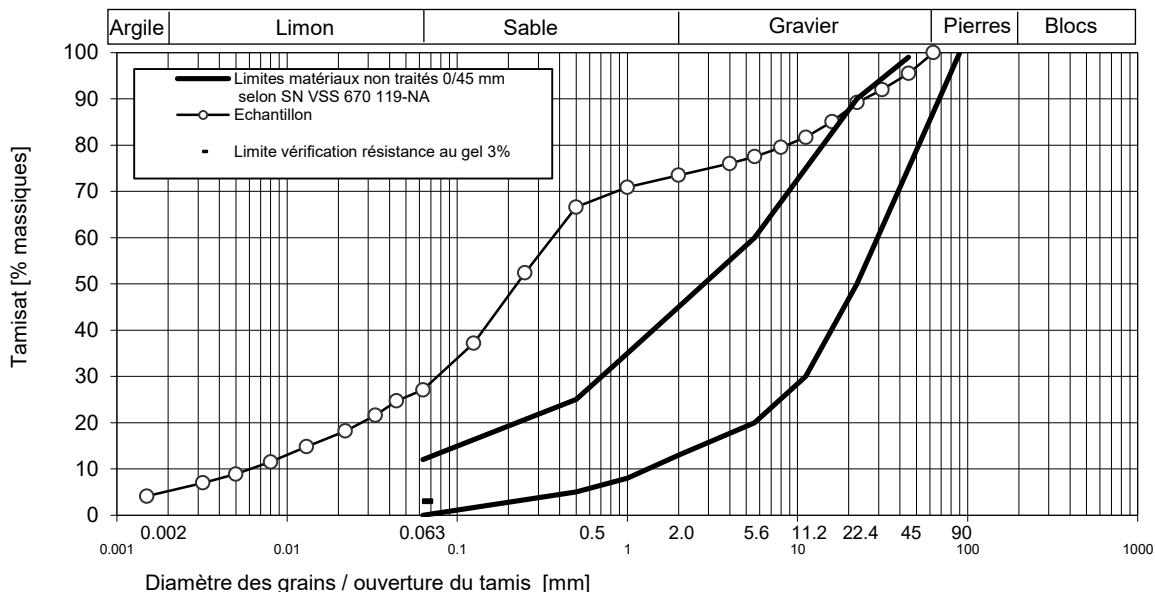
Données du mandant

N° d'échantillon: **F10/19.1**
 Désignation: **Échantillon de sol**
 Lot de chantier: Marly-Matran, Nouvelle jonction
 Provenance: -
 Lieu de prélèvement: profondeur entre 6.3 et 6.8m
 Mode d'excavation: Forage
 Date de prélèvement: 22.02.2019
 Prélevé par: Mandant
 Remarques:

Données du laboratoire

Opérateur: ta Visa: fog
 Date de livraison de l'échantillon: 26.02.2019
 Date de début de l'essai: 28.02.2019
 Communication des résultats: Document pdf au mandant
 Conditionnement de l'échantillon: Selon la norme
 N° de lab.: F10/19.1 19.4665
 Remarques:

Tamis / dg*	Passant	Granulométrie par tamisage (SN EN 933-1) et sédimentométrie (SN 670 816a)				
[mm]	[M-%]	Poids total de l'échantillon sec [kg]: 7.757 Teneur en fines <i>f</i> [M % < 0.063 mm]: 27.1 Argile° [M % < 0.002 mm]: 5.0				
500						
400						
300						
200						
125						
⇒ 90						
63	100.0	Analyses supplémentaires <i>w</i> , <i>FI</i> , <i>LA</i>				
⇒ 45	95.5					
⇒ 31.5	92.0	Teneur en eau <i>w</i> (SN EN 1097-5) [M-%]: 20.4				
⇒ 22.4	89.2					
⇒ 16	85.1	Classe granulométrique [mm]				
⇒ 11.2	81.7					
⇒ 8	79.5	Coefficient d'aplatissement <i>FI</i> (SN EN 933-3):				
⇒ 5.6	77.5					
⇒ 4	76.0	Coefficient Los Angeles <i>LA</i> (SN EN 1097-2):				
⇒ 2	73.5					
⇒ 1	70.9					
⇒ 0.5	66.6					
0.25	52.4	Limites de consistance (SN VSS 670 345b) et classification USCS (SN VSS 670 008a)				
0.125	37.2					
⇒ 0.063	27.1	Légende: ⇒ 2 tamis décisif				
0.044	24.7					
0.033	21.6	Tamis / dg*: tamis / diamètre des grains				
0.022	18.2					
0.013	14.8	Argile°: valeur calculée				
0.008	11.5					
0.005	8.9					
0.0032	7.0					
0.0015	4.1					



Granulats pour matériaux non traités

SN VSS 670 119-NA pour SN EN 13242 / 13285

Matériau testé

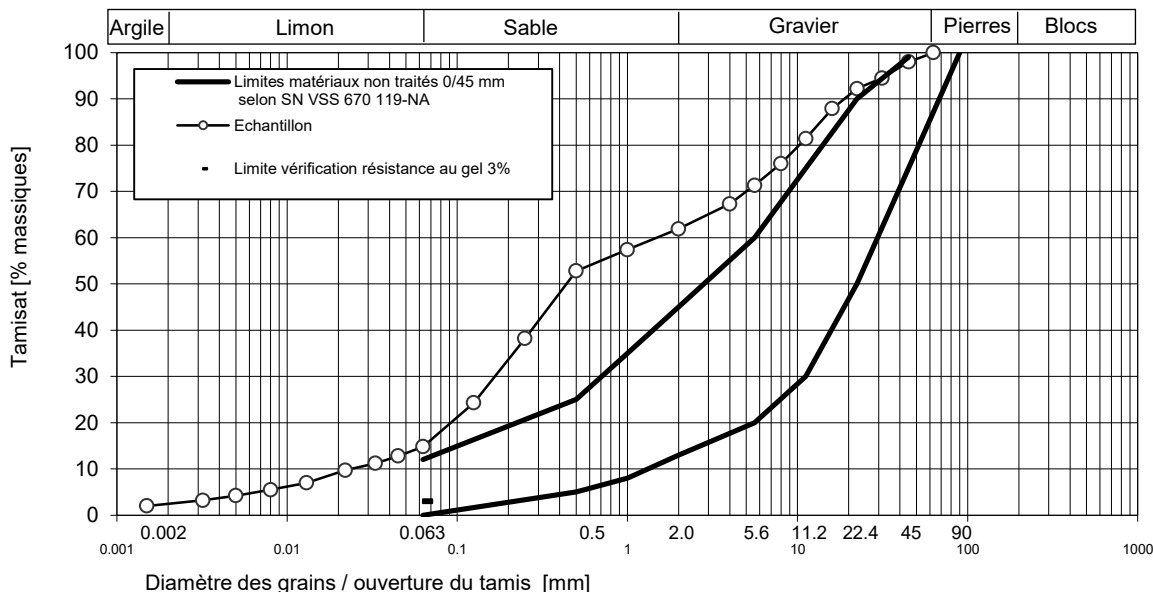
Données du mandant

N° d'échantillon: **F11/19.1**
 Désignation: **Échantillon de sol**
 Lot de chantier: Marly-Matran, Nouvelle jonction
 Provenance: -
 Lieu de prélèvement: profondeur entre 8.0 et 8.7m
 Mode d'excavation: Forage
 Date de prélèvement: 22.02.2019
 Prélevé par: Mandant
 Remarques:

Données du laboratoire

Opérateur: ta Visa: dr
 Date de livraison de l'échantillon: 26.02.2019
 Date de début de l'essai: 28.02.2019
 Communication des résultats: Document pdf au mandant
 Conditionnement de l'échantillon: Selon la norme
 N° de lab.: F11/19.1 19.4666
 Remarques:

Tamis / dg* [mm]	Passant [M-%]	Granulométrie par tamisage (SN EN 933-1) et sédimentométrie (SN 670 816a)	
500		Poids total de l'échantillon sec [kg]:	11.550
400		Teneur en fines f [M % < 0.063 mm]:	14.8
300		Argile° [M % < 0.002 mm]:	2.4
200		Analyses supplémentaires w , FI , LA	
125		Teneur en eau w (SN EN 1097-5) [M-%]:	9.9
90		Classe granulométrique [mm]	
63	100.0	4/8	8/16
45	98.0	16/32	32/80
31.5	94.5	32/80	Total
22.4	92.2		
16	87.9		
11.2	81.4		
8	76.0		
5.6	71.3		
4	67.3		
2	61.9		
1	57.4		
0.5	52.8		
0.25	38.2		
0.125	24.3		
0.063	14.8		
0.045	12.8		
0.033	11.2		
0.022	9.7		
0.013	7.0		
0.008	5.5		
0.005	4.2		
0.0032	3.2		
0.0015	2.0		



Rapport d'analyses

Granulats pour graves non traités / sols

Projet: 2517053 Marly-Matran, nouvelle jonction

Mandat: Geotest SA, CH-1762 Givisiez

Mandant

Geotest SA
Jonathan Menetrey
Rue Jean Prouvé 14
CH-1762 Givisiez

Laboratoire d'essai

N° de rapport: 08.211 GT 341 A
N° de mandat: 08.211
Date: 30.10.2024
Auteur: dr
Destinataire: Mandant

Matériau testé / programme d'essais

Données du mandant

N° d'échantillon: **F14/24**
Désignation: **Alluvions 1**
Lot de chantier: Marly-Matran nouvelle Jonction
Provenance: F14/24
Lieu de prélèvement: profondeur 0.5-1.0m
Mode d'excavation: -
Date de prélèvement: 08.10.2024
Prélevé par: Mandant
Remarques:

Données du laboratoire

Chef de projet: fog Visa: wy
Date de livraison: 10.10.2024
Date de début de l'essai: 11.10.2024
Communication des résultats: Document pdf au mandant
Conditionnement de l'échantillon: cf. feuille Résultats
Classe gran. / N° de Labo: 0/X: 24.1316

Remarques

Programme d'essais

Essai		Classe granulaire [mm]			
		0/16	0/22.4	0/45	0/X
Analyse granulométrique	G	-	-	-	X
Teneur en eau	w	-	-	-	X
Teneur en fines	f	-	-	-	X
Coefficient d'aplatissement	FI	-	-	-	-
Teneur en grains concassés	C	-	-	-	-
Masse volum. réelle et coeff. d'absorption d'eau	P_{rd} / WA_{24}	-	-	-	-
Test Los Angeles	LA	-	-	-	-
Classification des composantes		-	-	-	-
Documentation photo		-	-	-	-
Analyses chimiques	AS/ S/ SS	-	-	-	-
Essai Proctor	W_{opt}	-	-	-	-
Essais CBR	CBR, CBR ₂ , CBR _F	-	-	-	-
Perméabilité	k	-	-	-	-
Sédimentométrie		-	-	-	X
Limites de consistance selon Atterberg	lp	-	-	-	X
Classification USCS		-	-	-	X
Essai oedométrique		-	-	-	-
Autres essais		-	-	-	-

Remarques, essais complémentaires:

Folco Giacomini

Folco Giacomini, géologue Dr sc. nat.
Chef section laboratoire

Ce rapport d'analyse comprend: 2 Pages et 0 annexes

Les essais homologués selon la norme ISO/IEC 17025 sont signalés par notre logo STS dans les rapports d'analyses.



La reproduction même partielle des rapports d'analyses n'est pas autorisée sans le consentement de TransGeo AG. Les résultats portent uniquement sur les échantillons étudiés.

Échantillons de sol - Terrains meubles

Matériau testé

Données du mandant

N° d'échantillon: **F14/24**
 Désignation: **Alluvions 1**
 Lot de chantier: Marly-Matran nouvelle Jonction
 Provenance: F14/24
 Lieu de prélèvement: profondeur 0.5-1.0m
 Mode d'excavation: -
 Date de prélèvement: 08.10.2024
 Prélevé par: Mandant
 Remarques:

Données du laboratoire

Opérateur: nm/sf/ta Visa: fog
 Date de livraison de l'échantillon: 10.10.2024
 Date de début de l'essai: 11.10.2024
 Communication des résultats: Document pdf au mandant
 Conditionnement de l'échantillon: Selon la norme
 Classe gran. / N° de Labo: 0/X: 24.1316
 Remarques:

Tamis / dg*	Passant	Granulometrie & Sédimentometrie				
[mm]	[M-%]	SN EN 933-1: 2013	SN EN ISO 17892-4: 2018			
500						
400						
300						
200						
125						
⇒ 90	100.0					
63	71.9					
⇒ 45	61.7					
31.5	54.3					
⇒ 22.4	45.7					
16	38.9					
⇒ 11.2	33.6					
8	29.7					
⇒ 5.6	26.6					
4	23.8					
⇒ 2	21.9					
⇒ 1	19.0					
⇒ 0.5	16.7					
0.25	14.5					
0.125	11.4					
⇒ 0.063	8.8					
0.044	7.9					
0.030	7.1					
0.021	6.2					
0.015	5.7					
0.010	4.8					
0.005	3.5					
0.0030	2.8					
0.0015	2.0					

Gravier [M-% > 2mm]:		78.1	Pierres + Blocs [M-% > 63 mm]:		28.1
Sable [M-% > 0.063mm - < 2mm]:		13.1	Gravier [M-% > 2mm - < 63 mm]:		50.0
Teneur en fines f [M-% < 0.063mm]:		8.8	Argile° [M-% < 0.002 mm]:		2.3

Analyses supplémentaires w, FI						
Teneur en eau w [M-%]:		SN EN 933-3: 2013	3.1	Masse totale sèche [kg]:		-
Classe granulométrique [mm]						
		4/8	8/16	16/32	32/100	Total
Aplatissement FI : SN EN 1097-2: 2021		-	-	-	-	-

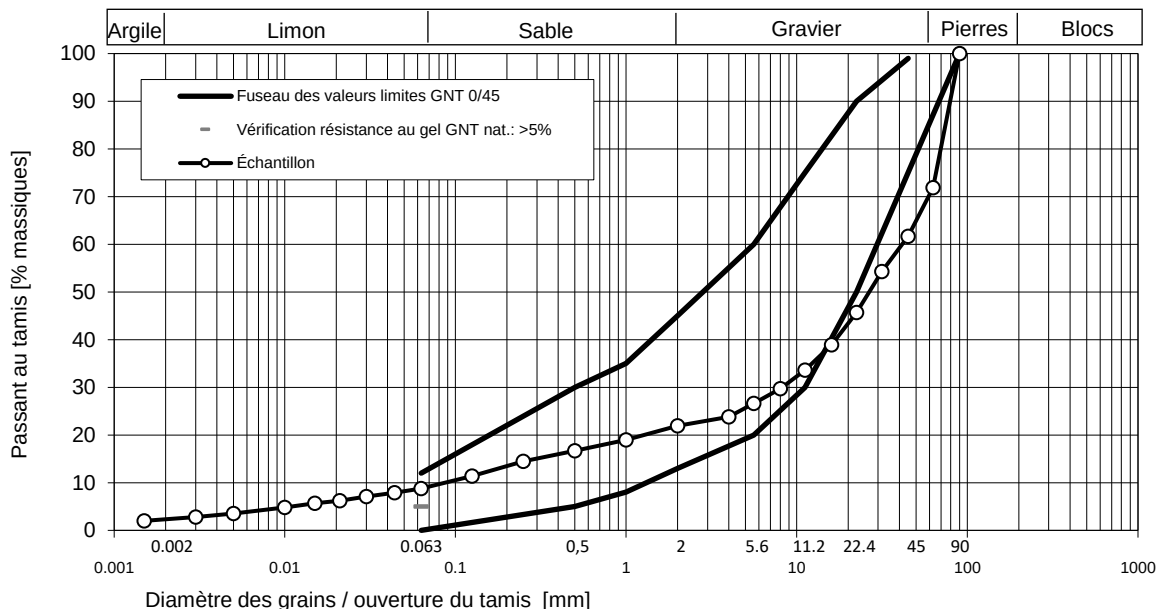
Limites de consistance & classification USCS			
SN EN ISO 17892-12: 2023		VSS 670 004-2b - 670 008 (non valide): 1997	
Limite de liquidité (Casagrande Verfahren) WL [%]:	18.5		Remarques:
Limite de plasticité Wp [%]:	16.4		
Indice de lasticité Ip [%]:	2.1		
Calssification (USCS):	GP-GM		

Légende: ⇒ 2 tamis décisis

Tamis / dg*: tamis / diamètre des grains

Argile°: valeur calculée

Légende: ⇒ 2 tamis décisis Tamis / dg*: tamis / diamètre des grains Argile°: valeur calculée



Légende: ⇒ tamis décisis Tamis / dg*: tamis / diamètre des grains Argile°: valeur calculée

Rapport d'analyses

Granulats pour graves non traités / sols

Projet: 2517053 Marly-Matran, nouvelle jonction

Mandat: Geotest SA, CH-1762 Givisiez

Mandant

Geotest SA
Jonathan Menetrey
Rue Jean Prouvé 14
CH-1762 Givisiez

Laboratoire d'essai

N° de rapport: 08.211 GT 341 B
N° de mandat: 08.211
Date: 30.10.2024
Auteur: dr
Destinataire: Mandant

Matériau testé / programme d'essais

Données du mandant

N° d'échantillon: **F14/24**
Désignation: **Moraine**
Lot de chantier: Marly-Matran nouvelle Jonction
Provenance: F14/24
Lieu de prélèvement: profondeur 8.9-9.3m
Mode d'excavation: -
Date de prélèvement: 08.10.2024
Prélevé par: Mandant
Remarques:

Données du laboratoire

Chef de projet: fog Visa: wy
Date de livraison: 10.10.2024
Date de début de l'essai: 11.10.2024
Communication des résultats: Document pdf au mandant
Conditionnement de l'échantillon: cf. feuille Résultats
Classe gran. / N° de Labo: 0/X: 24.1317

Remarques

Programme d'essais

Essai		Classe granulaire [mm]			
		0/16	0/22.4	0/45	0/X
Analyse granulométrique	G	-	-	-	X
Teneur en eau	w	-	-	-	X
Teneur en fines	f	-	-	-	X
Coefficient d'aplatissement	FI	-	-	-	-
Teneur en grains concassés	C	-	-	-	-
Masse volum. réelle et coeff. d'absorption d'eau	P_{rd} / WA_{24}	-	-	-	-
Test Los Angeles	LA	-	-	-	-
Classification des composantes		-	-	-	-
Documentation photo		-	-	-	-
Analyses chimiques	AS/ S/ SS	-	-	-	-
Essai Proctor	W_{opt}	-	-	-	-
Essais CBR	CBR, CBR ₂ , CBR _F	-	-	-	-
Perméabilité	k	-	-	-	-
Sédimentométrie		-	-	-	X
Limites de consistance selon Atterberg	lp	-	-	-	X
Classification USCS		-	-	-	X
Essai oedométrique		-	-	-	-
Autres essais		-	-	-	-
Remarques, essais complémentaires:					

Folco Giacomini

Folco Giacomini, géologue Dr sc. nat.
Chef section laboratoire

Ce rapport d'analyse comprend: 2 Pages et 0 annexes

Les essais homologués selon la norme ISO/IEC 17025 sont signalés par notre logo STS dans les rapports d'analyses.



La reproduction même partielle des rapports d'analyses n'est pas autorisée sans le consentement de TransGeo AG. Les résultats portent uniquement sur les échantillons étudiés.

Échantillons de sol - Terrains meubles

Matériau testé

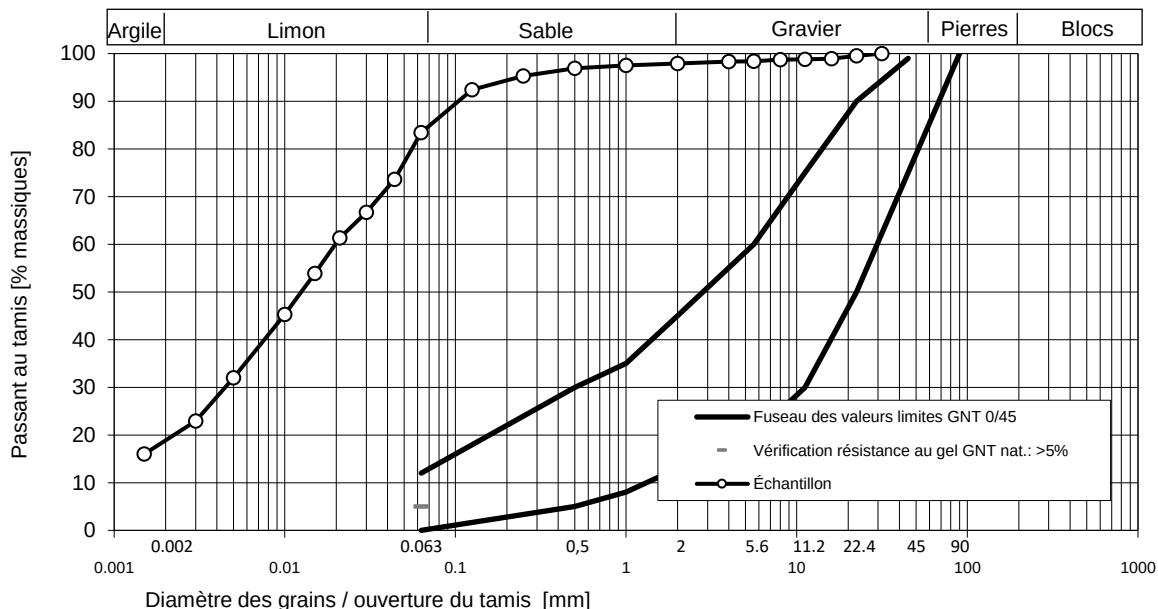
Données du mandant

N° d'échantillon: **F14/24**
 Désignation: **Moraine**
 Lot de chantier: Marly-Matran nouvelle Jonction
 Provenance: F14/24
 Lieu de prélèvement: profondeur 8.9-9.3m
 Mode d'excavation: -
 Date de prélèvement: 08.10.2024
 Prélevé par: Mandant
 Remarques:

Données du laboratoire

Opérateur: nm/sf/ta Visa: fog
 Date de livraison de l'échantillon: 10.10.2024
 Date de début de l'essai: 11.10.2024
 Communication des résultats: Document pdf au mandant
 Conditionnement de l'échantillon: Selon la norme
 Classe gran. / N° de Labo: 0/X: 24.1317
 Remarques:

Tamis / dg*	Passant	Granulometrie & Sédimentometrie				
[mm]	[M-%]	SN EN 933-1: 2013	SN EN ISO 17892-4: 2018			
500		Gravier [M-% > 2mm]:	2.1	Pierres + Blocs [M-% > 63 mm]:		
400				Gravier [M-% > 2mm - < 63 mm]: 2.1		
300			Sable [M-% > 0.063mm - < 2mm]:	14.5	Argile° [M-% < 0.002 mm]: 18.3	
200						
125			Teneur en fines f [M-% < 0.063mm]:	83.4		
90						
63						
45						
31.5	100.0					
22.4	99.5					
16	98.9					
11.2	98.8					
8	98.7					
5.6	98.4					
4	98.3					
2	97.9					
1	97.5					
0.5	96.9					
0.25	95.3					
0.125	92.4					
0.063	83.4					
0.044	73.6					
0.030	66.7					
0.021	61.3					
0.015	53.9					
0.010	45.3					
0.005	32.0					
0.0030	22.9					
0.0015	16.0					
		Analyses supplémentaires w, FI				
		Teneur en eau w [M-%]: SN EN 933-3: 2013		15.0	Masse totale sèche [kg]: -	
				</		



Légende: ⇨ tamis décisis Tamis / dg*: tamis / diamètre des grains Argile°: valeur calculée

Rapport d'analyses

Granulats pour graves non traités / sols

Projet: 2517053 Marly-Matran, nouvelle jonction

Mandat: Geotest SA, CH-1762 Givisiez

Mandant

Geotest SA
Jonathan Menetrey
Rue Jean Prouvé 14
CH-1762 Givisiez

Laboratoire d'essai

N° de rapport: 08.211 GT 341 C
N° de mandat: 08.211
Date: 30.10.2024
Auteur: dr
Destinataire: Mandant

Matériau testé / programme d'essais

Données du mandant

N° d'échantillon: **F14/24**
Désignation: **Fluvioglaciaire 3**
Lot de chantier: Marly-Matran nouvelle Jonction
Provenance: F14/24
Lieu de prélèvement: profondeur 14.6-14.9m
Mode d'excavation: -
Date de prélèvement: 08.10.2024
Prélevé par: Mandant
Remarques:

Données du laboratoire

Chef de projet: fog Visa: wy
Date de livraison: 10.10.2024
Date de début de l'essai: 11.10.2024
Communication des résultats: Document pdf au mandant
Conditionnement de l'échantillon: cf. feuille Résultats
Classe gran. / N° de Labo: 0/X: 24.1318

Remarques

Programme d'essais

Essai		Classe granulaire [mm]			
		0/16	0/22.4	0/45	0/X
Analyse granulométrique	G	-	-	-	X
Teneur en eau	w	-	-	-	X
Teneur en fines	f	-	-	-	X
Coefficient d'aplatissement	FI	-	-	-	-
Teneur en grains concassés	C	-	-	-	-
Masse volum. réelle et coeff. d'absorption d'eau	P_{rd} / WA_{24}	-	-	-	-
Test Los Angeles	LA	-	-	-	-
Classification des composantes		-	-	-	-
Documentation photo		-	-	-	-
Analyses chimiques	AS/ S/ SS	-	-	-	-
Essai Proctor	W_{opt}	-	-	-	-
Essais CBR	CBR, CBR ₂ , CBR _F	-	-	-	-
Perméabilité	k	-	-	-	-
Sédimentométrie		-	-	-	X
Limites de consistance selon Atterberg	lp	-	-	-	X
Classification USCS		-	-	-	X
Essai oedométrique		-	-	-	-
Autres essais		-	-	-	-
Remarques, essais complémentaires:					

Folco Giacomini

Folco Giacomini, géologue Dr sc. nat.
Chef section laboratoire

Ce rapport d'analyse comprend: 2 Pages et 0 annexes

Les essais homologués selon la norme ISO/IEC 17025 sont signalés par notre logo STS dans les rapports d'analyses.



La reproduction même partielle des rapports d'analyses n'est pas autorisée sans le consentement de TransGeo AG. Les résultats portent uniquement sur les échantillons étudiés.

Échantillons de sol - Terrains meubles

Matériau testé

Données du mandant

N° d'échantillon: **F14/24**
 Désignation: **Fluvioglacière 3**
 Lot de chantier: Marly-Matran nouvelle Jonction
 Provenance: F14/24
 Lieu de prélèvement: profondeur 14.6-14.9m
 Mode d'excavation: -
 Date de prélèvement: 08.10.2024
 Prélevé par: Mandant
 Remarques:

Données du laboratoire

Opérateur: nm/sf/ta Visa: fog
 Date de livraison de l'échantillon: 10.10.2024
 Date de début de l'essai: 11.10.2024
 Communication des résultats: Document pdf au mandant
 Conditionnement de l'échantillon: Selon la norme
 Classe gran. / N° de Labo: 0/X: 24.1318
 Remarques:

Tamis / dg*	Passant	Granulometrie & Sédimentometrie			
[mm]	[M-%]	SN EN 933-1: 2013	SN EN ISO 17892-4: 2018		
500				Pierres + Blocs [M-% > 63 mm]: 15.1	
400				Gravier [M-% > 2mm < 63 mm]: 30.2	
300					
200					
125					
⇒ 90	100.0				
63	84.9				
⇒ 45	84.9				
31.5	83.9				
⇒ 22.4	82.5				
16	79.6				
⇒ 11.2	76.2				
8	72.2				
⇒ 5.6	67.5				
4	63.2				
⇒ 2	54.7				
⇒ 1	45.9				
⇒ 0.5	36.2				
0.25	23.5				
0.125	14.6				
⇒ 0.063	10.7				
0.044	8.9				
0.030	8.1				
0.021	7.4				
0.015	6.8				
0.010	5.8				
0.005	4.2				
0.0030	3.4				
0.0015	2.4				

Analyses supplémentaires w, FI				
Teneur en eau w [M-%]: SN EN 933-3: 2013	7.8	Masse totale sèche [kg]:	-	
Classe granulométrique [mm]				
4/8	8/16	16/32	32/100	Total
Aplatissement FI : SN EN 1097-2: 2021	-	-	-	-

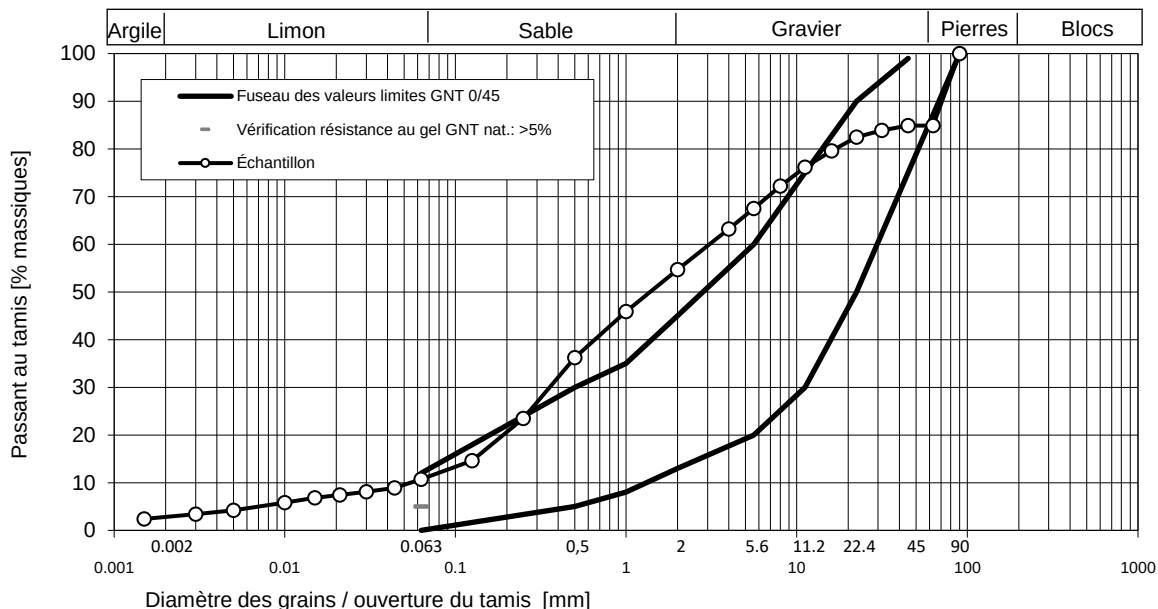
Limites de consistance & classification USCS			
SN EN ISO 17892-12: 2023	VSS 670 004-2b - 670 008 (non valide): 1997		
Limite de liquidité (Casagrande Verfahren) WL [%]:	16.6		
Limite de plasticité Wp [%]:	14.4		
Indice de lasticité Ip [%]:	2.2	Remarques:	
Calssification (USCS):	GP-GM		

Légende: ⇒ 2 tamis décisif

Tamis / dg*: tamis / diamètre des grains

Argile°: valeur calculée

Légende: ⇒ 2 tamis décisis Tamis / dg*: tamis / diamètre des grains Argile°: valeur calculée



Légende: ⇒ tamis décisis Tamis / dg*: tamis / diamètre des grains Argile°: valeur calculée

Rapport d'analyses

Granulats pour graves non traités / sols

Projet: 2517053 Marly-Matran, nouvelle jonction

Mandat: Geotest SA, CH-1762 Givisiez

Mandant

Geotest SA
Jonathan Menetrey
Rue Jean Prouvé 14
CH-1762 Givisiez

Laboratoire d'essai

N° de rapport: 08.211 GT 341 D
N° de mandat: 08.211
Date: 30.10.2024
Auteur: dr
Destinataire: Mandant

Matériau testé / programme d'essais

Données du mandant

N° d'échantillon: **F15/24**
Désignation: **Fluvioglacière 1**
Lot de chantier: Marly-Matran nouvelle Jonction
Provenance: F15/24
Lieu de prélèvement: profondeur 14.6-15.1m
Mode d'excavation: -
Date de prélèvement: 08.10.2024
Prélevé par: Mandant
Remarques:

Données du laboratoire

Chef de projet: fog Visa: wy
Date de livraison: 10.10.2024
Date de début de l'essai: 11.10.2024
Communication des résultats: Document pdf au mandant
Conditionnement de l'échantillon: cf. feuille Résultats
Classe gran. / N° de Labo: 0/X: 24.1319

Remarques

Programme d'essais

Essai		Classe granulaire [mm]			
		0/16	0/22.4	0/45	0/X
Analyse granulométrique	G	-	-	-	X
Teneur en eau	w	-	-	-	X
Teneur en fines	f	-	-	-	X
Coefficient d'aplatissement	FI	-	-	-	-
Teneur en grains concassés	C	-	-	-	-
Masse volum. réelle et coeff. d'absorption d'eau	P_{rd} / W_{A24}	-	-	-	-
Test Los Angeles	LA	-	-	-	-
Classification des composantes		-	-	-	-
Documentation photo		-	-	-	-
Analyses chimiques	AS/ S/ SS	-	-	-	-
Essai Proctor	W_{opt}	-	-	-	-
Essais CBR	CBR, CBR ₂ , CBR _F	-	-	-	-
Perméabilité	k	-	-	-	-
Sédimentométrie		-	-	-	X
Limites de consistance selon Atterberg	lp	-	-	-	X
Classification USCS		-	-	-	X
Essai oedométrique		-	-	-	-
Autres essais		-	-	-	-

Remarques, essais complémentaires:

Folco Giacomini

Folco Giacomini, géologue Dr sc. nat.
Chef section laboratoire

Ce rapport d'analyse comprend: 2 Pages et 0 annexes

Les essais homologués selon la norme ISO/IEC 17025 sont signalés par notre logo STS dans les rapports d'analyses.



La reproduction même partielle des rapports d'analyses n'est pas autorisée sans le consentement de TransGeo AG. Les résultats portent uniquement sur les échantillons étudiés.

Échantillons de sol - Terrains meubles

Matériau testé

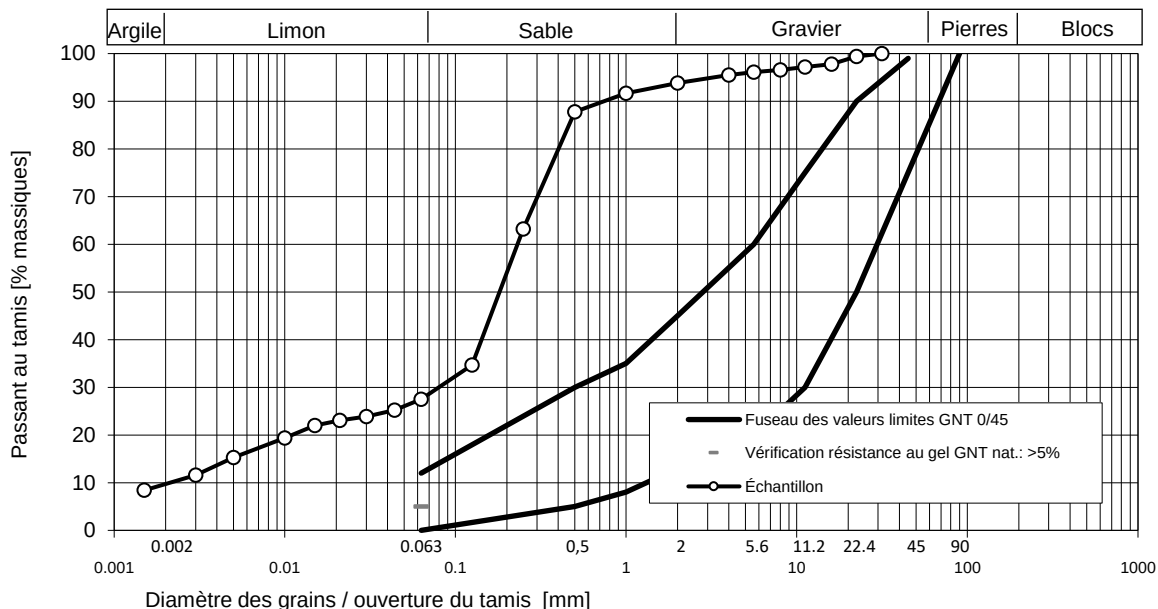
Données du mandant

N° d'échantillon: **F15/24**
 Désignation: **Fluvioglacière 1**
 Lot de chantier: Marly-Matran nouvelle Jonction
 Provenance: F15/24
 Lieu de prélèvement: profondeur 14.6-15.1m
 Mode d'excavation: -
 Date de prélèvement: 08.10.2024
 Prélevé par: Mandant
 Remarques:

Données du laboratoire

Opérateur: nm/sf/ta Visa: fog
 Date de livraison de l'échantillon: 10.10.2024
 Date de début de l'essai: 11.10.2024
 Communication des résultats: Document pdf au mandant
 Conditionnement de l'échantillon: Selon la norme
 Classe gran. / N° de Labo: 0/X: 24.1319
 Remarques:

Tamis / dg* [mm]	Passant [M-%]	Granulometrie & Sédimentometrie SN EN 933-1: 2013 SN EN ISO 17892-4: 2018		Analyses supplémentaires w, FI		Limites de consistance & classification USCS	
500		Gravier [M-% > 2mm]: 6.2		Pierres + Blocs [M-% > 63 mm]:		SN EN ISO 17892-12: 2023 VSS 670 004-2b - 670 008 (non valide): 1997	
400		Sable [M-% > 0.063mm - < 2mm]: 66.3		Gravier [M-% > 2mm - < 63 mm]: 6.2		Limite de liquidité (Casagrande Verfahren) WL [%]: 13.5	
300		Teneur en fines f [M-% < 0.063mm]: 27.5		Argile° [M-% < 0.002 mm]: 9.5		Limite de plasticité Wp [%]: 12.8	
200						Indice delasticité Ip [%]: 0.7	
125						Calssification (USCS): SM	
90							
63	100.0						
45	99.4						
31.5	97.8						
22.4	97.2						
16	96.6						
11.2	96.1						
8	95.5						
5.6	93.8						
4	91.7						
2	87.8						
1	87.8						
0.5	87.8						
0.25	63.2						
0.125	34.7						
0.063	27.5						
0.044	25.2						
0.030	23.9						
0.021	23.1						
0.015	22.0						
0.010	19.4						
0.005	15.3						
0.0030	11.6						
0.0015	8.4						



Légende: ⇨ tamis décisis Tamis / dg*: tamis / diamètre des grains Argile°: valeur calculée

Rapport d'analyses

Granulats pour graves non traités / sols

Projet: 2517053 Marly-Matran, nouvelle jonction

Mandat: Geotest SA, CH-1762 Givisiez

Mandant

Geotest SA
Jonathan Menetrey
Rue Jean Prouvé 14
CH-1762 Givisiez

Laboratoire d'essai

N° de rapport: 08.211 GT 341 E
N° de mandat: 08.211
Date: 30.10.2024
Auteur: dr
Destinataire: Mandant

Matériau testé / programme d'essais

Données du mandant

N° d'échantillon: **F15/24**
Désignation: **Fluvioglacière 2**
Lot de chantier: Marly-Matran nouvelle Jonction
Provenance: F15/24
Lieu de prélèvement: profondeur 17.0-17.4m
Mode d'excavation: -
Date de prélèvement: 08.10.2024
Prélevé par: Mandant
Remarques:

Données du laboratoire

Chef de projet: fog Visa: wy
Date de livraison: 10.10.2024
Date de début de l'essai: 11.10.2024
Communication des résultats: Document pdf au mandant
Conditionnement de l'échantillon: cf. feuille Résultats
Classe gran. / N° de Labo: 0/X: 24.1320

Remarques

Programme d'essais

Essai		Classe granulaire [mm]			
		0/16	0/22.4	0/45	0/X
Analyse granulométrique	G	-	-	-	X
Teneur en eau	w	-	-	-	X
Teneur en fines	f	-	-	-	X
Coefficient d'aplatissement	FI	-	-	-	-
Teneur en grains concassés	C	-	-	-	-
Masse volum. réelle et coeff. d'absorption d'eau	P_{rd} / WA_{24}	-	-	-	-
Test Los Angeles	LA	-	-	-	-
Classification des composantes		-	-	-	-
Documentation photo		-	-	-	-
Analyses chimiques	AS/ S/ SS	-	-	-	-
Essai Proctor	W_{opt}	-	-	-	-
Essais CBR	CBR, CBR ₂ , CBR _F	-	-	-	-
Perméabilité	k	-	-	-	-
Sédimentométrie		-	-	-	X
Limites de consistance selon Atterberg	lp	-	-	-	X
Classification USCS		-	-	-	X
Essai oedométrique		-	-	-	-
Autres essais		-	-	-	-
Remarques, essais complémentaires:					

Folco Giacomini

Folco Giacomini, géologue Dr sc. nat.
Chef section laboratoire

Ce rapport d'analyse comprend: 2 Pages et 0 annexes

Les essais homologués selon la norme ISO/IEC 17025 sont signalés par notre logo STS dans les rapports d'analyses.



La reproduction même partielle des rapports d'analyses n'est pas autorisée sans le consentement de TransGeo AG. Les résultats portent uniquement sur les échantillons étudiés.

Échantillons de sol - Terrains meubles

Matériau testé

Données du mandant

N° d'échantillon: **F15/24**
 Désignation: **Fluvioglaciaire 2**
 Lot de chantier: Marly-Matran nouvelle Jonction
 Provenance: F15/24
 Lieu de prélèvement: profondeur 17.0-17.4m
 Mode d'excavation: -
 Date de prélèvement: 08.10.2024
 Prélevé par: Mandant
 Remarques:

Données du laboratoire

Opérateur: nm/sf/ta Visa: fog
 Date de livraison de l'échantillon: 10.10.2024
 Date de début de l'essai: 11.10.2024
 Communication des résultats: Document pdf au mandant
 Conditionnement de l'échantillon: Selon la norme
 Classe gran. / N° de Labo: 0/X: 24.1320
 Remarques:

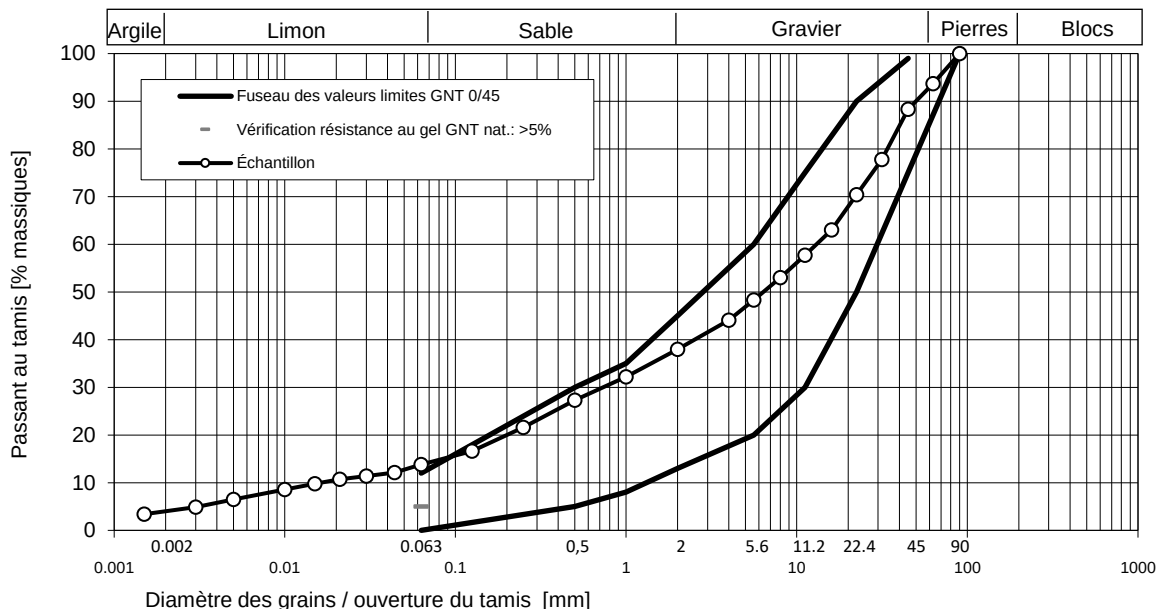
Tamais / dg*	Passant	Granulometrie & Sédimentometrie	
[mm]	[M-%]	SN EN 933-1: 2013	SN EN ISO 17892-4: 2018
500			
400			
300			
200			
125			
⇒ 90	100.0		
⇒ 63	93.7		
⇒ 45	88.3		
31.5	77.8		
⇒ 22.4	70.4		
16	63.0		
⇒ 11.2	57.7		
⇒ 8	53.0		
⇒ 5.6	48.3		
4	44.1		
⇒ 2	38.0		
⇒ 1	32.2		
⇒ 0.5	27.3		
0.25	21.6		
⇒ 0.125	16.6		
⇒ 0.063	13.8		
0.044	12.1		
0.030	11.4		
0.021	10.7		
0.015	9.8		
0.010	8.6		
0.005	6.5		
0.0030	4.9		
0.0015	3.4		

Gravier [M-% > 2mm]:	62.0	Pierres + Blocs [M-% > 63 mm]:	6.3
Sable [M-% > 0.063mm - < 2mm]:	24.2	Gravier [M-% > 2mm - < 63 mm]:	55.7
Teneur en fines f [M-% < 0.063mm]:	13.8	Argile° [M-% < 0.002 mm]:	3.9

Teneur en eau w [M-%]:	SN EN 933-3: 2013	6.8	Masse totale sèche [kg]:	-
Aplatissement FI : SN EN 1097-2: 2021				

Limites de consistance & classification USCS				
SN EN ISO 17892-12: 2023	VSS 670 004-2b - 670 008 (non valide): 1997			
Limite de liquidité (Casagrande Verfahren) WL [%]:	17.4			
Limite de plasticité Wp [%]:	12.8			
Indice delasticité Ip [%]:	4.6			
Classification (USCS):	GC-GM			

Légende: ⇒ 2 tamis décisis Tamis / dg*: tamis / diamètre des grains Argile°: valeur calculée



Légende: ⇒ tamis décisis Tamis / dg*: tamis / diamètre des grains Argile°: valeur calculée



Rapport d'analyses roche- / matériaux d'excavation

Projet: 2517053 Marly-Matranne, nouvell jonction

Mandat: Geotest SA, CH-1762 Givisiez

Mandant:

Geotest SA
Jonathan Menetrey
Rue Jean Prouvé 14
CH-1762 Givisiez

Laboratoire d'essai:

N° de rapport: 08.211 GT 341 F
N° de mandat: 08.211
Date: 16.10.2024
Auteur: fog
Destinataire: mandant

Matériau testé / programme d'essais

Données du mandant

N° d'échantillon: **F13/24 Molasse**
Désignation: **Carotte**
Lot de chantier: Marly-Matran nouvelle Jonction
Provenance: F13/24
Lieu de prélèvement: profondeur 5.40-5.75m
Mode d'excavation: Carotage
Date de prélèvement: 08.10.2024
Prélevé par: Mandant
Remarques:

Données du laboratoire

Chef de projet: fog Visa: wy
Date de livraison: 10.10.2024
Date de début de l'essai: 11.10.2024
Communication des résultats: Document pdf au mandant
Conditionnement de l'échantillon: cf. feuille Résultats
N° de labo.: 24.1321

Remarques -

Programme d'essais

Essai

Abrasivité- Broyabilité	ABR / BR	-
Index Point Load	PLT I _{SS0}	-
Compression simple uniaxiale	σ_c	X
Module d'élasticité	E_b	-
Traction indirecte	σ_t	-
Résistance à la flexion	R_{ff}	-
Analyse granulométrique	G	-
Teneur en eau	w	-
Teneur en fines	f	-
Coefficient d'aplatissement	A	-
Analyse pétrographique microscopique (lame mince)		-
Analyse pétrographique		-
Eléments de nature pétrographique impropres à l'usage		-
RAG, essai microbar		-
Masse volum. réelle et coeff. d'absorption d'eau	P_{rd} / WA_{24}	-
Documentation photographique		X
Résistance au gel-dégel	F	-
Résistance au gel-dégel en présence de sel		-
Abrasivité CERCHAR	CAI	-
Autres essais		
Remarques, essais complémentaires:		

Folco Giacomini

Folco Giacomini, dr sc. nat., géologue

Directeur de secteur

Ce rapport d'analyse comprend: 3 Pages et 0 annexes

Les essais homologués selon la norme ISO/IEC 17025 sont signalés par notre logo STS dans les rapports d'analyses



La reproduction même partielle des rapports d'analyses n'est pas autorisée sans le consentement de TransGeo AG. Les résultats portent uniquement sur les échantillons étudiés.

Projet: 2517053 Marly-Matranne, nouvell jonction

Mandat: Geotest SA, CH-1762 Givisiez

Résistance à la compression uniaxiale, roche

VSS 70353: 2019



Matériau testé

Données mandant

N° d'échantillon: **F13/24 Molasse**
Désignation: **Carotte**
Lot de chantier: Marly-Matran nouvelle Jonction
Provenance: F13/24
Lieu de prélèvement: profondeur 5.40-5.75m
Mode d'excavation: Carotage
Date de prélèvement: 08.10.2024
Prélevé par: Mandant
Remarques:

Données laboratoire

Opérateur: fog Visum: wy
Date de livraison de l'échantillon: 10.10.2024
Date de début de l'essai: 11.10.2024
Communication des résultats: Document pdf aux destinataires
Conditionnement de l'échantillon: selon norme
N° de labo: 24.1321
Prélèvement des échantillons: mandant
Echantillon testé: Carottes
Remarques

Données éprouvette et conditions d'analyse

Description pétrographique de la roche: Grès de Molasse

Teneur en eau à la livraison [M-%]: -

Orientation des anisotropies: couche de sédimentation entrecroisée approx. perpendiculaires à l'axe de la carotte

Traitement de la surface: scié, rectifié

Rectangularité de l'éprouvette: conforme

Surface latérale: régulière

Orientation de la charge: perpendiculaire à l'axe de la carotte

Vitesse de charge: 0.6 MPa/s

Conditionnement de l'éprouvette: séchée à 70°C

Résultats de l'essai

Éprouv.	Dimensions		Rapport L/D	Surface A	Masse volumique (humide)	Force F_{max}	Résistance à compression		Orientation de la charge sur l'anisotropie, type de fracture, remarques
	d	L					σ_{ca}	σ_c^*	
Nr.	[mm]	[mm]		[mm ²]	[kg/m ³]	[kN]	[MPa]	[MPa]	
F13/24 Mol.	94.8	188.4	1.99	7055	2389	293.4	41.6	41.6	type de fracture normale
Moyenne					-	-	-	-	
Écart type					-	-	-	-	

Abréviation

n.a.: non analysé / Orientation de la charge: I: isotrope, S: perpendiculaire, P: parallèle, A30°: angle de 30° / tfn: type de fracture normale

* Résistance à compression σ_{ca} corrigée sur rapport L/D 2.0

Projet: 2517053 Marly-Matranne, nouvell jonction

Mandat: Geotest SA, CH-1762 Givisiez

Documentation photographique

procédure TransGeo: 2004

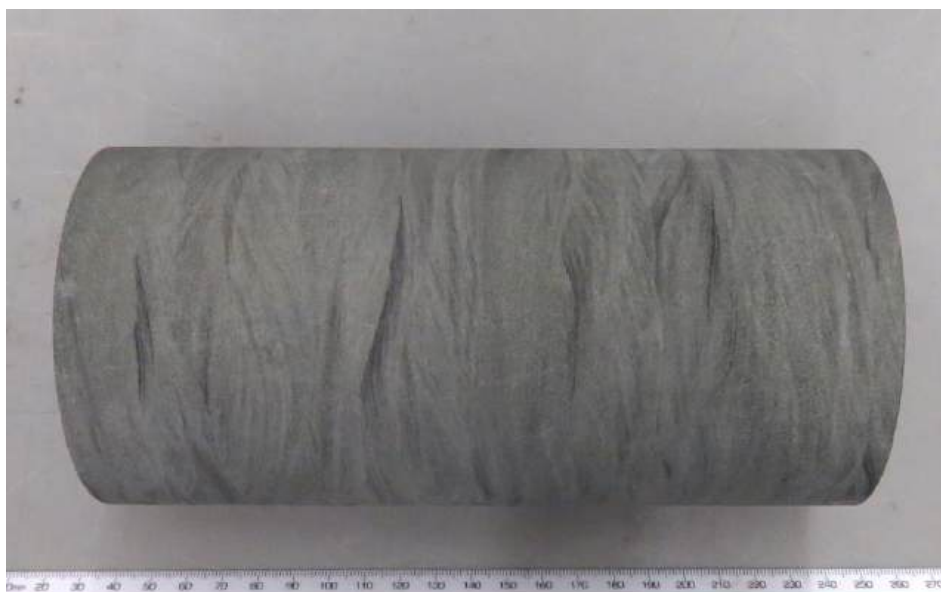
Matériau testé

Données mandant

N° d'échantillon: **F13/24 Molasse**
Désignation: **Carotte**
Lot de chantier: **Marly-Matran nouvelle Jonction**
Provenance: **F13/24**
Lieu de prélèvement profondeur 5.40-5.75m
Mode d'excavation: **Carotage**
Date de prélèvement: **08.10.2024**
Prélevé par: **Mandant**
Remarques:

Données laboratoire

Opérateur: **fog** Visum: **wy**
Date de livraison de l'échantillon: **10.10.2024**
Date de début de l'essai: **11.10.2024**
Communication des résultats: **Document pdf aux destinataires**
Conditionnement de l'échantillon: **selon norme**
N° de labo: **F13/24 Mol. 24.1321**
Prélèvement des échantillons: **mandant**
Echantillon testé: **Carottes**
Remarques



avant l'essai



après l'essai

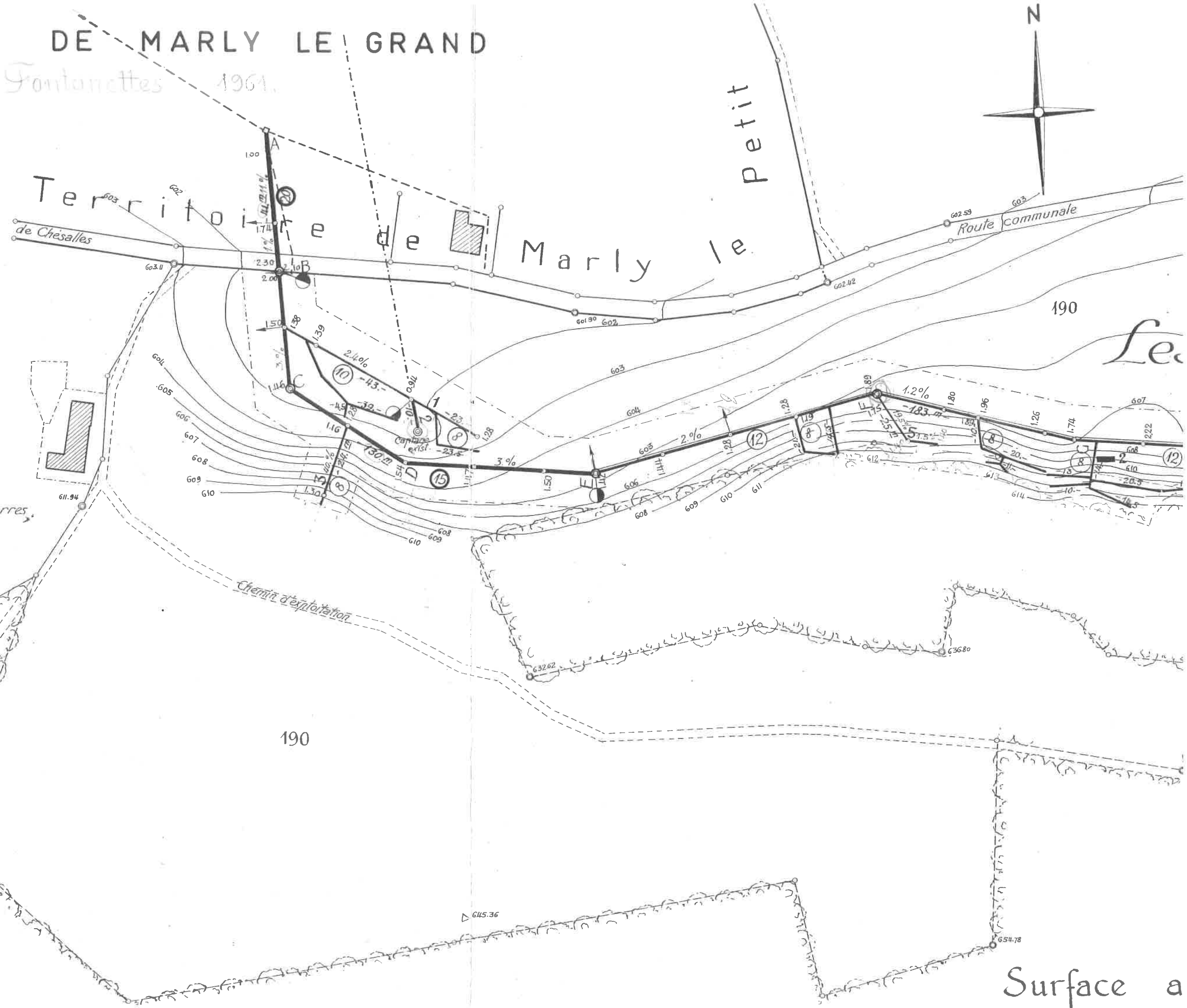
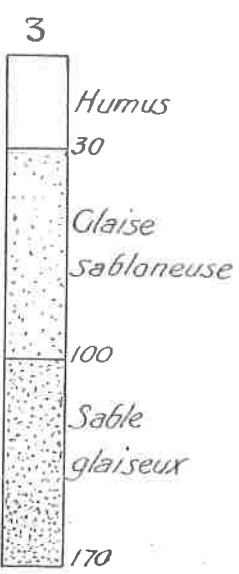
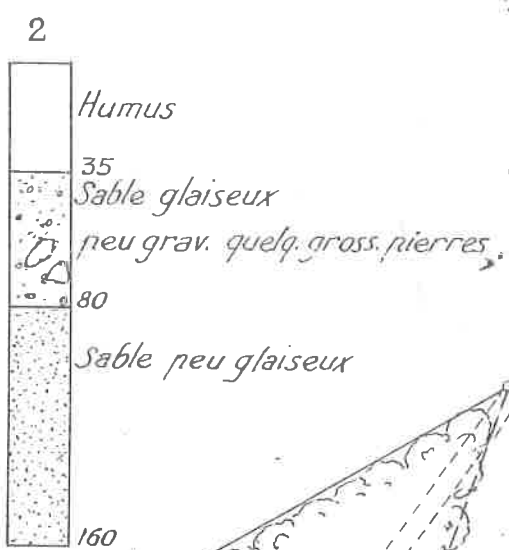
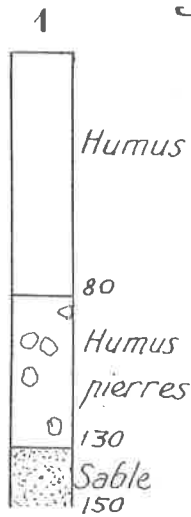
Annexe 8

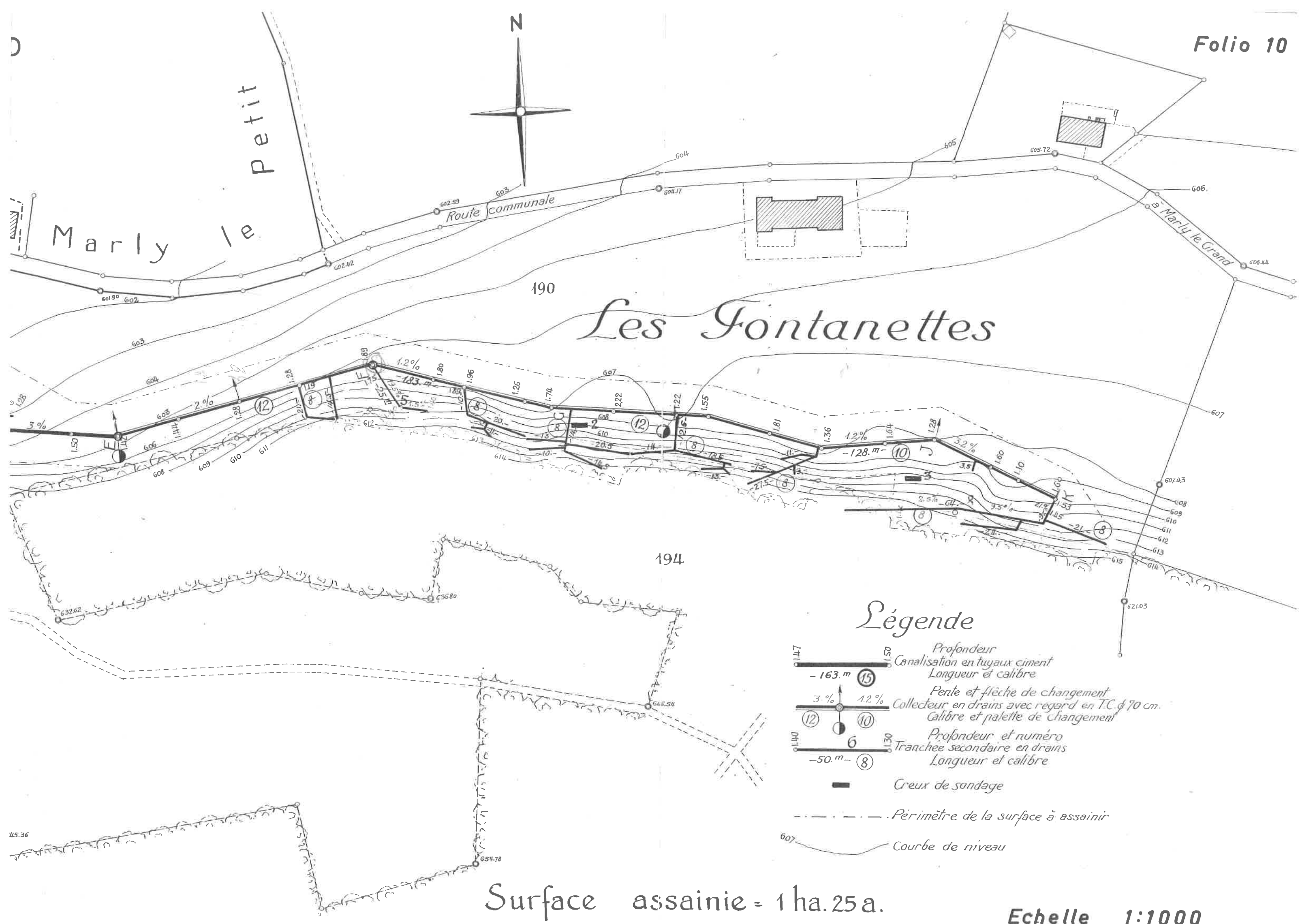
Drainages Fontanettes

COMMUNE DE MARLY LE GRAND

drainage "Les Fontinettes" 1961.

Sondages





Annexe 9

Photos aériennes

2517053.4c Marly-Matran, Nouvelle liaison

Photos aériennes secteur Gros Essert et Vallon de Chésalles

Année 1943



Année 1968



Annexe 9

Année 1974



Année 1981

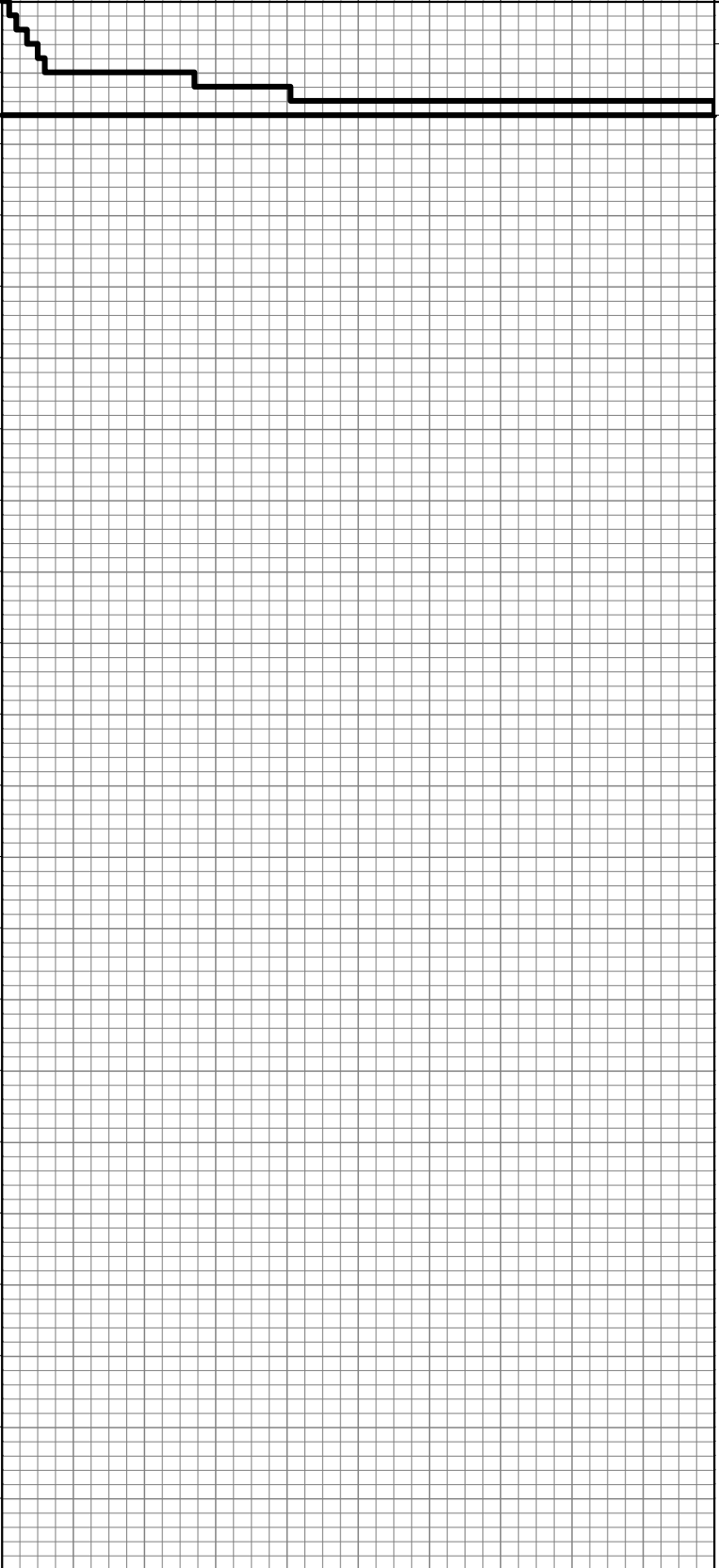


Annexe 10

Pénétromètres

Date: 10.10.2018		Mandat No.: 2517053.4		GEOTEST GEOLOGIE / INGENIERIE / GEOPHYSIQUE / ENVIRONNEMENT	
Objet: Marly-Matran, Nouvelle jonction, Géotechnique					
Type: VAWE selon SN 670 314 (non tubé, pointe 10 cm ² , masse 30 kg, hauteur de chute 20 cm)					
F		Nombre de coups après le retrait de la sonde (frottement latéral)		Sondage au pénétromètre P 01/18	
C		Crissement pendant le retrait de la sonde (caractéristique pour le gravier)			
LC		Léger crissement			
Altitude du terrain env.: 610.40 m s.m.		Coordonnées env.: 2°57'8"178 / 1°18'0"140			
éch. = 1:100 Tube hors terrain: m	Piézomètre Ø "	Echantillons	Profondeur [m]	Nombre de coups pour 20 cm de pénétration 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200	Remarques
					F
	▽609.59 10.10.2018		1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21	LC 11 cm	
opérateur: Dd dessinateur: Mas					

Date: 10.10.2018		Mandat No.: 2517053.4		GEOTEST GÉOLOGIE / INGENIERIE / GÉOPHYSIQUE / ENVIRONNEMENT	
Objet: Marly-Matran, Nouvelle jonction, Géotechnique					
Type: VAWE selon SN 670 314 (non tubé, pointe 10 cm ² , masse 30 kg, hauteur de chute 20 cm)					
F Nombre de coups après le retrait de la sonde (frottement latéral) C Crissement pendant le retrait de la sonde (caractéristique pour le gravier) LC Léger crissement					
Altitude du terrain env.: 606.14 m s.m.		Coordonnées env.: 2'578'192 / 1'180'145		Sondage au pénétromètre P 02/18	
éch. = 1:100 Tube hors terrain: m	Piézomètre Ø "	Echantillons	Profondeur [m]	Nombre de coups pour 20 cm de pénétration 20406080100120140160180200	Remarques
					F Pénétration
	Sec		1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21	LC 17 cm	
opérateur: Dd dessinateur: Mas					

Date: 10.10.2018		Mandat No.: 2517053.4		GEOTEST GÉOLOGIE / INGENIERIE / GÉOPHYSIQUE / ENVIRONNEMENT		
Objet: Marly-Matran, Nouvelle jonction, Géotechnique						
Type: VAWE selon SN 670 314 (non tubé, pointe 10 cm ² , masse 30 kg, hauteur de chute 20 cm)				Sondage au pénétromètre P 03/18		
F Nombre de coups après le retrait de la sonde (frottement latéral) C Crissement pendant le retrait de la sonde (caractéristique pour le gravier) LC Léger crissement						
Altitude du terrain env.: 610.30 m s.m. Coordonnées env.: 2°57'8"210 / 1°18'0"130						
éch. = 1:100 Tube hors terrain: m	Pézomètre Ø "	Echantillons	Profondeur [m]	Nombre de coups pour 20 cm de pénétration		Remarques
				20 40 60 80 100 120 140 160 180 200		F Pénétration
opérateur: Dd dessinateur: Mas	Sec		1			LC 8 cm
			2			
			3			
			4			
			5			
			6			
			7			
			8			
			9			
			10			
			11			
			12			
			13			
			14			
			15			
			16			
			17			
			18			
			19			
			20			
			21			

Date: 10.10.2018		Mandat No.: 2517053.4		GEOTEST GÉOLOGIE / INGENIERIE / GÉOPHYSIQUE / ENVIRONNEMENT Sondage au pénétromètre P 04/18			
Objet: Marly-Matran, Nouvelle jonction, Géotechnique							
Type: VAWE selon SN 670 314 (non tubé, pointe 10 cm ² , masse 30 kg, hauteur de chute 20 cm)							
F Nombre de coups après le retrait de la sonde (frottement latéral) C Crissement pendant le retrait de la sonde (caractéristique pour le gravier) LC Léger crissement							
Altitude du terrain env.: 607.20 m s.m.		Coordonnées env.: 2°57'227 / 1°18'141					
éch. = 1:100 Tube hors terrain: m	Piézomètre Ø "	Echantillons	Profondeur [m]	Nombre de coups pour 20 cm de pénétration		Remarques F Pénétration	
				20 40 60 80 100 120 140 160 180 200			
				1			LC
				2			
				3			
				4			LC
				5			15 cm
				6			
				7			
				8			
				9			
				10			
				11			
				12			
				13			
				14			
				15			
				16			
				17			
				18			
19							
20							
21							
opérateur: Dd dessinateur: Mas							

Date: 10.10.2018		Mandat No.: 2517053.4		GEOTEST GÉOLOGIE / INGENIERIE / GÉOPHYSIQUE / ENVIRONNEMENT Sondage au pénétromètre P 06/18	
Objet: Marly-Matran, Nouvelle jonction, Géotechnique					
Type: VAWE selon SN 670 314 (non tubé, pointe 10 cm ² , masse 30 kg, hauteur de chute 20 cm)					
F	Nombre de coups après le retrait de la sonde (frottement latéral)				
C	Crissement pendant le retrait de la sonde (caractéristique pour le gravier)				
LC	Léger crissement				
Altitude du terrain env.: 613.00 m s.m.		Coordonnées env.: 2'578'251 / 1'180'119			
éch. = 1:100 Tube hors terrain: m		Piézomètre Ø "	Echantillons	Profondeur [m]	Remarques Pénétration
		▽612.27 10.10.2018			

Date: 10.10.2018		Mandat No.: 2517053.4		GEOTEST GEOLOGIE / INGENIERIE / GEOPHYSIQUE / ENVIRONNEMENT		
Objet: Marly-Matran, Nouvelle jonction, Géotechnique						
Type: VAWÉ selon SN 670 314 (non tubé, pointe 10 cm ² , masse 30 kg, hauteur de chute 20 cm)				Sondage au pénétromètre P 08/18		
F Nombre de coups après le retrait de la sonde (frottement latéral) C Crissement pendant le retrait de la sonde (caractéristique pour le gravier) LC Léger crissement						
Altitude du terrain env.: 606.30 m s.m. Coordonnées env.: 2°57'339 / 1°18'112						
éch. = 1:100 Tube hors terrain: m	Piézomètre Ø "	Echantillons Profondeur [m]	Nombre de coups pour 20 cm de pénétration			Remarques F Pénétration
605.89 10.10.2018		1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21				LC 16 cm
opérateur: Dd						
dessinateur: Mas						

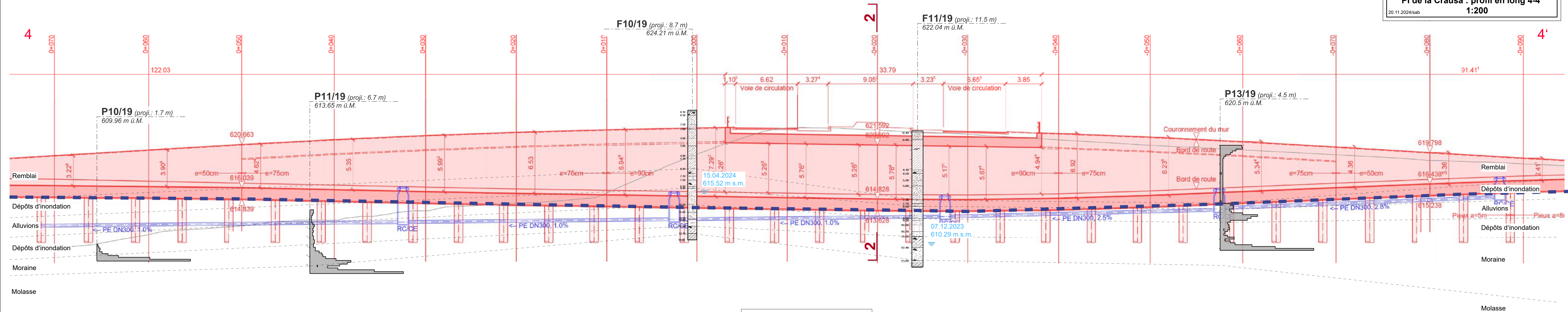
Date: 10.10.2018		Mandat No.: 2517053.4		GEOTEST GEOLOGIE / INGENIERIE / GÉOPHYSIQUE / ENVIRONNEMENT	
Objet: Marly-Matran, Nouvelle jonction, Géotechnique					
Type: VAWÉ selon SN 670 314 (non tubé, pointe 10 cm ² , masse 30 kg, hauteur de chute 20 cm)				Sondage au pénétromètre P 09/18	
F Nombre de coups après le retrait de la sonde (frottement latéral) C Crissement pendant le retrait de la sonde (caractéristique pour le gravier) LC Léger crissement					
Altitude du terrain env.: 614.40 m s.m. Coordonnées env.: 2°57'8"340 / 1°18'0"097					
éch. = 1:100 Tube hors terrain: +0.28 m	Plézomètre ø 3/4"	Echantillons	Profondeur [m]	Nombre de coups pour 20 cm de pénétration 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200	Remarques F Pénétration
612.83 10.10.2018			1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21	20 40 60 80 100 120 140 160 180 200	C 6 cm
opérateur: Dd dessinateur: Mas					

Date: 10.10.2018		Mandat No.: 2517053.4		GEOTEST GEOLOGIE / INGENIERIE / GEOPHYSIQUE / ENVIRONNEMENT	
Objet: Marly-Matran, Nouvelle jonction, Géotechnique					
Type: VAWE selon SN 670 314 (non tubé, pointe 10 cm ² , masse 30 kg, hauteur de chute 20 cm)				Sondage au pénétromètre P 10/18	
F	Nombre de coups après le retrait de la sonde (frottement latéral)				
C	Crissement pendant le retrait de la sonde (caractéristique pour le gravier)				
LC	Léger crissement				
Altitude du terrain env.: 609.96 m s.m.		Coordonnées env.: 2°57'8"494 / 1°18'0"054			
éch. = 1:100 Tube hors terrain: m		Piézomètre Ø "	Echantillons	Profondeur [m]	Remarques
					F
Pointe blanche		sec		Nombre de coups pour 20 cm de pénétration 20406080100120140160180200 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 LC 14 cm	
opérateur: Dd dessinateur: Mas					

Date: 20.02.2019		Mandat No.: 2517053.4b		GEOTEST GÉOLOGIE / INGENIERIE / GÉOPHYSIQUE / ENVIRONNEMENT		
Objet: Marly-Matran, Nouvelle jonction, Géotechnique						
Type: DPSH-A (ultra lourd) selon EN ISO 22476-2:2005 (non tubé, pointe 16 cm², masse 63.5 kg, hauteur de chute 50 cm)				Sondage au pénétromètre P 13/19		
F	Nombre de coups après le retrait de la sonde (frottement latéral)					
C	Crissement pendant le retrait de la sonde (caractéristique pour le gravier)					
LC	Léger crissement					
Altitude du terrain env.: 620.50 m s.m.		Coordonnées env.: 2°578'606 / 1°180'031				
éch. = 1:100 Tube hors terrain: m		Piézomètre Ø "	Echantillons	Profondeur [m]	Nombre de coups pour 20 cm de pénétration 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100	Remarques F Pénétration
				1		LC
				2		
				3		1
				4		
				5		
				6		1
				7		
				8		
				9		4
				10		
				11		8 cm
				12		
				13		
				14		
				15		
				16		
				17		
				18		
				19		
				20		
				21		
opérateur: Dd dessinateur: Mas						

Annexe 11

Profil des ouvrages d'art avec géologie



Légende

♂

Venue d'eau

Limite de couche géologique

|||||

Niveau maximum mesuré

Radier de l'ouvrage

ETAT DE FREIBURG

STAAT FREIBURG

Direction de l'aménagement, de l'environnement et des constructions

Raumplanungs-, Umwelt- und Baudirektion

DAEC

RUBD

Service des ponts et chaussées

Tiefbauamt

SPC

TBA

Auteur du projet/ Projektverfasser

GEOTEST SA

RUE JEAN PROUVÉ 14

CASE POSTALE 49

CH-1762 GIVISIEZ

T + 41 (0)26 407 74 20

F + 41 (0)26 407 74 21

fribourg@geotest.ch

www.geotest.ch

Axe 1250 Marly-Matran

Marly et Hauterive, Nouvelle liaison routière Marly-Matran

33: Procédure de demande d'autorisation

Géologie

Profils en travers, Carrefour Crausa, km 0.000 à 0.025

Echelle/ Massstab	Axe	PR	Chantier	Objet	Numéro
1:100	1250	0 - 350	PCAM 10712	R	2517053-33-6001
Format :	Achse	BP	Baustelle	Objekt	Nummer

Ind.	Date/ Datum	Dess./ Zei.	Visum	Désignation/ Beschreibung	Visum MO/ BH
	03.09.2019	Pfy			
a	02.12.2020	Mas			
b					
c					

FRIBOURG, LE : L'AUTEUR DU PROJET :

km -0+025

F11/19
622.04

P13/19 (proj. 30m)
620.50

Légende

Dépôt artificiel, remblais

Colluvions ou Moraine rhodanienne et sarinienne

Dépôt d'inondation

Alluvions

Dépôts fluvioglaciaires

Toit rocher molassique

Niveau d'eau avec date

Venue d'eau

km -0+000

F10/19 (proj. 5m)
624.21

F9/17 (proj. 20m)
613.76

Légende

Dépôt artificiel, remblais

Colluvions ou Moraine rhodanienne et sarinienne

Dépôt d'inondation

Alluvions

Dépôts fluvioglaciaires

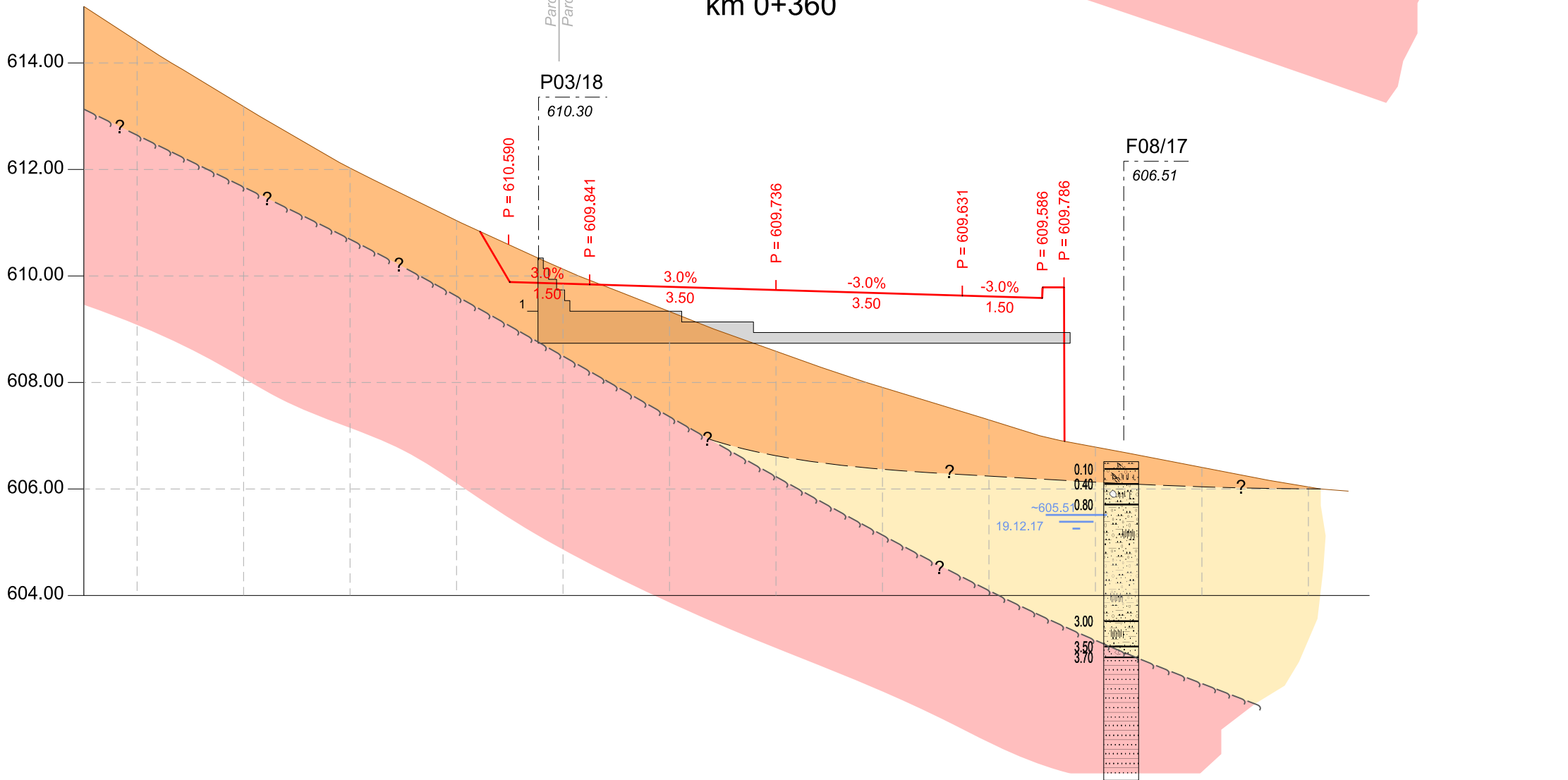
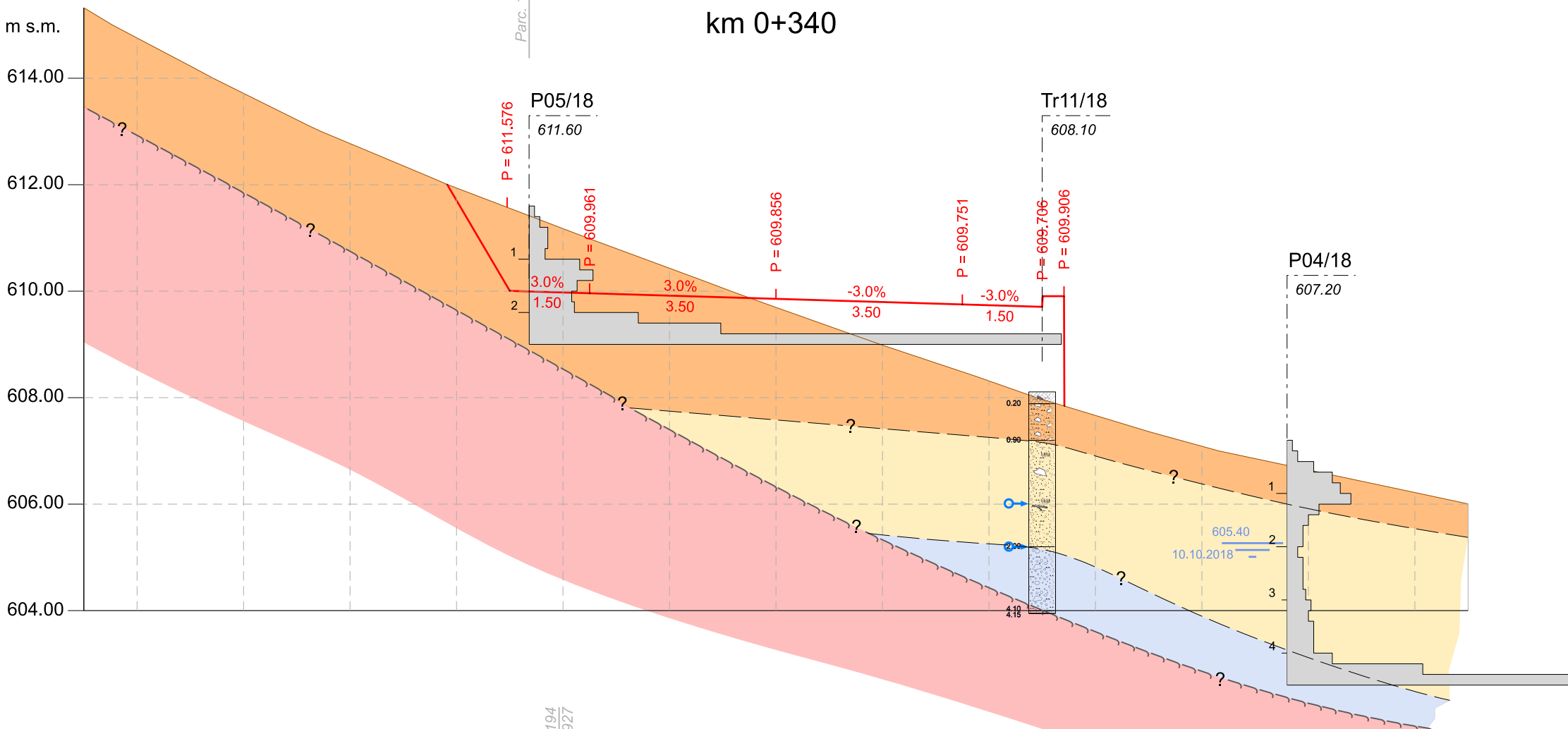
Toit rocher molassique

Niveau d'eau avec date

Venue d'eau

Annexe
11.2

 Version di



	F14/24	Forage carotté équipé d'un piézomètre
		Venue d'eau
		Limite de couche géologique
		Niveau maximum mesuré
	A-A'	Profil en long

Plan view of the bridge structure showing dimensions and construction limits. The bridge is oriented horizontally. Key features include:

- Dimensions:**
 - Overall length: 44.00
 - Span length: 22.00
 - Span width: 30.75
 - Span height: 4.00
 - Span width at ends: 6.00
 - Span height at ends: 3.75
 - Span width at ends (inner): 6.20
 - Span height at ends (inner): 5.50
 - Span width at ends (outer): 5.00
 - Span height at ends (outer): 1.50
- Construction Limits:** Indicated by red dashed lines and labeled "Limite de construction".
- Water Reserve:** Indicated by blue dashed lines and labeled "Espace réservé aux eaux".
- Bridge Axis:** Indicated by a red dashed line and labeled "Axe du pont".
- Structural Elements:**
 - Left pier: Labeled "F15/24".
 - Right pier: Labeled "F14/24".
 - Abutments: Labeled "A" and "A'".

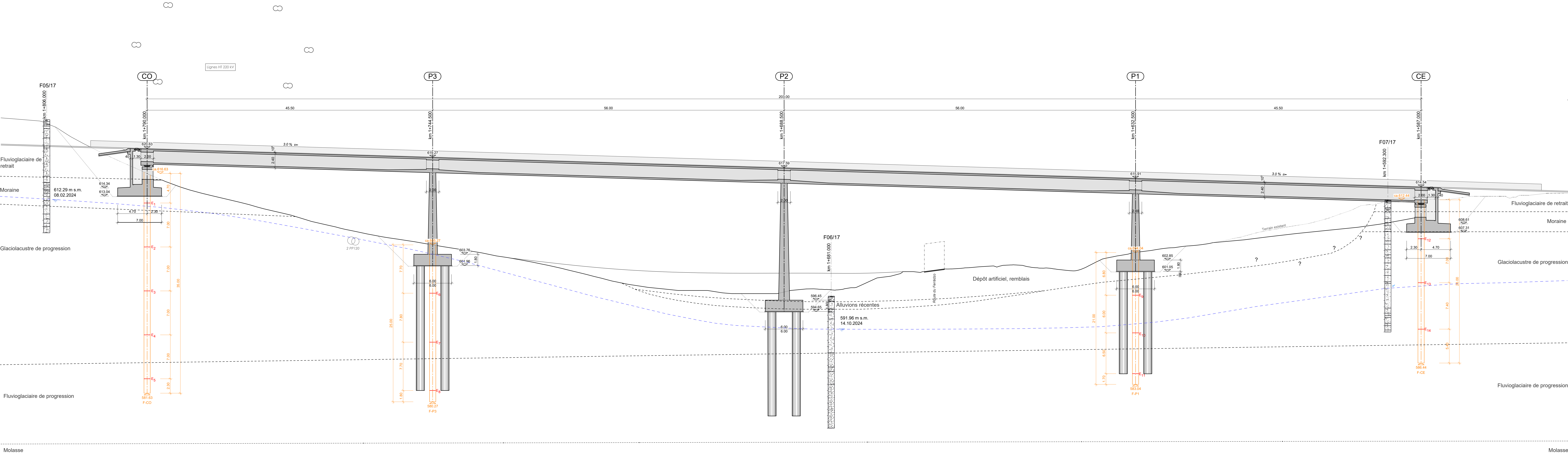
Mandat: Marly-Matran, Nouvelle liaison	No. 2517053.4c
Etude géologique - géotechnique	
Pont de Vuisserens Echelle 1 : 250	
20.11.2024/sab	



Légende:

 Forages supplémentaires F-CO
F-P3
F-P1
F-CE

 E_x Essais SPT / C_{un} (pénétromètre de poche)



ETAT DE FRIBOURG STAAT FREIBURG		Direction de l'aménagement, de l'environnement et des constructions Raumplanungs-, Umwelt- und Baudirektion		DAEC RUBD	Service des ponts et chaussées Tiefbauamt		SPC TBA
Auteur du projet/ Projektverfasser		Axe 1250 Marly-Matran, PR 0 - 350 Marly et Hauterive Nouvelle liaison routière Marly-Matran Avant-projet Plan Situation					
GEOTEST SA RUE JEAN PROUVÉ 14 CASE POSTALE 49 CH-1762 GIVISIEZ T + 41 (0)26 407 74 20 F + 41 (0)26 407 74 21 fribourg@geotest.ch www.geotest.ch							
Echelle/ Massstab							
1:2000							
171	Format : 52x30 cm	Achse	BP	Baustelle	Objekt	Nummer	
		1250	0 à 350	PCAM 10712	R	A2119-21-201a	

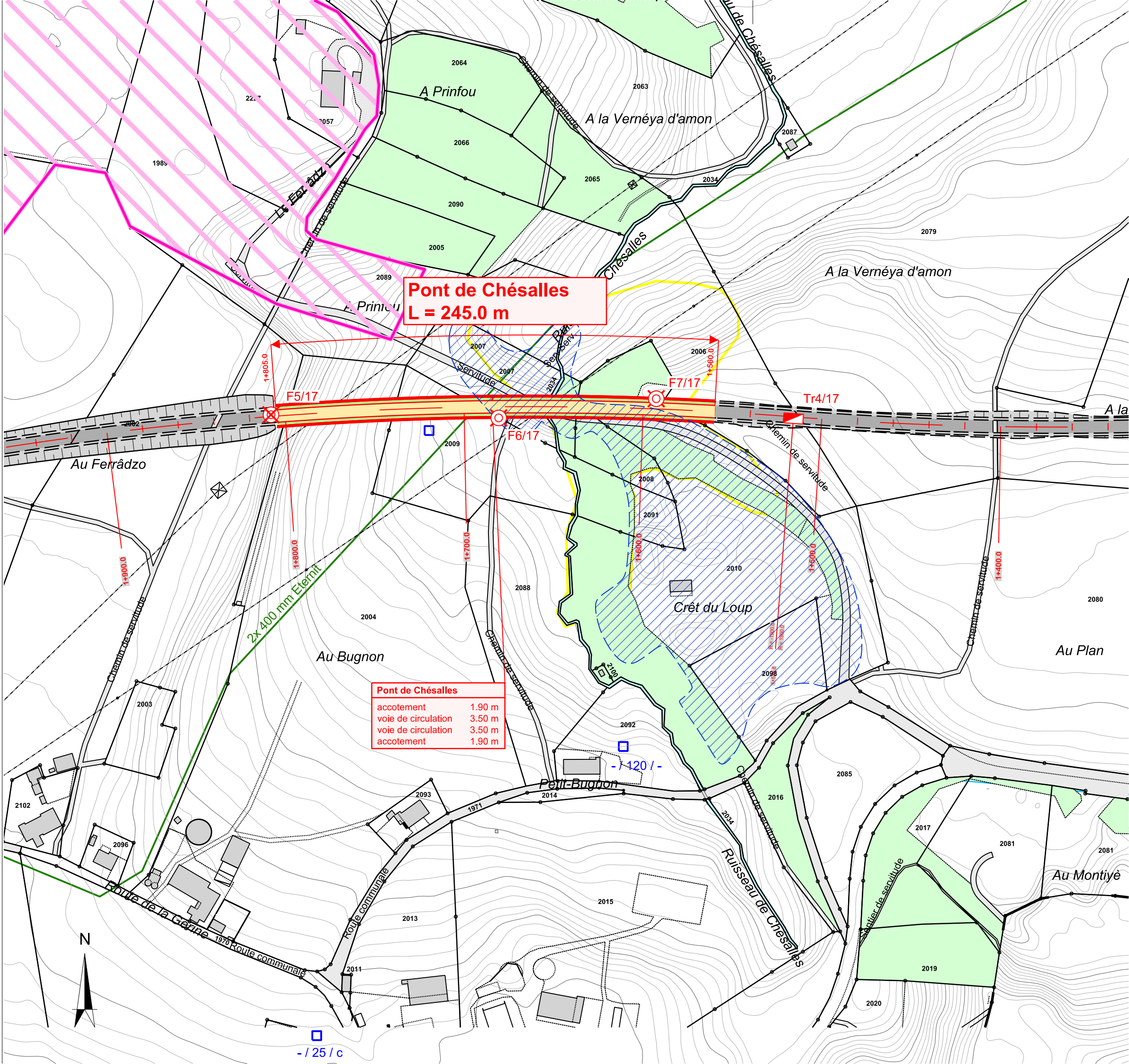
GEOTEST SA Nr. 2517053.3a					
Ind.	Date/ Datum	Dess./ Zei.	Visa	Désignation/ Beschreibung	Visa MO/ BH
	11.01.2019	Rom			
a					
b					
c					

- Légende
- Chaussée
- Accotement
- Déblai
- Remblai
- Pont

Eléments connus

- Sites pollués
- Secteur remblayé selon photo aérienne 1974
- Sources captées avec conduites d' alimentation
- / 20 / a

 débit min. moy. / débit max. moy / qualité bactériologique (a=bon, b=assez bon, c=mauvais)
- Sources non captées
- Forages / Sondages d'étude précédentes (profondeur de la molasse)
- Forages réalisés par GEOTEST SA
- Tranchées réalisés par GEOTEST SA
- Dangers faibles de glissements
- Dangers indicatifs de glissements
- Eau potable
- Eau usée
- Eau claire



Légende

⊗ F16/24 Forage carotté équipé d'un piézomètre

— — Limite de couche géologique

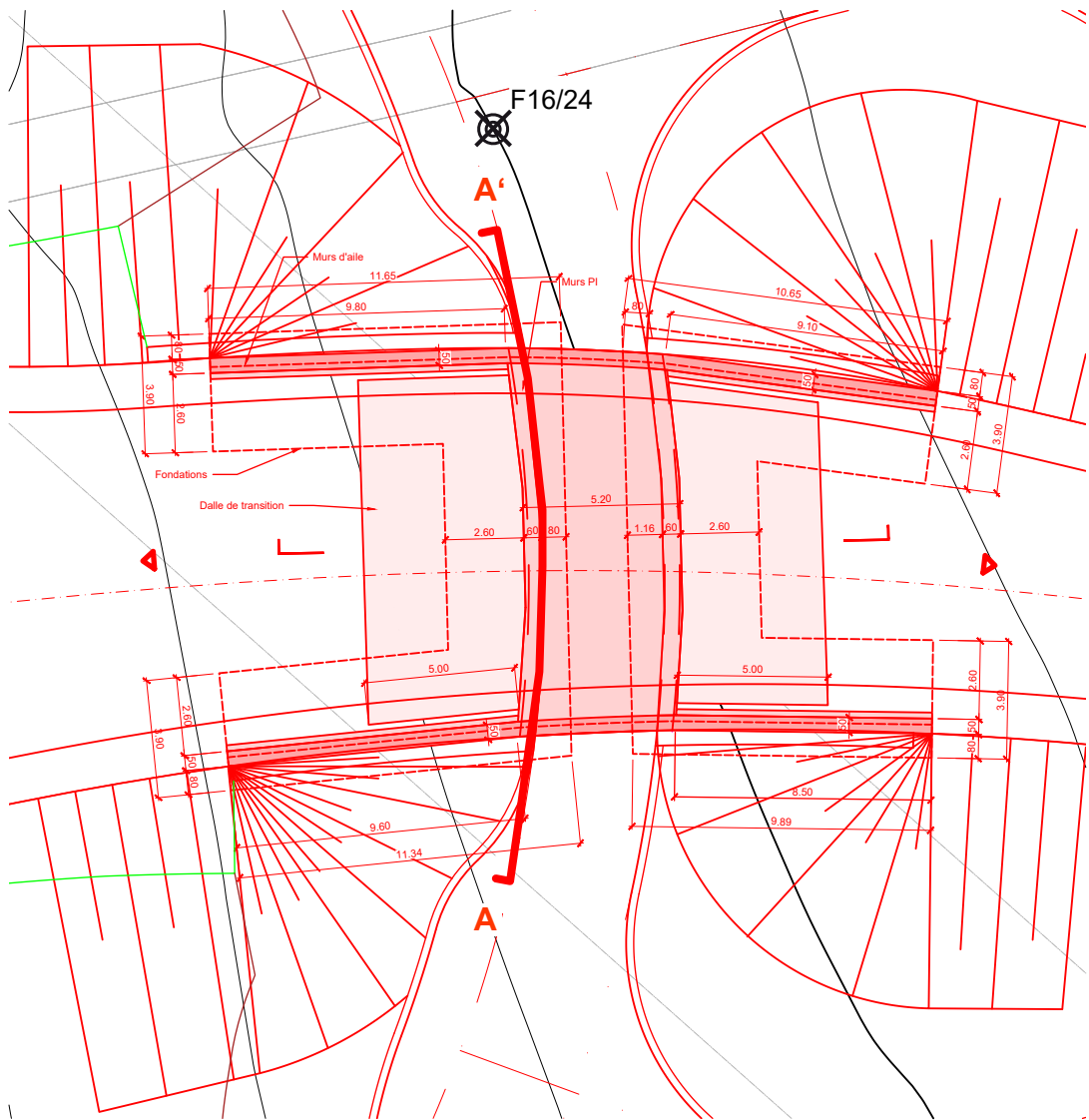
GEOTEST

Mandat: Marly-Matran, Nouvelle liaison
Etude géologique - géotechnique

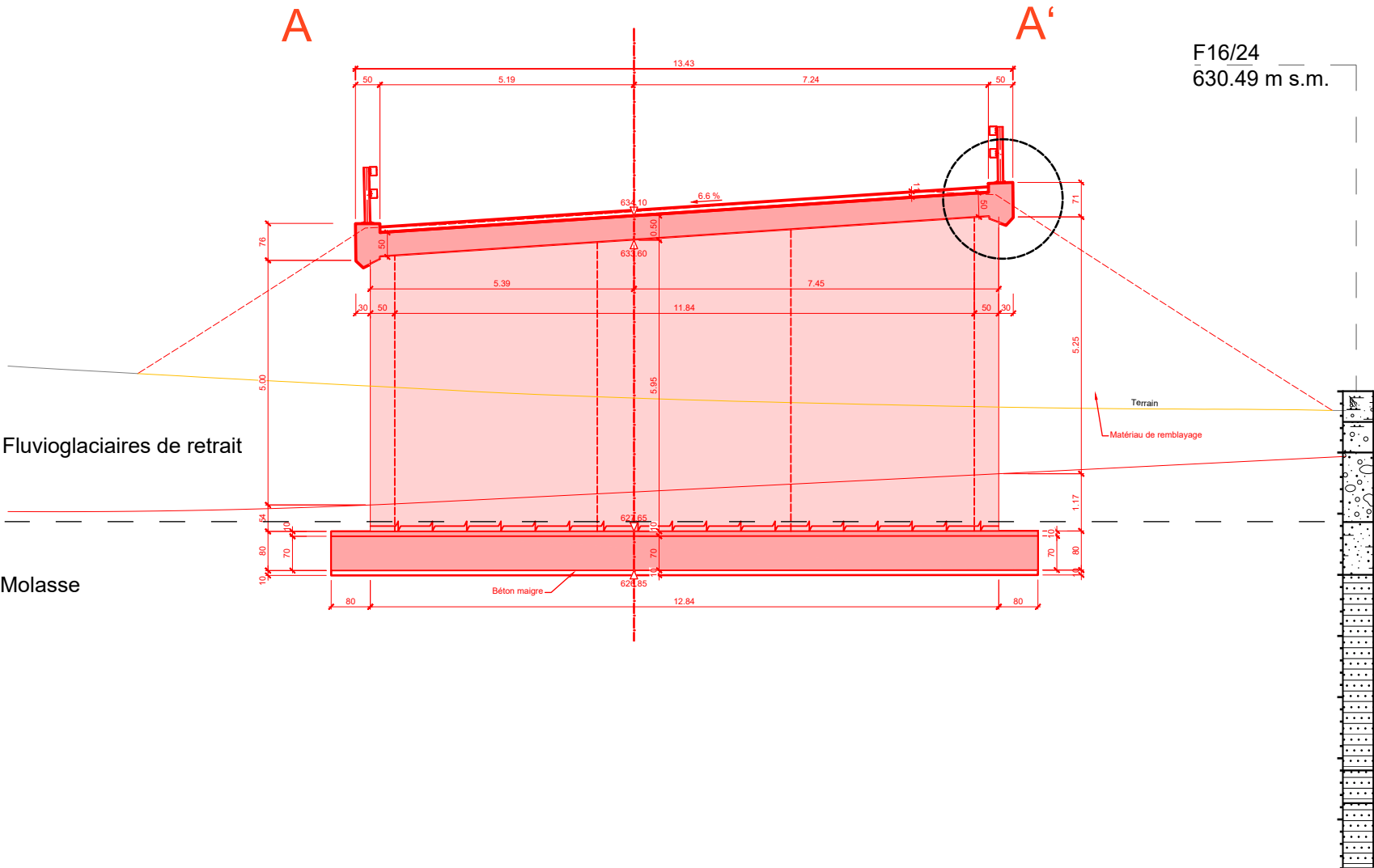
PI de Grangeneuve : situation et profil
Echelle 1 : 250 / 125

20.11.2024/sab

Situation
1 : 250



Profil A-A'
1 : 125



Annexe 12

Résultats des mesures piézométriques

Piézomètre	F03/17			F04/17			F05.1a/20			F05.1b/20			F05.2a/20			F05.2b/20											
Coordonnées XY	2'576'325 / 1'180'064			2'576'571 / 1'180'129			2'576'083 / 1'180'020			2'576'083 / 1'180'020			2'576'085 / 1'180'018			2'576'085 / 1'180'018											
Altitude du terrain [m s.m.]	608.81			626.34			577.95			577.95			578.17			578.17											
Altitude de référence [m s.m.] point de référence	609.31 piézomètre PVC			627.04 piézomètre PVC			578.50 piézomètre PVC			578.50 piézomètre PVC			578.73 piézomètre PVC			578.72 piézomètre PVC											
Tube hors sol [m]	0.5			0.7			0.55			0.55			0.56			0.55											
Hauteur totale piézomètre [m]	7.00			17.00			13.00			15.00			12.00			15.00											
Diamètre ["]	2			2			2			2			2			2											
Couvercle	Tube de protection			Tube de protection			Tube de protection			Tube de protection			Tube de protection			Tube de protection											
Référence mesure	Tube PVC			Tube PVC			Tube PVC			Tube PVC			Tube PVC			Tube PVC											
Remarque																											
Date de mesure	mes. ¹⁾	prof. ²⁾	alt. ³⁾	mes. ¹⁾	prof. ²⁾	alt. ³⁾	mes. ¹⁾	prof. ²⁾	alt. ³⁾	mes. ¹⁾	prof. ²⁾	alt. ³⁾	mes. ¹⁾	prof. ²⁾	alt. ³⁾	mes. ¹⁾	prof. ²⁾	alt. ³⁾									
28.11.2017	6.60	6.10	602.71	10.27	9.57	616.77	Inexistant			Inexistant			Inexistant			Inexistant											
29.11.2017	-	-	-	-	-	-																					
19.12.2017	8.32	7.82	600.99	10.37	9.67	616.67																					
08.01.2018	7.70	7.20	601.61	9.99	9.29	617.05																					
23.01.2018	3.83	3.33	605.48	9.22	8.52	617.82																					
21.02.2018	4.77	4.27	604.54	8.32	7.62	618.72																					
07.03.2018	4.86	4.36	604.45	8.33	7.63	618.71																					
17.04.2018	4.77	4.27	604.54	7.99	7.29	619.05																					
15.05.2018	5.40	4.90	603.91	8.35	7.65	618.69																					
08.06.2018	5.61	5.11	603.70	8.65	7.95	618.39																					
12.07.2018	5.22	4.72	604.09	8.61	7.91	618.43																					
16.08.2018	5.89	5.39	603.42	8.95	8.25	618.09																					
13.09.2018	6.06	5.56	603.25	9.18	8.48	617.86																					
11.10.2018	sec	-	-	9.49	8.79	617.55																					
20.11.2018	sec	-	-	9.90	9.20	617.14																					
25.02.2019	-	-	-	-	-	-	Inexistant			Inexistant			Inexistant														
25.03.2019	-	-	-	-	-	-																					
19.04.2023	5.08	4.58	604.23	Plus de tube												9.77	9.23	568.73	9.75	9.21	568.75	10.28	9.72	568.45	12.38	11.84	566.34
13.06.2023	5.29	4.79	604.02													9.75	9.21	568.75	9.74	9.20	568.76	10.51	9.95	568.22	12.74	12.20	565.98
09.08.2023	5.93	5.43	603.38													9.88	9.34	568.62	9.88	9.34	568.62	10.60	10.04	568.13	12.79	12.25	565.93
10.10.2023	5.90	5.40	603.41													10.00	9.46	568.50	10.00	9.46	568.50	10.63	10.07	568.10	12.80	12.26	565.92
07.12.2023	3.67	3.17	605.64													9.56	9.02	568.94	9.55	9.01	568.95	11.95	11.39	566.78	9.91	9.37	568.81
08.02.2024	4.88	4.38	604.43													9.64	9.10	568.86	9.63	9.09	568.87	12.31	11.75	566.42	10.17	9.63	568.55
15.04.2024	5.11	4.61	604.20													9.74	9.20	568.76	9.72	9.18	568.78	12.51	11.95	566.22	10.29	9.75	568.43
05.06.2024	4.98	4.48	604.33													9.82	9.28	568.68	9.82	9.28	568.68	12.39	11.83	566.34	10.25	9.71	568.47
13.08.2024	5.57	5.07	603.74													9.72	9.18	568.78	9.72	9.18	568.78	12.86	12.30	565.87	10.58	10.04	568.14
14.10.2024	4.36	3.86	604.9																								

- 1) Mesure par rapport au sommet du tube [m]
- 2) Profondeur par rapport au sol [m]
- 3) Altitude de la nappe phréatique [m s.m.]

Annexe 12 : Pont de Chésalles

Plézomètre	F05/17			F06/17		
Coordonnées XY	2°57'6"773 / 1°18'0"150			2°57'6"900 / 1°18'0"148		
Altitude du terrain [m s.m.]	625.20			597.04		
Altitude de référence [m s.m.] point de référence	626.02 piézomètre PVC			597.64 piézomètre PVC		
Tube hors sol [m]	0.95			0.46		
Hauteur totale piézomètre [m]	18.00			10.00		
Diamètre ["]	2			2		
Couvercle	Tube de protection			Tube de protection		
Référence mesure	Tube PVC			Tube PVC		
Remarque						
Date de mesure	mes. ¹⁾	prof. ²⁾	alt. ³⁾	mes. ¹⁾	prof. ²⁾	alt. ³⁾
28.11.2017	14.70	13.75	611.32	-	-	-
29.11.2017	-	-	-	6.00	5.54	591.64
19.12.2017	14.76	13.81	611.26	6.35	5.89	591.29
08.01.2018	14.77	13.82	611.25	6.47	6.01	591.17
23.01.2018	14.74	13.79	611.28	6.45	5.99	591.19
21.02.2018	14.50	13.55	611.52	6.44	5.98	591.20
07.03.2018	14.44	13.49	611.58	6.47	6.01	591.17
17.04.2018	14.27	13.32	611.75	6.37	5.91	591.27
15.05.2018	14.27	13.32	611.75	6.46	6.00	591.18
08.06.2018	14.36	13.41	611.66	6.47	6.01	591.17
12.07.2018	14.44	13.49	611.58	6.43	5.97	591.21
16.08.2018	14.50	13.55	611.52	6.51	6.05	591.13
13.09.2018	14.54	13.59	611.48	6.52	6.06	591.12
11.10.2018	14.60	13.65	611.42	sec	-	-
20.11.2018	14.67	13.72	611.35	sec	-	-
25.02.2019	-	-	-	-	-	-
25.03.2019	-	-	-	-	-	-
19.04.2023	14.37	13.42	611.65	sec	-	-
13.06.2023	14.36	13.41	611.66	sec	-	-
09.08.2023	14.50	13.55	611.52	sec	-	-
10.10.2023	14.31	13.36	611.71	sec	-	-
07.12.2023	14.35	13.40	611.67	sec	-	-
08.02.2024	13.73	12.78	612.29	sec	-	-
15.04.2024	14.16	13.21	611.86	sec	-	-
05.06.2024	14.37	13.42	611.65	sec	-	-
13.08.2024	14.42	13.47	611.60	sec	-	-
14.10.2024	14.51	13.56	611.51	5.68	5.22	591.96
Maximum	13.73	12.78	612.29	5.68	5.22	591.96
Minimum	14.77	13.82	611.25	6.52	6.06	591.12
Variation	1.04	1.04	1.04	0.84	0.84	0.84

1) Mesure par rapport au sommet du tube [m]

2) Profondeur par rapport au sol [m]

3) Altitude de la nappe phréatique [m s.m.]

Annexe 12 : Passage inférieur de la Crausaz

Piézomètre	F08/17			F10/19			F11/19			F12/24			F13/24		
Coordonnées XY	2'578'212 / 1'180'141			2'578'549 / 1'180'018			2'578'574 / 1'180'012			2'578'715.97 / 1'180'030.13			2'578'459.21 / 1'180'072.49		
Altitude du terrain [m s.m.]	606.51			624.21			622.04			614.47			608.22		
Altitude de référence [m s.m.] point de référence	607.44 piézomètre PVC			625.05 piézomètre PVC			622.73 piézomètre PVC			615.17 piézomètre PVC			608.92 piézomètre PVC		
Tube hors sol [m]	0.975			0.84			0.69			0.70			0.70		
Hauteur totale piézomètre [m]	6.00			13.00			14.00			16.50			4.00		
Diamètre ["]	2			2			2			4.5			4.5		
Couvercle	Tube de protection			Tube de protection			Tube PVC			Tube de protection			Tube de protection		
Référence mesure	Tube PVC			Tube PVC			Tube PVC			Tube PVC			Tube PVC		
Remarque				Piézomètre dégueulasse dès 8 m			Piézomètre dégueulasse dès 8 m								
Date de mesure	mes. ¹⁾	prof. ²⁾	alt. ³⁾	mes. ¹⁾	prof. ²⁾	alt. ³⁾	mes. ¹⁾	prof. ²⁾	alt. ³⁾	mes. ¹⁾	prof. ²⁾	alt. ³⁾	mes. ¹⁾	prof. ²⁾	alt. ³⁾
28.11.2017	-	-	-	Inexistant	Inexistant	Inexistant	Inexistant	Inexistant	Inexistant	Inexistant	Inexistant	Inexistant	Inexistant	Inexistant	Inexistant
29.11.2017	-	-	-												
19.12.2017	1.93	0.96	605.51												
08.01.2018	1.92	0.95	605.52												
23.01.2018	1.72	0.75	605.72												
21.02.2018	1.96	0.99	605.48												
07.03.2018	2.16	1.19	605.28												
17.04.2018	2.15	1.18	605.29												
15.05.2018	1.95	0.98	605.49												
08.06.2018	1.96	0.99	605.48												
12.07.2018	2.10	1.13	605.34												
16.08.2018	2.18	1.21	605.26												
13.09.2018	2.13	1.16	605.31												
11.10.2018	2.11	1.14	605.33												
20.11.2018	2.01	1.04	605.43												
25.02.2019	-	-	-	10.62	9.78	614.43	13.60	12.91	609.13	Inexistant	Inexistant	Inexistant	Inexistant	Inexistant	Inexistant
25.03.2019	-	-	-	10.94	10.10	614.11	13.59	12.90	609.14						
19.04.2023	1.88	0.91	605.56	10.84	10.00	614.21	13.05	12.36	609.68						
13.06.2023	2.28	1.31	605.16	10.77	9.93	614.28	12.56	11.87	610.17						
09.08.2023	2.14	1.17	605.30	11.75	10.91	613.30	12.79	12.10	609.94						
10.10.2023	2.15	1.18	605.29	10.88	10.04	614.17	12.81	12.12	609.92						
07.12.2023	1.76	0.79	605.68	9.95	9.11	615.10	12.44	11.75	610.29						
08.02.2023	2.05	1.08	605.39	9.80	8.96	615.25	12.91	12.22	609.82						
15.04.2024	2.08	1.11	605.36	9.53	8.69	615.52	12.90	12.21	609.83						
05.06.2024	1.92	0.95	605.52	9.70	8.86	615.35	12.81	12.12	609.92						
13.08.2024	2.25	1.28	605.19	9.93	9.09	615.12	12.96	12.27	609.77						
14.10.2024	1.66	0.69	605.78	9.65	8.81	615.40	12.75	12.06	609.98						
11.10.2024	-	-	-	9.68	8.84	615.37	12.45	11.76	610.28	5.39	4.69	609.78	2.17	1.47	606.75
Maximum	1.66	0.69	605.78	9.53	8.69	615.52	12.44	11.75	610.29	5.39	4.69	609.78	2.17	1.47	606.75
Minimum	2.28	1.31	605.16	11.75	10.91	613.30	13.60	12.91	609.13	5.39	4.69	609.78	2.17	1.47	606.75
Variation	0.62	0.62	0.62	2.22	2.22	2.22	1.16	1.16	1.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

1) Mesure par rapport au sommet du tube [m]

2) Profondeur par rapport au sol [m]

3) Altitude de la nappe phréatique [m s.m.]

Annexe 12 : Pont de Vuisserens

Piézomètre	F14/24			F15/24.1			F15/24.2		
Coordonnées XY	2'577'534.17 / 1'180'290.38			2'577'505.48 / 1'180'277.44			2'577'505.48 / 1'180'277.44		
Altitude du terrain [m s.m.]	594.95			598.82			598.82		
Altitude de référence [m s.m.] point de référence	595.17 piézomètre PVC			598.84 piézomètre PVC			598.85 piézomètre PVC		
Tube hors sol [m]	0.22			0.02			0.03		
Hauteur totale piézomètre [m]	15.00			5.00			19.50		
Diamètre ["]	4.5			2			2		
Couvercle	Tube de protection			Tube de protection			Tube de protection		
Référence mesure	Tube PVC			Tube PVC			Tube PVC		
Remarque									
Date de mesure	mes. ¹⁾	prof. ²⁾	alt. ³⁾	mes. ¹⁾	prof. ²⁾	alt. ³⁾	mes. ¹⁾	prof. ²⁾	alt. ³⁾
19.04.2023	inexistant			inexistant			inexistant		
13.06.2023									
09.08.2023									
10.10.2023									
07.12.2023									
08.02.2023									
15.04.2024									
05.06.2024									
13.08.2024									
14.10.2024									
11.10.2024	3.31	3.09	591.86	3.54	3.52	595.30	7.54	7.51	591.31
Maximum	3.31	3.09	591.86	3.54	3.52	595.30	7.54	7.51	591.31
Minimum	3.31	3.09	591.86	3.54	3.52	595.30	7.54	7.51	591.31
Variation	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

1) Mesure par rapport au sommet du tube [m]

2) Profondeur par rapport au sol [m]

3) Altitude de la nappe phréatique [m s.m.]

Annexe 12 : Passage inférieur de Grangeneuve

Piézomètre	F16/24		
Coordonnées XY	2'575'396.87 / 1'180'475.59		
Altitude du terrain [m s.m.]	630.49		
Altitude de référence [m s.m.] point de référence	630.30 piézomètre PVC		
Tube hors sol [m]	-0.19		
Hauteur totale piézomètre [m]	3.00		
Diamètre ["]	4.5		
Couvercle	Regard		
Référence mesure	Tube PVC		
Remarque			
Date de mesure	mes. ¹⁾	prof. ²⁾	alt. ³⁾
19.04.2023	inexistant		
13.06.2023			
09.08.2023			
10.10.2023			
07.12.2023			
08.02.2023			
15.04.2024			
05.06.2024			
13.08.2024			
14.10.2024			
11.10.2024			
	Sec	-	-
Maximum	0.00	0.00	0.00
Minimum	0.00	0.00	0.00
Variation	0.00	0.00	0.00

1) Mesure par rapport au sommet du tube [m]

2) Profondeur par rapport au sol [m]

3) Altitude de la nappe phréatique [m s.m.]

Annexe 13

Résultats des essais d'infiltration

Date	21.02.2019	ESSAI D'INFILTRATION
Tranchée N°	Tr13/19	
Essai No	1	

Dimensions de la tranchée :

Longueur haut (m): 1.00 Largeur haut (m): 0.70 Profondeur (m): 1.60
 Longueur bas (m): 1.00 Largeur bas (m): 0.70

Relevé du terrain		Abaissement du niveau d'eau									
Profond. dès [m]:	Matériau	Date	Heure	t (min)	t (sec)	d(t) (sec)	Niveau (m)	h (m)	d(h) (m)	K _{Porchet} (m/sec)	K _{VAWE} (m/sec)
0.0	Sable peu limoneux, peu graveleux, avec humus, avec racines, brun	21.02.19	10:30:00				1.100	0.500			
		21.02.19	10:30:30	0.5	30	30	1.120	0.480	0.020	1.97E-04	1.67E-04
		21.02.19	10:31:00	1	60	30	1.135	0.465	0.015	1.52E-04	1.24E-04
0.2	Sable très graveleux, avec pierres, rares, blocs, beige-gris	21.02.19	10:31:30	1.5	90	30	1.150	0.450	0.015	1.55E-04	1.23E-04
		21.02.19	10:32:00	2	120	30	1.160	0.440	0.010	1.05E-04	8.18E-05
		21.02.19	10:32:30	2.5	150	30	1.170	0.430	0.010	1.07E-04	8.14E-05
1	Sable fin à moyen, très peu graveleux, quelques pierres, gris-beige	21.02.19	10:33:00	3	180	30	1.175	0.425	0.005	5.42E-05	4.06E-05
-		21.02.19	10:33:30	3.5	210	30	1.180	0.420	0.005	5.46E-05	4.05E-05
1.6		21.02.19	10:34:00	4	240	30	1.190	0.410	0.010	1.11E-04	8.07E-05
		21.02.19	10:34:30	4.5	270	30	1.195	0.405	0.005	5.59E-05	4.02E-05
		21.02.19	10:35:00	5	300	30	1.200	0.400	0.005	5.64E-05	4.01E-05
		21.02.19	10:36:00	6	360	60	1.210	0.390	0.010	5.71E-05	4.00E-05
		21.02.19	10:37:00	7	420	60	1.220	0.380	0.010	5.81E-05	3.98E-05
		21.02.19	10:38:00	8	480	60	1.230	0.370	0.010	5.91E-05	3.97E-05
		21.02.19	10:39:00	9	540	60	1.240	0.360	0.010	6.01E-05	3.95E-05
		21.02.19	10:40:00	10	600	60	1.250	0.350	0.010	6.12E-05	3.94E-05
		K médian								6.01E-05	4.05E-05

Interprétation de l'essai

a) avec hypothèses de Porchet:

- milieu non saturé, homogène, isotrope
- gradient hydraulique $i = 1$

$$K_{\text{prisme}} = -dV / dt \cdot (i \cdot S) \quad \text{où:}$$

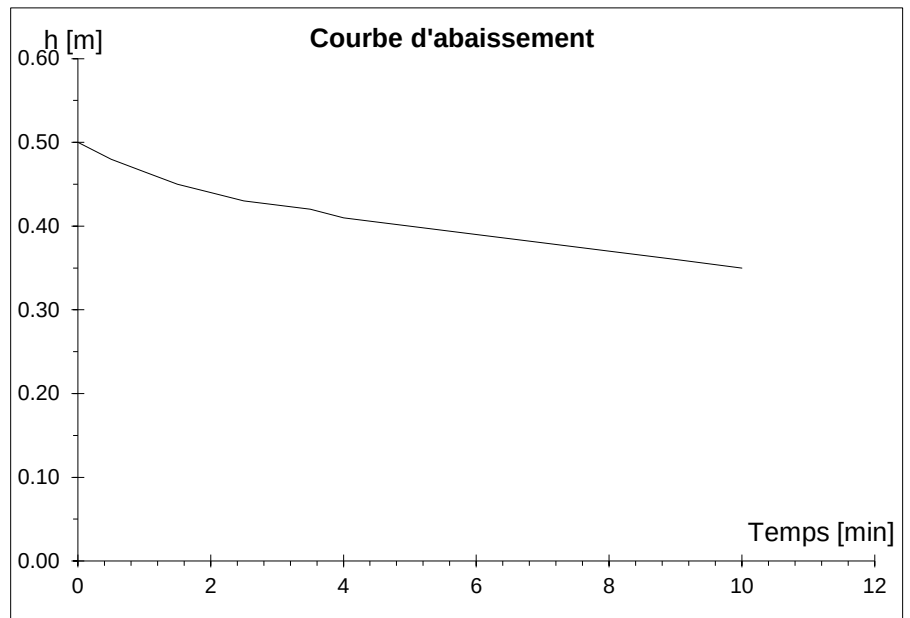
dV/dt = variation du volume d'eau

S = surface d'infiltration
 (fond + côtés verticaux ou obliques)

b) avec formule expérimentale du VAWE (EPFZ)

$$K = \frac{(1 + 2 \frac{h_m}{b})^2 \cdot h}{(27 \cdot \frac{h_m}{b} + 3) \cdot t} \quad \text{où:}$$

h_m = hauteur d'eau moyenne dans la tranchée
 b = racine carrée de la surface de la tranchée
 = 0.84



Date	21.02.2019	ESSAI D'INFILTRATION
Tranchée N°	Tr14/19	
Essai No	1	

Dimensions de la tranchée :

Longueur haut (m): 1.10 Largeur haut (m): 0.90 Profondeur (m): 1.30
Longueur bas (m): 1.10 Largeur bas (m) : 0.60

[illegible]

Interprétation de l'essai

a) avec hypothèses de Porchet:

- milieu non saturé, homogène, isotrope
- gradient hydraulique $i = 1$

$$K_{\text{prisme}} = -dV / dt \cdot (i \cdot S) \quad \text{où:}$$

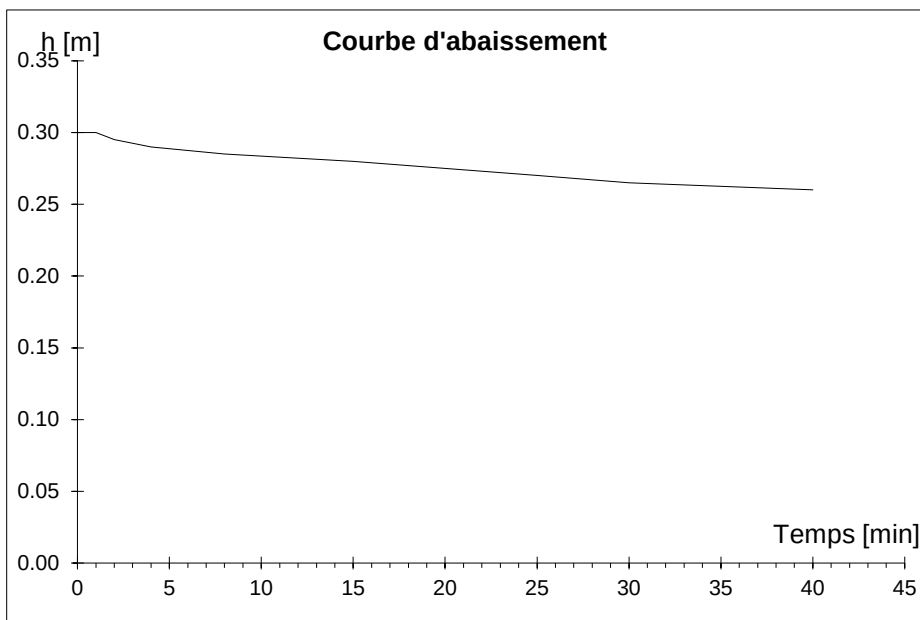
$$dV/dt = \text{variation du volume d'eau}$$

S = surface d'infiltration
(fond + côtés verticaux ou obliques)

b) avec formule expérimentale du VAWE (EPFZ)

$$K = \frac{(1 + 2 \frac{h_m}{b})^2 \cdot h}{(27 \cdot \frac{h_m}{b} + 3) \cdot t} \quad \text{où:}$$

$hm =$ hauteur d'eau moyenne dans la tranchée
 $b =$ racine carrée de la surface de la tranchée
 $= 0.81$



Annexe 14

Résultats des essais de pompage

Annexe 14 : Essai de pompage - F12/24

Piézomètre	F12/24	F13/24	F09/19	F10/19	F11/19
Cote terrain [m s.m.]	614.47	608.22	Pas de tube	624.21	622.04
Elevation tube [m]	0.70	0.70		0.84	0.69
Cote tube [m s.m.]	615.17	608.92		625.05	622.73
Profondeur tube [m]	16.5	4.0		13.0	14.0
Diamètre ["]	4.5	4.5		2	2
Fermeture	Tube métallique	Tube métallique		Tube métallique	Tube métallique

Temps	Débit	Mes.	Alt.	Mes.	Alt.	Mes.	Alt.	Mes.	Alt.	Mes.	Alt.
[min]	[l/min]	[m]	[m s.m.]	[m]	[m s.m.]	[m]	[m s.m.]	[m]	[m s.m.]	[m]	[m s.m.]
0	0	5.39	609.78	2.17	606.75			9.68	615.37	12.45	610.28
1	9.6	6.10	609.07								
2	9.6	6.80	608.37								
3	9.6										
4	4.2	5.98	609.19								
5	4.2	5.50	609.67								
6	4.2	5.50	609.67								
7	4.2										
8	4.2										
9	4.2	5.50	609.67								
10	4.2	5.50	609.67								
11	4.2	5.50	609.67								
12	8.6	5.55	609.62								
13	8.6	5.56	609.61								
14	8.6	5.58	609.59								
15	8.6	5.59	609.58								
16	8.6	5.61	609.56								
17	8.6	5.62	609.55								
18	8.6	5.63	609.54								
19	8.6	5.64	609.54								
20	8.6	5.64	609.53								
21	8.6	5.65	609.53								
22	8.6	5.65	609.52					9.68	615.37		
23	8.6	5.65	609.52					9.68	615.37		
24	8.6	5.66	609.52								
25	8.6	5.66	609.51								
26	8.6	5.66	609.51								
27	8.6	5.66	609.51								
28	10.1	5.66	609.51								
29	10.1	5.68	609.49								
30	10.1	5.69	609.49								
31	10.1	5.69	609.48					9.68	615.37		
32	10.1	5.70	609.47					9.68	615.37		
33	10.1	5.70	609.47					9.68	615.37		
34	10.1	5.71	609.47					9.68	615.37		
35	10.1	5.71	609.47					9.68	615.37		
36	10.1	5.71	609.47								
37	10.1	5.71	609.47								
38	10.1										
39	11.5	5.75	609.42								
40	11.5	5.76	609.42								
41	11.5										
42	11.5	5.77	609.40								
43	11.5	5.78	609.39								
44	11.5	5.78	609.39								
45	11.5	5.79	609.38								
46	14.8	5.82	609.35								
47	14.8	5.85	609.32								
48	14.8	5.88	609.30								

Annexe 14 : Essai de pompage - F12/24

Piézomètre	F12/24	F13/24	F09/19	F10/19	F11/19
Cote terrain [m s.m.]	614.47	608.22	Pas de tube	624.21	622.04
Elevation tube [m]	0.70	0.70		0.84	0.69
Cote tube [m s.m.]	615.17	608.92		625.05	622.73
Profondeur tube [m]	16.5	4.0		13.0	14.0
Diamètre ["]	4.5	4.5		2	2
Fermeture	Tube métallique	Tube métallique		Tube métallique	Tube métallique

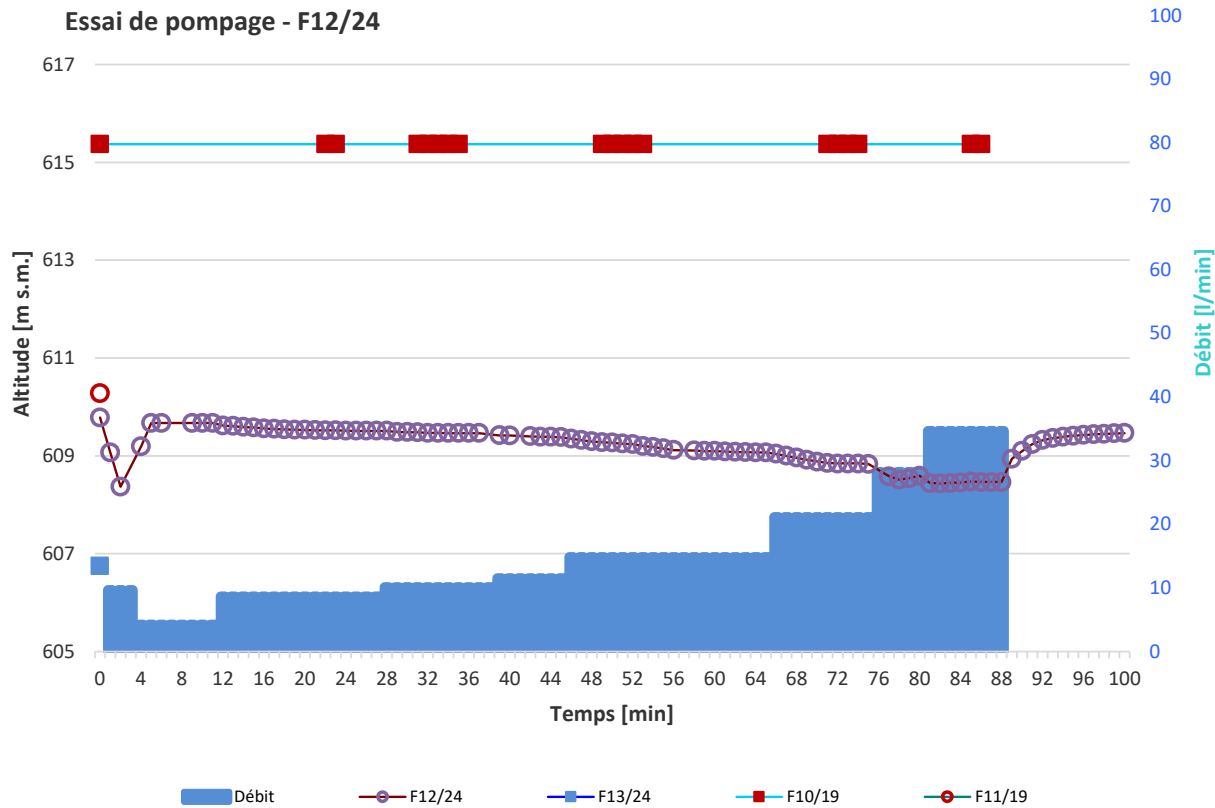
Temps	Débit	Mes.	Alt.	Mes.	Alt.	Mes.	Alt.	Mes.	Alt.	Mes.	Alt.
[min]	[l/min]	[m]	[m s.m.]	[m]	[m s.m.]	[m]	[m s.m.]	[m]	[m s.m.]	[m]	[m s.m.]
49	14.8	5.89	609.28					9.68	615.37		
50	14.8	5.90	609.27					9.68	615.37		
51	14.8	5.92	609.25					9.68	615.37		
52	14.8	5.93	609.24					9.68	615.37		
53	14.8	5.97	609.20					9.68	615.37		
54	14.8	5.99	609.18								
55	14.8	6.02	609.15								
56	14.8	6.05	609.12								
57	14.8										
58	14.8	6.06	609.11								
59	14.8	6.07	609.10								
60	14.8	6.07	609.10								
61	14.8	6.08	609.09								
62	14.8	6.09	609.08								
63	14.8	6.10	609.08								
64	14.8	6.10	609.07								
65	14.8	6.10	609.07								
66	21.1	6.13	609.04								
67	21.1	6.17	609.00								
68	21.1	6.21	608.96								
69	21.1	6.25	608.92								
70	21.1	6.29	608.88								
71	21.1	6.32	608.85					9.68	615.37		
72	21.1	6.33	608.84					9.68	615.37		
73	21.1	6.33	608.84					9.68	615.37		
74	21.1	6.33	608.84					9.68	615.37		
75	21.1	6.34	608.83								
76	28.2										
77	28.2	6.59	608.58								
78	28.2	6.66	608.51								
79	28.2	6.63	608.54								
80	28.2	6.58	608.59								
81	34.7	6.73	608.44								
82	34.7	6.74	608.43								
83	34.7	6.73	608.44								
84	34.7	6.72	608.45								
85	34.7	6.70	608.47					9.68	615.37		
86	34.7	6.71	608.46					9.68	615.37		
87	34.7	6.71	608.46								
88	34.7	6.71	608.46								
89		6.23	608.94								
90		6.07	609.10								
91		5.93	609.24								
92		5.85	609.32								
93		5.81	609.36								
94		5.78	609.39								
95		5.76	609.41								
96		5.74	609.43								
97		5.73	609.44								

Annexe 14 : Essai de pompage - F12/24

Piézomètre	F12/24	F13/24	F09/19	F10/19	F11/19
Cote terrain [m s.m.]	614.47	608.22	Pas de tube	624.21	622.04
Elevation tube [m]	0.70	0.70		0.84	0.69
Cote tube [m s.m.]	615.17	608.92		625.05	622.73
Profondeur tube [m]	16.5	4.0		13.0	14.0
Diamètre ["]	4.5	4.5		2	2
Fermeture	Tube métallique	Tube métallique		Tube métallique	Tube métallique

Temps	Débit	Mes.	Alt.	Mes.	Alt.	Mes.	Alt.	Mes.	Alt.	Mes.	Alt.
[min]	[l/min]	[m]	[m s.m.]	[m]	[m s.m.]	[m]	[m s.m.]	[m]	[m s.m.]	[m]	[m s.m.]
98		5.72	609.45								
99		5.71	609.46								
100		5.71	609.47								

Maximum	5.39	609.78	2.17	606.75	0.00	0.00	9.68	615.37	12.45	610.28
Minimum	6.80	608.37	2.17	606.75	0.00	0.00	9.68	615.37	12.45	610.28
Variation	1.41		0.00		0.00		0.00		0.00	



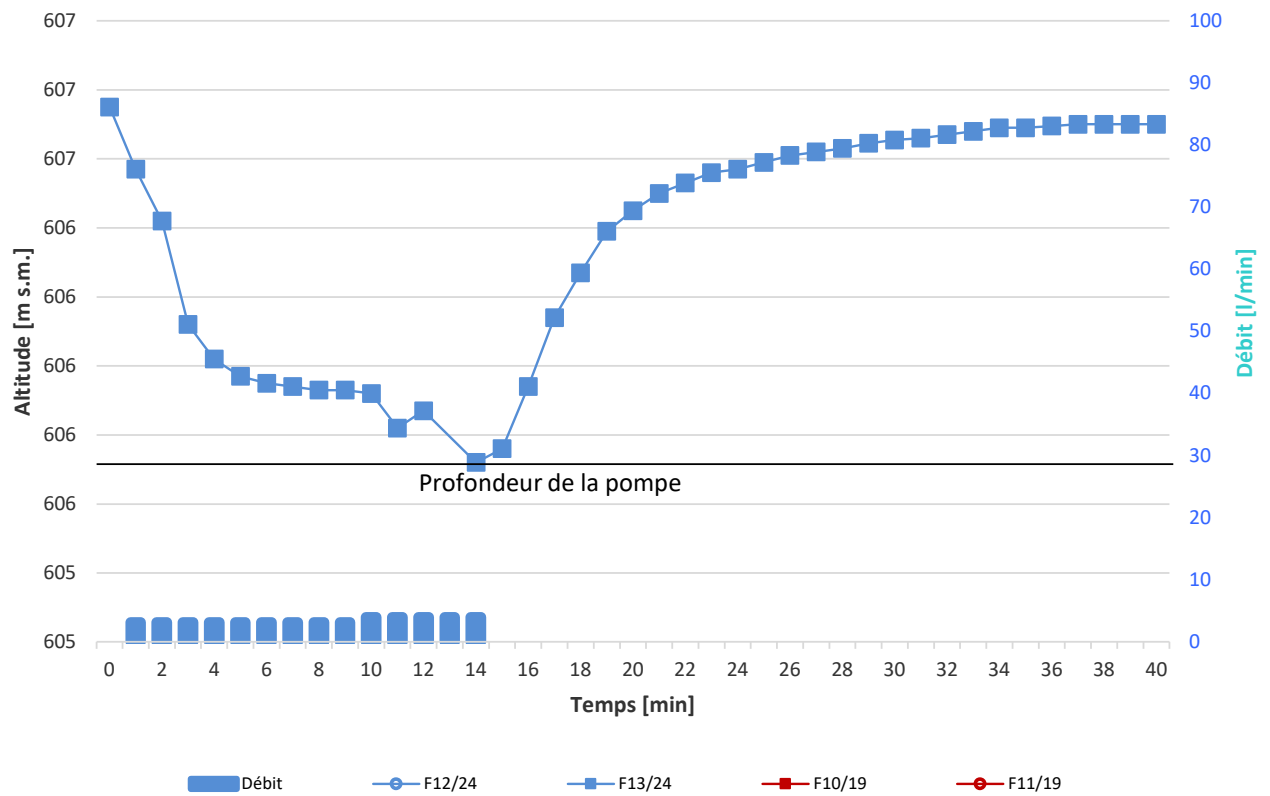
Annexe 14 : Essai de pompage - F13/24

Piézomètre	F12/24	F13/24	F09/19	F10/19	F11/19
Cote terrain [m s.m.]	614.47	608.22	Pas de tube	624.21	622.04
Elevation tube [m]	0.70	0.70		0.84	0.69
Cote tube [m s.m.]	615.17	608.92		625.05	622.73
Profondeur tube [m]	16.5	4.0		13.0	14.0
Diamètre ["]	4.5	4.5		2	2
Fermeture	Tube métallique	Tube métallique		Tube métallique	Tube métallique

Temps	Débit	Mes.	Alt.	Mes.	Alt.	Mes.	Alt.	Mes.	Alt.	Mes.	Alt.
[min]	[l/min]	[m]	[m s.m.]	[m]	[m s.m.]	[m]	[m s.m.]	[m]	[m s.m.]	[m]	[m s.m.]
0	0			2.17	606.75						
1	3.2			2.35	606.57						
2	3.2			2.50	606.42						
3	3.2			2.80	606.12						
4	3.2			2.90	606.02						
5	3.2			2.95	605.97						
6	3.2			2.97	605.95						
7	3.2			2.98	605.94						
8	3.2			2.99	605.93						
9	3.2			2.99	605.93						
10	4			3.00	605.92						
11	4			3.10	605.82						
12	4			3.05	605.87						
13	4										
14	4			3.20	605.72						
15				3.16	605.76						
16				2.98	605.94						
17				2.78	606.14						
18				2.65	606.27						
19				2.53	606.39						
20				2.47	606.45						
21				2.42	606.50						
22				2.39	606.53						
23				2.36	606.56						
24				2.35	606.57						
25				2.33	606.59						
26				2.31	606.61						
27				2.30	606.62						
28				2.29	606.63						
29				2.28	606.65						
30				2.27	606.66						
31				2.26	606.66						
32				2.25	606.67						
33				2.24	606.68						
34				2.23	606.69						
35				2.23	606.69						
36				2.23	606.70						
37				2.22	606.70						
38				2.22	606.70						
39				2.22	606.70						
40				2.22	606.70						

Maximum	0.00	0.00	2.17	606.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Minimum	0.00	0.00	3.20	605.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Variation	0.00		1.03		0.00		0.00		0.00	

Essai de pompage - F13/24



Annexe 15

Profil décharge

ETAT DE FRIBOURG STAAT FREIBURG		Direction de l'aménagement, de l'environnement et des constructions Raumplanungs-, Umwelt- und Baudirektion		Service des ponts et chaussées Tiefbauamt	
Auteur du projet/ Projektverfasser		Axe 1250 Marly-Matran, PR 0 - 350 Marly et Hauterive Nouvelle liaison routière Marly-Matran Avant-projet Profil au niveau du tracé prévue pour le pont Concentration en PCB dans décharge de la Pila			
GEOTEST SA RUE JEAN PROUVÉ 14 CASE POSTALE 49 CH-1762 GIVISIEZ T +41 (0)26 407 74 20 F +41 (0)26 407 74 21 fribourg@geotest.ch www.geotest.ch					
Echelle/ Massstab					
1:2000					
Format : 62x30 cm					
Axe	PR	Chantier	Objet	Numéro	
1250	0 à 350	PCAM 10712	R	A2119-21-201a	
Achse	BP	Baustelle	Objekt	Nummer	

GEOTEST SA Nr. 2517053.2

Ind.	Date/ Datum	Dess./ Zei.	Visa	Désignation/ Beschreibung	Visa MO/ BH
	24.10.2018	Pfy/Rom			
a					
b					
c					

Légende:

Conc. PCB [ppm]

x < 0.62

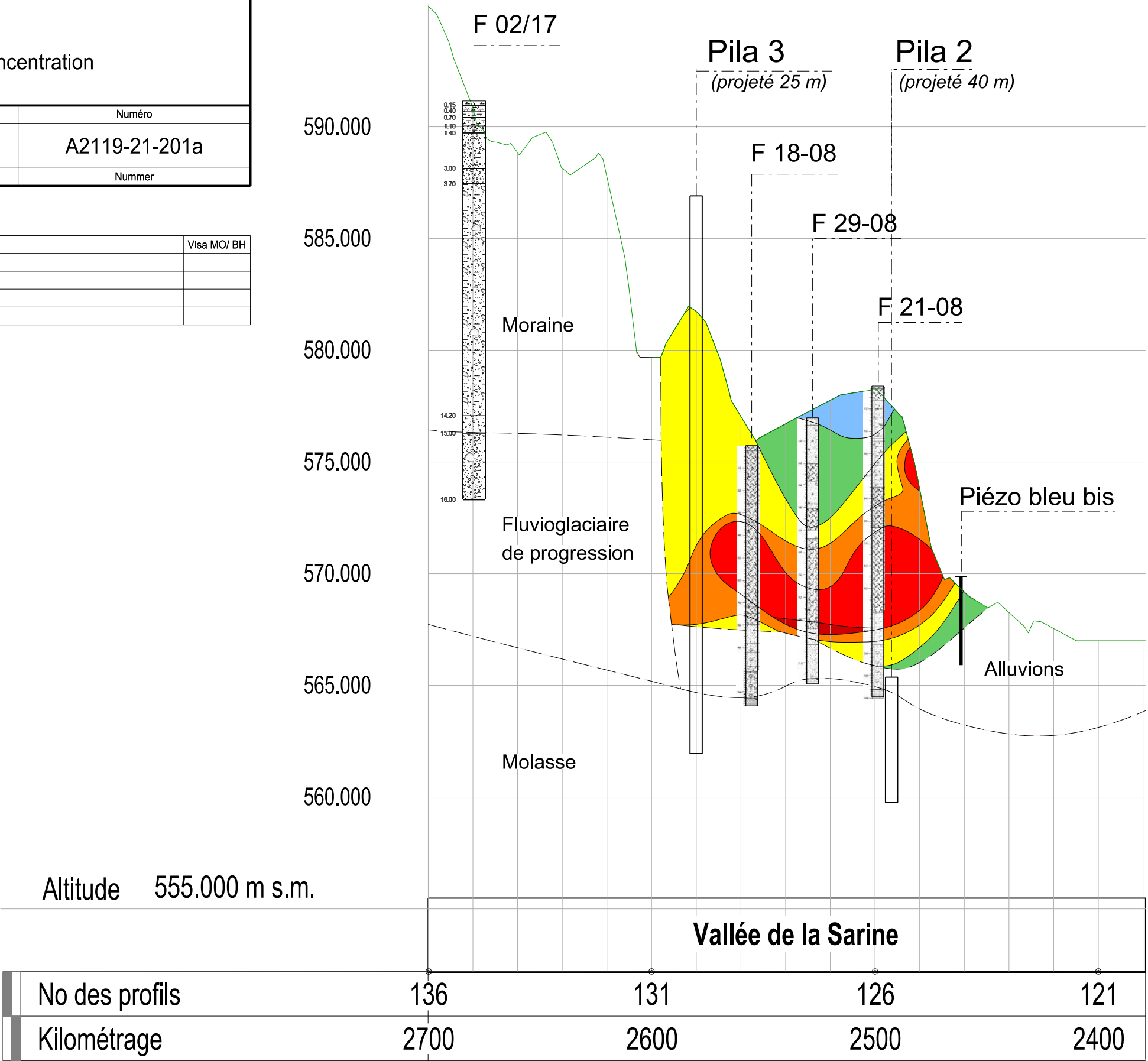
0.62 < x < 1

1 < x < 4.21

4.21 < x < 10

10 < x < 50

50 < x



Annexe 16

Profil des concentrations en PCB dans la décharge de la Pila dans la
longueur du tracé du pont

Décharge de la Pila - Projet d'assainissement

Profils de concentration en PCB

CSDINGENIEURS+

Environnement
Déchets et dépollution
Géologie et géotechnique
Construction et Énergie
Gestion des eaux

Chaniemerte 37 - Granges-Paccot
CP344 - 1701 Fribourg
Tél. 021 466 74 14
Fax. 021 466 74 79
fribourg@csd.ch
www.csd.ch

Dessin
EDG

Echelle
1:500

Format
B9.1 x 84 cm

N° mandat
FR2706.10

Contrôle
-

N° d'annexe
C

Géologie

Décharge

Remblai

"Graviers de la Tuffière"

Paléosol

Alluvions de la Sarine

Rocher (Molasse)

Concentration en PCB [ppm]

$x < 1$

$1 < x < 4.21$

$4.21 < x < 10$

$10 < x$

Hautes eaux

Basses eaux

Profil 01

Profil 03

Profil 04

Profil 10

Profil 11

Profil 12

Profil 05

Profil 06

Profil 07

Annexe 17

Plan des concentrations en PCB par couches dans la décharge de la
Pila établi par le bureau CSD SA

Décharge de la Pila - Projet d'assainissement

Concentration des PCB

CSDINGENIEURS+

Environnement
Déchets et dépollution
Géologie et géotechnique
Construction et Énergie
Gestion des eaux

Chantier 37 - Granges-Passot
CP384-1791 Fibourg
Tél. 05 489 74 74
Fax 05 489 74 79
fibourg@csd.ch
www.csd.ch

Dessin
EDS
N° mandat
FK2706.10

Échelle
1:1000

Contrôle
-

Format
A0

N° d'annexe
B

Légende

Forages 2008

Forages pré-2008

Sondage

Forages 2010

Rejet SADEF

Conc. PCB [ppm]

X < 0.62

0.62 < X < 1

1 < X < 4.21

4.21 < X < 10

10 < X < 50

50 < X

561 - 563
m.s.m.

575 - 577
m.s.m.

563 - 565
m.s.m.

577 - 579
m.s.m.

565 - 567
m.s.m.

579 - 581
m.s.m.

567 - 569
m.s.m.

581 - 583
m.s.m.

569 - 571
m.s.m.

583 - 585
m.s.m.

571 - 573
m.s.m.

585 - 587
m.s.m.

573 - 575
m.s.m.

587 - 589
m.s.m.

Annexe 18

Exemple de plan hygiène et sécurité établi par le bureau CSD SA dans
le cadre des travaux réalisés sur le site de La Pila

DECHARGE DE LA PILA MESURES PRELIMINAIRES A L'ASSAINISSEMENT

LOT 4 - TRAVAUX SPECIAUX ET MOUVEMENTS DE TERRES

Annexe :

Eléments constitutifs impératifs du plan hygiène et sécurité de l'entreprise qui sera remis avec l'offre

CSD Ingénieurs SA, 29.02.2012

TABLE DES MATIERES

1.	PRESENTATION DES ELEMENTS CONSTITUTIFS DU PHS	3
1.1	Introduction	3
1.2	Travaux spéciaux et mouvements de terres : description des travaux	3
1.3	Sous-traitants	3
1.4	Entreprises tierces	4
2.	PRESENTATION DU PROJET	4
2.1	Renseignements administratifs	4
3.	IDENTIFICATION DES RISQUES SPECIFIQUES AUX TRAVAUX	5
3.1	Identification des substances pouvant être présentes et concentrations	5
3.1.1	Echantillons solides	5
3.1.2	Eaux souterraines	6
3.2	Détection des substances dangereuses et retour d'expérience des travaux précédents	6
3.3	Risques toxiques	6
3.4	Risques d'explosion et d'incendie	7
3.5	Risques physiques	7
3.6	Autres	7
3.7	Evaluation des dangers pour le voisinage et moyens de réduction des risques	7
4.	PREVENTION DES RISQUES – DISPOSITIONS PARTICULIERES	8
4.1	Moyens de protection des travailleurs	8
4.1.1	Equipement de base des travailleurs	8
4.1.2	Mesures retenues – Equipement de protection individuelle spécial (EPIs)	9
4.2	Zonage	10
4.3	Equipement de détection	12
4.4	Activités nécessitant une flamme	12
5.	DISPOSITIONS GENERALES D'HYGIENE ET DE SECURITE	13
5.1	Equipements de protection individuels	13
5.2	Suivi en médecine du travail	14
5.2.1	Contrôle avant engagement sur le site	14
5.2.2	Contrôles en cours de travaux	14
5.2.3	Bilan de santé en fin d'intervention	14
5.3	Environnement	14
5.3.1	Déchets	14
5.3.2	Manipulation et utilisation de produits dangereux	15
5.4	Ordre et propreté	15
5.5	Signalisation routière	15

5.6	Informations et instructions	16
6.	URGENCES ET PREMIERS SOINS	16
6.1	Centre de soins / hôpital le plus proche	16
6.2	Avis d'accident	17
6.3	Feu	18

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1	Renseignements administratifs.	4
-------------	--------------------------------	---

LISTE DES FIGURES

Figure 6.1	Accès au centre de soins le plus proche.	17
------------	--	----

ANNEXES

ANNEXE A	Equipements et prescriptions de sécurité	19
ANNEXE B	Liste des téléphones	22
ANNEXE C	Zonage schématique des zones de sécurité du PHS	24
ANNEXE D	Plans de synthèse des teneurs en PCB (Echantillons issus de la zone principale des travaux)	26
ANNEXE E	Tableaux de synthèse des analyses (échantillons issus de la zone principale des travaux)	27
ANNEXE F	Cahier des charges hygiène et sécurité établi par TOXpro SA du 08.02.2012	28

1. Présentation des éléments constitutifs du PHS

Les mesures d'hygiène et de sécurité à mettre en œuvre dans le cadre des travaux sur le site de la décharge de la Pila sont liées aux risques inhérents à tout chantier, auxquels s'ajoutent des risques spécifiques liés à la présence de matériaux fortement pollués. Pour le personnel intervenant, il s'agit surtout de limiter les risques d'ingestion/inhalation et de contact cutané en raison de la présence possible de polluants.

D'une manière générale, l'hygiène et la sécurité sur un chantier de ce type peuvent être garanties par la mise en œuvre de mesures collectives, permettant notamment de limiter l'exposition du voisinage, de mesures de protection individuelle, notamment les équipements individuels de protection (EPI), et de mesures organisationnelles, notamment la communication de ces aspects dans l'entreprise.

1.1 Introduction

Le présent document, annexes comprises, servira de base à la préparation du Plan d'Hygiène et de Sécurité (PHS) que l'entreprise doit remettre avec son offre. Il présente les procédures et exigences d'hygiène et de sécurité qui devront être suivies par tous les intervenants engagés dans le cadre des travaux à réaliser pour le lot 4 des mesures préliminaires à l'assainissement de l'ancienne décharge de la Pila, située sur le territoire de la commune d'Hauterive.

Les principaux éléments du PHS appliqué dans le cadre des travaux antérieurs sur le site de la Pila sont repris et mis à jour en fonction des travaux prévus pour le lot 4.

Les éléments figurant dans le document intitulé « Cahier des charges hygiène et sécurité » établi par TOXpro (Annexe F) ainsi que dans le descriptif des travaux (voir documents d'appel d'offres) doivent également être pleinement pris en considération par l'entreprise pour la préparation de son PHS.

Il appartient formellement à l'entreprise adjudicataire en charge de travaux de faire valider un PHS par les autorités concernées. Le PHS de l'entreprise devra être validé par le Service public de l'emploi et par la SUVA.

Les observations et enseignements résultant des travaux réalisés dans le cadre de l'investigation de détail sont présentés au chapitre 3.2.

1.2 Travaux spéciaux et mouvements de terres : description des travaux

Voir documents d'appel d'offres du lot 4.

Les substances pouvant être présentes ainsi que leurs concentrations dans la zone des travaux sont présentées au chapitre 3 du présent document et dans les Annexes D & E.

1.3 Sous-traitants

Les entreprises sous traitantes reçoivent un exemplaire du PHS. Selon les cas, elles doivent en fournir un adapté à leurs travaux. Elles doivent connaître les mesures propres au chantier découlant du contrat d'entreprise.

Dans la convention de sous-traitance figurera une mention d'obligation de se conformer aux directives de sécurité dictées soit par la législation, soit par le Maître d'ouvrage ou par le PHS.

1.4 Entreprises tierces

Sur ce chantier, en cas de co-activité entre plusieurs entreprises pour la réalisation du lot 4, la coordination nécessaire à assurer la sécurité des travaux est assumée par l'entreprise pilote.

2. Présentation du projet

2.1 Renseignements administratifs

Lieu du projet	Commune de Hauterive – FR	
Désignation du site	Ancienne décharge de La Pila	
Adresse du site	Lieu-dit « La Pila »	
Nature du projet	Lot 4 - Travaux spéciaux et mouvements de terres	
Maître d’ouvrage		
Société	Consortium La Pila p.a. Service des forêts et de la faune	
Chef de projet	M. Walter Schwab	(tél. 026 305 23 20)
Hygiéniste du travail	TOXpro SA, M. Vincent Perret	
Médecin du travail	PMSE SA	
Direction locale des travaux		
Société	CSD Ingénieurs SA	(tél. 026 460 74 74)
Responsable de la DLT	François Hey	(tél. 079 305 39 48)
Remplaçant	A définir	
Adjudicataire		
Société	...	
Chef de chantier	...	
Conducteur de travaux	...	
Contremaître/chef d’équipe	...	
Contremaître/chef d’équipe	...	
Contremaître/chef d’équipe	...	
Personne en charge de la sécurité sur le site	...	

Tableau 2.1 Renseignements administratifs.

3. Identification des risques spécifiques aux travaux

3.1 Identification des substances pouvant être présentes et concentrations

Les informations recueillies lors des investigations de détail ont permis d'établir et préciser la liste des composés susceptibles d'être présents en quantités importantes :

- Ordures ménagères : ammonium, nitrites, hydrocarbures aliphatiques, métaux (arsenic, baryum, cuivre, plomb, mercure et zinc), etc.
- Déchets artisanaux ou industriels : PCB, solvants chlorés (chlorure de vinyle), etc.

Les plans de synthèse de l'Annexe D présente les teneurs en PCB dans la zone des travaux. Les sondages intitulés « Sarine » correspondent à des échantillonnages effectués sous le niveau des basses eaux. Les sondages intitulés « Berge » correspondent à des échantillonnages effectués dans la zone de marnage de la Sarine. Pour chaque sondage, la teneur en PCB mesurée en surface et la teneur maximale en PCB sont indiquées. Les teneurs en PCB mesurées en surface sont indiquées par un code couleur.

Les tableaux de synthèse de l'Annexe E présentent, en plus des PCB, tous les résultats d'analyses des sondages existants dans la zone des travaux.

3.1.1 Echantillons solides

Dans les échantillons solides issus de la décharge, des teneurs en PCB totaux pouvant dépasser 1'000 mg/kg ont été mesurées en plusieurs endroits du site. Les prélèvements ciblés de condensateurs ont présenté des teneurs en PCB totaux supérieures à 20'000 mg/kg. Cependant, pour environ deux tiers des échantillons issus du corps de la décharge, les teneurs en PCB ont été inférieures à 10 mg/kg.

Les PCDD/F (dioxines et furanes), analysés dans 9 échantillons solides et dans 3 types de condensateurs, ont également été détectés. Dans ces cas, les teneurs en PCDD/F sont corrélées avec les PCB. La contribution relative des PCDD/F n'a toutefois jamais été déterminante par rapport aux PCB de type dioxine représentant deux-tiers à 90% de l'équivalent toxicité total (OMS TEQ 1998).

Les teneurs totales en hydrocarbures aliphatiques C₁₀-C₄₀ dans les échantillons solides peuvent atteindre 2'200 mg/kg ; la valeur médiane¹ est de 280 mg/kg.

Pour les quelques métaux lourds suivants, les teneurs totales maximales mesurées sont : plomb 7'300 mg/kg, zinc 8'800 mg/kg, cuivre 3'200 mg/kg, chrome VI 2 mg/kg et mercure 11 mg/kg. Les valeurs médianes de concentration atteintes pour ces composés sont : plomb 220 mg/kg, zinc 350 mg/kg, cuivre 115 mg/kg.

Pour les paramètres suivants, les teneurs maximales mesurées dans les tests de lixiviation² selon l'Ordonnance sur le traitement des déchets (OTD) sont: ammonium 33.5 mg/L, nitrites 1.1 mg/L, arsenic 0.18 mg/L et baryum 0.92 mg/L.

¹ Valeur non dépassée par la moitié des résultats d'analyse considérés.

² Ce type d'analyse permet de tester et d'évaluer la quantité de polluants pouvant théoriquement être larguées dans l'eau par lessivage d'un sol pollué.

3.1.2 Eaux souterraines

Dans les eaux souterraines analysées dans les piézomètres situés dans le confinement projeté, les teneurs en PCB peuvent atteindre environ 600 µg/l. Cependant, la majorité des teneurs sont inférieures à 10 µg/l.

L'ammonium peut atteindre des valeurs d'environ 800 mg/l. Environ la moitié des teneurs relevées sont supérieures à 10 mg/l. La teneur maximale pour les nitrites est d'environ 0.4 mg/l.

La teneur maximale observée pour le chlorure de vinyle est d'environ 1 µg/l.

Concernant les HAP, la teneur maximale observée est d'environ 0.2 µg/l.

Pour le plomb, la teneur maximale observée est de 0.5 mg/l.

Ces listes ne sont pas exhaustives et d'autres paramètres, ainsi que des gaz et des poussières sont potentiellement présents, même s'ils n'ont pas été détectés dans des teneurs significatives lors des investigations de détail.

3.2 Détection des substances dangereuses et retour d'expérience des travaux précédents

Le méthane, le CO₂, l'O₂ et le H₂S peuvent être détectés par l'explosimètre (détecteur portable multi-gaz de type Gas Alert Micro), les COV et les BTEX par le PID (détecteur par photoionisation de terrain). Des poussières chargées avec les polluants présents peuvent aussi être générées et peuvent être détectées par un analyseur de poussières de terrain.

Dans le cadre des investigations de détail réalisées en 2008, un explosimètre, fixé sur la foreuse et aspirant l'air à la sortie du forage, a été utilisé en continu afin de détecter la présence éventuelle de méthane. Sur toute la durée du chantier, aucune alarme, fixée à 10% de la LIE, n'a été déclenchée.

Des mesures des poussières dans l'air ambiant ont été effectuées avec un néphélomètre (modèle SidePack AM510). Des mesures régulières ont eu lieu lors des travaux préparatoires (évacuation de déchets et création de rampes). Des mesures sporadiques ont été réalisées lors des travaux de forage.

Les teneurs en poussières mesurées ont toujours été inférieures à 0.5 mg/m³ : pour des mesures de 5 minutes, la teneur moyenne maximale a été de 0.05 mg/m³ et la teneur maximale a été de 0.35 mg/m³. Ces valeurs ne permettent toutefois pas de garantir que la VME cible proposée par TOXpro de 1 mg/m³ n'a pas été dépassée (voir Annexe F). L'appareil utilisé ne peut en effet pas mesurer les particules de plus de 10-12 µm alors que la fraction inhalable couvre les particules de 0 à 100 µm.

Les mesures ont confirmé les appréciations visuelles : les travaux effectués ont dégagé peu de poussières, en raison des conditions d'humidité et du type de matériaux manipulés.

3.3 Risques toxiques

Les principaux risques chimiques résultent de la présence de PCB et de métaux lourds dans les sols, et donc dans les poussières et les eaux, et des composés organiques volatiles toxiques dégagés dans l'air ambiant lors des sondages et excavations. Ces substances peuvent porter atteinte à la santé humaine essentiellement par :

- Inhalation ;
- Contact avec la peau ou les yeux, avec les muqueuses d'une manière générale;
- Ingestion (au travers, par exemple, du contact des mains et de la bouche).

3.4 Risques d'explosion et d'incendie

Des composés organiques volatiles inflammables et explosifs sont également susceptibles d'apparaître lors des travaux de sondage et d'excavation. Le risque d'explosion et d'incendie existe sur le site dans l'emprise du corps des déchets uniquement.

Les engins de forage et de terrassement dont les activités touchent le corps des déchets doivent être équipés d'un explosimètre, en particulier :

- Réalisation des ancrages de la paroi de palplanches à partir de la berge en direction du corps de la décharge.
- Terrassements des déchets destinés à aménager les accès pour la mise en œuvre des palplanches.
- Eventuels terrassements des déchets pour la reprise en sous-œuvre de tronçons de palplanches.

3.5 Risques physiques

Les risques physiques associés aux travaux prévus sont liés :

- à l'utilisation d'engins de chantier ;
- la circulation de véhicules de transport ;
- à la manutention d'objets lourds ;
- à la chute de personnes travaillant en hauteur ;
- à la présence de rampes/parois/falaises (risques de chute) ;
- à la proximité du cours d'eau dont le débit peut augmenter rapidement ;
- aux interventions dans le lit mouillé de la Sarine ;
- aux travaux de nuit.

Le personnel devra être au courant des risques physiques : cet aspect est du ressort de l'entreprise chargée des travaux et n'est pas traité dans le présent document. **Les éléments liés aux risques physiques devront être développés dans le PHS de l'entreprise.**

3.6 Autres

Des mesures de protection devront également être prises dans le but de prévenir d'éventuels cambriolages, actes de vandalisme et intrusions de personnes non autorisées.

3.7 Evaluation des dangers pour le voisinage et moyens de réduction des risques

Nature des dangers significatifs

- Accident lors des travaux et du transport sur l'ensemble du site.
- Contact avec des terres fortement contaminées aux PCB.
- Contact avec des eaux polluées aux PCB (eaux de lavage, eaux de ruissellement, etc.)
- Contact avec des poussières de matériaux contaminés ou ingestion de celles-ci.

Facteurs de dispersion des poussières

- D'après les roses des vents des stations météorologiques de Payerne et Berne, les vents principaux sont orientés vers le sud-ouest et le nord-est, soit en direction de la place d'installation générale si les conditions météorologiques sont à la bise. Toutefois, les conditions locales sont particulières en raison de la présence de la Sarine et du relief.
- Excavation et transport sur site de matériaux non conditionnés ou déversement accidentel de ceux-ci lors du transport.

Mesures de réduction des risques d'accidents

- Clôture totale du secteur de travail et interdiction d'accès à la zone de travail.
- Pas de transport des matériaux pollués non identifiés et non conditionnés en dehors du site de la décharge.
- Arrêt des travaux et/ou humidification par brumisation de la zone de travaux en cas de génération importante de poussières. Mesures ponctuelles de la concentration de poussières sur la place de travail. Mesures de contrôle, entre la place de travail et les voisins.
- Avertir les voisins, par l'intermédiaire d'une personne de contact désignée au préalable, et leur demander de garder les portes et fenêtres fermées en cas de propagation des poussières.
- Ne pas cueillir et consommer de légumes et de champignons sur leur terrain ni à proximité de la décharge.

Aucune manipulation de déchets n'est prévue sur la zone haute de la décharge et tous les déchets excavés seront stockés sur le site. Les travaux de mise en œuvre des mesures préliminaires à l'assainissement étant réalisés après le déplacement des gens du voyage, aucune mesure de protection particulière du voisinage n'est nécessaire.

Le nettoyage des engins ayant été en contact avec des matériaux fortement pollués permettra d'éviter toute propagation de la pollution hors du site. En cas de nécessité, la route d'accès sera nettoyée par balayeuse comme c'est le cas pour tout chantier.

4. Prévention des risques – dispositions particulières

Les mesures de sécurité spécifiques décrites dans ce chapitre sont complétées par des directives générales présentées dans les chapitres suivants.

4.1 Moyens de protection des travailleurs

4.1.1 Equipement de base des travailleurs

Partant de l'obligation de porter des équipements de protection individuels adaptés aux activités sur tous les chantiers, le port des équipements ci-dessous n'est pas spécifié à chaque rubrique :

- Casque de protection ;
- Protège-ouïe ;
- Bottes de sécurité de type S3 et décontaminables ;
- Gants pour les travaux de manutention ;
- Lunettes de protection.

4.1.2 Mesures retenues – Equipement de protection individuelle spécial (EPIS)

Pour la protection contre l'exposition cutanée et pour ne pas véhiculer de poussières dans les habits, le port d'une combinaison de protection avec capuche est nécessaire et est complétée par le port de gants nitriles, de bottes et de lunettes de protection. Le type de combinaison de protection dépendra des matériaux rencontrés et des opérations effectuées.

- En cas de contact avec des teneurs en PCB élevées (matières dangereuses selon ADR avec plus de 50 mg/kg), une combinaison de type Tychem F sera prévue ; l'utilisation de tout autre équipement devra faire l'objet de tests de validation (voir Annexe F).
- Pour toutes les autres interventions, une combinaison de type Tyvek sera prévue.

Etant donné que les PCB sont très peu volatiles (coefficient de Henry 10-200 Pa m³ / mol) et compte tenu de la nature des travaux, on peut considérer le risque d'exposition aux vapeurs comme admissible.

Nous ne pouvons déterminer à l'avance la concentration d'aérosol sur le chantier. Elle va dépendre en particulier de l'humidité du terrain, du type de travaux réalisés et du type de machine utilisée ainsi que des conditions climatiques. La valeur cible utilisée pour les poussières sera de 1 mg/m³ (voir Annexe F) : cette valeur est déterminée en considérant une VME cible pour les PCB de 1 µg/m³ et une teneur en PCB de 1000 mg/m³ dans les matériaux d'excavation à l'origine de la poussière. Sur la base de cette hypothèse conservatrice, un filtre P3 est suffisant sous les conditions impératives suivantes :

- pas de présence d'autres substances sous forme gazeuses ou de vapeur
- les travailleurs sont entraînés au port de masque et l'usage est validé par FIT-TEST quantitatif

Le type de protection contre les poussières suivants seront prévus, en fonction des matériaux rencontrés et des opérations effectuées. L'utilisation de tout autre équipement devra faire l'objet de tests de validation.

- Lors de la manipulation de déchets avec des teneurs en PCB élevées (matières dangereuses selon ADR Accord européen pour le transport routier des matières dangereuses, avec plus de 50 mg/kg), le port d'un équipement de protection individuel constitué d'un masque facial avec ventilation assistée et filtre P3 sera prévu. Cet équipement est très efficace contre les poussières et facilite la communication (par rapport à un demi-masque), mais il peut poser des problèmes de visibilité et de motricité qui eux-mêmes augmentent d'autres risques (par ex. chute, écrasement, etc.). Pour certaines tâches, cet équipement devra être adapté afin travailler de manière optimale tout en tenant compte de l'ensemble des risques auxquels le personnel est exposé devra être utilisé.
- Lors de la manipulation de déchets, chaque intervenant devra porter un demi-masque P3 comme protection respiratoire avec des lunettes de protection.
- Pour toutes les autres interventions ainsi que pour les visites, le port d'un masque FFP3 jetable³ sera prévu.

Les machinistes (pelle hydraulique, dumpers, etc.) doivent aussi porter les équipements de protection individuels pour éviter le contact avec les déchets dans le cas où ils ne sont pas protégés par une cabine fermée et ventilée/climatisée.

La synthèse des équipements conseillés est présentée en annexe A « Equipements et prescriptions de sécurité » du présent document.

³ Rappelons que l'efficacité d'un FFP3 décroît fortement au bout de 2h de port. Il est plutôt conseillé de passer sur une solution basée sur des demi-masques P3, solutions plus robuste et moins onéreuse.

4.2 Zonage

Le périmètre des travaux est subdivisé en trois zones, à l'intérieur desquelles des mesures de protection spécifiques sont définies ; elles sont présentées à l'annexe C et seront marquées/protégées physiquement sur le terrain. Les déplacements à l'intérieur du périmètre seront réglementés.

Les prescriptions décrites ci-dessous pour chacune de ces zones devront être respectées par tous les intervenants ; ceux-ci devront être informés de la conduite à tenir et des risques encourus dans chaque zone.

Zone rouge

Concernant la mise en place de l'enceinte de confinement, **le périmètre d'activité est considéré en zone rouge.**

Durant les travaux d'excavation, de transport et de stockage de déchets, la zone rouge sera constituée de la zone chantier, de la piste d'accès et de la zone de stockage. Durant son utilisation, la place de lavage des véhicules sera également considérée en zone rouge.

Les mesures suivantes seront suivies dans cette zone :

- Signalétique : banderoles rouges et blanches de signalisation du secteur. ADR (autocollants pour panneaux) lors de la manipulation de déchets avec des teneurs en PCB élevées (matières dangereuses selon ADR avec plus de 50 mg/kg).
- Interdiction de boire, manger et fumer.

Equipement de protection individuel obligatoire :

Les trois types d'équipements de protection suivants (voir synthèse en Annexe A) doivent être portés dans la zone rouge :

- Equipement standard : **EPI B**
- Exceptions prévisibles
 - o **EPI C** : Contact direct avec des déchets PCB > 50 ppm : Au minimum lors de: travaux dans le lit mouillé sur secteurs D et E, forages sur secteurs C, D et E et autres travaux comparables.
 - o **EPI A** : Véhicules fermés avec cabine ventilée/climatisés. Activités sans manipulation de déchets : bûcheronnage, création de pistes, fonçage des palplanches. Visiteurs < 2 heures

Règles à suivre pour l'équipement et le nettoyage

Dans la zone de stockage : couverture des déchets avec une bâche.

Les gants et les bottes devront être scotchés à la combinaison jetable. Les combinaisons usagées seront stockées dans des sacs clairement identifiés et éliminées par l'Intervenant, en conformité avec la législation.

Pour les travaux acrobatiques et les travaux de bûcheronnage, les gants de protection standard peuvent être utilisés mais ils devront être changés en cas de contact avec des déchets. De même, les utilisations du masque jetable P3 et de lunettes sont exigées. En cas de projection de déchets sur le masque jetable, celui-ci devra être changé.

Au minimum, l'utilisation d'un demi-masque avec un filtre P3 est requise pour les gens manipulant des déchets. Les filtres de ce type de masque sont protégés par une coque, empêchant l'adhésion de déchets sur le filtre lors de projections éventuelles.

Si les engins ne sont pas équipés d'une cabine fermée et ventilée/climatisée, les machinistes devront être équipés de la même façon que les autres opérateurs travaillant sur le site. Les machines utilisées dans cette zone devront être nettoyées en fin d'intervention sur la place de lavage réservée à cet effet. Les outils utilisés seront nettoyés ou éliminés.

Zone orange

Cette zone englobe le site et est actuellement clôturée. Son accès sera interdit à toute personne étrangère aux travaux et n'ayant pas à disposition l'équipement de protection minimal.

Une zone tampon de décontamination permet de passer de la zone orange à la zone verte (voir plan schématique en Annexe C). On y trouve la place de lavage pour les véhicules⁴ et outils ayant été en contact avec des matériaux fortement pollués ; **un sas pour le personnel devra y être prévu** (constitué de trois compartiments dont un avec douches et sanitaires).

La procédure de sortie suivante s'applique lors du passage obligatoire par le sas avant d'entrer dans la zone verte :

- les visiteurs et le personnel qui ne manipulent pas des déchets ont l'obligation d'enlever les équipements de protection puis de se laver les mains et le visage.
- le personnel qui manipule des déchets a l'obligation d'enlever les équipements de protection et de prendre une douche.

Les mesures suivantes seront prises :

- Interdiction de boire, manger et fumer.
- Enlèvement des équipements contaminés (combinaison, gants, masques) dans une zone tampon de décontamination. Les équipements de protection (**EPI A** : lunettes, masque P3, combinaison jetable et gants) doivent être portés par les visiteurs et le personnel « à pied ». Pour le personnel en véhicule les équipements de protection doivent être disponibles sur les engins et prêts à être utilisés en cas de descente du véhicule ou avant d'entrer dans la zone rouge.
- Nettoyage du matériel (bottes, outils) avec brosse et eau et nettoyage des masques avec un mélange eau/alcool. Les eaux seront récupérées et contrôlées avant évacuation.

Des **places de repos** devront donc être organisées à proximité des postes de travail, de manière à ce que les personnes occupées sur le site ne soient pas systématiquement obligées de sortir du site pour accéder aux installations sanitaires ou pour prendre leur pause. Ces places comprendront au minimum un local abrité des intempéries et pouvant être chauffé, une installation de lavage des mains, un WC chimique, une armoire frigorifique pour les boissons. Ces places devront être clairement délimitées et ne pas être utilisées à d'autres fins (pas de stockage de matériel par exemple).

Zone verte

La zone verte est située dans l'enceinte de la clôture, à l'intérieur de la zone interdite. Les mesures suivantes seront prises :

⁴ La place de lavage sera considérée en zone rouge lorsqu'elle sera utilisée.

- Obligation de se laver les mains et le visage avant de sortir de la zone orange et d'entrer dans la zone verte.
- Mise à disposition de douches pour les yeux et d'eau pour le nettoyage du personnel avant entrée dans la zone verte, en cas de contact avec des déchets et pour le nettoyage du matériel.

4.3 Equipement de détection

L'entreprise mettra à disposition pour la durée des travaux deux explosimètres (détecteur portable multi-gaz de type Gas Alert Micro) et un détecteur de gaz organiques volatils (PID). L'entretien des équipements mis à disposition (recharge électrique) sera de la responsabilité du conducteur de travaux de l'entreprise adjudicataire.

Des mesures de poussières devront être effectuées régulièrement avec un appareil de terrain (néphélomètre). Une évaluation et un suivi de la teneur en PCB des poussières devront également être effectués en complément (voir Annexe F). Ces mesures ne seront pas réalisées par l'entreprise adjudicataire.

L'utilisation des détecteurs se fera selon le principe suivant :

Définition des alarmes :

La situation d'alarme sera définie si :

- Lecture Explosimètre > 10% (les explosimètres seront calés sur 10% de la LIE de l'hexane).
- Poussières sur la zone des travaux : 1 mg/m³ correspondant au plus à 1 µg/m³ de PCB soit la VME cible.

Comportement à tenir en cas de situation d'alarme :

1. Arrêter l'activité en cours ;
2. Arrêter les équipements thermiques ou électriques (moteurs, etc.) ;
3. Quitter les lieux ;
4. Informer le chef de chantier de l'entreprise (si absence, lui téléphoner) ;
5. Le chef de chantier de l'entreprise contrôlera 15 minutes plus tard la qualité de l'air et donnera l'instruction pour la suite (par exemple travailler avec l'équipement plus lourd si poussières importantes)

Les travaux ne pourront reprendre qu'avec l'accord du chef de chantier de l'entreprise.

En cas d'absence du chef de chantier de l'entreprise, le contacter par téléphone ou contacter l'un des autres responsables mentionnés sur la liste des téléphones au Tableau 2.1.

4.4 Activités nécessitant une flamme

Mise en garde pour les travaux de soudure : Le port de combinaisons Tyvek, Tychem n'est pas compatible avec l'activité de soudage. Ces combinaisons constituées de polymères (PE) sont susceptibles de fondre ou de prendre feu en cas de projection d'étincelles.

En raison des risques de décomposition (émission de chlorure d'hydrogène, dioxine), toute utilisation de chalumeaux ou outillages producteurs d'arcs électriques au contact des PCB est à proscrire.

Aucune activité nécessitant une flamme n'aura lieu sur le site lors des excavations à la pelle hydraulique. En revanche lors des travaux d'assemblage des longrines, cela pourrait s'avérer nécessaire.

Dans ce cas :

La seule activité qui pourrait nécessiter une flamme est liée à l'utilisation du chalumeau au niveau de l'assemblage des longrines. En zone sèche et avec l'utilisation d'engin ou de machine pouvant provoquer des étincelles, par frottement ou par choc par exemple, les risques sont similaires. La flamme est utilisée à un endroit où du gaz peut s'échapper, de même que les travaux au marteau-piqueur par exemple, qui peuvent être effectués à proximité d'une zone où émane du gaz. Une procédure spécifique est donc à suivre pour ces opérations.

Avant chaque utilisation du chalumeau ou de travaux pouvant provoquer des étincelles, la procédure à suivre est la suivante :

1. S'équiper de l'explosimètre,
2. Adapter le tuyau aspirateur par le biais de la baïonnette (la pompe se met en marche automatiquement),
3. Plonger le tuyau aspirateur,
4. Faire une mesure de l'air présent dans le tube pendant 1 minute :

Si l'alarme ne se déclenche pas, l'utilisation du chalumeau est possible MAIS la personne qui utilise le chalumeau doit garder l'explosimètre en marche (sans le tuyau) sur elle.

Si l'alarme se déclenche :

- Vérifier l'indicateur LIE :
- **Si la valeur est inférieure à 10% pendant 1 minute,**
 - o enlever le tuyau,
 - o attendre que l'alarme s'arrête,
 - o enlever le tuyau et garder l'explosimètre en marche à la ceinture.
- **Si la valeur est supérieure à 10%**
 - o arrêter immédiatement les machines (moteurs),
 - o quitter impérativement la zone de forage, et se regrouper au point de rassemblement,
 - o avertir le chef de chantier l'entreprise,
 - o ne reprendre les travaux qu'avec l'accord du chef de chantier l'entreprise.

Recommencer la procédure à chaque nouvelle utilisation du chalumeau ou travaux sensibles.

5. Dispositions générales d'hygiène et de sécurité

5.1 Equipements de protection individuels

Chaque travailleur (intérimaires et stagiaires compris) disposera de l'équipement de protection individuel minimal suivant :

- 1 paire de chaussures de protection et/ou 1 paire de bottes de protection
- 1 paire de lunettes de protection

- 1 casque
- 1 équipement pour la pluie
- 1 paire de gants
- 1 paire de protège-ouïes.

Cet équipement est complété en fonction des risques ou nuisances rencontrés par les différents types d'**EPI** décrits au paragraphe 4 et en Annexe C (ex. masque de protection).

5.2 Suivi en médecine du travail

Les opérateurs travaillant sous protection respiratoire et manipulant des déchets devront passer des Tests médicaux d'aptitude et être soumis à une Surveillance biologique des expositions (voir Annexe F). L'assujettissement à une surveillance biologique devra être évalué par la SUVA. L'entreprise est responsable de la prise de contact avec la SUVA pour étudier le point de la surveillance biologique. En l'état, le programme de surveillance en médecine du travail suivant est à prendre en considération par l'entreprise.

La surveillance biologique s'applique a priori à tous les opérateurs manipulant des déchets en raison de leur exposition potentielle à des déchets contenant des teneurs élevées en PCB. Pour ces opérateurs, la surveillance biologique s'applique indépendamment de la durée d'intervention sur le site.

5.2.1 Contrôle avant engagement sur le site

Il appartient à l'entreprise de définir le nombre et le type d'opérateurs (chefs d'équipes, ouvriers, machinistes, foreurs, etc.) manipulant les déchets. Ces opérateurs devront être suffisamment nombreux pour couvrir les périodes de travail en continu et les postes concernés.

- Tests médicaux d'aptitude pour tous les opérateurs travaillant sous protection respiratoire.
- Surveillance biologique : définition de l'état initial (PCB, métaux lourds) pour tous les opérateurs manipulant des déchets. En fonction des délais d'analyses, les opérateurs pourront être engagés sur le chantier avant l'obtention des résultats.

5.2.2 Contrôles en cours de travaux

Les nouveaux opérateurs introduits en cours de chantier et manipulant des déchets devront suivre la procédure de contrôle avant engagement sur le site.

Surveillance biologique : compte tenu de la durée limitée du chantier (interventions « ponctuelles » réparties sur quelques mois), un contrôle en cours de travaux ne sera prévu qu'en cas d'exposition accidentelle.

5.2.3 Bilan de santé en fin d'intervention

Surveillance biologique : définition de l'état en fin d'intervention (PCB, métaux lourds) pour tous les opérateurs ayant fait l'objet d'un contrôle de l'état initial.

5.3 Environnement

5.3.1 Déchets

Les produits utilisés sont prioritairement choisis en fonction de l'influence qu'ils peuvent avoir sur l'environnement.

Les déchets seront évacués selon le règlement cantonal ou communal en vigueur.

Les déchets ménagers (cantonement) sont évacués par : Intervenants.

Les déchets de chantier contaminés (déchets excavés) ne seront pas évacués.

Le matériel de protection usagé sera évacué conformément aux Directives par: Intervenants.

Dispositions particulières concernant les déchets :

Les déchets excavés, et stockés temporairement en andains couverts par une natte étanche, dont la teneur en PCB dépasse 50 ppm, sont des déchets spéciaux et des marchandises dangereuses en cas de transport par route. Les andains seront identifiés à l'aide du matériel d'identification ADR (déchets UN 3432 et symbole 9 en noir).

5.3.2 Manipulation et utilisation de produits dangereux

Les produits utilisés sont prioritairement choisis en fonction de l'influence qu'ils peuvent avoir sur la santé et l'environnement.

Chaque produit possède des informations sur les données de sécurité qui le concernent.

Le conditionnement identifie les caractéristiques du produit. Les transvasements dans des récipients non étiquetés sont interdits.

Les collaborateurs ont été instruits sur le plan des mesures d'urgence en cas d'accident.

Le numéro d'appel d'urgence en cas d'intoxication (145 ou 044 251 51 51) est affiché sur le panneau de sécurité.

5.4 Ordre et propreté

Les locaux et zone d'activité de l'entreprise sont en permanence entretenus dans un état d'ordre et de propreté de façon à garantir la qualité et la sécurité nécessaires à une bonne exécution des tâches.

L'utilisation d'EPI nécessite de définir une frontière entre zone contaminée (port des EPI obligatoire) et une zone propre (sans EPI). Le passage d'une zone à l'autre se fait de manière protocolée, matérialisée par des sas ou des compartiments. L'état de contamination des zones sensées restées propres fera l'objet d'un monitoring (wipe test par exemple). Ce monitoring ne sera pas réalisé par l'entreprise adjudicataire.

L'état de contamination des éléments et matériel passant au lavage (EPI, etc.) fera l'objet d'un monitoring. Celui-ci permettra de valider et de documenter les processus de nettoyage et de décontamination. Ce monitoring ne sera pas réalisé par l'entreprise adjudicataire.

Responsable de l'ordre et de la propreté (il doit donner les consignes à son personnel et veiller à leur application) : à définir par l'entreprise adjudicataire.

5.5 Signalisation routière

Le chantier n'empiète pas sur la voie publique.

5.6 Informations et instructions

Les travailleurs sont accueillis et instruits sur les dangers et les mesures à prendre pour garantir leur sécurité. Ils reçoivent une information relative à la teneur du PHS. Une instruction initiale théorique et pratique, l'application de procédures d'entrées et de sortie du site, la mise à disposition d'un équipement de protection de base à utiliser selon les cas, la prévention des contaminations devront être prévues pour tous les intervenants.

Cette instruction est une condition *sine qua non* au travail sur zone.

Le chef de chantier de l'entreprise conserve un relevé consignait le nom des personnes ayant reçu une instruction.

Les annexes du PHS sont intégrées en fonction des risques pouvant survenir en cours des travaux.

Ceux-ci ainsi que les mesures correctives sont commentés au personnel.

Documents affichés : Règlement du chantier – En cas d'accident – En cas d'incendie

Autres documents affichés : à définir.

6. Urgences et premiers soins

Le numéro d'appel d'urgence pour les secours est le 144.

6.1 Centre de soins / hôpital le plus proche

Nom : HFR Fribourg – Hôpital cantonal de Fribourg

Adresse : Chemin des Pensionnats 2-6

N° postal : 1752

Localité : Villars-sur-Glâne

Téléphone : 026 426 71 11

Urgences : 026 426 73 00

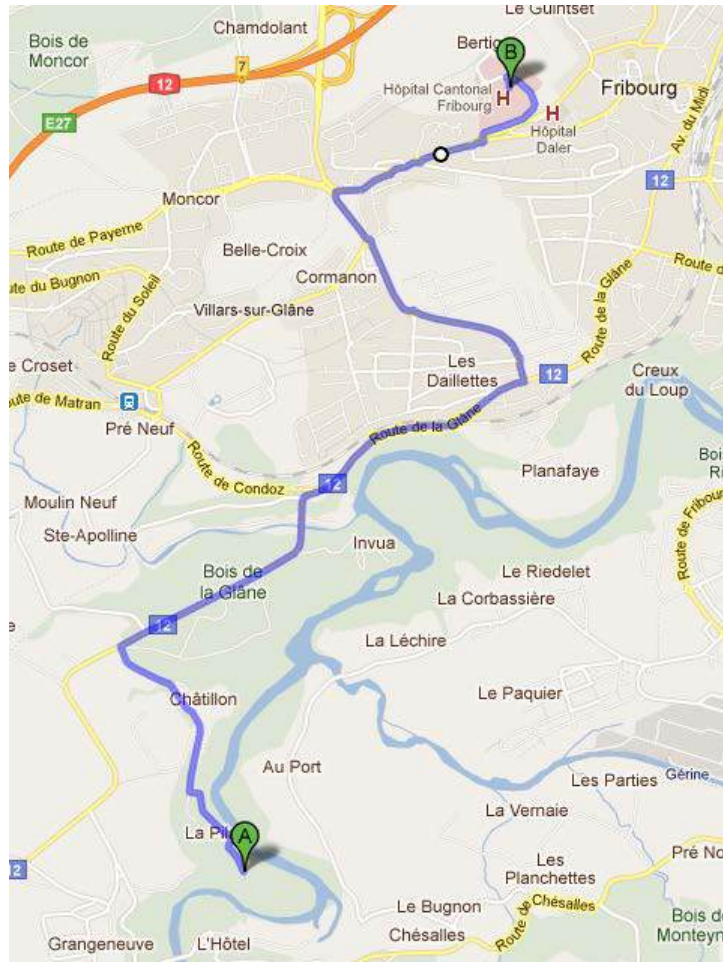


Figure 6.1 Accès au centre de soins le plus proche.

Une pharmacie de chantier sera à disposition dans le bureau du chef de chantier. Elle sera en tout temps accessible.

6.2 Avis d'accident

La procédure d'intervention en cas d'accident sera établie avec l'entreprise adjudicataire.

Tout accident ou incident fait l'objet d'une déclaration interne. Celle-ci est remise le jour même au bureau du personnel de l'entreprise et une copie est destinée au service de sécurité de l'entreprise.

Dès que les premiers soins ont été dispensés, le blessé évacué et le risque supprimé :

Aviser :

- La Direction locale des travaux
- Le responsable sécurité de l'entreprise
- SUVA Lausanne, Sécurité au travail (021 310 80 42)

Etablir :

- La déclaration interne d'accident

Et la remettre à :

- la Direction des travaux

En cas de déversement de déchets lors du transport sur le site, il faut immédiatement délimiter et signaler le secteur avec le matériel d'indication ADR et recharger les déchets y compris les terres environnantes touchées.

6.3 Feu

Un plan d'intervention en cas d'incendie est à la charge du service du feu de la ville de Fribourg.

Un extincteur devra être présent sur la zone de chantier et sur la zone de stockage.

W:\Csdfr\MANDATS\2700-749\FR2706.11 Pila\Mesures préliminaires à l'assainissement\Mise en appel d'offres\Lot 4 - Travaux spéciaux\HS\Eléments constitutifs du Plan hygiène et sécurité Lot 4 - final.doc

ANNEXE A EQUIPEMENTS ET PRESCRIPTIONS DE SECURITE

Mesures préliminaires à l'assainissement : Equipement et prescriptions de sécurité

Zone rouge

Equipement standard	Exceptions prévisibles	
	Contact direct avec des déchets PCB > 50 ppm : Au minimum lors de: travaux dans le lit mouillé sur secteurs D et E, forages sur secteurs C, D et E et autres travaux comparables.	Véhicules fermés avec cabine ventilée/climatisée. Activités sans manipulation de déchets : bûcheronnage, création de pistes, fonçage des palplanches. Visiteurs < 2 heures
EPI B : Casque Lunettes de protection Demi-masque P3 Combinaison jetable : type Tyvek Bottes (scotchés à la combinaison) Gants nitrile (scotchés à la combinaison)	EPI C : Casque Masque facial à ventilation assistée avec filtre P3 Combinaison type Tychem F Bottes (scotchés à la combinaison) Gants nitrile (scotchés à la combinaison)	EPI A : Casque Lunettes de protection Masque P3 jetable Combinaison jetable : type Tyvek Bottes Gants

Zone orange

Equipement standard	Exceptions prévisibles
	Chauffeurs (livraisons, chargements, etc.)
EPI A : Casque Lunettes de protection Masque P3 jetable changé toutes les 2 heures ou Demi-masque P3 Combinaison jetable : type Tyvek Bottes Gants	Tenue de travail et EPI A à disposition prêt à être utilisé : Casque Lunettes de protection Masque P3 jetable Combinaison jetable : type Tyvek Bottes Gants

Zone verte

Equipement standard	Exceptions prévisibles
	Visiteurs
Tenue de travail et protections adaptées aux activités.	Tenue de ville et protections adaptées aux activités à disposition.

Prescriptions particulières

Zone rouge et Zone orange

Interdiction de fumer, de manger et de boire⁵

Zone verte

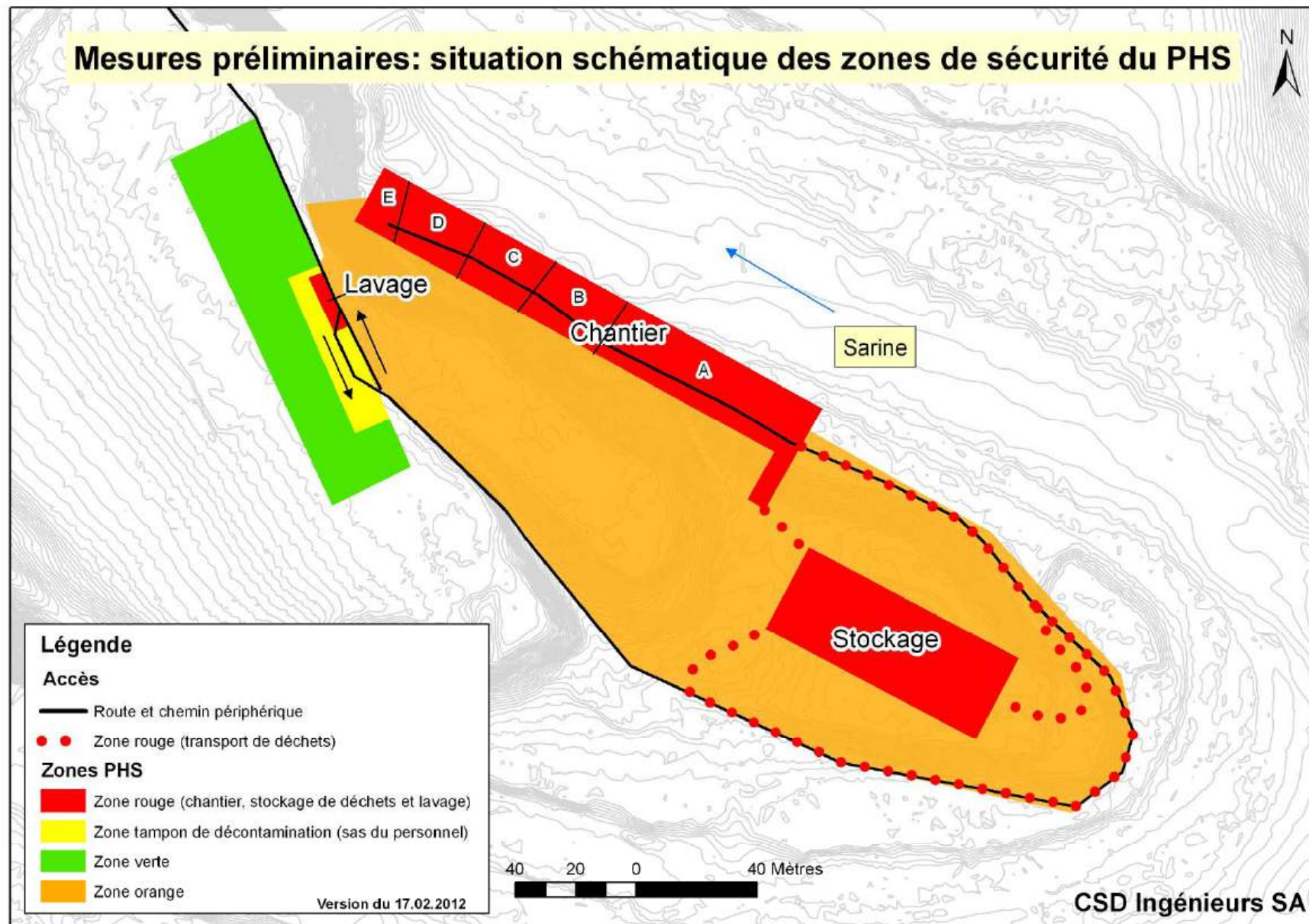
Pas de prescriptions particulières

⁵ En zone orange, des places de repos avec sanitaires et permission de boire seront définies (voir chapitre 4.2)

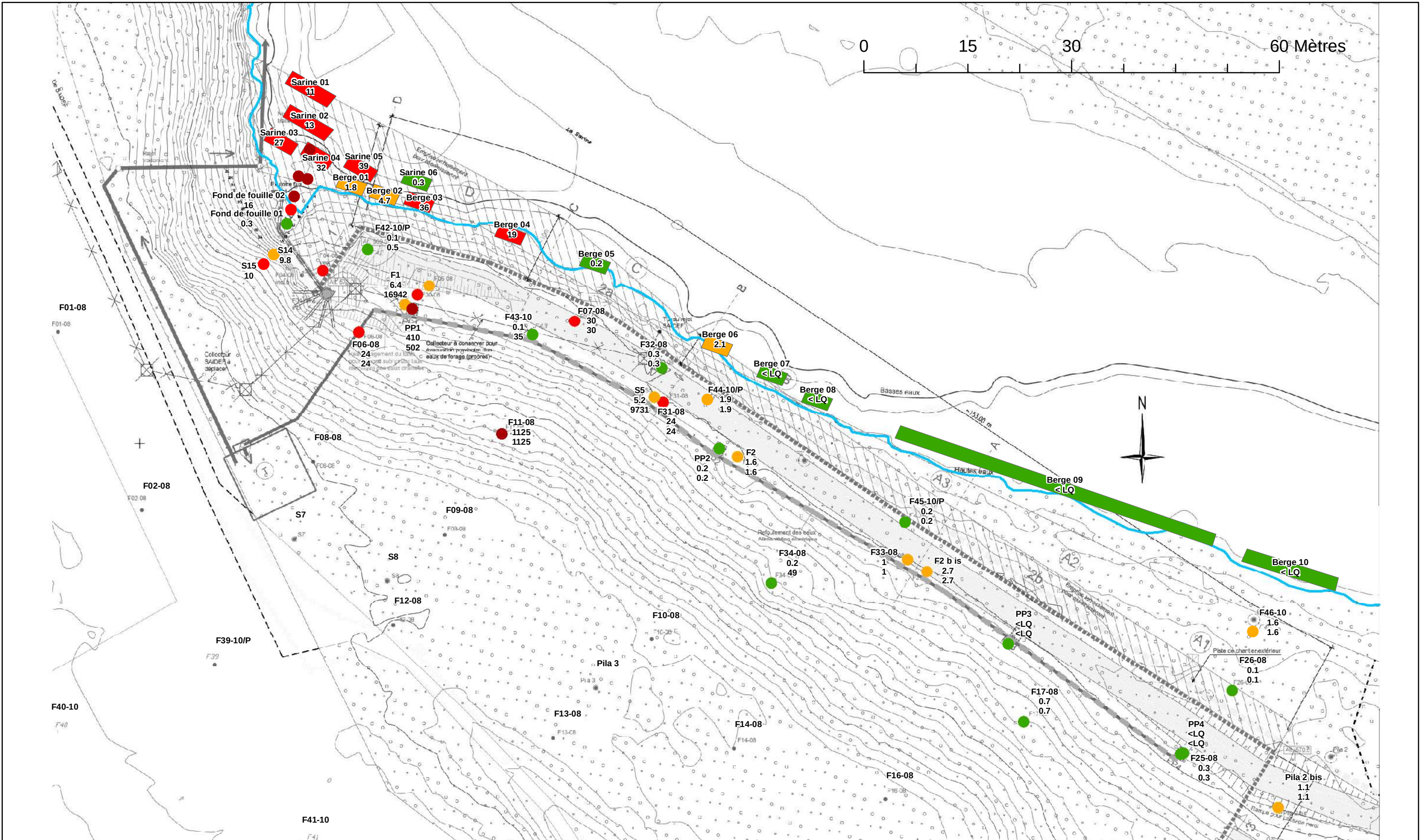
ANNEXE B LISTE DES TELEPHONES

Groupe e Opérateur Centrale Hauterive	026 352 63 65
Police	117
Pompiers	118
REGA	1414
Ambulances	144
Centre d'intoxication	145 044 251 51 51
Hôpital cantonal	026 426 71 11
Urgences (Hôpital cantonal)	026 426 73 00
Coordonnées pour hélicoptère : 575'900 m / 180'050 m (champ entre installation chantier et lignes haute tension)	

**ANNEXE C ZONAGE SCHEMATIQUE DES ZONES DE SECURITE
DU PHS**



**ANNEXE D PLANS DE SYNTHESE DES TENEURS EN PCB
(ECHANTILLONS ISSUS DE LA ZONE PRINCIPALE
DES TRAVAUX)**



Décharge de la Pila

Plan de synthèse des polluants secteur aval

CSDINGENIEURS+
Environnement
Géologie et géotechnique
Génie civil
Déchets et dépollution
Gestion des eaux

Chantemerle 37 - Granges-Paccot
CP 384 - 1701 Fribourg
Tél. 026 460 74 74
Fax. 026 460 74 79
fribourg@csd.ch
www.csd.ch

Dessin KBO	N° mandat FR2706.911
Date 31.01.2012	Echelle 1:500
Format A3	Annexe -

Légende

Teneur de PCB en surface

●

X<1

●

10<X<50

●

1<X<10

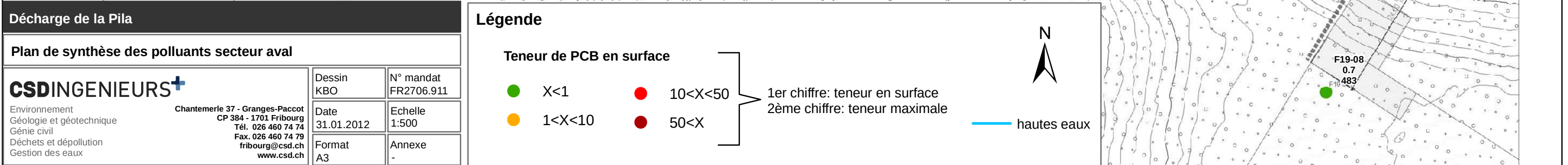
●

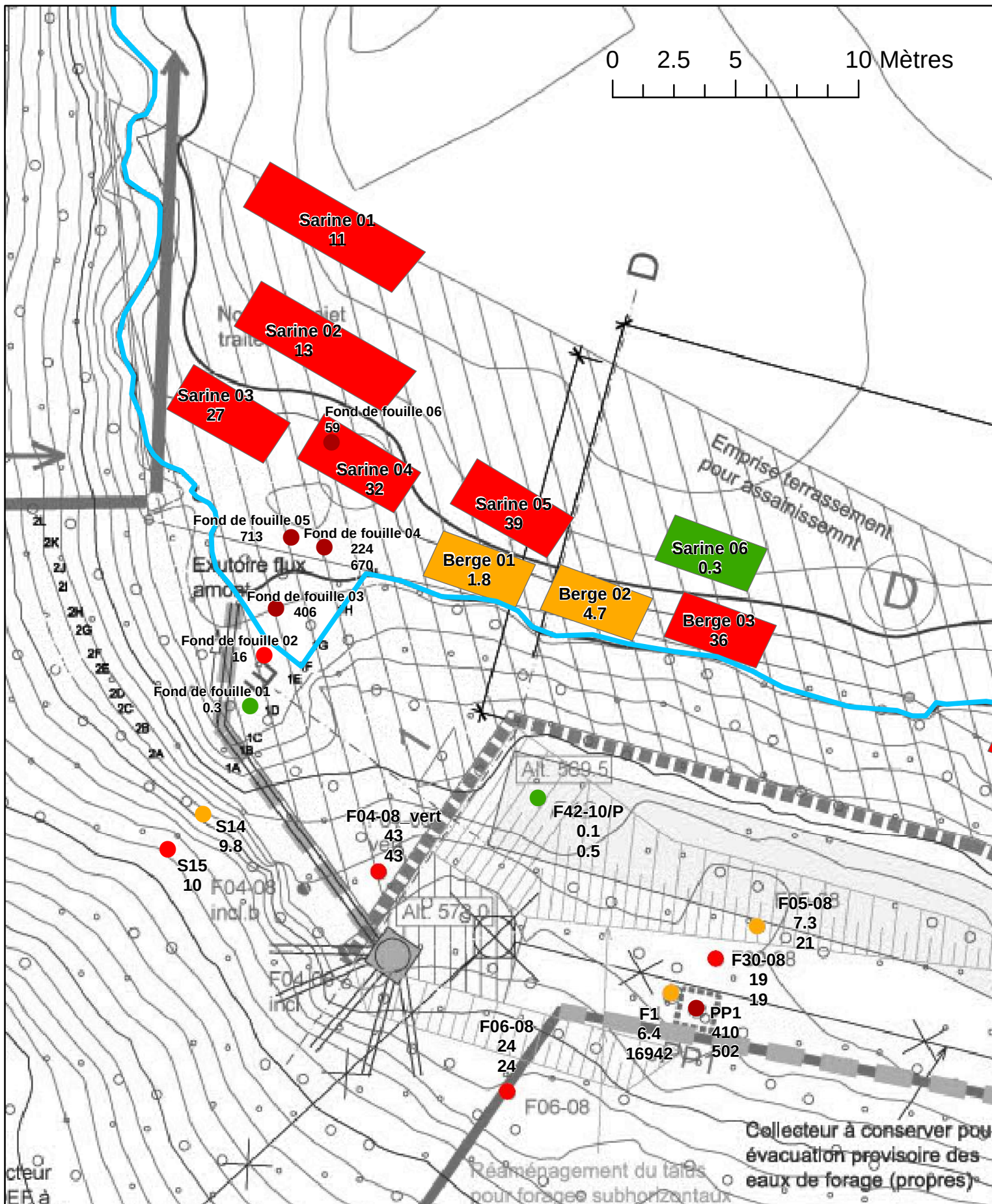
50<X

1er chiffre: teneur en surface
2ème chiffre: teneur maximale

N

hautes eaux





Décharge de la Pila

Plan de synthèse des polluants secteur aval (zone des big bags)

CSDINGENIEURS+

Environnement
Géologie et géotechnique
Génie civil
Déchets et dépollution
Gestion des eaux

Chantemerle 37 - Granges-Paccot
CP 384 - 1701 Fribourg
Tél. 026 460 74 74
Fax. 026 460 74 79
fribourg@csd.ch
www.csd.ch

Dessin KBO	N° mandat FR2706.911
Date 31.01.2012	Echelle 1:200
Format A3	Annexe -

Légende

Teneur de PCB en surface

- X<1
- 1<X<10
- 10<X<50
- 50<X

1er chiffre:
teneur en surface
2ème chiffre:
teneur maximale

— hautes eaux



**ANNEXE E TABLEAUX DE SYNTHESE DES ANALYSES
(ECHANTILLONS ISSUS DE LA ZONE PRINCIPALE
DES TRAVAUX)**

FR02706 / Décharge de la Pila - Accès lot 1 - échantillons surface "DCB"

CATEGORIES	LIM. U:	LIM. T:	OTD I:	DCB:	F04-08v - F0	F05-08	F05-08	F06-08	F07-08	F1	F1	F11-08	F17-08	F19-08	F19-08	F2	F2 bis	F25-08	F26-08	F30-08	F31-08	F32-08	F33-08	F34-08	F34-08
					Remblai	Remblai	Décharge	Décharge	Décharge	A définir!	A définir!	Décharge	Décharge	Décharge	Décharge	A définir!	A définir!	Alluvions	Alluvions	Remblai	Décharge	Remblai	Décharge	Décharge	Décharge
SUBSTANCES					0 - 2 M.	0 - 2 M.	2 - 4 M.	0 - 2 M.	0 - 2 M.	0 - 0.6 M.	4.9 - 5.3 M.	0 - 2 M.	0 - 2 M.	0 - 2 M.	6 - 8 M.	1 - 2 M.	0.8 - 2.2 M.	0 - 2 M.	0 - 2 M.	0 - 2 M.	0 - 2 M.	0 - 2 M.	0 - 2 M.	0 - 2 M.	4 - 6 M.
					12.06.2008	26.05.2008	26.05.2008	20.05.2008	26.05.2008	27.07.2007	27.07.2007	16.05.2008	26.05.2008	03.06.2008	03.06.2008	27.07.2007	27.07.2007	16.06.2008	16.06.2008	02.07.2008	07.07.2008	07.07.2008	07.07.2008	07.07.2008	11.07.2008
					UBI-00475-08	UBI-00427-08	UBI-00427-08	UBI-00416-08	UBI-00427-08	UBI-00419-07	UBI-00419-07	UBI-00406-08	UBI-00427-08	UBI-00444-08	UBI-00444-08	UBI-00419-07	UBI-00419-07	UBI-00490-08	UBI-00490-08	UBI-00532-08	UBI-00548-08	UBI-00548-08	UBI-00548-08	UBI-00548-08	UBI-00559-08

PCB - Polychlorobiphényles

PCB 28 [mg/kg]					1.00	0.22	0.96	1.10	1.40	0.09	160.00	65.00	0.01	< LQ	51.00	0.02	0.03	0.01	< LQ	0.99	0.40	0.01	0.03	0.01	2.00
PCB 52 [mg/kg]					5.30	0.70	2.10	2.20	3.40	0.34	970.00	110.00	0.03	0.03	50.00	0.10	0.12	0.03	0.01	1.90	2.00	0.02	0.05	0.02	4.70
PCB 101 [mg/kg]					1.70	0.33	0.80	1.20	1.10	0.46	1'300.00	39.00	0.03	0.03	6.50	0.10	0.15	0.01	0.00	0.62	1.00	0.02	0.04	0.01	2.20
PCB 118 [mg/kg]					2.10	0.26	0.46	1.40	1.00			30.00	0.01	0.01	7.60			0.01	0.00	0.37	0.84	0.01	0.03	0.01	1.30
PCB 138 [mg/kg]					0.93	0.19	0.43	0.51	0.47	0.31	750.00	21.00	0.04	0.04	1.70	0.07	0.16	0.01	0.00	0.36	0.90	0.01	0.05	0.00	1.00
PCB 153 [mg/kg]					0.93	0.21	0.52	0.48	0.51	0.24	630.00	23.00	0.04	0.04	2.80	0.06	0.13	0.01	0.00	0.41	1.10	0.01	0.05	0.00	0.95
PCB 180 [mg/kg]					0.23	0.04	0.10	0.10	0.15	0.05	130.00	3.60	0.02	0.02	0.27	0.02	0.04	0.00	< LQ	0.07	0.17	< LQ	0.02	< LQ	0.44
Somme 7 congénères PCB [mg/kg]					12.19	1.95	5.37	6.99	8.03			291.60	0.18	0.17	119.87			0.07	0.02	4.72	6.41	0.08	0.27	0.05	12.59
Somme 6 congénères * 4.3 [mg/kg]	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg	1 mg/kg	10 mg/kg	43.39	7.27	21.11	24.04	30.23	6.41	16'942.00	1'124.88	0.73	0.69	482.76	1.59	2.71	0.26	0.08	18.71	23.95	0.29	1.03	0.18	48.55

Fraction Matière Sèche

Matière sèche (%)					80.50	82.80	82.10	82.30	74.80			60.10	70.30	82.80	70.00			90.40	84.70	84.30	78.00	76.60	81.50	87.90	77.50
-------------------	--	--	--	--	-------	-------	-------	-------	-------	--	--	-------	-------	-------	-------	--	--	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Métaux

Antimoine [mg/kg]			30 mg/kg	50 mg/kg			< LQ							< LQ											
Arsenic [mg/kg]	15 mg/kg		30 mg/kg	50 mg/kg			7.30							7.90											
Cadmium [mg/kg]	1 mg/kg	5 mg/kg	10 mg/kg	10 mg/kg			0.43							0.32											
Chrome total [mg/kg]	50 mg/kg	250 mg/kg	500 mg/kg	1000 mg/kg	59.00		33.00							34.00											
Chrome VI [mg/kg]	0.05 mg/kg	0.05 mg/kg	0.1 mg/kg	0.5 mg/kg			< LQ							< LQ											
Cobalt [mg/kg]							7.60							8.20											
Cuivre [mg/kg]	40 mg/kg	250 mg/kg	500 mg/kg	5000 mg/kg	23.00		48.00							26.00											
Etain [mg/kg]							10.00							2.80											
Mercure [mg/kg]	0.5 mg/kg	1 mg/kg	2 mg/kg	5 mg/kg	0.06		0.11							0.18											
Nickel [mg/kg]	50 mg/kg	250 mg/kg	500 mg/kg	1000 mg/kg			33.00							35.00											
Plomb [mg/kg]	50 mg/kg	250 mg/kg	500 mg/kg	2000 mg/kg	82.00		39.00							36.00											
Zinc [mg/kg]	150 mg/kg	500 mg/kg	1000 mg/kg	5000 mg/kg	86.00		150.00							430.00											

Carbone Organique Total (COT)

COT (TOC) en % de masse			2 %	5 %	1.10		1.89							0.27											
-------------------------	--	--	-----	-----	------	--	------	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Naphtalène [mg/kg]					< LQ		0.05							0.15											
Acénaphtylène [mg/kg]					< LQ		< LQ							< LQ											
Acénaptène [mg/kg]					< LQ		0.04							0.04											
Fluorène [mg/kg]					< LQ		0.05							0.05											
Phenanthrène [mg/kg]					0.09		0.07							0.37											
Anthracène [mg/kg]					< LQ		< LQ							0.05											
Fluoranthène [mg/kg]					0.15		0.11							0.33											
Pyrène [mg/kg]					0.14		0.09							0.27											
Benzo(a)anthracène [mg/kg]					0.07		0.02							0.11											
Chrysène [mg/kg]					0.09		0.06							0.12											
Benzo(b)fluoranthène [mg/kg]					0.07		0.06							0.15											
Benzo(k)fluoranthène [mg/kg]					0.04		0.02							0.07											
Benzo(a)pyrène [mg/kg]	0.3 mg/kg	1 mg/kg	3 mg/kg	10 mg/kg	0.09		0.06							0.13											
Dibenzo(ah)anthracène [mg/kg]					< LQ		0.02							0.05											
Benzo(ghi)perylène [mg/kg]					0.05		0.05							0.13											
Indeno(123-cd)pyrène [mg/kg]					0.07		0.06							0.18											
Somme HAP [mg/kg]	3 mg/kg	15 mg/kg	25 mg/kg	250 mg/kg	0.86		0.76							2.20											

Hydrocarbures aliphatiques

Somme Hydrocarbures C10 - C40 [mg/kg]	50 mg/kg	250 mg/kg	500 mg/kg	5000 mg/kg	< LQ		160.00							1'800.00											
---------------------------------------	----------	-----------	-----------	------------	------	--	--------	--	--	--	--	--	--	----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Lixiviat Test n°1

Aluminium [mg/l]					0.13		0.06							0.52											
Arsenic [mg/l]					< LQ		< LQ							< LQ											
Baryum [mg/l]					0.18		0.18							0.15											
Cadmium [mg/l]					< LQ		< LQ							0.00											
Chrome-total [mg/l]					< LQ		< LQ							0.00											
Cobalt [mg/l]					0.01		0.01							0.00											

FR02706 / Décharge de la Pila - Accès lot 1 - échantillons surface "DCB"

CATEGORIES	LIM. U:	LIM. T:	OTD I:	DCB:	F04-08v - F0	F05-08	F05-08	F06-08	F07-08	F1	F1	F11-08	F17-08	F19-08	F19-08	F2	F2 bis	F25-08	F26-08	F30-08	F31-08	F32-08	F33-08	F34-08	F34-08
					Remblai	Remblai	Décharge	Décharge	Décharge	A définir!	A définir!	Décharge	Décharge	Décharge	Décharge	A définir!	A définir!	Alluvions	Alluvions	Remblai	Décharge	Remblai	Décharge	Décharge	Décharge
SUBSTANCES					0 - 2 M.	0 - 2 M.	2 - 4 M.	0 - 2 M.	0 - 2 M.	0 - 0.6 M.	4.9 - 5.3 M.	0 - 2 M.	0 - 2 M.	0 - 2 M.	6 - 8 M.	1 - 2 M.	0.8 - 2.2 M.	0 - 2 M.	0 - 2 M.	0 - 2 M.	0 - 2 M.	0 - 2 M.	0 - 2 M.	0 - 2 M.	4 - 6 M.
					12.06.2008	26.05.2008	26.05.2008	20.05.2008	26.05.2008	27.07.2007	27.07.2007	16.05.2008	26.05.2008	03.06.2008	03.06.2008	27.07.2007	27.07.2007	16.06.2008	16.06.2008	02.07.2008	07.07.2008	07.07.2008	07.07.2008	07.07.2008	11.07.2008
					UBI-00475-08	UBI-00427-08	UBI-00427-08	UBI-00416-08	UBI-00427-08	UBI-00419-07	UBI-00419-07	UBI-00406-08	UBI-00427-08	UBI-00444-08	UBI-00444-08	UBI-00419-07	UBI-00419-07	UBI-00490-08	UBI-00490-08	UBI-00532-08	UBI-00548-08	UBI-00548-08	UBI-00548-08	UBI-00548-08	UBI-00559-08

Cuivre [mg/l]					0.00		0.00							0.01											
Etain [mg/l]					< LQ		0.01							0.01											
Mercure [mg/l]					< LQ		< LQ							< LQ											
Nickel [mg/l]					0.01		0.01							0.02											
Plomb [mg/l]					< LQ		< LQ							< LQ											
Zinc [mg/l]					0.06		0.05							0.48											

Lixiviat Test n°2

pH					8.20		9.10							8.80											
Sulfures [mg/l]					< LQ		< LQ							< LQ											
Sulfites [mg/l]					< LQ		< LQ							< LQ											
Fluorures [mg/l]				2 mg/l	0.22		0.28							0.30											
Ammoniac/ammonium [mg N/l]				0.5 mg N/l	0.41		1.48							0.09											
Nitrites [mg/l]				1 mg/l	0.07		0.01							< LQ											
Phosphates [mg P/l]					0.08		0.09							0.29											
Chrome VI [mg/l]					< LQ		< LQ							< LQ											
Cyanures libres [mg CN/l]				0.02 mg CN/0.3 mg CN/l	< LQ		< LQ							< LQ											
Carbone organique dissous (DOC) [mg C/l]				20 mg C/l	8.90		8.50							5.10											
Hydrocarbures totaux (C10-C40) [mg/l]					< LQ		0.12							< LQ											
(EOX) Comp. organochlorés, lipophiles, peu volatils [mg C ₁₀ /l]					< LQ		0.02							< LQ											
Chlorure de vinyle [µg/l]					< LQ		< LQ							< LQ											
Dichlorométhane (chlorure de méthylène) [µg/l]					< LQ		0.60							< LQ											
cis-Dichloréthène [µg/l]					< LQ		< LQ							< LQ											
trans-Dichloréthène [µg/l]					< LQ		< LQ							< LQ											
Trichlorométhane (chloroforme) [µg/l]					< LQ		< LQ							< LQ											
1,1,1-Trichloréthane [µg/l]					< LQ		< LQ							< LQ											
Tétrachlorométhane (tétrachlorure de carbone) [µg/l]					< LQ		< LQ							< LQ											
Trichloréthène TRI [µg/l]					< LQ		< LQ							0.70											
Tétrachloréthène PER [µg/l]					< LQ		< LQ							1.90											
Somme solvants chlorés (équivalent Cl) [µg Cl/l]					< LQ		0.50							2.20											
PCB 28 [µg/l]												1.60		57.00											
PCB 52 [µg/l]												4.00		81.00											
PCB 101 [µg/l]												1.50		29.00											
PCB 118 [µg/l]												1.10		24.00											
PCB 138 [µg/l]												0.69		7.40											
PCB 153 [µg/l]												0.96		9.10											
PCB 180 [µg/l]												0.14		1.40											
Somme 7 congénères [µg/l]												9.99		208.90											
Somme 6 congénères * 4.3 [µg/l]												38.23		795.07											

Equivalent de toxicité (PCB-TEQ)

PCB-TEQ (LQ excl.) [ng/kg]												3'320.00			6'890.00										
PCB-TEQ (LQ incl.) [ng/kg]												3'350.00			6'900.00										

PCB de type dioxine [ng/kg] = [pg/g]

PCB 77 [ng/kg]												926'000.00			4'310'000.00										
PCB 81 [ng/kg]												23'900.00			96'100.00										
PCB 126 [ng/kg]												11'200.00			42'900.00										
PCB 169 [ng/kg]												2'500.00			1'250.00										
PCB 105 [ng/kg]												4'240'000.00			6'420'000.00										
PCB 114 [ng/kg]												276'000.00			612'000.00										
PCB 118 [ng/kg]												0'600'000.00			8'410'000.00										
PCB 123 [ng/kg]												193'000.00			461'000.00										
PCB 156 [ng/kg]												751'000.00			518'000.00										
PCB 157 [ng/kg]												175'000.00			122'000.00										
PCB 167 [ng/kg]												249'000.00			178'000.00										
PCB 189 [ng/kg]												24'000.00			16'700.00										

Dioxines/furanes PCDD/PCDF [pg/g substance sèche]

FR02706 / Décharge de la Pila - Accès lot 1 - échantillons surface "DCB"

CATEGORIES	LIM. U:	LIM. T:	OTD I:	DCB:	F04-08v - F0	F05-08	F05-08	F06-08	F07-08	F1	F1	F11-08	F17-08	F19-08	F19-08	F2	F2 bis	F25-08	F26-08	F30-08	F31-08	F32-08	F33-08	F34-08	F34-08
					Remblai	Remblai	Décharge	Décharge	Décharge	A définir!	A définir!	Décharge	Décharge	Décharge	Décharge	A définir!	A définir!	Alluvions	Alluvions	Remblai	Décharge	Remblai	Décharge	Décharge	Décharge
SUBSTANCES					0 - 2 M.	0 - 2 M.	2 - 4 M.	0 - 2 M.	0 - 2 M.	0 - 0.6 M.	4.9 - 5.3 M.	0 - 2 M.	0 - 2 M.	0 - 2 M.	6 - 8 M.	1 - 2 M.	0.8 - 2.2 M.	0 - 2 M.	0 - 2 M.	0 - 2 M.	0 - 2 M.	0 - 2 M.	0 - 2 M.	0 - 2 M.	4 - 6 M.
					12.06.2008	26.05.2008	26.05.2008	20.05.2008	26.05.2008	27.07.2007	27.07.2007	16.05.2008	26.05.2008	03.06.2008	03.06.2008	27.07.2007	27.07.2007	16.06.2008	16.06.2008	02.07.2008	07.07.2008	07.07.2008	07.07.2008	07.07.2008	11.07.2008
					UBI-00475-08	UBI-00427-08	UBI-00427-08	UBI-00416-08	UBI-00427-08	UBI-00419-07	UBI-00419-07	UBI-00406-08	UBI-00427-08	UBI-00444-08	UBI-00444-08	UBI-00419-07	UBI-00419-07	UBI-00490-08	UBI-00490-08	UBI-00532-08	UBI-00548-08	UBI-00548-08	UBI-00548-08	UBI-00548-08	UBI-00559-08
2,3,7,8-TCDD												5.57			14.30										
1,2,3,7,8-PeCDD												4.50			39.30										
1,2,3,4,7,8-HxCDD												1.86			19.30										
1,2,3,6,7,8-HxCDD												15.40			285.00										
1,2,3,7,8,9-HxCDD												12.80			185.00										
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD												436.00			5'010.00										
OCDD												1'740.00			21'700.00										
2,3,7,8-TCDF												344.00			1'890.00										
1,2,3,7,8-PeCDF												59.10			795.00										
2,3,4,7,8-PeCDF												105.00			852.00										
1,2,3,4,7,8-HxCDF												92.40			515.00										
1,2,3,6,7,8-HxCDF												26.40			135.00										
1,2,3,7,8,9-HxCDF												5.00			45.40										
2,3,4,6,7,8-HxCDF												30.70			140.00										
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF												38.70			145.00										
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF												11.80			50.40										
OCDF												34.70			211.00										
Equivalent de toxicité (I-TEQ)																									
I-TEQ (LQ excl.) [ng/kg]												123.00			895.00										
I-TEQ (LQ incl.) [ng/kg]												123.00			895.00										

FR02706 / Décharge de la Pila - Accès lot 1 - échantillons surface "DCB"

CATEGORIES	LIM. U:	LIM. T:	OTD I:	DCB:	Berge 01	Berge 02	Berge 03	Berge 04	Berge 05	Berge 06	Berge 07	Berge 08	Berge 09	Berge 10	Fd f. 02	Fd f. 04	Fd f. 05	Fd f. 06	Fd f. 01	Fd f. 03	sous 04	S14	S15	S5	S5
					Sédiments	Sédiments	Sédiments	Sédiments	Sédiments	Sédiments	Sédiments	Sédiments	Sédiments	Sédiments	Solides	Solides	Solides	Solides	Solides	Solides	Solides	Décharge	Décharge	A définir!	A définir!
SUBSTANCES					0 - 0.05 M.	0 - 0.05 M.	0 - 0.05 M.	0 - 0.05 M.	0 - 0.05 M.	0 - 0.05 M.	0 - 0.05 M.	0 - 0.05 M.	0 - 0.05 M.	0 - 0.05 M.	0 - 0.3 M.	0 - 0.3 M.	0 - 0.3 M.	0 - 0.3 M.	0 - 0.3 M.	0 - 0.3 M.	0.3 - 0.6 M.	0 - 0.6 M.	0 - 0.6 M.	0 - 1 M.	2 - 3 M.
					13.06.2010	13.06.2010	13.06.2010	13.06.2010	13.06.2010	13.06.2010	13.06.2010	13.06.2010	13.06.2010	13.06.2010	04.07.2009	04.07.2009	04.07.2009	04.07.2009	04.07.2009	04.07.2009	04.07.2009	26.11.2007	26.11.2007	27.07.2007	27.07.2007
					UBI-00515-10	UBI-00515-10	UBI-00515-10	UBI-00515-10	UBI-00515-10	UBI-00515-10	UBI-00515-10	UBI-00515-10	UBI-00515-10	UBI-00515-10	UBI-00518-09	UBI_00518-09	UBI_00518-09	UBI-00518-09	UBI-00518-09	UBI-00518-09	UBI_00518-09	UBI-00670-07	UBI-00670-07	UBI-00419-07	UBI-00419-07

PCB - Polychlorobiphényles

PCB 28 [mg/kg]					0.01	0.01	0.11	0.56	0.00	0.01	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	0.09		2.70	0.33	0.00	1.50	3.40	0.02	0.03	0.12	87.00
PCB 52 [mg/kg]					0.08	0.19	1.50	1.60	0.01	0.11	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	0.76	9.40	39.00	2.40	0.01	22.00	41.00	0.44	0.50	0.63	540.00
PCB 101 [mg/kg]					0.14	0.34	2.60	1.00	0.01	0.14	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	1.00	13.00	50.00	3.40	0.01	26.00	43.00	0.75	0.84	0.37	790.00
PCB 118 [mg/kg]					0.13	0.36	2.70	0.74	0.01	0.14	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	1.10	11.00	43.00	5.00	0.01	22.00	44.00	0.94	0.91		
PCB 138 [mg/kg]					0.10	0.27	2.00	0.56	0.01	0.10	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	0.89	0.33	39.00	4.60	0.01	24.00	36.00	0.58	0.55	0.05	430.00
PCB 153 [mg/kg]					0.09	0.25	1.80	0.54	0.01	0.11	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	0.76	12.00	31.00	2.40	0.01	18.00	29.00	0.43	0.39	0.04	360.00
PCB 180 [mg/kg]					0.01	0.04	0.26	0.11	< 0.002	0.02	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	0.13	2.00	4.30	0.55	0.00	3.00	3.50	0.05	0.04	< LQ	56.00
Somme 7 congénères PCB [mg/kg]					0.56	1.46	10.97	5.11	0.05	0.63	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	4.73	62.73	209.00	18.68	0.07	116.50	199.90	3.21	3.26		
Somme 6 congénères * 4.3 [mg/kg]	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg	1 mg/kg	10 mg/kg	1.83	4.73	35.56	18.79	0.16	2.11	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	15.60	222.44	713.80	58.82	0.25	406.35	670.37	9.76	10.11	5.20	9'730.90

Fraction Matière Sèche

Matière sèche (%)																									
																						76.90	64.40		

Métaux

Arsenic [mg/kg]	15 mg/kg		30 mg/kg	50 mg/kg											3.80	3.30	3.30	2.90	2.80	3.60					
Cadmium [mg/kg]	1 mg/kg	5 mg/kg	10 mg/kg	10 mg/kg											0.41	0.51	1.90	0.05	0.18	0.30	0.30	16.00			
Chrome total [mg/kg]	50 mg/kg	250 mg/kg	500 mg/kg	1000 mg/kg											18.00	20.00	19.00	19.00	12.00	23.00	14.00	55.00			
Chrome VI [mg/kg]	0.05 mg/kg	0.05 mg/kg	0.1 mg/kg	0.5 mg/kg											< 0.5	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05					
Cuivre [mg/kg]	40 mg/kg	250 mg/kg	500 mg/kg	5000 mg/kg											52.00	51.00	55.00	9.90	40.00	62.00	12.00	170.00			
Mercurure [mg/kg]	0.5 mg/kg	1 mg/kg	2 mg/kg	5 mg/kg											0.24	0.20	0.17	0.35	0.30	0.19	< LQ	0.30			
Nickel [mg/kg]	50 mg/kg	250 mg/kg	500 mg/kg	1000 mg/kg											15.00	15.00	15.00	17.00	10.00	17.00					
Plomb [mg/kg]	50 mg/kg	250 mg/kg	500 mg/kg	2000 mg/kg											200.00	50.00	230.00	6.60	21.00	63.00	15.00	190.00			
Zinc [mg/kg]	150 mg/kg	500 mg/kg	1000 mg/kg	5000 mg/kg											81.00	110.00	98.00	28.00	51.00	110.00	100.00	1'300.00			

Carbone Organique Total (COT)

COT (TOC) en % de masse			2 %	5 %		0.86			0.67						0.28	0.56	0.41	0.45	0.19	0.45					
-------------------------	--	--	-----	-----	--	------	--	--	------	--	--	--	--	--	------	------	------	------	------	------	--	--	--	--	--

Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Naphtalène [mg/kg]															0.04	0.03	0.16	0.03	0.10	< 0.02					
Acénaphtylène [mg/kg]															< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02					
Acénaphène [mg/kg]															< 0.02	0.02	0.04	< 0.02	< 0.02	< 0.02					
Fluorène [mg/kg]															< 0.02	0.03	0.07	< 0.02	0.04	< 0.02					
Phenanthrène [mg/kg]															0.07	0.30	0.49	0.08	0.20	0.08					
Anthracène [mg/kg]															< 0.02	0.09	0.11	< 0.02	0.05	0.02					
Fluoranthène [mg/kg]															0.08	0.43	0.38	0.06	0.14	0.07					
Pyrène [mg/kg]															0.07	0.39	0.32	0.04	0.10	0.07					
Benzo(a)anthracène [mg/kg]															0.02	0.20	0.14	< 0.02	0.04	0.05					
Chrysène [mg/kg]															0.03	0.31	0.18	< 0.02	0.04	0.05					
Benzo(b)fluoranthène [mg/kg]															0.04	0.16	0.13	< 0.02	0.03	0.07					
Benzo(k)fluoranthène [mg/kg]															0.02	0.10	0.07	< 0.02	0.03	0.03					
Benzo(a)pyrène [mg/kg]	0.3 mg/kg	1 mg/kg	3 mg/kg	10 mg/kg											0.06	0.21	0.13	< 0.02	0.04	0.07					
Dibenzo(ah)anthracène [mg/kg]															< 0.02	0.05	0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02					
Benzo(ghi)perylène [mg/kg]															0.06	0.14	0.07	< 0.02	0.03	0.05					
Indeno(123-cd)pyrène [mg/kg]															0.08	0.13	0.08	< 0.02	0.05	0.06					
Somme HAP [mg/kg]	3 mg/kg	15 mg/kg	25 mg/kg	250 mg/kg											0.57	2.59	2.39	0.21	0.89	0.62					

Hydrocarbures aliphatiques

Somme Hydrocarbures C10 - C40 [mg/kg]	50 mg/kg	250 mg/kg	500 mg/kg	5000 mg/kg											80.00	120.00	29.00	< 20	87.00	90.00					
---------------------------------------	----------	-----------	-----------	------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------	--------	-------	------	-------	-------	--	--	--	--	--

Lixiviât Test n°2

PCB 28 [µg/l]																									1.50
PCB 52 [µg/l]																									8.60
PCB 101 [µg/l]																									10.00
PCB 138 [µg/l]																									6.00
PCB 153 [µg/l]																									5.30
PCB 180 [µg/l]																									0.95
Somme 6 congénères * 4.3 [µg/l]																									139.11

FR02706 / Décharge de la Pila - Accès lot 1 - échantillons surface "DCB"

CATEGORIES	LIM. U:	LIM. T:	OTD I:	DCB:	F42-10P	F42-10P	F43-10	F43-10	F44-10P	F45-10P	F46-10	Pila2b - Pila	PP1	PP1	PP2	PP3	PP3	PP4	PP4	Sarine 01	Sarine 02	Sarine 03	Sarine 04	Sarine 05	Sarine 06
					Décharge	Décharge	Décharge	Décharge	Décharge	Décharge	Décharge	A définir!	Remblai	Remblai	Remblai	Remblai	Remblai	Remblai	Remblai	Sédiments	Sédiments	Sédiments	Sédiments	Sédiments	Sédiments
SUBSTANCES					0 - 2 M.	2 - 4 M.	0 - 2 M.	6 - 8 M.	0 - 2 M.	0 - 2 M.	0 - 2 M.	0 - 1 M.	0 - 1.6 M.	4 - 6 M.	0 - 2 M.	0 - 2 M.	2 - 4 M.	0 - 2 M.	2 - 4 M.	11 - 14 M.	10 - 10 M.	4 - 8 M.	0 - 0.05 M.	0 - 0.05 M.	0 - 0.05 M.
					09.06.2010	09.06.2010	10.06.2010	10.06.2010	10.06.2010	15.06.2010	17.06.2010	27.07.2007	07.09.2011	07.09.2011	07.08.2011	08.09.2011	08.09.2011	07.09.2011	07.09.2011	13.06.2010	13.06.2010	13.06.2010	13.06.2010	13.06.2010	13.06.2010
					UBI-00491-10	UBI-00491-10	UBI-00506-10	UBI-00506-10	UBI-00513-10	UBI-00543-10	UBI-00543-10	UBI-00419-07	UBI11-01905-1	UBI11-01905-1	UBI-01037-11	UBI-01067-11	UBI-01067-11	UBI-01037-11	UBI-01037-11	UBI-00515-10	UBI-00515-10	UBI-00515-10	UBI-00515-10	UBI-00515-10	UBI-00515-10

PCB - Polychlorobiphényles

PCB 28 [mg/kg]					< 0.002	0.00	0.00	1.20	0.02	0.00	0.01	0.02	28.00	11.00	0.01	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	0.08	0.09	0.22	0.19	0.20	0.00
PCB 52 [mg/kg]					< 0.002	0.03	0.00	2.90	0.10	0.01	0.07	0.07	39.00	57.00	0.02	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	0.56	0.66	1.40	1.70	2.00	0.02
PCB 101 [mg/kg]					0.01	0.05	0.01	2.80	0.11	0.01	0.11	0.07	17.00	25.00	0.01	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	0.75	0.91	1.90	2.30	2.80	0.02
PCB 118 [mg/kg]					< 0.002	0.03	0.00	1.20	0.12	0.01	0.11		15.00	12.00	0.00	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	0.77	0.93	1.80	2.30	2.80	0.02
PCB 138 [mg/kg]					0.00	0.02	0.00	0.53	0.10	0.01	0.09	0.05	5.30	7.30	0.00	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	0.56	0.67	1.30	1.60	1.90	0.01
PCB 153 [mg/kg]					0.00	0.02	0.00	0.50	0.10	0.01	0.09	0.04	5.10	15.00	0.00	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	0.46	0.52	1.30	1.40	1.90	0.01
PCB 180 [mg/kg]					< 0.002	0.00	< 0.002	0.14	0.02	0.00	0.01	< LQ	0.90	1.50	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	0.07	0.08	0.19	0.22	0.26	0.00
Somme 7 congénères PCB [mg/kg]					0.01	0.16	0.02	9.27	0.57	0.06	0.49		110.30	128.80	0.04	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	3.25	3.86	8.11	9.71	11.86	0.09
Somme 6 congénères * 4.3 [mg/kg]	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg	1 mg/kg	10 mg/kg	0.05	0.54	0.07	34.70	1.94	0.19	1.61	1.08	409.79	502.24	0.18	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	10.66	12.60	27.13	31.86	38.96	0.28

Carbone Organique Total (COT)

COT (TOC) en % de masse			2 %	5 %																	0.40			0.67	
-------------------------	--	--	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	------	--

Lixiviat Test n°2

Anmoniac/ammonium [mg N/l]			0.5 mg N/l										< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0.05	0.17						
----------------------------	--	--	------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--------	--------	--------	--------	------	------	--	--	--	--	--	--

**ANNEXE F CAHIER DES CHARGES HYGIENE ET SECURITE
ETABLI PAR TOXPRO SA DU 08.02.2012**



contact@toxpro.ch

076 581 04 65

Carouge, le 08.02.2012

Consortium pour l'assainissement de la Pila
p.a. Geosud SA
Monsieur Jean-Cyril Favre
Secteur forestier
Rue de Gruyères 53
1630 Bulle

Cahier des charges hygiène et sécurité, version 2

– La Pila – travaux préparatoires

Le présent document regroupe les éléments d'hygiène du travail qui, selon l'expérience de TOXpro SA, devraient être pris en compte dans le cahier des charges et plan d'hygiène et de sécurité des entreprises devant travailler en contact de matériaux contaminés aux PCBs sur le site de la Pila.

Il s'agit d'un document de synthèse regroupant les différents éléments développés lors d'évaluations précédentes, disséminées dans plusieurs documents.

Evaluation des risques

Une analyse de risque préalable des activités projetées par l'entreprise doit être réalisée avec l'aide de spécialistes MSST (ingénieur de sécurité et hygiéniste du travail). Cette analyse de risque doit évaluer le risque brut ainsi que le risque résiduel suite à la mise en place de la mesure de gestion des risques proposée. Les éléments produits par ces analyses de risque seront consolidés et éventuellement coordonnés si nécessaire dans le PHS. Il s'agit d'adresser les risques machines, risques aigus, mais aussi d'intégrer les éléments liés à la gestion des risques chroniques.

Choix et gestion des équipements de protection individuelle

La pression de vapeur des PCB (et dioxines) à température et pression ambiante est très faible (de l'ordre de quelques milli-torr pour les plus volatils) comme illustré dans le tableau ci-dessous :

Aroclor Compound	Water solubility (mg/l) 25 °C	Vapour Pressure (torr) 25 °C	Density (g/cm ³) 25 °C	Appearance	Boiling point (°C) at 750 torr
1016	0.42	4.0 x 10 ⁻⁴	1.33	Clear oil	325-356
1221	0.59	6.7 x 10 ⁻³	1.15	Clear oil	275-320
1232	0.45	4.1 x 10 ⁻³	1.24	Clear oil	290-325
1242	0.24	4.1 x 10 ⁻³	1.35	Clear oil	325-366
1248	0.054	4.9 x 10 ⁻⁴	1.41	Clear oil	340-375
1254	0.021	7.7 x 10 ⁻⁵	1.50	Light yellow viscous oil	365-390
1260	0.0027	4.0 x 10 ⁻⁵	1.58	Light yellow sticky resin	385-420

Source : IARC (1978), WHO (1987).

Par conséquent la phase vapeur des PCB peut être considéré comme négligeable. Il en va de même pour les métaux lourds. Il est à considérer que le risque d'exposition par inhalation est quasiment exclusivement lié aux aérosols et poussières, comme justement identifié dans le PHS de 2009.

Ceci valide le choix de port de protections respiratoires pour aérosols, type P3.

Il est intéressant de noter qu'une méthode de prélèvement des PCB dans l'eau utilise une étape de pré concentration utilisant la propension de ces produits lipophiles à facilement migrer dans des absorbants constitués de polyéthylène. Les combinaisons de protection jetable (type Tyvek) sont constituées de polyéthylène et par conséquent le risque de contamination par exposition cutanée est à prendre en considération.

Le PHS de 2009 indique l'utilisation de combinaison de type 3. Les photos réalisées sur le chantier montrent l'utilisation de combinaisons blanches typiques de type 4/5.

Selon les documents Dupont, seules les combinaisons Tychem F ont été testées pour la résistance à la perméation des PCB. L'utilisation de tout autre équipement devra faire l'objet de tests de validation.



PCB gas condensate

L	CAS-no. 11097-69-1	Actual min	ASTM min	EN 369 min	EN Class	SSPR mg/cm ² -min	MDPR
	TYVEK® (style 1422A)	nt	nt	nt	–	nt	nt
	TYCHEM® C	nt	nt	nt	–	nt	nt
	TYCHEM® F	>480	>480	>480	6	<0.001	0.001

Polychlorinated biphenyl (PCB) in transformer oil

L	CAS-no. 11097-69-1	Actual min	ASTM min	EN 369 min	EN Class	SSPR mg/cm ² -min	MDPR
	TYVEK® (style 1422A)	nt	nt	nt	–	nt	nt
	TYCHEM® C	nt	nt	nt	–	nt	nt
	TYCHEM® F	>480	>480	>480	6	<0.001	0.001

Au niveau des gants, la problématique est identique, il existe dans la littérature plusieurs études montrant la perméation des PCB aux travers de divers matériaux. Les gants de protection utilisés doivent correspondre aux spécification de protection du risque chimique. L'utilisation de gants d'examen ne peuvent être admis pour la manipulation de substances contaminées. Le latex doit être de même évité en raison des risques de sensibilisation allergique.

Test d'adéquation des masques de protection respiratoire (FIT-Test)

Une grande partie de la gestion du risque d'exposition se base sur l'emploi de masques de protection respiratoire. Il est primordial de pouvoir démontrer s'ils sont à-même de garantir la protection requise dans les conditions d'utilisation et ceci est d'autant plus important que les EPI représentent le tout dernier maillon de la gestion du risque. Toute gestion du risque d'exposition basée toute ou en partie sur l'emploi de masques de protection respiratoire nécessite une validation de leur efficacité. L'état de la technique en la matière est la réalisation de tests d'adéquation (fit-test) des masques utilisés directement sur les opérateurs. Ces tests sont effectués par une mesure intérieur/extérieur d'une substance témoin (généralement nanoparticules atmosphériques) lors de différents exercices normalisés. Ce test permet de valider qu'un niveau de protection suffisant est garanti par le système homme-masque et que l'étanchéité du masque est adéquate (adéquation de la forme du masque par rapport au visage, taille du masque, étanchéité sur la peau, etc). Le critère d'adéquation doit être d'au minimum 10 x APF défini selon la norme BS4275.



Standard	Description	Class or Filter	Nominal PF	Assigned PF*
EN 149	Filtering facepieces for particulates	FFP1 FFP2 FFP3	4 12.5 50	4 10 20
EN 405	Filtering half masks for gases or particulates	FFGASxP1(*) FFGASxP2(*) FFGASxP3(*) (* for particulates) All, for gases	4 12.5 50 50	4 10 20 10
EN 140	Half mask	P1 P2 P3 GAS	4 12.5 50 50	4 10 20 10
EN 136	Full facemask (all classes)	P2 P3 GAS	17 1000 2000	10 40 20
EN 12941	Powered hoods or helmets	TH1 TH2 TH3	10 50 500	10 20 40
EN 12942	Power assisted masks	TM1 TM2 TM3	20 200 2000	10 20 40
EN 1836	Light duty airline hood or helmet	LDH1 LDH2 LDH3	10 50 200	10 20 40
EN 12419	Light duty airline, full or half mask	LDM1 LDM2 LDM3	20 200 2000	20 20 40
EN 139	Compressed airline, full or half mask	(a) C/w half mask (b) C/w full mask i) Constant Flow ii) Negative pressure demand iii) Positive pressure demand	50 2000 2000 2000	20 40 40 2000

Facteur nominal de protection et « assigned protection factors » (APF) associés aux différents types de protection respiratoire.

L'APF est le facteur de protection minimal qui peut être garanti pour 95% des porteurs de masque.

Source Tyco PT52

Formation des opérateurs

Les entreprises doivent avoir un programme de formation traitant de la gestion des risques liés à leurs activités sur le chantier. Ce programme devrait couvrir au minimum les aspects suivants :

- nature des polluants et leurs risques pour la santé
- moyens de gestion du risque
- organisation du chantier (premiers secours, etc)
- formation pratique sur l'utilisation des éléments de gestion du risque (utilisation des EPI, leur maintenance, savoir enlever gants, habits, masques sans se contaminer)

La formation doit faire l'objet d'une validation par des spécialistes MSST. Tous les opérateurs intervenant sur le chantier doivent avoir suivi cette formation.

Tests médicaux d'aptitude

Le travail sous protection respiratoire induit certaines contraintes particulières qui peuvent être sujettes à des contre-indications médicales. Les opérateurs travaillant sous protection respiratoire doivent passer un examen d'aptitude ad-hoc auprès d'un médecin du travail. Cette évaluation devrait comporter les éléments suivants :

- anamnèse générale
- anamnèse professionnelle
- blessures / maladies actuelles
- anamnèse clinique
- test de la vision
- audiométrie
- examen physique : examen de l'état général, tension artérielle, pouls, poids, taille, auscultation coeur-poumon, palpation abdominale, test neurologique sommaire, etc.
- test de la fonction pulmonaire (spirométrie et FEV1 et FVC)
- ECG au repos pour les personnes de plus de 40 ans
- Ergométrie (selon indications particulières)

Surveillance biologique des expositions

Il appartient à l'entreprise de prendre contact avec le service médical de la SUVA afin que l'assujettissement à une surveillance biologique d'exposition des travailleurs puisse être évalué.

La surveillance biologique est le seuil moyen permettant de valider l'efficacité réelle des mesures de protection mise en place et de détecter d'éventuelles expositions cachées. Une mesure des substances et/ou leurs métabolites dans les fluides biologiques avant le début des travaux permet de connaître le niveau de contamination de base des opérateurs. La mesure doit être effectuée de façon à pouvoir détecter les substances aux plus faibles valeurs de quantification possible afin de pouvoir détecter toute modification, même légère du taux de contamination plutôt qu'une mesure de conformité des VBT (valeur biologique tolérable). Une surveillance biologique devrait être effectuée pour les risques d'exposition aux PCB ainsi qu'aux métaux lourds.

Métrologie des expositions

Les principales substances identifiées (en concentration et localisation variables) sont les PCBs ainsi que les métaux lourds (notamment plomb, cadmium, antimoine). Ci-après, les différentes valeurs limites d'expositions :

Substances	Valeur limite moyenne (8h)	Valeur limite court terme (4x15 min)	Référence	Remarque
PCB	0.5 mg/m ³ (>57% CI)	-	TLV ACGIH	Pas de valeur limite en Suisse
	0.001 mg/m ³		REL NIOSH	Risque cancer 1/10'000
Plomb	0.1 mg/m ³	0.8 mg/m ³ i	SUVA 2011	
Cadmium	0.015 mg/m ³	-	SUVA 2011	
Oxyde de cadmium	0.002 mg/m ³ a		SUVA 2011	
Antimoine	0.5 mg/m ³ i		SUVA 2011	
Cuivre	0.1 mg/m ³ i	0.2 mg/m ³ i	SUVA 2011	

Valeurs d'exposition pour les PCB

La valeur moyenne d'exposition pour les PCB a été retirée des tabelles SUVA car elle ne permettait pas une évaluation et une gestion des risques d'exposition appropriée. Cette valeur, en effet ne tient pas compte des possibilités de résorption cutanée des PCB. De plus, une valeur limite de 0.5 mg/m³ semble inappropriée pour gérer les risques cancérogènes. Le NIOSH (USA) propose une valeur limite de 1 µg/m³ (NIOSH REL 2007) correspondant au risque cancer de 1/10'000, ce qui serait encore 10 fois trop élevé pour assurer les objectifs de protection des travailleurs sur les risques cancérogènes (usuellement 1/100'000).

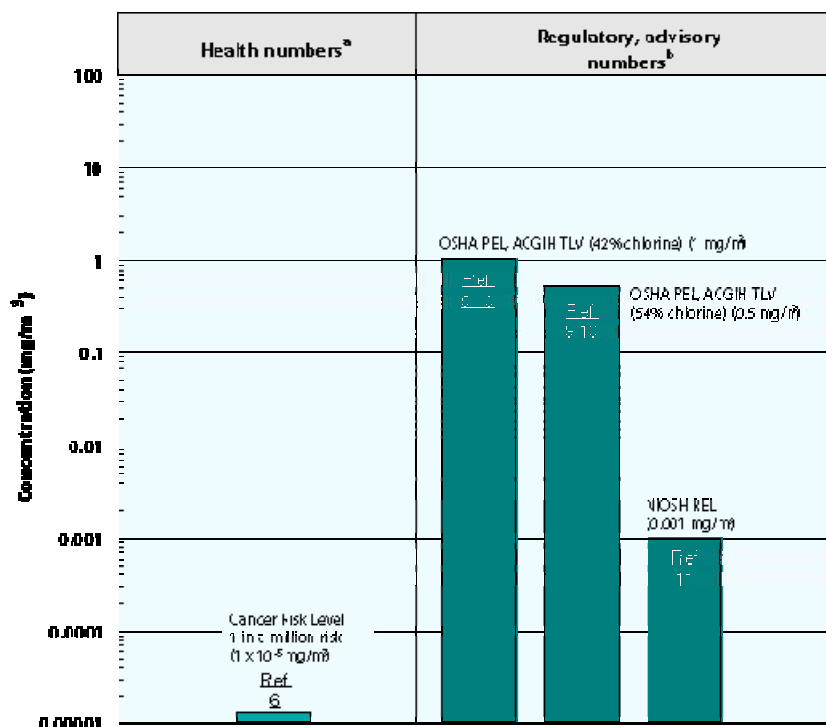
Une VME cible de 1 µg/m³ pour les PCB apparaît comme plus appropriée.

La présence avérée ou suspectée de nombreuses substances toxiques dans les terres et matériaux implique que la valeur limite d'exposition aux poussières ne peut simplement pas correspondre aux valeurs pour poussière inerte.

Avec un taux d'environ 1000 ppm de PCB dans les matériaux d'excavation, un taux de poussière de 1 mg/m³ correspondrait à la VME cible de 1 µg/m³ PCB.

Le suivi d'exposition ne peut simplement être réalisé à l'aide d'un néphélomètre. L'évaluation et le suivi de la teneur en PCB des poussières est un paramètre majeur de l'évaluation de l'efficacité des mesures de gestion du risque d'exposition et de contamination.

Polychlorinated Biphenyls



11. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Pocket Guide to Chemical Hazards. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention. Cincinnati, OH. 1997.

La fraction mesurée par les appareils à lecture directe (néphélométrie) n'est pas la fraction inhalable de la convention respiratoire. La fraction prélevée s'apparente plus à la fraction totale environnementale et a de ce fait tendance à surestimer la fraction inhalable (ce qui va dans le sens de la sécurité). Toutefois, l'intensité de réponse des néphélomètres dépend fortement de la capacité d'absorption infrarouge des aérosols mesurés, ainsi des poussières noires (forte absorption des IR) qui vont être mieux détectées que des poussières blanches (forte réflexion des IR). Des variations de réponse importantes sont liées à ce phénomène et dès lors une mesure par néphélométrie n'a de signification qu'accompagné d'un processus de calibration par comparaison avec des techniques de prélèvement standardisés (prélèvement actif sur filtre et analyse et/ou gravimétrie).

La détermination de valeurs limites d'alertes présuppose la réalisation de divers mesures préalables afin d'évaluer la nature des substances impliquées mais aussi la variabilité des expositions. L'évaluation de la conformité des mesures d'exposition implique diverses approches statistiques afin de pouvoir comparer un nombre de mesures ponctuelles limitées avec des valeurs moyennes normatives (VME) basées sur des doses de vie professionnelle entière (approche selon EN 689).

Un plan de mesure des expositions doit être élaboré afin de documenter l'exposition des travailleurs aux PCBs en se basant sur les stratégies d'échantillonnage de la norme EN689 ou toute approche statistique similaire (cf schéma ci-après).

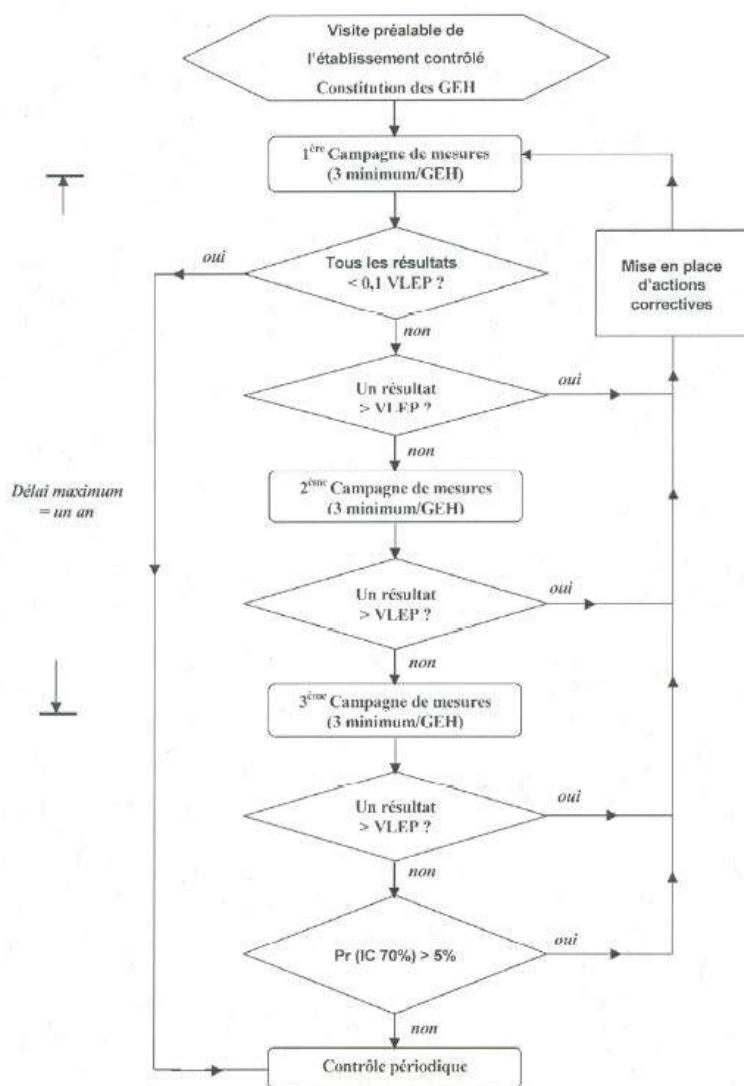


Tableau synoptique d'une stratégie d'échantillonnage avec approche statistique (France 2009).

GEH : groupe d'exposition homogène

VLEP : valeur limite d'exposition professionnelle (VME)

Pr : probabilité de dépassement de la VLEP (distribution log-normale)

Mesure de la contamination des surfaces

En terme de contamination des surfaces, les valeurs admissibles présentés ci-dessous sont utilisées :

Concentration admissible	Modèle conservateur	Modèle pragmatique	Concensus proposé
Massique	0.24 ppm	890 ppm	50 ppm
Surfacique	0.03 µg/cm ²	110 µg/cm ²	6 µg/cm ²

Ces valeurs limites sont applicables dans tous les secteurs hors zone contaminées où les opérateurs sont susceptibles de toucher les surfaces sans précautions particulières. Ces zones comportent notamment :

- les surfaces des engins de chantier et camions sortant de la zone contaminée
- lieux communs (vestiaires, douches, cafétéria)
- partie blanche des éventuels sas de décontamination

Ces valeurs sont valables pour prévenir le risque de résorption cutanée des PCB en cas de contact avec de la terre contaminée. Si la source d'exposition est de l'eau contaminée, les valeurs du modèle conservateur seront appliquées.

Détermination de la dose journalière admissible de PCBs

Sur la base de la valeur limite d'exposition moyenne proposée par le NIOSH pour les PCBs de 0.001 mg/m³ (REL 2007) et d'un volume respiratoire cumulé pour un travailleur devant développer un métabolisme moyen durant 8h correspondant à 10 m³, nous pouvons déterminer une dose admissible journalière de PCBs équivalente à 0.01 mg.

La dose journalière admissible calculée ne doit pas être dépassée en tenant compte de diverses voies de pénétration possibles du toxique. En postulant que les voies d'entrée par inhalation et ingestion sont maîtrisées par le port de protections respiratoires et des règles d'hygiène appropriées, le potentiel de résorption cutanée doit être évalué.

Evaluation des flux de perméation à travers la peau

Le CDC (Center for Disease Control, USA) propose divers modèles d'évaluation des flux de perméation à travers la peau prenant en comptes de nombreux paramètres physicochimiques. Dans le cas des PCB (CAS 1336-36-3), les modèles du CDC donne les flux suivants :

Frasch	1.02E-05	mg/(h*cm ²)
Potts and Guy	7.05E-05	mg/(h*cm ²)
Modified Robinson	8.74E-06	mg/(h*cm ²)

Frasch Model □ Frasch, H. F. (2002) A random walk model of skin permeation. *Risk Anal.* 22, 265-276

Potts and Guy Model □ Potts, R. O., and Guy, R. H. (1992) Predicting skin permeability. *Pharm. Res.* 9, 663-669

Modified Robinson Model □ Wilschut, A., ten Berge, W. F., Robinson, P. J., McKone, T. E. (1995) Estimating skin permeation. The Validation of five mathematical skin permeation models. *Chemosphere* 30, 1275-1296

En considérant une surface de contact de 360 cm² (surface usuelle selon EPA correspondant à 2 paumes de main), la dose admissible de 0.01 mg serait atteinte en :

Frasch	2.7	h
Potts and Guy	0.4	h
Modified Robinson	3.2	h

Selon les modèles, les flux de perméation des PCB sont suffisants pour atteindre une dose cumulée interne supérieure à la dose admissible en moins de 8h d'exposition (24 min pour le modèle de Potts and Guy). En se basant sur les modèles précédents, une concentration surfacique maximale admissible peut être calculée :

$$\text{Conc. surface admissible} = \frac{\text{Dose admissible}}{\text{Surface exposée}} = \frac{0.01 \text{ mg}}{360 \text{ cm}^2} = 0.03 \frac{\mu\text{g}}{\text{cm}^2}$$

Cette concentration surfacique admissible peut être considérée comme très restrictive car les modèles de flux sont basés sur l'hypothèse d'un véhicule aqueux avec une disponibilité et une absorption totale des PCB au travers de la peau.

Cette concentration surfacique correspondrait à une concentration massique équivalente de 0.24 ppm (surface prélevée sur 0.5 mm de profondeur lors d'un wipe test).

Disponibilité et absorption des PCBs

L'évaluation de la disponibilité et de l'absorption des PCBs à travers la peau humaine peut être effectuée à l'aide des outils publiés par l'EPA (Environmental Protection Agency, USA).

L'EPA propose (Dermal Exposure Assessment, EPA/600/R-07/040F September 2007) d'évaluer la quantité absorbée par la peau lors d'un contact avec des terres polluées selon le principe suivant :

$$QA = CS \times SA \times AF \times ABS \quad (\text{équation 1})$$

QA	Quantité absorbée par la peau (mg)		
CS	Fraction massique de PCB dans les sols		
SA	Surface exposée	360 cm ²	United States Environmental Protection Agency (US EPA). Dermal exposure assessment: principles and application: interim report. Washington (DC): US EPA; 1992. US EPA - 600-8-91-011.
AF	Adhésion de terre sur la peau	0.52 mg/cm ²	Finlay BL, Scott PK, Mayhall DA. Development of a standard soil-to skin adherence probability density function for use in Monte Carlo analyses of dermal exposure. Risk Anal 1994;14:555-69.
ABS	Facteur d'absorption PCB par le peau	0.06	United States Environmental Protection Agency (US EPA). Dermal exposure assessment: principles and application: interim report. Washington (DC): US EPA; 1992. US EPA 600-8-91-011.

Sur la base de l'équation 1, la fraction massique correspondant à une dose absorbée admissible de 0.01 mg (QA) est égale à :

$$CS = \frac{QA}{SA \times AF \times ABS} = \frac{0.01}{360 \times 0.52 \times 0.06} = 0.00089 = 890 \text{ ppm}$$

La concentration massique trouvée correspond à une concentration surfacique d'environ 110 µg/cm²

Nous constatons que selon les approches utilisées, les concentrations admissibles peuvent varier d'un facteur 3300 (0.24 ppm à 890 ppm). Face à ce problème, nous proposons un consensus basé sur l'application de la valeur environnementale de 50 ppm comme concentration admissible en terme d'exposition cutanée, correspondant à une concentration surfacique de 6 µg/cm². L'utilisation de ce seuil à la fois pour les aspects environnementaux et de gestion des risques d'exposition permet une harmonisation des évaluations.

Nous restons à votre entière disposition pour tout complément d'informations.

Avec nos meilleurs messages

A handwritten signature in black ink, appearing to read "V. Perret", written over two curved lines that suggest a stylized "V" or a signature flourish.

Vincent PERRET
TOXpro SA
Hygiéniste du travail SSHT