

HYDROGÉOTECHNIQUE

Spécialistes en études de sol,
chaussée et environnement.



TERRA SARL

Route d'Obermodern

67330 BOUXWILLER



RAPPORT D'ÉTUDE GÉOTECHNIQUE

Aménagement d'un lotissement – MINVERSHEIM

Études géotechniques (G1-G2-AVP)

DOSSIER N°	INDICE	DATE	RÉDACTEUR	CONTRÔLEUR	OBSERVATIONS
C.21.22.302	A	08/02/22	Daphné BONNET	Laurent COLIN	Première diffusion

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION.....	3
1.1. MISSIONS.....	3
1.2. RÉFÉRENTIELS.....	5
1.3. DOCUMENTS FOURNIS.....	6
1.4. DESCRIPTION DU PROJET AU STADE DE NOTRE MISSION.....	6
2. ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉLIMINAIRE DE SITE - MISSION G1 ES	8
2.1. CONTEXTES SITOLOGIQUE ET HISTORIQUE.....	8
2.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE.....	10
2.3. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE.....	11
2.4. RISQUES NATURELS.....	12
3. PROGRAMME SPÉCIFIQUE D'INVESTIGATIONS MIS EN ŒUVRE	17
3.1. PROGRAMME SPÉCIFIQUE	17
3.2. IMPLANTATION DES SONDAGES	18
4. RÉSULTATS DES INVESTIGATIONS	19
4.1. LITHOLOGIE	19
4.2. CARACTÉRISTIQUES GÉOTECHNIQUES	19
4.3. HYDROGÉOLOGIE	22
5. CONDITIONS SISMQUES	23
6. SYNTHÈSE DES DONNÉES DE SOL ET ALÉAS GÉOTECHNIQUES	24
6.1. SYNTHÈSE DES DONNÉES GÉOTECHNIQUES.....	24
6.2. ALÉAS.....	24
7. PRINCIPES GÉNÉRAUX DE CONSTRUCTION DES MAISONS - MISSION G1 PGC.....	26
8. RÉALISATION DES VOIRIES - MISSION G2 AVP.....	28
9. POSE DES RÉSEAUX – PRÉCONISATIONS NFP 98-331	30
9.1. REMBLAYAGE	30
9.2. RAPPEL DES CAS TYPES.....	31
9.3. OBJECTIFS DE DENSIFICATION EXIGÉS SOUS CHAUSSEES, TROTTOIRS ET ZONES SUPPORTANT DES CHARGES LOURDES (CAS TYPE 1).....	32
9.4. OBJECTIFS DE DENSIFICATION EXIGÉS SOUS CHAUSSEES, TROTTOIRS ET ZONES NE SUPPORTANT PAS DES CHARGES LOURDES (CAS TYPE 2).....	33
9.5. OBJECTIFS DE DENSIFICATION EXIGÉS SOUS ACCOTEMENTS (CAS TYPE 3)	33
9.6. OBJECTIFS DE DENSIFICATION EXIGÉS SOUS CHEMINS EMPIERRÉS NE SUPPORTANT PAS DES CHARGES LOURDES ET SOUS ESPACES VERTS (CAS TYPE 4).....	34
9.7. REMARQUES SUR LES REMBLAIS D'ENROBAGE ET LE LIT DE POSE	37
9.8. CONDITIONS DE RÉALISATION DES TRANCHÉES	37
9.9. CONTEXTE DE SOLS ARGILEUX À FORT POTENTIEL DE GONFLEMENT	38
ANNEXES.....	40
ANNEXE 1 PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES.....	41
ANNEXE 2 COUPES DES SONDAGES ET ESSAIS	43
ANNEXE 3 RÉSULTATS DES ESSAIS EN LABORATOIRE.....	44
ANNEXE 4 MISSIONS GÉOTECHNIQUES.....	45



1. INTRODUCTION

1.1. MISSIONS

À la demande et pour le compte de **TERRA SARL**, l'agence Alsace du Bureau d'Etudes HYDROGÉOTECHNIQUE EST a procédé à l'exécution des sondages, essais et études géotechniques G1 et G2AVP préalables à l'**aménagement d'un lotissement** sur la commune de **MINVERSHEIM (67)**.

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la norme 94.500 des missions type d'ingénierie géotechnique de l'AFNOR-USG (Novembre 2013), qui suivent les étapes d'élaboration et de réalisation de tout projet, à savoir :

- **ÉTAPE 1 : étude géotechnique préalable (G1) (pour les bâtiments)**
 - **ES : Phase Étude de Site,**
 - **PGC : Phase Principes Généraux de Construction,**
- **ÉTAPE 2 : étude géotechnique de conception (G2) (pour les voiries)**
 - **AVP : Phase Avant-Projet,**
 - **PRO : Phase Projet,**
 - **DCE / ACT : Phase Dossier de Consultation des Entreprises et Assistance aux Contrats de Travaux**
- **ÉTAPE 3 : études géotechniques de réalisation**
 - **Étude et suivi géotechnique d'exécution (G3)**
 - Phase étude,
 - Phase suivi.
 - **Supervision géotechnique d'exécution (G4)**
 - Phase étude,
 - Phase suivi.
- **Étude d'éléments spécifiques géotechniques**
 - **Diagnostic géotechnique (G5).**



L'étude géotechnique conduite sur le terrain, ainsi que le présent rapport correspondent à l'enchaînement des **missions G1-G2 AVP** de l'Union Syndicale Géotechnique. Vous trouverez en annexes la classification, le contenu et le schéma d'enchaînement de ces missions.

Les hypothèses prises lors de l'établissement de ce rapport s'entendent sous réserve de la stricte application de cette norme et plus généralement de l'ensemble des normes et règlements en vigueur.

Ce rapport a été rédigé par **Daphné BONNET**, Ingénieure Géologue-Géotechnicien, Master de Géologie Appliquée et approuvé par **Laurent COLIN**, Ingénieur Géologue-Géotechnicien, DESS de Géologie Appliquée.

Les objectifs de cette étude sont :

- L'appréhension des caractéristiques géologiques, hydrogéologiques et géotechniques des sols au droit du projet,
- La présentation des principes généraux de construction des ouvrages géotechniques, à savoir :
 - Les principes généraux de construction des pavillons (mission G1 PGC),
 - La nature et les épaisseurs des matériaux constitutifs des voiries (mission G2-AVP).
 - Les conditions de pose des réseaux enterrés (mission G2-AVP).

Notre mission de type G1 et G2-Phase AVP s'arrête à la remise de ce rapport. Elle devra être suivie des missions de type G2-PRO et DCE/ACT pour les voiries et G2-AVP puis PRO pour les pavillons, puis G4. Ponctuellement, une mission G5 à définir par la Maîtrise d'Œuvre du projet pourra être réalisée. La mission G3 est à la charge de l'entreprise adjudicataire des travaux.

Limites de cette étude :

- Le caractère de cette étude est strictement de type géotechnique. Les aspects liés à la recherche de pollution éventuelle ou à la caractérisation des ouvrages enterrés et des incidences des vestiges et fouilles archéologiques sont exclus. Notre mission n'intègre pas l'étude des dispositifs d'assainissement, ni l'étude de la possibilité d'infiltration des eaux pluviales.



- La présence notamment de risque d'amiante anthropique dans les remblais n'a pas été étudiée.
- La présente étude peut présenter des contradictions avec les résultats de missions complémentaires (recherche de pollution notamment). Il appartiendra au Maître d'Œuvre de mettre en cohérence ces éléments, si nécessaire, à la réception des études.

1.2. RÉFÉRENTIELS

La campagne de sondages, ainsi que notre étude, suivent les normes et documents français et plus particulièrement :

- Eurocodes 1 – NF-EN-1991-1 (mars 2003),
- Eurocodes 7 – NF-EN-1997-1 (juin 2005) et NF-EN-1997-2 (septembre 2007),
- Eurocodes 8 – NF-EN-1998-5 (septembre 2005),
- Arrêtés du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux ouvrages de la classe dite « à risque normal », modifiés par arrêtés successifs, version en vigueur à la date d'établissement du présent rapport.
- NFP 94-261 – Calcul géotechnique – Fondations superficielles (juin 2013) ainsi que l'amendement A1 de février 2017,
- Norme NF P 98-331 – chaussées et dépendances – Tranchées, ouverture, remblayage, réfection (février 2005),
- Guide Technique SETRA : Étude et réalisations de tranchées (novembre 2001),
- Guide technique pour les remblais et les couches de forme (septembre 1992),
- Normes relatives aux essais in situ et essais en laboratoire.

1.3. DOCUMENTS FOURNIS

Pour mener à bien notre mission, les documents suivants nous ont été fournis par le Maître d'Ouvrage :

- Le plan de composition du lotissement au 1/500 aux formats PDF et DWG, au stade Avant-Projet, indicé A.8 et daté du 01/07/2021, transmis en date du 23/11/21.
- Un extrait du plan cadastral avec la localisation de la zone d'étude, transmis en date du 23/11/21.

1.4. DESCRIPTION DU PROJET AU STADE DE NOTRE MISSION

Le projet porte sur l'aménagement d'un lotissement composé de 8 lots en vue de la construction de pavillons et logements intermédiaires sur la commune de MINVERSHEIM.

Il est prévu la réalisation d'une voirie légère en bordure Sud du lotissement. Cette voirie sera composée d'une voirie existante au Sud du lotissement, et de son extension en bordure Nord.



Extrait du plan parcellaire du lotissement – indice A.8 – 01/07/2021



D'après les informations fournies par le Maître d'Ouvrage, le projet de voirie étudié est classé en catégorie géotechnique **1** :

Classe de conséquence	Conditions de site	Catégorie géotechnique*	Base des justifications
CC1	Simple et connues	1	Expérience et reconnaissance géotechnique qualitative admises
CC1	Complexes	2	Reconnaissance géotechnique et calculs nécessaires
CC2	Simple		
CC2	Complexes	3	Reconnaissance géotechnique et calculs approfondis
CC3	Simple ou complexes		

* Cette classification est à confirmer par le Maître d'Ouvrage.

Tous changements d'implantation ou d'importance du projet par rapport aux hypothèses prises lors de l'établissement de ce rapport doivent nous être communiqué et recevoir notre accord par écrit et faire l'objet d'une mission spécifique complémentaire. Ces changements peuvent modifier les conclusions de notre étude.

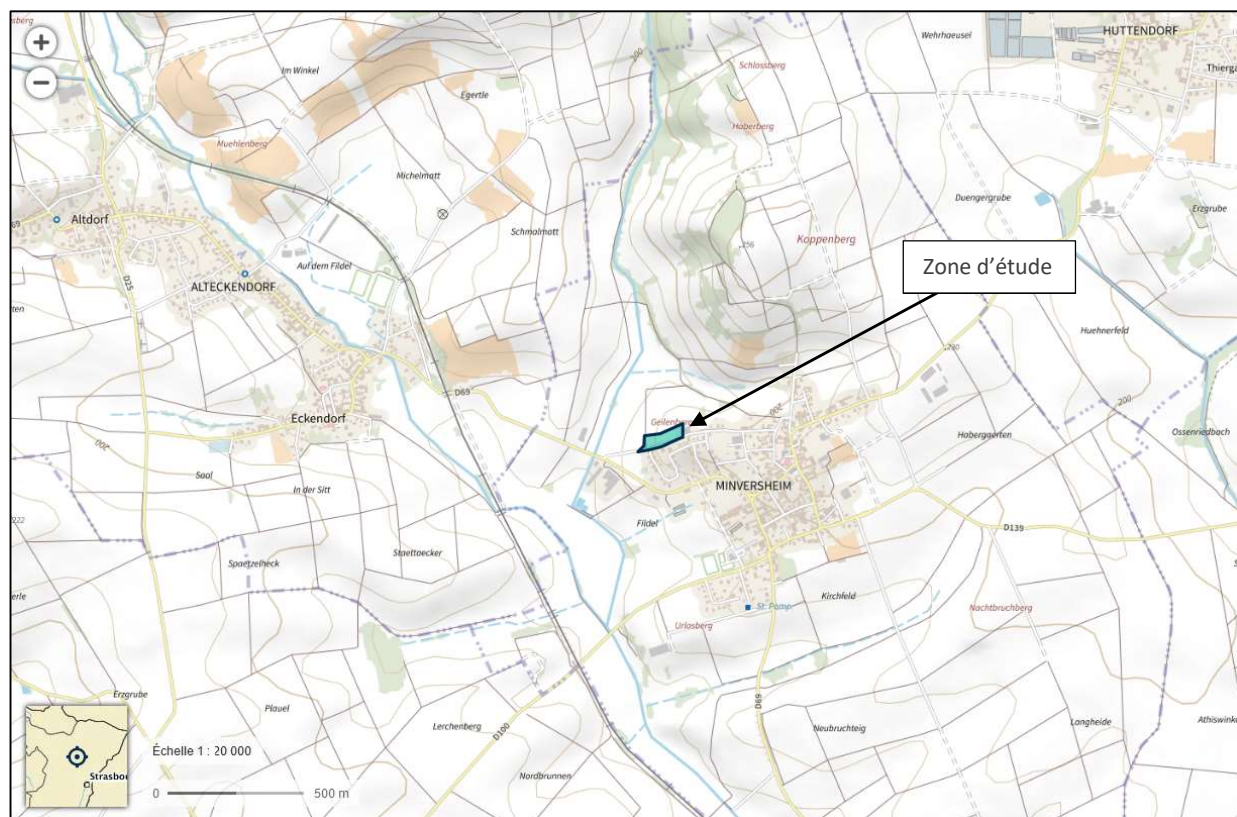
Cette étude a été réalisée en date du 08/02/2022. Nous attirons l'attention sur le fait qu'un certain nombre de paramètres peut évoluer dans la durée (environnement notamment). Au-delà d'un délai de 1 an, nous recommandons fortement une actualisation de nos conclusions.

2. ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉLIMINAIRE DE SITE - MISSION G1 ES

2.1. CONTEXTES SITOLOGIQUE ET HISTORIQUE

La zone étudiée présente une emprise totale d'environ 7 400 m² au Nord-Ouest du bourg de MINVERSHEIM (67). Elle est localisée sur le sommet d'un coteau.

Le site est accessible depuis la rue des Vergers au Sud du projet.



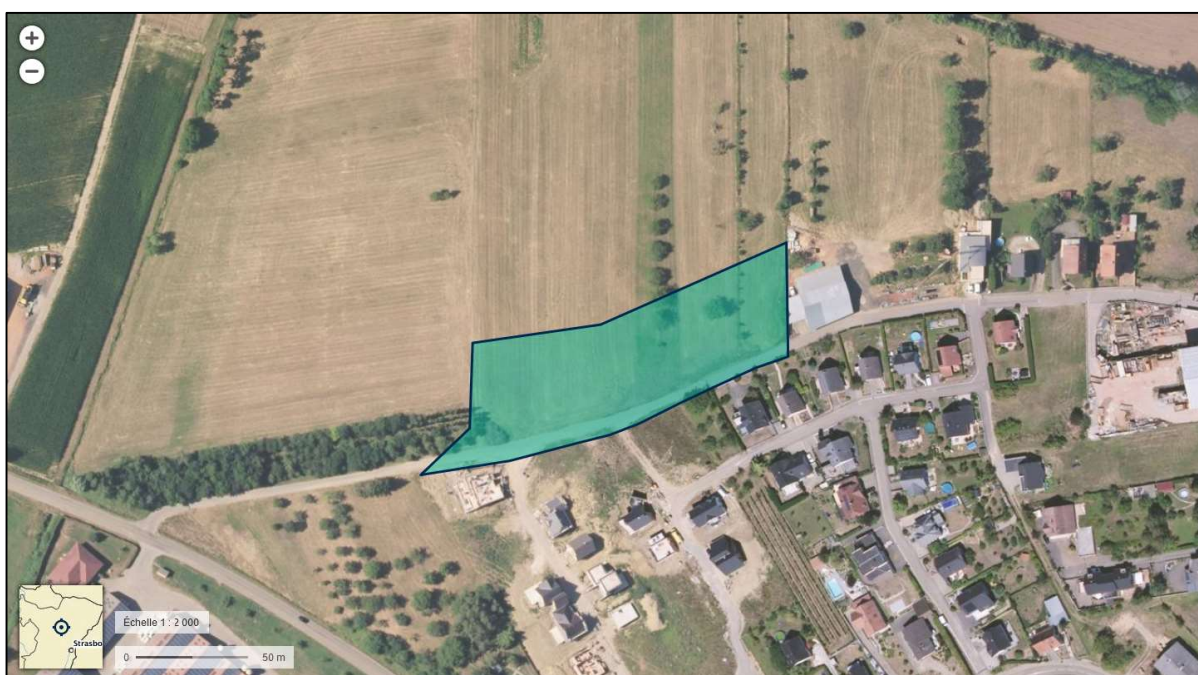
Plan de localisation du secteur d'étude

Le terrain correspond au droit des futurs lots à une pâture partiellement arborée, en pente vers le Nord-Est, et à une voirie existante en partie Sud qui sera prolongée en bordure Nord.

Le site est bordé :

- Au Nord par des pâtures ;
- À l'Est par la rue des Vergers actuelle, des habitations avec jardins et des pâtures ;
- Au Sud, par des habitations avec jardins (lotissement) ;
- À l'Ouest par la rue des Vergers actuelle, une parcelle boisée et des pâtures.

D'après les informations disponibles sur GEOPORTAIL, la zone d'étude a toujours été exploitée de manière agricole et son altitude varie entre les cotes 200.6 et 188.5m NGF.



Vue aérienne du secteur d'étude

Vues du secteur d'étude, prises lors de notre intervention :



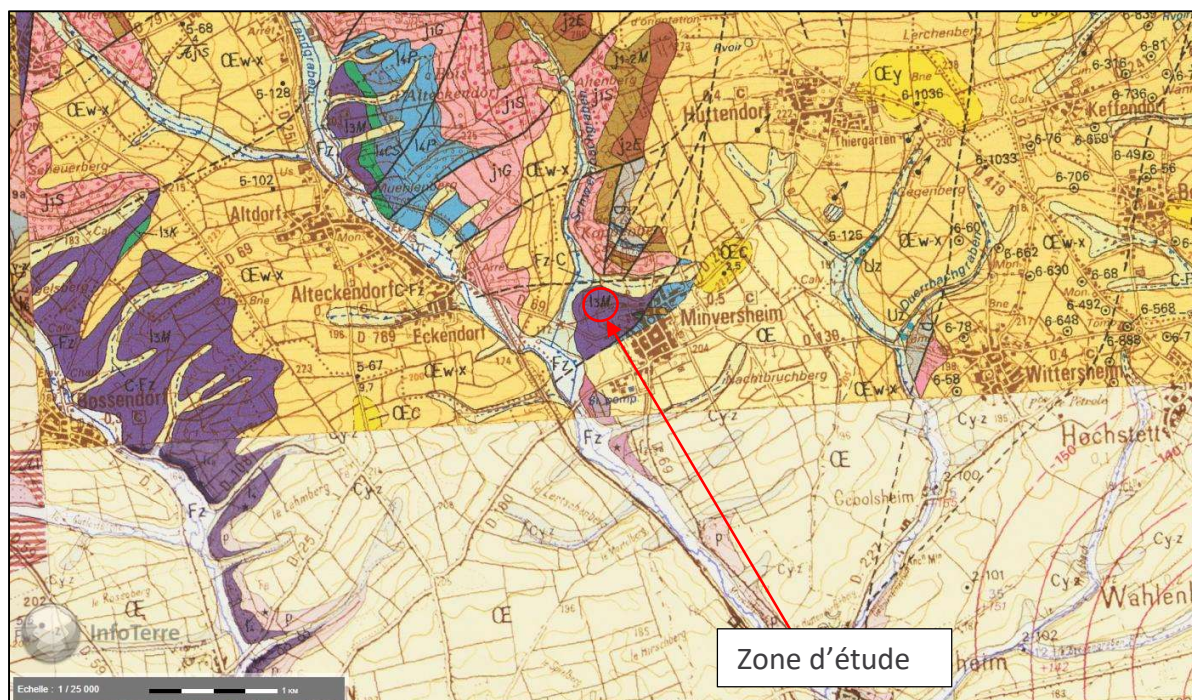
Photographie prise lors de notre intervention – Orientation Est / Ouest



Photographie prise lors de notre intervention – Orientation Sud-Est / Nord-Ouest

2.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE

La carte géologique de HAGUENAU (éditions du BRGM) au 1/50 000 montre que la zone d'étude se situe, sous d'éventuels remblais, sols remaniés et horizons d'altération argileux plus ou moins épais non mentionnés par le document, sur des formations d'âge Mésozoïque composées de marnes, épaisses d'environ 60m et notées I₃M.



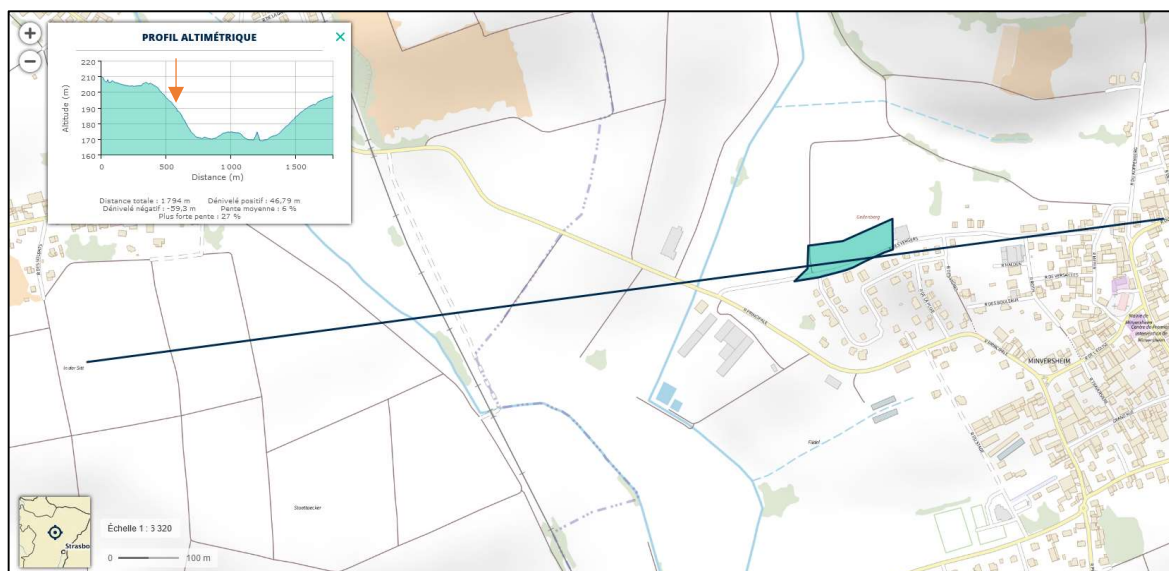
MÉSOZOÏQUE (SECONDAIRE)-Formations jurassiques-
Pliensbachien-Formation de Mutzenhouse (Pliensbachien supérieur);
 épaisseur 60m : Marnes à septaria (6m), marnes à ovoïdes (50m env.),
 marnes feuilletées (2m)

Extrait sans échelle de la carte géologique – Éditions BRGM

2.3. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE

D'après les informations disponibles sur l'APRONA, le secteur d'étude est localisé en bordure de la zone d'influence de la nappe alluviale rhénane mais n'est pas concernée par cette dernière.

Le site est localisé à l'Est de cours d'eau situés en fond de talweg. Compte-tenu de la topographie en sommet de coteau (voir profil altimétrique ci-après), la présence d'une nappe n'est pas attendue au droit de la zone d'étude.



Profil altimétrique extrait de GEOPORTAIL

Il peut cependant exister des circulations d'eau erratiques dans les sols superficiels pouvant générer l'apparition de nappes de rétention dans les horizons plus perméables en période pluvieuse.

2.4. RISQUES NATURELS

Selon le portail de prévention des risques majeurs du Ministère de la Transition Écologique et Solidaire, les risques majeurs et arrêtés de catastrophes naturelles pris sur la commune sont les suivants :

Détail des risques majeurs recensés sur la commune

Engins de guerre

Inondation – Par ruissellement et coulée de boue

Mouvement de terrain

Mouvement de terrain – Glissement de terrain

Mouvement de terrain – Tassements différentiels

Phénomène lié à l'atmosphère

Phénomènes météorologiques – Tempête et grains (vent)

Séisme Zone de sismicité : 3

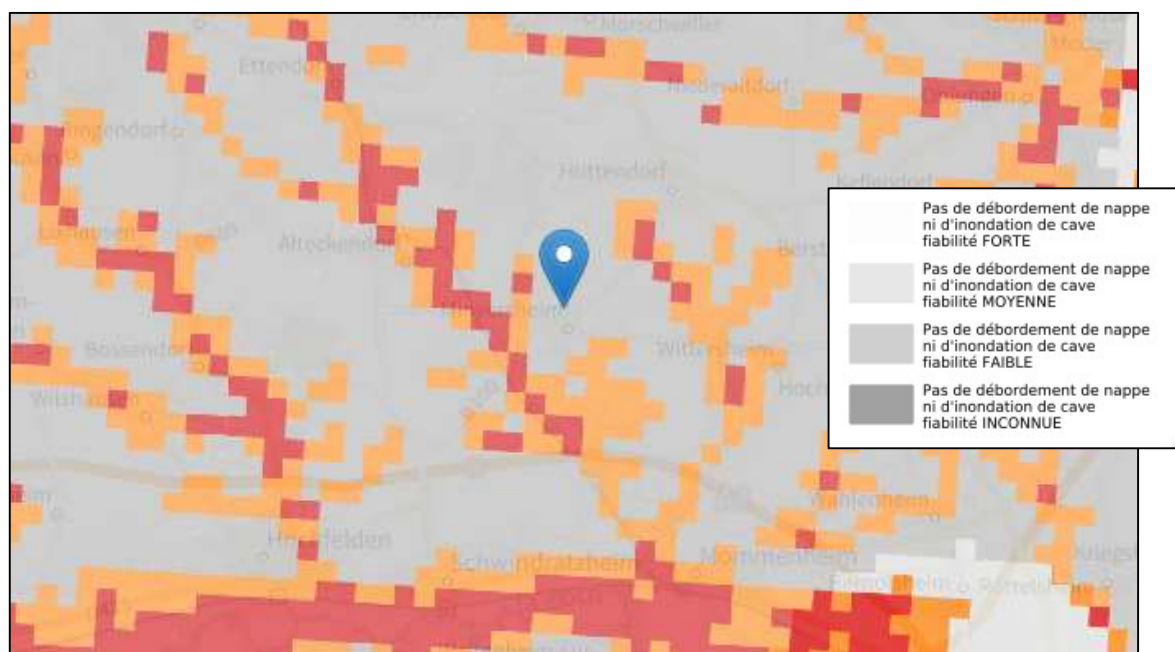
Transport de marchandises dangereuses

Arrêtés portant reconnaissance de catastrophes naturelles sur la commune				
Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain : 1				
Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le Journal Officiel du
67PREF19990308	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999	30/12/1999
Inondations et coulées de boue : 2				
Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le Journal Officiel du
67PREF20100010	09/06/2010	09/06/2010	29/10/2010	03/11/2010
67PREF20080022	29/05/2008	30/05/2008	11/09/2008	16/09/2008

Il s'agit d'arrêtés liés à des inondations, des coulées de boue et des mouvements de terrain.

2.4.1. REMONTÉES DE NAPPE

La cartographie de l'aléa des inondations par remontée de nappes du site « Géorisques » indique que le secteur d'étude ne se situe pas dans une zone potentiellement sujette aux inondations de caves (fiabilité faible), ce qui est cohérent avec le contexte topographique.



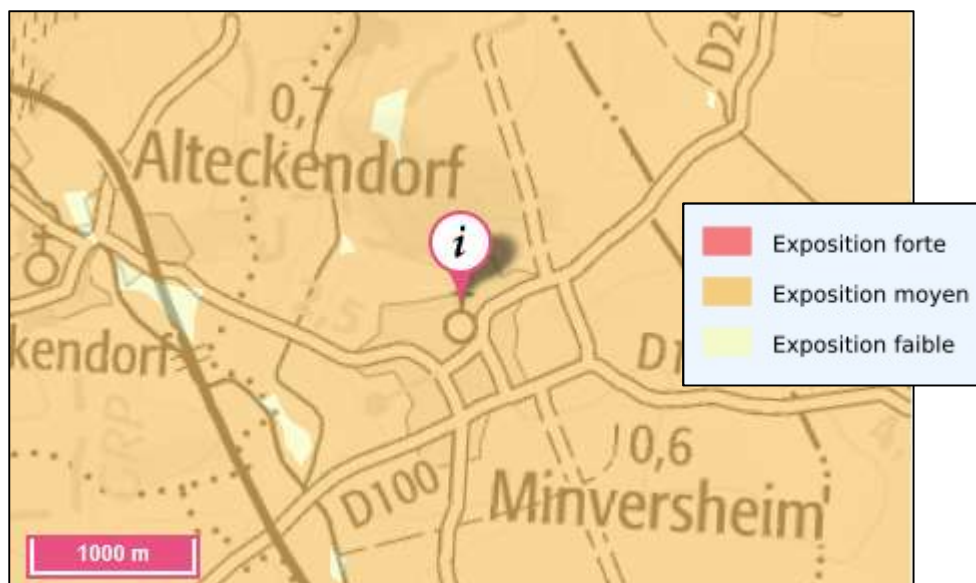
Extrait de la carte de l'aléa « Inondation par remontée de nappes »

2.4.2. RISQUE INONDATION - PPRI

D'après les informations disponibles sur le site GEORISQUES, la commune de MINVERSHEIM ne fait pas partie d'un territoire à risques d'inondation (TRI) ou d'un Plan de Prévention du Risque Inondation (PPRI).

2.4.3. LES PHÉNOMÈNES DE RETRAIT/GONFLEMENT DES SOLS ARGILEUX

La cartographie de l'aléa des sols argileux aux phénomènes de retrait / gonflement dont un extrait est présenté ci-après classe le site en zone d'**exposition moyenne**.



Extrait de la cartographie sur l'aléa retrait/gonflement (Géorisques)

2.4.4. BASE DE DONNÉES DES CAVITÉS SOUTERRAINES

D'après la base de données BRGM, aucune cavité souterraine n'a été recensée sur la commune. La zone d'étude ne fait pas non plus partie d'un Plan de Prévention Cavités souterraines.

2.4.5. RISQUE DE MOUVEMENTS DE TERRAIN

D'après le site GEORISQUES, un mouvement de terrain se situe à moins de 500m de la zone d'étude :



Ce mouvement de terrain correspond à un glissement référencé 66700119, situé sur le versant Sud du Koppenberg. Il est survenu suite à des intempéries au sein de formations superficielles limoneuses solifluées sur un substratum marneux. Un second glissement est localisé environ 100m au Nord-Est du premier.

2.4.6. RISQUE RADON

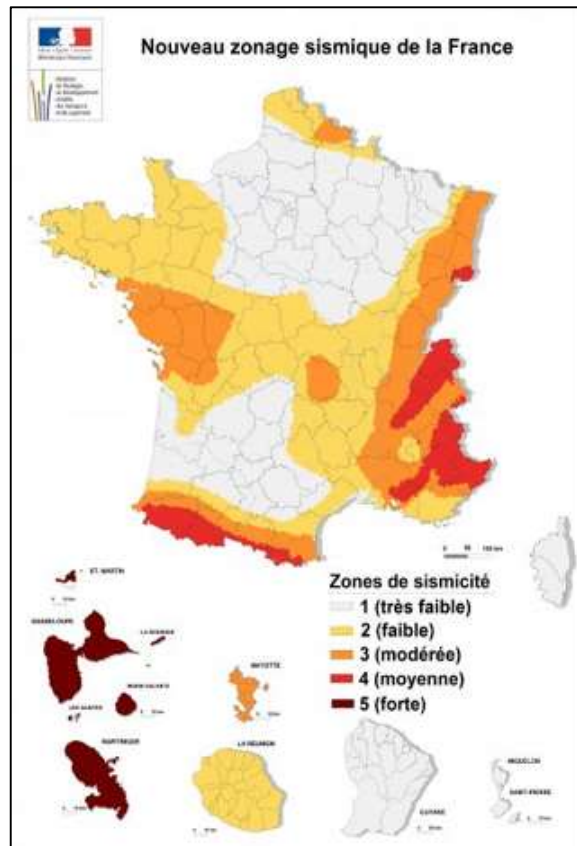
D'après le site www.irsn.fr, la commune présente un potentiel de présence de radon de **catégorie 1**.

Les communes à potentiel radon de catégorie 1 sont localisées sur les formations géologiques présentant les teneurs en uranium les plus faibles. Ces formations correspondent notamment aux formations calcaires, sableuses et argileuses constitutives des grands bassins sédimentaires (bassin parisien, bassin aquitain) et à des formations volcaniques basaltiques (Massif Central, Polynésie Française, Antilles...).

Sur ces formations, une grande majorité de bâtiments présente des concentrations en radon faibles. Les résultats de la campagne nationale de mesure en France métropolitaine montrent ainsi que seulement 20% des bâtiments dépassent 100 Bq.m⁻³ et moins de 2% dépassent 400 Bq.m⁻³.

2.4.7. SISMICITÉ

Depuis le 22 octobre 2010, la France dispose d'un zonage sismique divisant le territoire national en cinq zones de sismicité croissante en fonction de la probabilité d'occurrence des séismes (articles R563-1 à R563-8 du Code de l'Environnement modifiés par les décrets n°2010-1254 du 22 octobre 2010 et n°2010-1255 du 22 octobre 2010, ainsi que par l'Arrêté du 22 octobre 2010). Ici, le décret n°2010-1255 classe la zone étudiée en zone 3 (modérée).



Ici, le décret n°2010-1255 classe la zone étudiée en zone 3.

3. PROGRAMME SPÉCIFIQUE D'INVESTIGATIONS MIS EN ŒUVRE

3.1. PROGRAMME SPÉCIFIQUE

Sur l'ensemble du site, nous avons mis en œuvre les investigations suivantes :

- **5 sondages de reconnaissance géologique de type semi-destructif (tarière)**, réalisés en diamètre 64mm, notés TA1 à TA5, menés entre 4.20 (refus) et 6.00m de profondeur en TA1 à TA4 et arrêté à 1.50m en TA5.
- Doublant les sondages TA1 à TA4, **4 essais au pénétromètre dynamique**, notés PD1 à PD4, descendus à 6.0m de profondeur en PD1 et PD2 et au refus progressif obtenu à 5.8 et 4.4m de profondeur en PD3 et PD4. La résistance de pointe q_d en MPa a été calculée tous les 0.2m à l'aide de la formule de Redtenbacher.
- Dans des forages annexes, réalisés en diamètre 64mm, menés à 1.50m de profondeur, **5 essais de perméabilité de type PORCHET**, réalisés entre 0.70 et 1.50m de profondeur, pour mesurer la perméabilité des sols superficiels.
- **En laboratoire :**
 - 4 mesures de la teneur en eau naturelle,
 - 4 limites d'Atterberg.



3.2. IMPLANTATION DES SONDAGES

Les sondages et essais ont été positionnés selon le plan d'implantation présenté ci-dessous (également disponible en annexes du présent rapport) :



Plan d'implantation des sondages et essais

Les sondages n'ont pas été rattachés en nivellement à ce stade de l'étude.

4. RÉSULTATS DES INVESTIGATIONS

4.1. LITHOLOGIE

Les sondages de reconnaissance TA1 à TA5 ont mis en évidence la succession lithologique suivante :

- En tête, 0.10 à 0.20m de **limons argileux marron et marron foncé à racines, radicelles et localement des morceaux de briques et des cailloux calcaires**, correspondant à l'horizon de « *terre végétale* » ± remanié,
- Reposant sur des **argiles ± carbonatées, limoneuses en tête puis marneuses en profondeur, marron clair, grises, brun-vert et ocre**. Cet horizon a été identifié jusqu'à la base de l'ensemble des sondages arrêtés entre 1.5 et 6m de profondeur dans cet horizon.

On gardera à l'esprit que :

- compte tenu du nombre limité de points d'investigations, cette esquisse reste schématique et que l'épaisseur des différentes couches n'est certaine qu'au droit des sondages.
- que les sondages ont été réalisés en semi-destructif et en petit diamètre, que les limites de couches sont approximatives et que la blocométrie des formations n'a pu être mesurée.

4.2. CARACTÉRISTIQUES GÉOTECHNIQUES

4.2.1. ESSAIS PÉNÉTROMÉTRIQUES

Les résultats des essais au pénétromètre dynamique présentent des **caractéristiques géotechniques modestes à moyennes entre 0 et 1m de profondeur, avec $1.9 \leq q_d \leq 5.6$ MPa, puis globalement moyennes à élevées, avec $q_d \geq 2.6$ MPa.**

On note un passage de faible compacité de 60cm d'épaisseur au droit de PD4, entre 2 et 2.6m de profondeur, pouvant être lié à une arrivée d'eau.

Sondages pénétrométriques - valeurs de la résistance de pointe équivalente q_d en MPa				
Prof/TN en m	PD1	PD2	PD3	PD4
0,2	1,9	1,9	1,9	1,9
0,4	2,8	2,8	1,9	1,9
0,6	4,7	3,7	1,9	2,8
0,8	1,9	5,6	2,8	2,8
1	2,6	3,5	4,3	4,3
1,2	2,6	6,9	5,2	4,3
1,4	3,5	6,0	6,9	3,5
1,6	4,3	5,2	6,0	3,5
1,8	5,2	6,0	6,9	2,6
2	6,4	4,8	6,4	2,4
2,2	8,0	5,6	7,2	0,8
2,4	8,0	6,4	5,6	0,8
2,6	7,2	6,4	5,6	1,6
2,8	8,8	5,6	7,2	4,0
3	7,5	6,0	5,3	4,5
3,2	7,5	8,2	5,3	8,2
3,4	7,5	9,7	7,5	9,0
3,6	6,8	8,2	9,0	12,5
3,8	6,8	9,0	9,7	17,3
4	7,0	7,7	7,7	14,9
4,2	7,7	7,0	7,7	29,2
4,4	7,7	6,3	7,7	REFUS
4,6	9,1	4,3	8,4	
4,8	7,0	7,0	12,4	
5	6,0	10,4	9,2	
5,2	4,7	12,8	7,9	
5,4	5,3	13,4	9,8	
5,6	4,7	12,8	27,0	
5,8	4,7	14,0	REFUS	
6	3,8	15,3		

$0 < q_d \leq 1.2 \text{ MPa}$	Compacité faible
$1.2 < q_d \leq 2.3 \text{ MPa}$	Compacité modeste
$2.3 < q_d \leq 5.2 \text{ MPa}$	Compacité moyenne
$5.2 < q_d \leq 20 \text{ MPa}$	Compacité élevée
$q_d < 20 \text{ MPa}$	Compacité très élevée
	Refus

4.2.2. ANALYSES EN LABORATOIRE

Les analyses en laboratoire réalisées sur les échantillons prélevés au droit des sondages à la tarière TA1 à TA4 ont permis de classer les sols en place selon le Guide des Terrassements Routiers (GTR) :

IDENTIFICATION							
Sondages	Prof (m)	GTR	W(%)	Limite Atterberg			
				94-051			
					WP	IP	IC
TA1	0.80-1.50	A3m	20.9	60	25	35	1.12
TA2	0.80-1.30	A3m	20.6	58	25	33	1.13
TA3	0.70-1.15	A3s	18.8	51	24	27	1.19
TA4	1.50-2.00	A3h	33.7	64	28	36	0.84

Les matériaux A3 sont des matériaux très plastiques et sensibles aux phénomènes de retrait / gonflement des sols argileux.

Ils sont également sensibles à l'eau, au gel et au remaniement.

4.2.3. ESSAIS DE PERMÉABILITÉ

6 essais de perméabilité ont été effectués dans les sols superficiels. On note :

Sondages	Lithologie	Profondeur (m)	Perméabilité (m/s)
TA1	Argile limoneuse carbonatée marron clair et grise	0.80 – 1.50	$< 1 \times 10^{-8}$
TA2	Argile légèrement marneuse marron clair et grise	0.80 – 1.50	$< 1 \times 10^{-8}$
TA3	Argile marron et grise	0.80 – 1.50	$< 1 \times 10^{-8}$
TA4	Argile marneuse bariolée marron, ocre et grise	0.80 – 1.50	$< 1 \times 10^{-8}$
TA5	Limon argileux carbonaté marron vert	0.70 – 1.50	$< 1 \times 10^{-8}$

Les valeurs mesurées dans les matériaux argileux indiquent des perméabilités très faibles, inférieures à 10^{-8} m/s. On retiendra donc l'imperméabilité des sols en place.

4.3. HYDROGÉOLOGIE

Lors de notre intervention en dates des 02/12/2021 et 06/12/2021, aucune arrivée d'eau n'a été repérée à la foration.

La faible compacité mesurée en PD4 entre 2.00 et 2.60m de profondeur pourrait être liée à une circulation d'eau.

On retiendra donc de ce site :

- L'existence de circulations d'eau erratiques et intermittentes dans les sols superficiels, fortement conditionnées par la météorologie, pouvant générer des nappes de rétention.
- La présence d'une nappe sensu-stricto n'est pas attendue au droit du lotissement.

Remarques :

Les sondages de reconnaissance se font sur une période de courte durée et les observations indiquées dans le rapport ne reflète pas forcément le niveau maximum de la nappe.

L'origine des fluctuations possibles de la nappe est, soit naturelle (sécheresse, crue de nappe en relation avec la situation météorologique par exemple), soit dues à des travaux ou une modification de l'environnement aux alentours immédiats (pompages, rejets, effets barrages, etc.).

5. CONDITIONS SISMIQUES

Au sens de la norme NF-EN-1998-1, on retiendra que le sol est à priori de **classe E** ce qu'il conviendrait le cas échéant de valider par une mesure directe du VS30 par méthode MASW par exemple. Le tableau ci-après décrit les différentes classes de sol disponibles dans la norme.

Classe de sol	Description du profil stratigraphique	Paramètres		
		Vs.30 (m/s)	NSPT (coupes /30cm)	Cu (kPa)
A	Rocher ou autre formation géologique de ce type comportant une couche superficielle d'au plus 5m de matériau moins résistant	>800	-	-
B	Dépôts raides de sable, de gravier ou d'argile sur-consolidée, d'au moins plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, caractérisés par une augmentation progressive des propriétés mécaniques avec la profondeur	360 – 800	> 50	>250
C	Dépôts profonds de sable de densité moyenne, de gravier ou d'argile moyennement raide, ayant des épaisseurs de quelques dizaines à plusieurs centaines de mètres	180-360	15 - 50	70-250
D	Dépôts de sol sans cohésion de densité faible à moyenne (avec ou sans couches cohérentes molles) ou comprenant une majorité de sols cohérents mous à fermes	< 180	< 15	< 70
E	Profil de sol comprenant une couche superficielle d'alluvions avec des valeurs de Vs de classe C ou D et une épaisseur comprise entre 5m environ et 20m reposant sur un matériau plus raide avec Vs > 800 m/s			
S1	Dépôts composés ou contenant une couche d'au moins 10m d'épaisseur d'argiles molles/vases avec un indice de plasticité élevé (PI > 40) et une teneur en eau importante	< 100 (valeur indicative)		10 – 20
S2	Dépôts de sols liquéfiables d'argiles sensibles ou tout autre profil de sol non compris dans les classes A à E ou S1			

Tableau 3.1 de la norme NF EN 1998-1



6. SYNTHÈSE DES DONNÉES DE SOL ET ALÉAS GÉOTECHNIQUES

6.1. SYNTHÈSE DES DONNÉES GÉOTECHNIQUES

Compte tenu des investigations menées, le site est marqué par la succession lithologique et les caractéristiques mécaniques suivantes :

Lithologie		Terre végétale	Substratum marneux altéré
Description		Limons argileux marron et marron foncé à racines, radicelles et localement des morceaux de briques et des cailloux calcaires	Argiles ± carbonatées ou marneuses, limoneuses en tête, marron clair, grises, brun-vert et ocre
Limites des couches (m)	TA1	0.00-0.20	0.20- >4.20*
	TA2	0.00-0.20	0.20- >6.00*
	TA3	0.00-0.20	0.20- >6.00*
	TA4	0.00-0.20	0.20- >4.20*
	TA5	0.00-0.10	0.10- >1.50*
Hydrogéologie		- Présence de circulations d'eau erratiques en période pluvieuse dans les sols superficiels, fortement conditionnées par la météorologie et pouvant générer une nappe de rétention au sein des horizons plus perméables.	
Compacité		- Modeste à moyenne jusqu'à 1m de profondeur, - Puis moyenne à élevée jusqu'à la base des essais, avec localement des poches molles / décomprimées, liées à des arrivées d'eau.	
Classification GTR		-	A3
Perméabilité k (m/s)		-	$< 1 \times 10^{-8}$

* Arrêt du sondage dans cet horizon

6.2. ALÉAS

Les aléas géotechniques sont en relation entre autres, avec :

6.2.1. LA GÉOLOGIE

- variations d'épaisseur des différentes couches et notamment des sols remaniés qui peuvent localement être plus épais entre les sondages,
- variations d'épaisseur des argiles marneuses et marnes altérées,
- variations de profondeur du toit des marnes.

6.2.2. LA NATURE DES MATÉRIAUX

- la sensibilité à l'eau et à l'affouillement des sols,
- la sensibilité au remaniement mécanique à l'exécution,
- la sensibilité des sols au phénomène de retrait / gonflement sous l'action des variations hydriques saisonnières en lien avec leur plasticité.,
- l'imperméabilité des sols superficiels.

6.2.3. L'HYDROGÉOLOGIE

- arrivées d'eau parasites dans les sols superficiels et formation possible de nappes de rétention en période pluvieuse,
- caractère erratique et intermittent des circulations d'eau susceptibles d'affecter toutes les couches.

6.2.4. L'ENVIRONNEMENT ET L'HISTORIQUE DU SITE

- la présence de voies de circulation au Sud de la zone d'étude,
- la présence de réseaux enterrés situés à proximité et tranchées associées dont le mode de remblaiement est inconnu.

6.2.5. LES RISQUES NATURELS

- prise en compte du risque sismique,
- sensibilité des sols au phénomène de retrait / gonflement des sols argileux.

7. PRINCIPES GÉNÉRAUX DE CONSTRUCTION DES MAISONS - MISSION G1 PGC

Les solutions proposées sont celles qui semblent les meilleures à ce stade en fonction des données en notre possession.

D'autres solutions pourraient cependant être proposées en fonction de critères non pris en compte dans une étude de faisabilité et qui peuvent apparaître en phase conception ou d'exécution (problèmes de délais ou de phasage, variante locale économique, modification de l'environnement, caractéristiques particulières du projet non portées à notre connaissance). Si cela était le cas, nous conseillons à la Maîtrise d'Œuvre ou à la Maîtrise d'Ouvrage de nous confier une mission pour valider les modifications apportées.

Les investigations ont indiqué la présence de « terre végétale » $\pm$ remaniée et de faible épaisseur ; reposant sur un substratum argileux $\pm$ carbonaté et plastique (classé A3 au sens du GTR). L'ensemble des sols recoupés présente des compacités principalement moyennes à élevées à partir de 1m de profondeur, avec localement des poches de matériaux mous ou décomprimés. Compte tenu de ces éléments et de la sensibilité des sols au phénomène de retrait / gonflement, il sera nécessaire de respecter une garde hydrique de 3m. On pourrait donc tabler en première approche sur **un mode de fondation de type semelles filantes en cas de sous-sol enterré ou massifs ancrés dans les matériaux argileux**, identifié sous la terre végétale.

On veillera à respecter les sujétions suivantes :

- La conception du pavillon en maçonnerie ou en béton avec une structure rigide (chainage),
- La mise en place de fondations renforcées en béton armé avec :
 - ✓ Le respect d'une garde hydrique homogène à l'échelle de l'ouvrage entre la base des fondations, le vide sous dallage ou le vide sanitaire et le niveau du terrain périphérique fini. Dans notre cas précis, nous préconisons une garde hydrique de 3m.

- ✓ Un ancrage homogène sans dissymétrie sur le pourtour du bâtiment, ce qui nécessitera en cas d'adaptation à la pente le respect des règles sur les fondations décalées,
- ✓ Coulées en continu,
- ✓ Désolidarisées des fondations d'une construction mitoyenne éventuelle.
- Interdiction du dallage sur terre-plein et conception du pavillon sur vide sanitaire ou dalle portée décollée du sol avec coffrage cartonné perdu par exemple,
- Eloignement des eaux de gouttières des façades avec un exutoire en aval du pavillon,
- Réservoirs de collecte des eaux pluviales éventuels équipés d'un système empêchant le déversement des eaux de trop plein dans le sol proche de la construction,
- Infiltration des eaux interdites sur la parcelle,
- Canalisation à distance de la maison par drainage / fossé des eaux de ruissellement superficielles et/ou souterraines,
- Imperméabilisation des abords du pavillon avec formes de pentes écartant du pavillon les ruissellements superficiels,
- Utilisation de matériaux flexibles avec joints adaptés pour éviter le risque de rupture des canalisations humides enterrées à la jonction avec la construction,
- Eloignement du champ d'influence de la végétation en respectant une distance minimale égale à une fois la hauteur de l'arbre adulte ou 1.5 fois la hauteur d'une haie. À défaut, mise en place d'un écran-anti racinaire au plus près des arbres avec une profondeur adaptée au développement du réseau racinaire et au minimum de 2 m.

Lorsque l'implantation et les caractéristiques de chaque pavillon seront connues, une étude complémentaire de niveau avant-projet associée à des sondages et essais complémentaires, notamment pénétrométriques afin d'affirmer ou d'infirmer de la présence de niveaux mous au droit des projets, permettra d'affiner les paramètres géotechniques et les hypothèses à prendre en compte pour la validation des principes de fondations. Cette étude G2-AVP devra être réalisée pour chaque projet de construction.

L'étude complémentaire devra aussi permettre d'étudier les conditions d'adaptation au sol de chaque projet avec notamment l'étude des terrassements et de la stabilité des talus en provisoire et en définitif.

8. RÉALISATION DES VOIRIES - MISSION G2 AVP

Dans le cadre de la réalisation des voiries, calées sensiblement au niveau du terrain actuel, l'arase terrassement, après le décapage des horizons de terre végétale, remblais et sols remaniés éventuels sur toute leur épaisseur, correspondra aux matériaux argileux marron compacts.

La couche de forme sera constituée par une grave concassée de granulométrie continue, insensible à l'eau et au gel et chimiquement inerte, mise en œuvre sur un géotextile anti-contaminant.

La couche de forme a trois fonctions :

- Une fonction drainante en partie inférieure pour éviter de créer un effet piscine à la base,
- Une fonction globale d'homogénéisation de la portance et de préservation de l'arase au gel,
- Une fonction de fin réglage en partie supérieure, par sa granulométrie plus fine (0/20 ou 0/31.5mm).

Elle sera compactée pour un objectif de densification q3 selon les préconisations du Guide des Terrassements Routiers (GTR), avec comme objectif de réception par essais à la plaque l'obtention d'un module **EV2 $\geq$ 50 MPa**, pour des voiries légères avec PL occasionnels.

Les matériaux de couche de forme habituellement suggérés sont :

En partie basale, une grave 0/60 mm respectant les critères suivants :

- $D \leq 60$ mm
- Propres avec VBS < 0,1
- $\%80\mu\text{m} < 5 \%$
- $D_{10} \geq 1$ mm
- $LA < 45 - MDE < 45$
- Non-gélifs
- Chimiquement inertes

Fermés par une couche de réglage en matériaux bien gradués correspondant aux critères suivants :

- $D \leq 31.5 \text{ mm}$
- Propres avec $VBS < 0,1$
- $\%80\mu\text{m} < 5 \%$
- $LA < 45 - MDE < 45$
- Non-gélifs
- Chimiquement inertes

Ces matériaux, compactés à l'objectif q3, ont respectivement un module EV2 intrinsèque de :

150 MPa pour le 0/60 mm

200 MPa pour le 0/31,5 mm

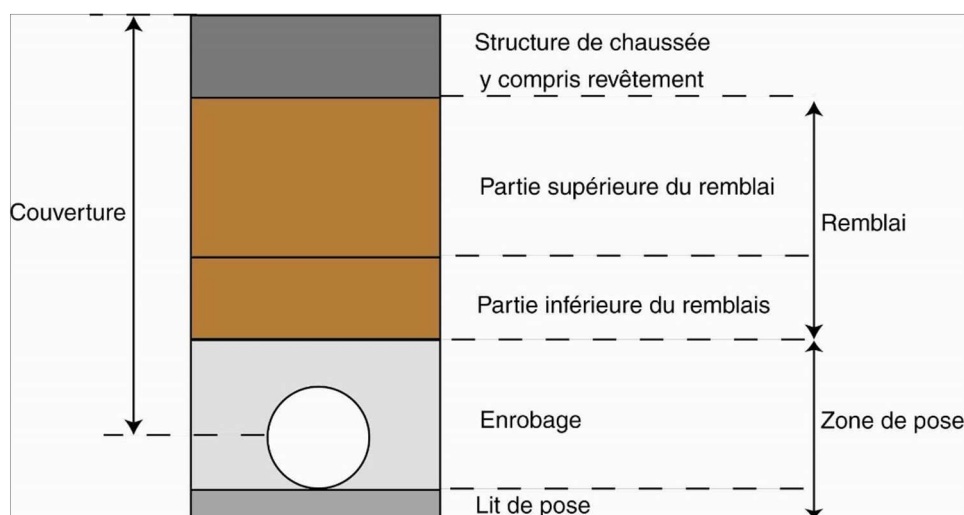
En première approche, et pour des travaux réalisés en période favorable on pourra tabler sur la mise en œuvre d'une couche de forme d'une épaisseur minimale de 0.65m **sur géotextile**, possédant une résistance à la rupture de 20kN/m minimum, pour obtenir comme critère de réception par essais à la plaque $EV2 > 50 \text{ MPa}$. On pourrait tabler sur 0.55m de 0/60mm et fermé par 0.10m de concassé 0/31.5mm. Suivant les conditions météorologiques et la qualité de l'arase lors des travaux, cette épaisseur pourrait être augmentée en fonction de la portance de l'arase lors des terrassements pour obtenir le même module de réception à la plaque.

Compte-tenu de la plasticité des sols constitutifs de la PST, il est possible que des désordres liés à la dessication apparaissent, notamment à la jonction entre les structures souples et rigides (bordures de trottoir par exemple). Pour éviter ces désordres, il serait nécessaire d'augmenter l'épaisseur de la couche de forme à 1.5m minimum.

9. POSE DES RÉSEAUX – PRÉCONISATIONS NFP 98-331

Les réseaux seront posés dans des matériaux argileux. Ils seront réalisés en période météorologique favorable.

On rappelle ci-après la coupe type d'une tranchée :



9.1. REMBLAYAGE

Pour rappel, on distingue par ordre d'exigence croissante, les objectifs de densification suivants :

Objectif de densification	Exigences	Utilisation en tranchées (détaillée en 6.2.4)
q1 ¹⁾	pdm $\geq$ 100 % pdOPM pdfc $\geq$ 98 % pdOPM	Non accessible au petit matériel de compactage
q2 ¹⁾	pdm $\geq$ 97 % pdOPM pdfc $\geq$ 95 % pdOPM	Chaussée
q3	pdm $\geq$ 98,5 % pdOPN pdfc $\geq$ 96 % pdOPN	Partie supérieure de remblai
q4 ²⁾	pdm $\geq$ 95 % pdOPN pdfc $\geq$ 92 % pdOPN	Remblai Zone d'enrobage des tranchées de hauteur de recouvrement < 1.30m et certaines tranchées de hauteur de recouvrement $\geq$ 1.30m ² .

q5 ²⁾	$p_{dm} \geq 90 \% p_{dOPN}$ $p_{dfc} \geq 87 \% p_{dOPN}$	Zone d'enrobage (uniquement pour les tranchées dont la hauteur de recouvrement $\geq 1.30m$ ou q4 n'est pas exigé). ³⁾
1) q1 et q2 sont définis dans la norme NF P 98-115 2) le choix q4 ou q5 pour l'enrobage dans le cas des tranchées profondes est à fixer en fonction des conditions rencontrées : encombrement des réseaux, difficultés d'exécution particulières, 3) Il peut s'avérer que l'objectif de densification q5 ne puisse être atteint : cette contrainte pouvant ou non avoir été démontrée dès les études préalables ou si l'étude géotechnique ne l'a pas détectée, constatée à l'ouverture de la tranchée (par exemple un encombrement important de la tranchée, un fond de fouille en zone compressible, etc., ...). Dans ce cas, une étude spécifique sera exigée afin de définir les moyens pour garantir la bonne tenue de la tranchée et du réseau dans le temps (prise en compte dans le modèle de calcul, utilisation de matériaux adaptés, etc., ...).		

Remarque

- p_{dm} = masse volumique moyenne du sol sec,
- p_{dfc} = masse volumique en fond de couche du sol sec,
- p_{dOPN} = masse volumique à l'Optimum Proctor Normal,
- p_{dOPM} = masse volumique à l'Optimum Proctor Modifié.

9.2. RAPPEL DES CAS TYPES

Quatre cas types sont recensés et détaillés ci-après, dans chaque paragraphe spécifique :

- Sous chaussée (cas type 1) selon la profondeur de la tranchée, les objectifs de densification sont q2 et q3, ou q2, q3 et q4. Il en est de même pour les trottoirs ou accotements supportant des charges lourdes.
- Sous trottoir (cas type 2) ne supportant pas de charges lourdes, les objectifs de densification sont q3 et q4.
- Sous accotement (cas type 3), les objectifs de densification sont fonction de la position de la tranchée par rapport à la rive de chaussée et du risque d'avoir à supporter ou non des charges lourdes.
- Sous espaces verts (cas type 4), au-dessous de la terre végétale, l'objectif de densification est q4.

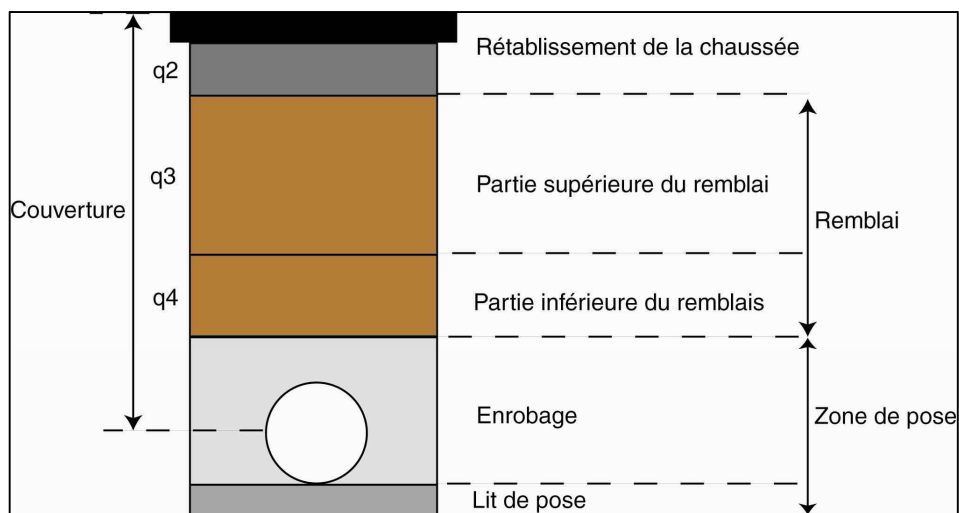
À priori, les cas types 1 et 2 sont à retenir pour ce projet.

Le matériel de compactage est adapté à la nature des matériaux utilisés pour le remblai, aux qualités de compactage exigées et aux contraintes d'environnement.



9.3. OBJECTIFS DE DENSIFICATION EXIGÉS SOUS CHAUSSÉES, TROTTOIRS ET ZONES SUPPORTANT DES CHARGES LOURDES (CAS TYPE 1)

La partie supérieure du remblai en matériaux de niveau d'objectif q3 a une épaisseur variable selon l'importance du trafic tel qu'indiqué dans le tableau 2.



Dans le cas d'une réfection de chaussée qualitativement à l'identique, l'épaisseur de la structure de chaussée est majorée d'au moins 10 % du fait de l'inexistence de matériaux d'objectif q1.

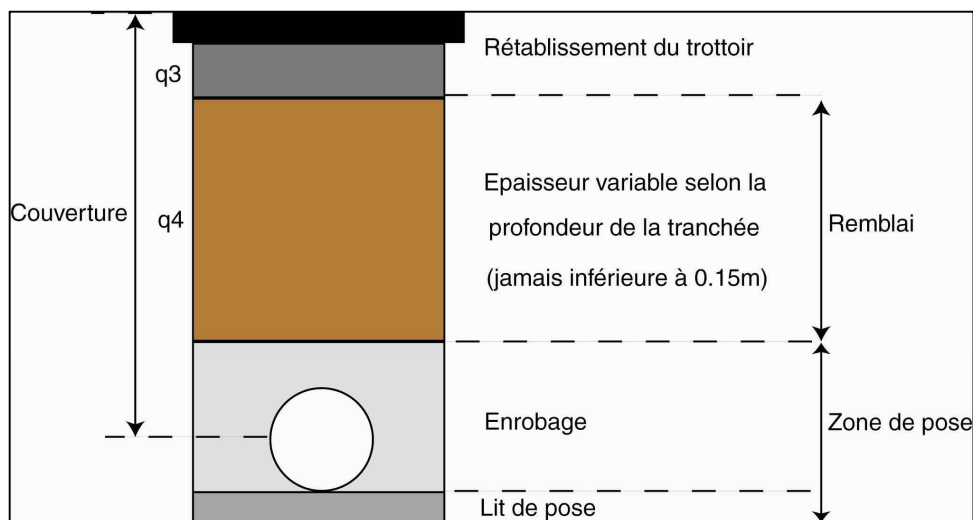
La partie supérieure du remblai en matériaux de niveau d'objectif q3 a une épaisseur variable selon l'importance du trafic.

Dans le cas où l'épaisseur de matériau de niveau d'objectif q4 ne dépasse pas 0.15m, le remblai est obligatoirement réalisé avec le même matériau que celui de la partie supérieure du remblai.

9.4. OBJECTIFS DE DENSIFICATION EXIGÉS SOUS CHAUSSÉES, TROTTOIRS ET ZONES NE SUPPORTANT PAS DES CHARGES LOURDES (CAS TYPE 2)

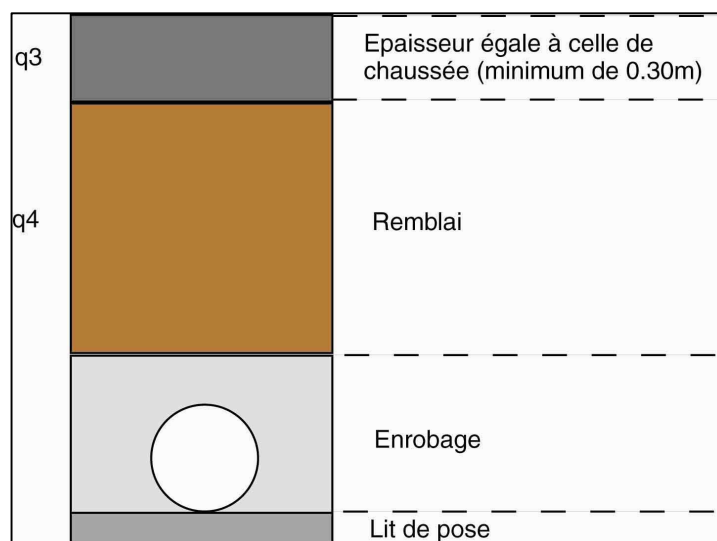
Revêtement :

- Sur trottoir non revêtu, la surface est constituée au minimum de 0.15m d'une grave compactée avec un objectif de densification de niveau q3.
- Sur un trottoir revêtu, la surface est reconstituée à l'identique.



9.5. OBJECTIFS DE DENSIFICATION EXIGÉS SOUS ACCOTEMENTS (CAS TYPE 3)

Si l'accotement est susceptible de supporter des charges lourdes, l'objectif de densification est identique à celui de la tranchée sous chaussée. S'il n'est pas susceptible de supporter des charges lourdes, l'objectif de densification est q3 en partie supérieure du remblai sur une épaisseur égale à celle de la chaussée avec un minimum de 0.30m, en partie inférieure du remblai l'objectif est q4.

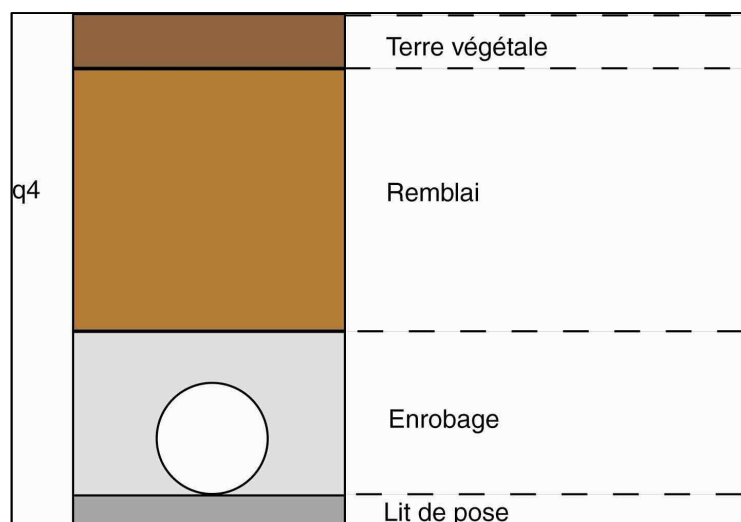


S'il n'est pas susceptible de supporter des charges lourdes, l'objectif de densification est q3 en partie supérieure du remblai sur une épaisseur égale à celle de la chaussée avec un minimum de 0.30m. En partie inférieure du remblai l'objectif est q4.

9.6. OBJECTIFS DE DENSIFICATION EXIGÉS SOUS CHEMINS EMPIERRÉS NE SUPPORTANT PAS DES CHARGES LOURDES ET SOUS ESPACES VERTS (CAS TYPE 4)

L'épaisseur de « Terre Végétale » est au moins équivalente à celle avant travaux. Le matériel de compactage est adapté à la nature des matériaux utilisés pour le remblai, aux qualités de compactage exigées et aux contraintes environnementales.

L'épaisseur de structure du chemin empierré peut s'avérer supérieure à l'épaisseur initiale.



9.6.1. RAPPEL DES MATÉRIAUX UTILISABLES EN Q3 (GUIDE TECHNIQUE LCPC—SETRA)

		Zone industrielle, portuaire, gares routières (2) nb de PL ptac > 35 kN (1)	Trafic interurbain ou traversée d'agglomérations (2) nb de PL ptac > 35 kN (1)	Trafic urbain ou périurbain (2) nb de PL ptac > 35 kN (1)	Classe de matériaux utilisables (*) (normes NF P 11-300) matériaux élaborés (*)	Épaisseur de matériaux en q3 (partie supérieure de remblai)
MJA par Sens	Fort trafic	> 75	> 190	> 375	B ₁ , B ₃ , C ₁ B ₁ , C ₂ B ₁ , C ₁ B ₃ , C ₂ B ₃ , D ₁ , D ₂ , D ₃ ,	> = 0.60m ou > = 0.40m (**)
	Trafic moyen	25 à 75	60 à 190	125 à 375	R ₁₁ , R ₂₁ , R ₂₂ , R ₄₁ , R ₄₂ , R ₆₁ , R ₆₂ , F ₃₁ , F ₆₁ , F ₆₂ , F ₇₁ , F ₈ , C ₁ B ₄ , et C ₂ B ₄	> = 0.45m ou > = 0.30m (**)
	Faible trafic	< 25	< 60	< 125	après élimination de la fraction fine O/d	> = 0.30m

A priori, le contexte ici correspond uniquement à celui d'un **trafic faible**.

- (1) trafic déterminé selon la norme NF P98 - 082. Le passage d'un trafic PL de 35 kN de PTAC à un trafic de 50 kN de CU se fait par application d'un coefficient défini dans la norme NF P98-082 (3).
- (2) Le coefficient d'agressivité appliqué dans le tableau ci-dessus qui permet de passer d'une colonne à l'autre est différent de celui de la norme NF P 98-082. Il signifie qu'un poids lourd de la 3^{ème} colonne (trafic urbain ou périurbain) est sensiblement deux fois moins agressif qu'un poids lourd de la 2^{ème} colonne (trafic interurbain) et 5 fois moins agressif qu'un poids lourd de la 1^{ère} colonne (trafic de zone industrielle).

(*) D max des grains compatible avec l'exécution (cf. tableaux de Compactage)

(**) La valeur la plus faible est admise si les matériaux de la partie inférieure de remblai sont de même nature que ceux de la partie supérieure.

D'autres conditions sont envisageables. Elles peuvent présenter un avantage économique mais en contrepartie présentent certains risques :

- réutilisation de certains sols sensibles à l'eau B₂, B₄, C₁B₂, C₂B₂ et C₁B₄, C₂B₄ sans élimination de la fraction fine à l'état m ou s,
- réutilisation de certains sols traités A₁, B₅, B₆, A₂ mais avec utilisation de liants hydrauliques, la chaux seule ne pouvant suffire à atteindre les objectifs de portance et de pérennité de la PSR.

9.6.2. RAPPEL DES MATÉRIAUX UTILISABLES EN Q4 (GUIDE TECHNIQUE LCPC – SETRA) – PARTIE INFÉRIEURE DE REMBLAI

Appellation selon NF P 11-300 Sols	Symbole classification GTR	Assimilation pour le compactage
Sols fins	A _{1h} ; A _{1m} ; A _{1s} ; A _{2h} ; A _{2m}	
Sols sableux et graveleux avec fines	B ₁ ; B _{2h} ; B _{2m} ; B _{2s} ; B ₃ ; B _{4h} ; B _{4m} ; B _{4s} ; B _{5h} ; B _{5m} ; B _{5s} ; B _{6h} ; B _{6m}	
Sols comportant des fines et des gros éléments	C _{1A1h} ; C _{1A1m} ; C _{1A2h} ; C _{1A2m} ; C _{2A1h} ; C _{2A1m} ; C _{2A2h} ; C _{2A2m} ; C _{1B2h} ; C _{1B2m} ; C _{1B4h} ; C _{1B4m} ; C _{1B5h} ; C _{1B5m} ; C _{1B6h} ; C _{1B6m} ; C _{2B2h} ; C _{2B2m} ; C _{2B4h} ; C _{2B4m} ; C _{2B5h} ; C _{2B5m} ; C _{2B6h} ; C _{2B6m}	
Sols comportant des fines (non argileuses) et des gros éléments	C _{1B1} ; C _{1B3} ; C _{2B1} ; C _{2B3}	
Sols insensibles à l'eau	D ₁ ; D ₂ ; D ₃	

Appellation selon NF P 11-300 Matériaux rocheux	Symbole classification GTR	Assimilation pour le compactage
Craies	R ₁₁ ; R _{12h} ; R _{12m} ; R _{13h} ; R _{13m}	
Calcaires rocheux divers	R ₂₁ ; R ₂₂ ; R ₂₃	R ₂₂ et R ₂₃ assimilés à C _{2B4}
Roches siliceuses	R ₄₁ ; R ₄₂ ; R ₄₃	R ₄₂ assimilé à C _{2B4} R ₄₃ assimilé à C _{1B1}
Roches magmatiques et métamorphiques	R ₆₁ ; R ₆₂ et R ₆₃	R ₆₂ et R ₆₃ assimilés à C _{2B4}

Appellation selon NF P 11-300 Sous-produits industriels	Symbole classification GTR	Assimilation pour le compactage
Cendres volantes et cendres de foyers silico-alumineuses de centrales thermiques	F _{2h} ; F _{2m} ; F _{2s}	F ₂ assimilé à A ₁
Schistes houillers	F ₃₁ F ₃₂	F ₃₁ et F ₃₂ assimilés à D ₃
Schistes des mines de potasse	F ₄₁	F ₄₁ assimilé à B ₅
Mâchefers d'incinération des ordures ménagères	F ₆₁ F ₆₂	F ₆₁ et F ₆₂ assimilés à B ₄
Matériaux de démolition	F ₇₁	F ₇₁ assimilé à C _{2B4}
Laitiers de haut-fourneau	F ₈	Fonction du type d'obtention
Matériaux d'apport élaborés	Difficulté de compactage	
Matériaux élaborés	DC1 ; DC2 ; DC3	

9.7. REMARQUES SUR LES REMBLAIS D'ENROBAGE ET LE LIT DE POSE

Au sens de la norme NFP 98-331, le remblai d'enrobage et le lit de pose sont considérés de la même manière que les parties inférieures de remblai ou les parties supérieures de remblai non sollicitées par des charges lourdes. Ainsi, l'objectif de densification préconisé est q4, ce qui est d'ailleurs repris de manière générale dans le guide de remblayage des tranchées (SETRA-LCPC).

Cependant, comme le fait remarquer le GTR, les valeurs demandées pour chaque objectif (ici q3 ou q4) sont à considérer comme des repères mais ne doivent pas être considérées comme prescriptions de compactage en raison de la non pertinence de la référence Proctor pour de nombreux matériaux et de la difficulté d'assurer un contrôle véritable et précis.

Il reste préférable de baser le compactage de la zone d'enrobage sur un objectif q3 qui permettra de minimiser les effets de flaches à moyen terme, en particulier lorsque les caractéristiques mécaniques et les états hydriques des sols supports sont défavorables.

Les matériaux utilisés en lit de pose et en remblai d'enrobage doivent correspondre à des matériaux propres et bien gradués de préférence. Ces matériaux ne devront pas contenir d'éléments de grande taille susceptibles de poinçonner les conduites.

On s'attend donc à devoir prévoir un lit de pose en matériaux d'apport, de type 0/31.5mm ou 0/20mm en fonction du diamètre des canalisations à poser.

Pour l'encagement des réseaux, il est également préférable de prévoir un matériau d'apport de granulométrie satisfaisante.

La mise en œuvre des matériaux sera conditionnée par les modalités de réemploi définies par le GTR et par le guide SETRA-LCPC de novembre 2001 pour le Remblayage des tranchées et réfection des chaussées.

9.8. CONDITIONS DE RÉALISATION DES TRANCHÉES

L'évolution des personnels de chantier en fond de tranchée impose par défaut la mise en place de blindages quel que soit leur profondeur. L'évolution des engins et le stockage de matériaux en crête de tranchée peuvent également poser des problèmes de stabilité, ce qui implique de prendre les mesures sécuritaires adaptées.



Les terrassements seront réalisés à la pelle hydraulique avec stockage sur place des matériaux réutilisables ou évacuation immédiate des déblais en dépôt.

Le compactage sera soumis aux exigences du GTR selon le type de matériau.

En cas de rencontre d'horizons décomprimés en fond de fouille ou vestiges enterrés, blocs, une substitution des matériaux impropres par une grave concassée d'apport pourra s'avérer nécessaire à la réalisation du lit de pose. Cette grave serait compactée à la plaque vibrante selon les prescriptions du guide de remblayage des tranchées du LCPC - SETRA.

On considère à ce stade que les terrassements pour les tranchées n'intercepteront pas de nappe au vu du contexte hydrogéologique. En cas d'arrivées d'eau ponctuelles, il faudra prendre des dispositions spécifiques d'épuisement des fouilles.

Compte tenu de la plasticité des matériaux excavés (classés A3 au sens du GTR) et de la pose des réseaux sous voiries et trottoirs, les matériaux extraits ne seront pas réutilisés. Ils seront évacués et les tranchées seront remblayées avec des matériaux d'apports propres et non sensibles à l'eau.

9.9. CONTEXTE DE SOLS ARGILEUX À FORT POTENTIEL DE GONFLEMENT

Les essais en laboratoire ont mis en évidence le fort potentiel de gonflement des couches où le fond de tranchée pourra être localisé.

On peut donc craindre des phénomènes de gonflement :

- si on modifie la charge verticale à la baisse,
- si on modifie le niveau hydrique à la hausse.

Dans ces conditions, on veillera à :

- éviter tout effet de tranchée drainante,
- bien compacter les matériaux en tranchée,
- refermer la fouille à l'avancement et en excluant le terrassement dans ces formations hors nappe par météo défavorable.

Notre mission se termine à la remise du présent rapport qui constitue un ensemble indissociable. Nous restons à la disposition de **TERRA SARL** et de tous les intervenants pour tous renseignements complémentaires.

Dressés par les Ingénieurs soussignés

Daphné BONNET

Laurent COLIN

Ingénieur en charge de l'opération

Ingénieur en charge du contrôle interne



ANNEXES



ANNEXE 1

PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES





ANNEXE 2

COUPES DES SONDAGES ET ESSAIS



Profondeur	Lithologie	Outil	Niveau d'eau	Observations
0 0,20 m	Terre végétale : limon argileux marron humide à racines et radicelles	Tarière mécanique Ø64 mm	Pas notoire à la foration	
0,80 m	Argile marron légèrement plastique			
1,50 m	Argile limoneuse carbonatée marron et grise			
4,20 m	Argile légèrement carbonatée marron			
				Refus de l'outil à 4.20m/TN



Contrat C.21.22.302

Profondeur : 0,00 - 6,00 m

Opérateur : **S. BEGUE**

1/29

Sondage à la tarière : TA2

EXGTE β3.21.2/GTE

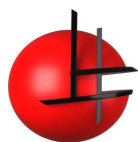
Logiciel JEAN LUTZ S.A - www.jeanlutzsa.fr

Profondeur	Lithologie	Outil	Niveau d'eau	Observations
0	Terre végétale : limon argileux marron foncé humide à racines et radicelles	Tarière mécanique Ø64 mm	Pas notoire à la foration	
0,20 m				
0,70 m	Argile marron-ocre légèrement plastique			
1	Argile marron et grise			
2				
3				
4				
5,00 m	Argile marneuse marron et grise			
6,00 m				

Profondeur	Lithologie	Outil	Niveau d'eau	Observations
0	Terre végétale : limon argileux marron humide à racines et radicelles et débris de briques	Tarière mécanique Ø64 mm	Pas notoire à la foration	
0,20 m				
0,80 m	Argile limoneuse marron-vert à cailloutis calcaires			
3,00 m	Argile marneuse bariolée marron, ocre, grise et marron-vert			
4,20 m	Argile marneuse marron et grise			Refus de l'outil à 4.20m/TN

 HYDROGEOTECHNIQUE	Lotissement et perméabilité MINVERSHEIM			Contrat C.21.22.302
	Date début : 02/12/2021	Machine : H200	Profondeur : 0,00 - 1,50 m	
		Opérateur : S. BEGUE		

Profondeur	Lithologie	Outil	Niveau d'eau	Observations
0,100m	Terre végétale : limon argileux marron humide à racines et radicelles et cailloux calcaires	Tarière mécanique Ø64 mm	Pas notoire à la foration	
0,10 m	Limon argileux marron-vert légèrement carbonaté			
0,80 m	Limon légèrement argileux et carbonté brun-vert			
1				
1,50 m				



**GROUPE
HYDROGEOTECHNIQUE**

Essai de perméabilité à l'eau en forage de type Porchet

(à charge variable après arrêt d'injection
en sols non-saturés)

Dossier : C.21.22.300

Chantier : MINVERSHEIM - Lotissement et perméabilité

Date : 02/12/2021

Lithologie Argile limoneuse carbonatée marron clair et grise

Sondage :

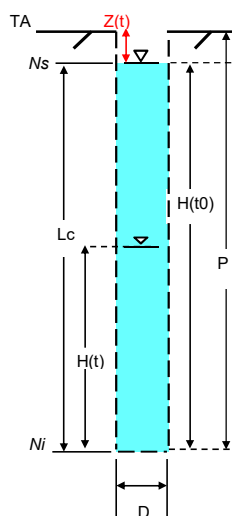
TA1

Profondeur d'essai :

de (Ns = Niveau supérieur) : 0,80 m /TA

à (Ni = Niveau inférieur) : 1,50 m /TA

(TA = Terrain Actuel)



Temps t en s	Charge hydraulique H(t) en m	Variation de charge $\Delta H(t)$ en m	Observations
0	0,700	0,000	
60	0,700	0,000	
120	0,700	0,000	
180	0,700	0,000	
240	0,700	0,000	
300	0,700	0,000	
360	0,700	0,000	
420	0,700	0,000	
480	0,700	0,000	
540	0,700	0,000	
600	0,700	0,000	
660	0,700	0,000	
720	0,700	0,000	
780	0,700	0,000	
840	0,700	0,000	
900	0,700	0,000	
960	0,700	0,000	
1020	0,700	0,000	
1080	0,700	0,000	
1140	0,700	0,000	
1200	0,700	0,000	
1500	0,700	0,000	
1800	0,700	0,000	
2100	0,700	0,000	
2400	0,700	0,000	
2700	0,700	0,000	
3000	0,700	0,000	
3300	0,700	0,000	
3600	0,700	0,000	

P = Profondeur du forage/TA (en m) =

1,50

Lc = Longueur de la cavité testée (en m) =

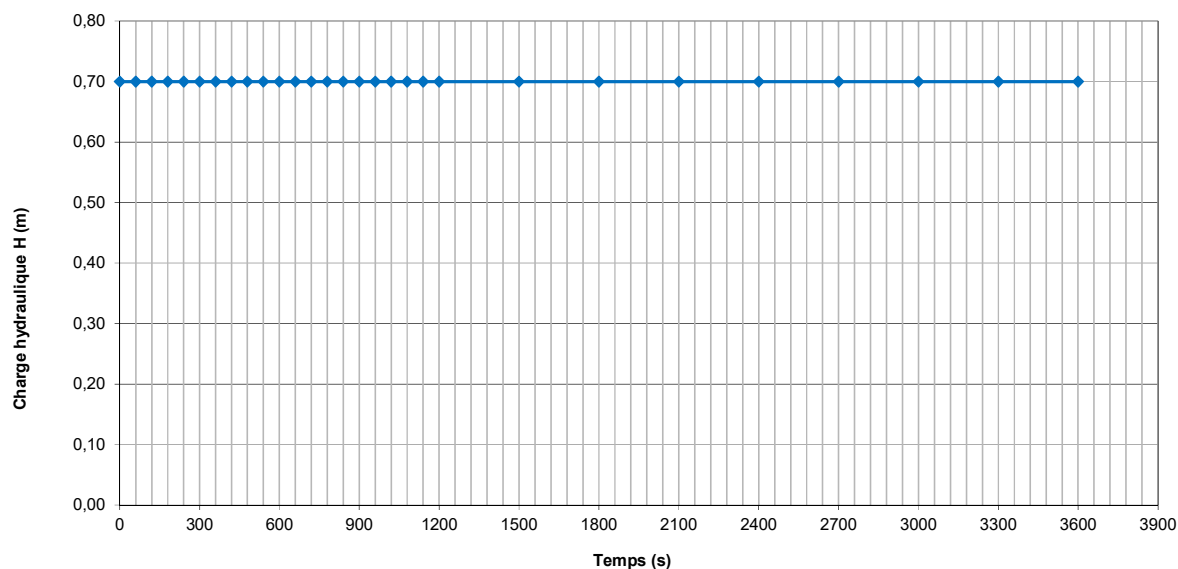
0,70

H(t(0)) = Charge au démarrage de l'essai (en m) =

0,70

D = Diamètre de la cavité (en m) =

0,10

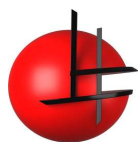


Perméabilité (K)

=

<1E-08

m.s⁻¹



**GROUPE
HYDROGEOTECHNIQUE**

Essai de perméabilité à l'eau en forage de type Porchet

(à charge variable après arrêt d'injection
en sols non-saturés)

Dossier : C.21.22.300

Chantier : MINVERSHEIM - Lotissement et perméabilité

Date : 06/12/2021

Lithologie Argile légèrement marneuse marron clair et grise

Sondage :

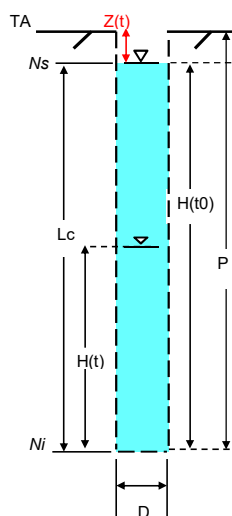
TA2

Profondeur d'essai :

de (N_s = Niveau supérieur) : 0,80 m /TA

à (N_i = Niveau inférieur) : 1,50 m /TA

(TA = Terrain Actuel)



Temps t en s	Charge hydraulique H(t) en m	Variation de charge $\Delta H(t)$ en m	Observations
0	0,700	0,000	
60	0,700	0,000	
120	0,700	0,000	
180	0,700	0,000	
240	0,700	0,000	
300	0,700	0,000	
360	0,700	0,000	
420	0,700	0,000	
480	0,700	0,000	
540	0,700	0,000	
600	0,700	0,000	
660	0,700	0,000	
720	0,700	0,000	
780	0,700	0,000	
840	0,700	0,000	
900	0,700	0,000	
960	0,700	0,000	
1020	0,700	0,000	
1080	0,700	0,000	
1140	0,700	0,000	
1200	0,700	0,000	
1500	0,700	0,000	
1800	0,700	0,000	
2100	0,700	0,000	
2400	0,700	0,000	
2700	0,700	0,000	
3000	0,700	0,000	
3300	0,700	0,000	
3600	0,700	0,000	

P = Profondeur du forage/TA (en m) =

1,50

Lc = Longueur de la cavité testée (en m) =

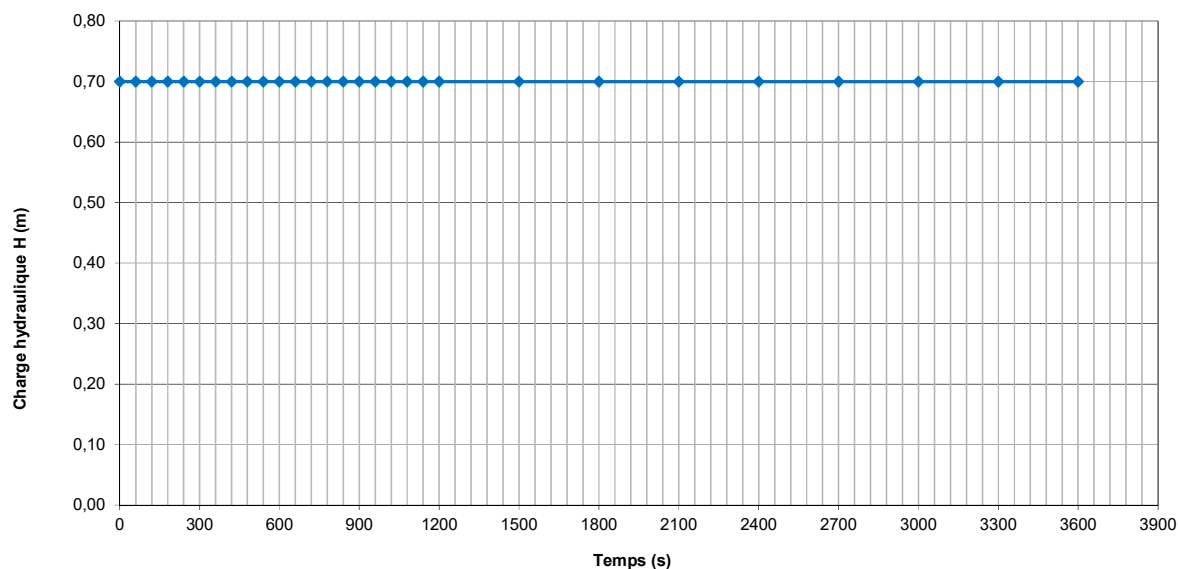
0,70

H(t(0)) = Charge au démarrage de l'essai (en m) =

0,70

D = Diamètre de la cavité (en m) =

0,10

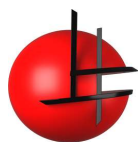


Perméabilité (K)

=

<1E-08

m.s⁻¹



**GROUPE
HYDROGEOTECHNIQUE**

Essai de perméabilité à l'eau en forage de type Porchet

(à charge variable après arrêt d'injection
en sols non-saturés)

Dossier : C.21.22.300

Chantier : MINVERSHEIM - Lotissement et perméabilité

Date : 06/12/2021

Lithologie Argile marron et grise

Sondage :

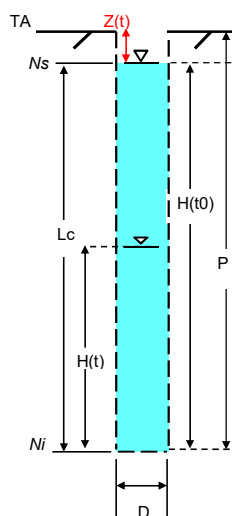
TA3

Profondeur d'essai :

de (Ns = Niveau supérieur) : 0,80 m /TA

à (Ni = Niveau inférieur) : 1,50 m /TA

(TA = Terrain Actuel)



Temps t en s	Charge hydraulique H(t) en m	Variation de charge $\Delta H(t)$ en m	Observations
0	0,700	0,000	
60	0,700	0,000	
120	0,700	0,000	
180	0,700	0,000	
240	0,700	0,000	
300	0,700	0,000	
360	0,700	0,000	
420	0,700	0,000	
480	0,700	0,000	
540	0,700	0,000	
600	0,700	0,000	
660	0,700	0,000	
720	0,700	0,000	
780	0,700	0,000	
840	0,700	0,000	
900	0,700	0,000	
960	0,700	0,000	
1020	0,700	0,000	
1080	0,700	0,000	
1140	0,700	0,000	
1200	0,700	0,000	
1500	0,700	0,000	
1800	0,700	0,000	
2100	0,700	0,000	
2400	0,700	0,000	
2700	0,700	0,000	
3000	0,700	0,000	
3300	0,700	0,000	
3600	0,700	0,000	

P = Profondeur du forage/TA (en m) =

1,50

Lc = Longueur de la cavité testée (en m) =

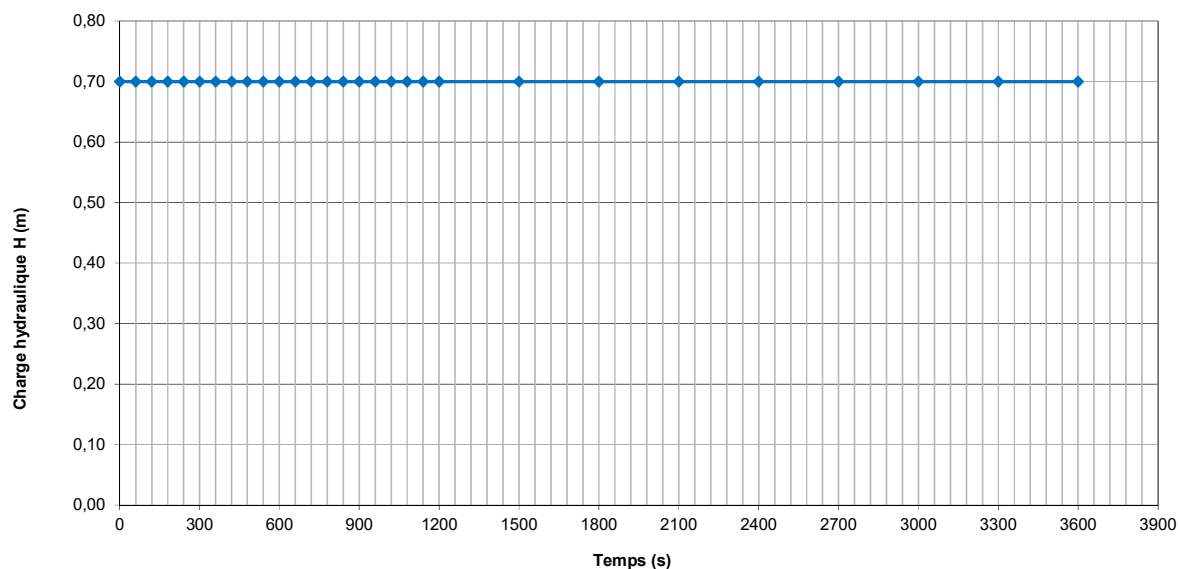
0,70

H(t(0)) = Charge au démarrage de l'essai (en m) =

0,70

D = Diamètre de la cavité (en m) =

0,10

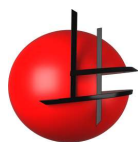


Perméabilité (K)

=

<1E-08

m.s⁻¹



**GROUPE
HYDROGEOTECHNIQUE**

Essai de perméabilité à l'eau en forage de type Porchet

(à charge variable après arrêt d'injection
en sols non-saturés)

Dossier : C.21.22.300

Chantier : MINVERSHEIM - Lotissement et perméabilité

Date : 06/12/2021

Lithologie Argile marneuse bariolée marron, ocre et grise

Sondage :

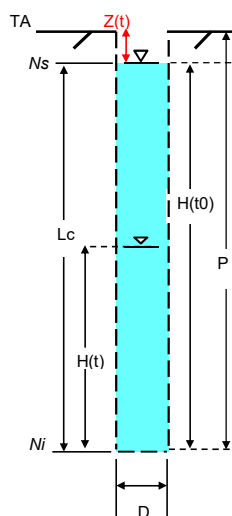
TA4

Profondeur d'essai :

de (Ns = Niveau supérieur) : 0,80 m /TA

à (Ni = Niveau inférieur) : 1,50 m /TA

(TA = Terrain Actuel)



Temps t en s	Charge hydraulique H(t) en m	Variation de charge $\Delta H(t)$ en m	Observations
0	0,700	0,000	
60	0,700	0,000	
120	0,700	0,000	
180	0,700	0,000	
240	0,700	0,000	
300	0,700	0,000	
360	0,700	0,000	
420	0,700	0,000	
480	0,700	0,000	
540	0,700	0,000	
600	0,700	0,000	
660	0,700	0,000	
720	0,700	0,000	
780	0,700	0,000	
840	0,700	0,000	
900	0,700	0,000	
960	0,700	0,000	
1020	0,700	0,000	
1080	0,700	0,000	
1140	0,700	0,000	
1200	0,700	0,000	
1500	0,700	0,000	
1800	0,700	0,000	
2100	0,700	0,000	
2400	0,700	0,000	
2700	0,700	0,000	
3000	0,700	0,000	
3300	0,700	0,000	
3600	0,700	0,000	

P = Profondeur du forage/TA (en m) =

1,50

Lc = Longueur de la cavité testée (en m) =

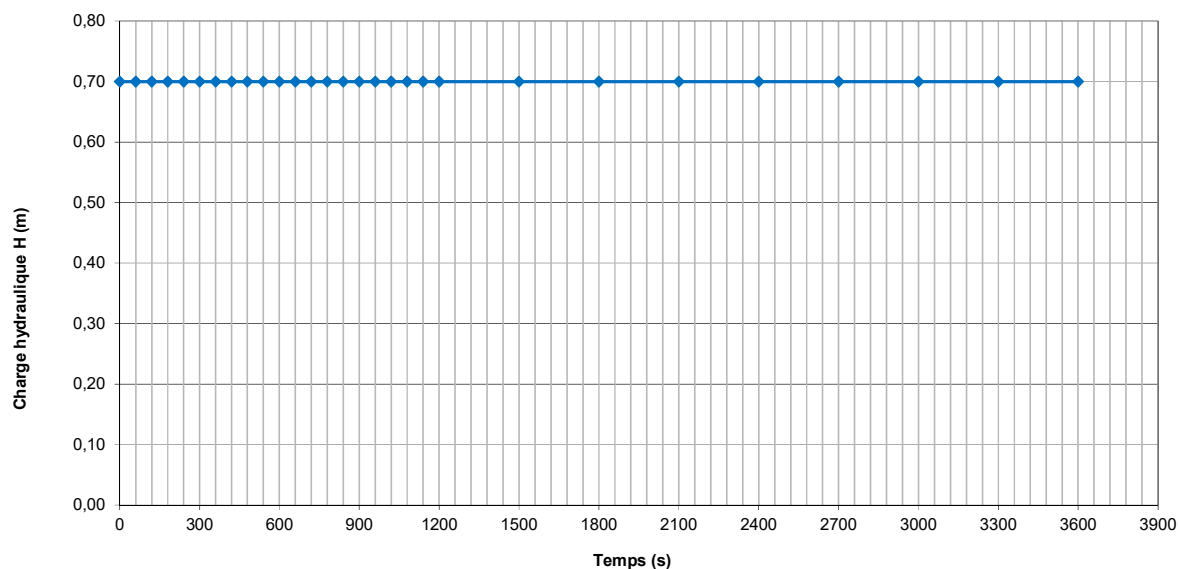
0,70

H(t(0)) = Charge au démarrage de l'essai (en m) =

0,70

D = Diamètre de la cavité (en m) =

0,10

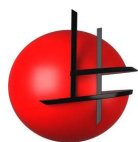


Perméabilité (K)

=

<1E-08

m.s⁻¹



**GROUPE
HYDROGEOTECHNIQUE**

Essai de perméabilité à l'eau en forage de type Porchet

(à charge variable après arrêt d'injection
en sols non-saturés)

Dossier : C.21.22.300

Chantier : MINVERSHEIM - Lotissement et perméabilité

Date : 02/12/2021

Lithologie Limon argileux carbonaté marron vert

Sondage :

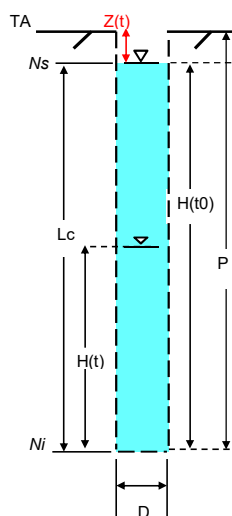
TA5

Profondeur d'essai :

de (N_s = Niveau supérieur) : 0,70 m /TA

à (N_i = Niveau inférieur) : 1,50 m /TA

(TA = Terrain Actuel)



Temps t en s	Charge hydraulique H(t) en m	Variation de charge $\Delta H(t)$ en m	Observations
0	0,800	0,000	
60	0,800	0,000	
120	0,800	0,000	
180	0,800	0,000	
240	0,800	0,000	
300	0,800	0,000	
360	0,800	0,000	
420	0,800	0,000	
480	0,800	0,000	
540	0,800	0,000	
600	0,800	0,000	
660	0,800	0,000	
720	0,800	0,000	
780	0,800	0,000	
840	0,800	0,000	
900	0,800	0,000	
960	0,800	0,000	
1020	0,800	0,000	
1080	0,800	0,000	
1140	0,800	0,000	
1200	0,800	0,000	
1500	0,800	0,000	
1800	0,800	0,000	
2100	0,800	0,000	
2400	0,800	0,000	
2700	0,800	0,000	
3000	0,800	0,000	
3300	0,800	0,000	
3600	0,800	0,000	

P = Profondeur du forage/TA (en m) =

1,50

Lc = Longueur de la cavité testée (en m) =

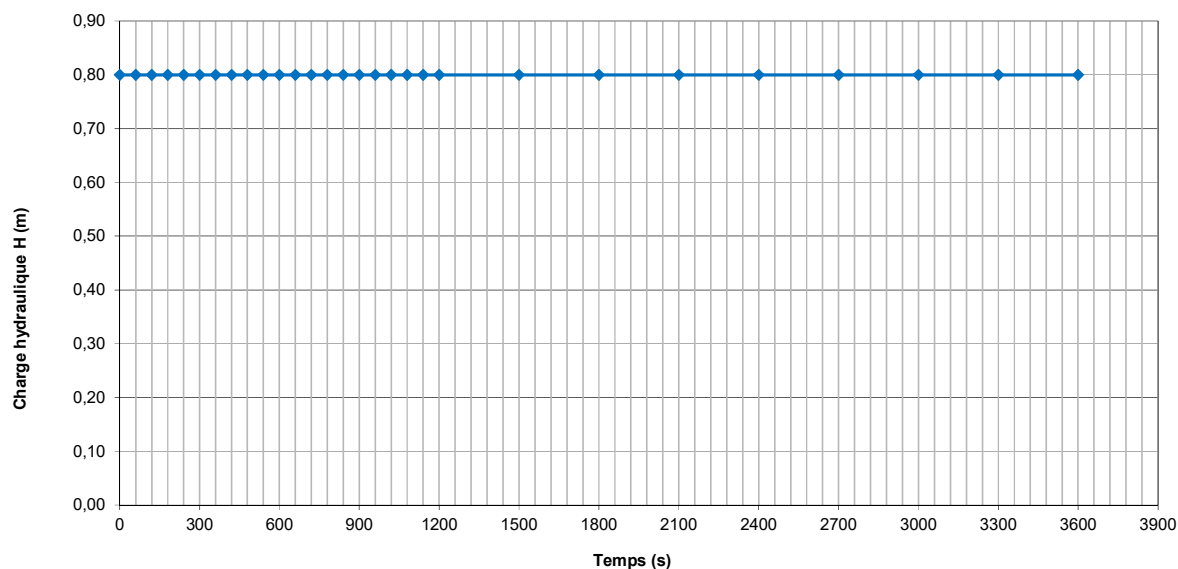
0,80

H(t(0)) = Charge au démarrage de l'essai (en m) =

0,80

D = Diamètre de la cavité (en m) =

0,10



Perméabilité (K)

=

<1E-08

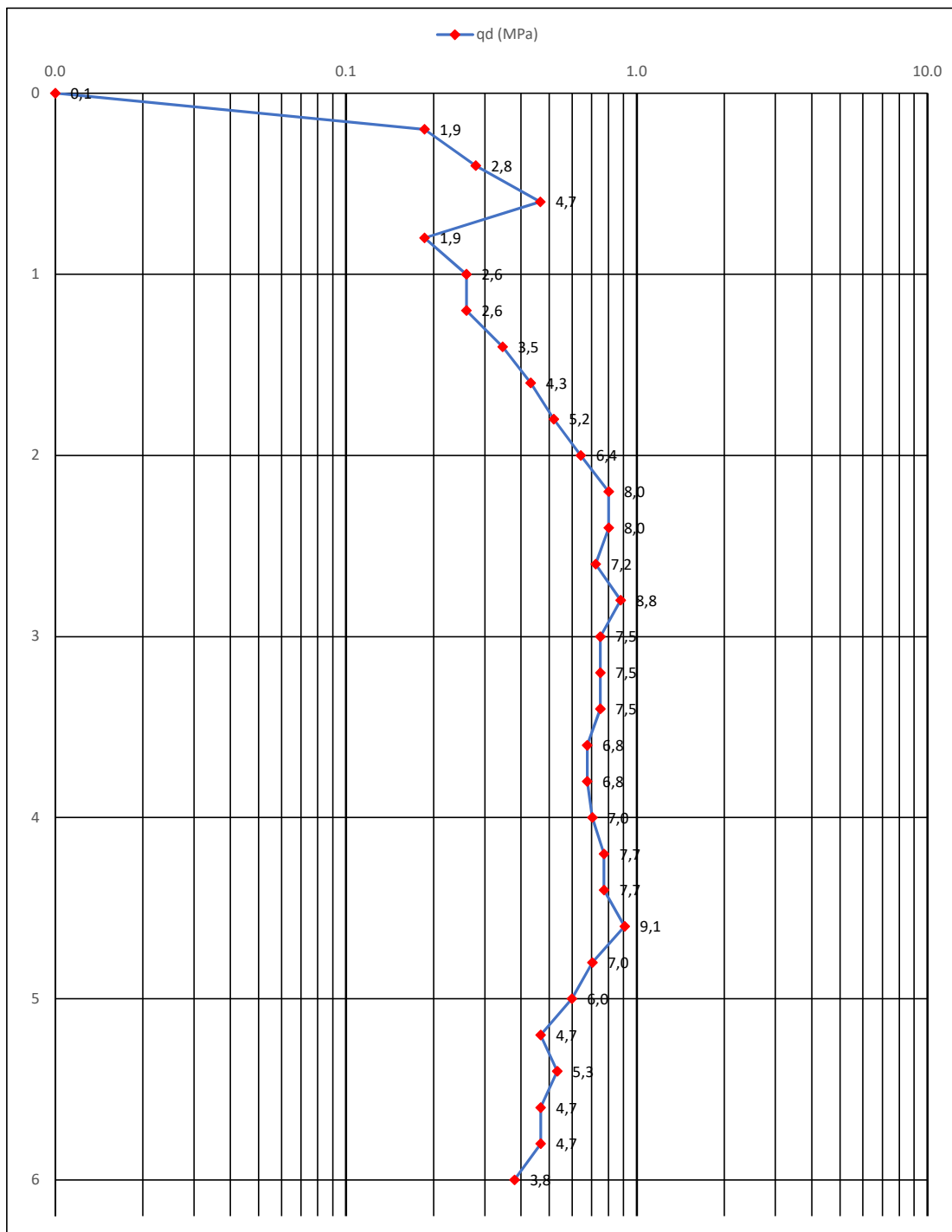
m.s⁻¹

Client
Chantier
Dossier
Date

TERRA AMENAGEMENT
MINVERSHEIM - Lotissement et perméabili
C.21.22.302
2 décembre 2021

Sondage PD1

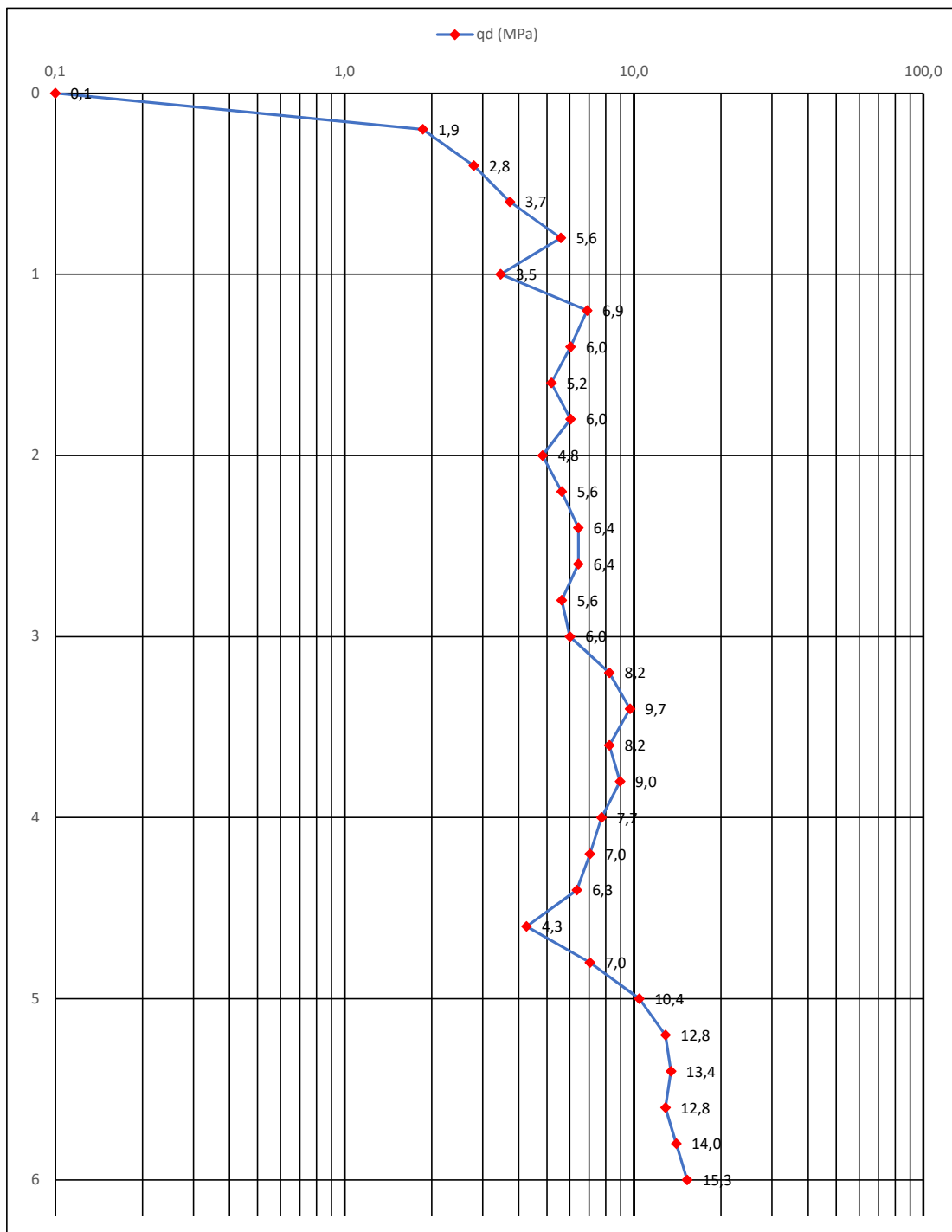
qd = résistance de pointe en MPa
Formule de Redtenbacher



Client **TERRA AMENAGEMENT**
Chantier **MINVERSHEIM - Lotissement et perméabili**
Dossier C.21.22.302
Date 2 décembre 2021

Sondage PD2

qd = résistance de pointe en MPa
Formule de Redtenbacher

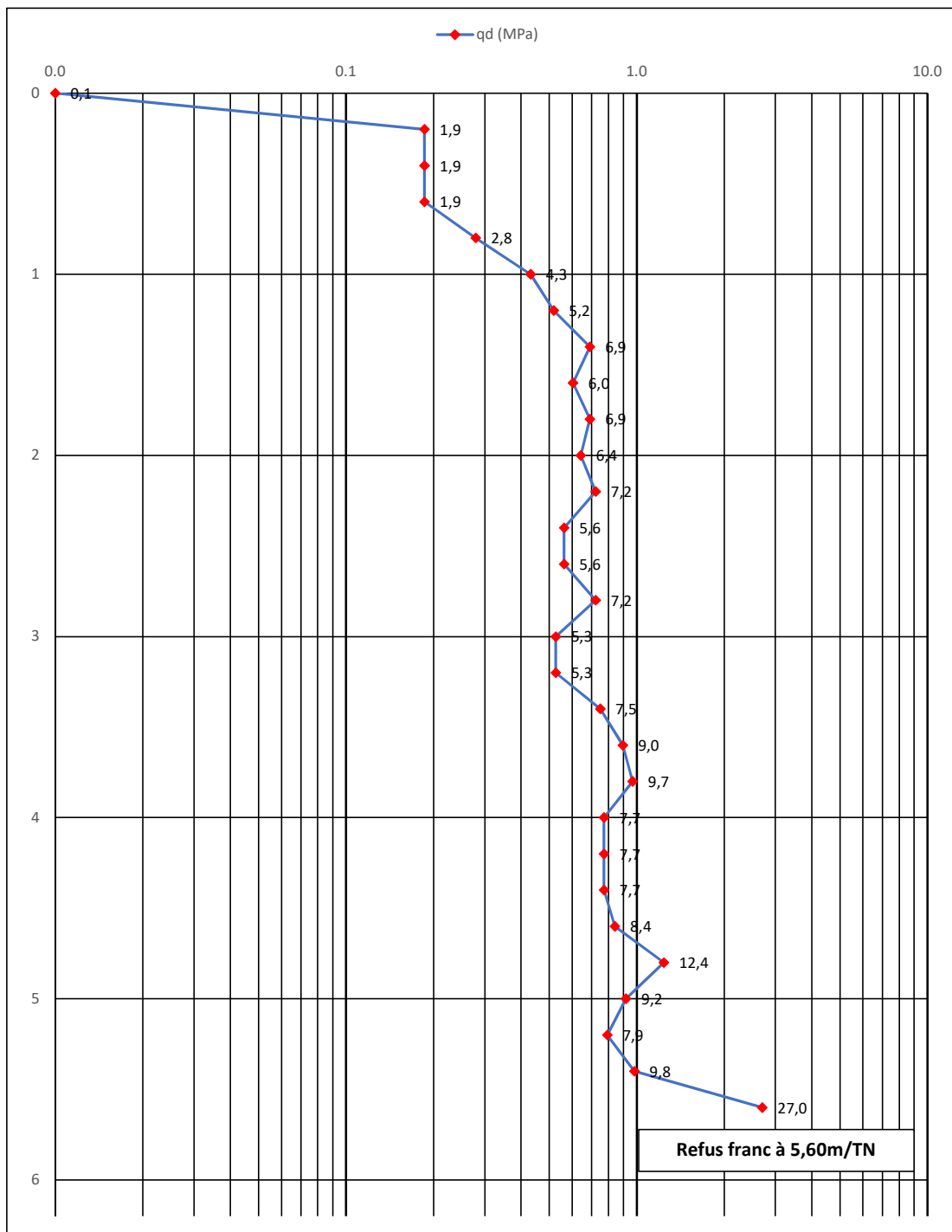


Client
Chantier
Dossier
Date

TERRA AMENAGEMENT
MINVERSHEIM - Lotissement et perméabili
C.21.22.302
6 décembre 2021

Sondage PD3

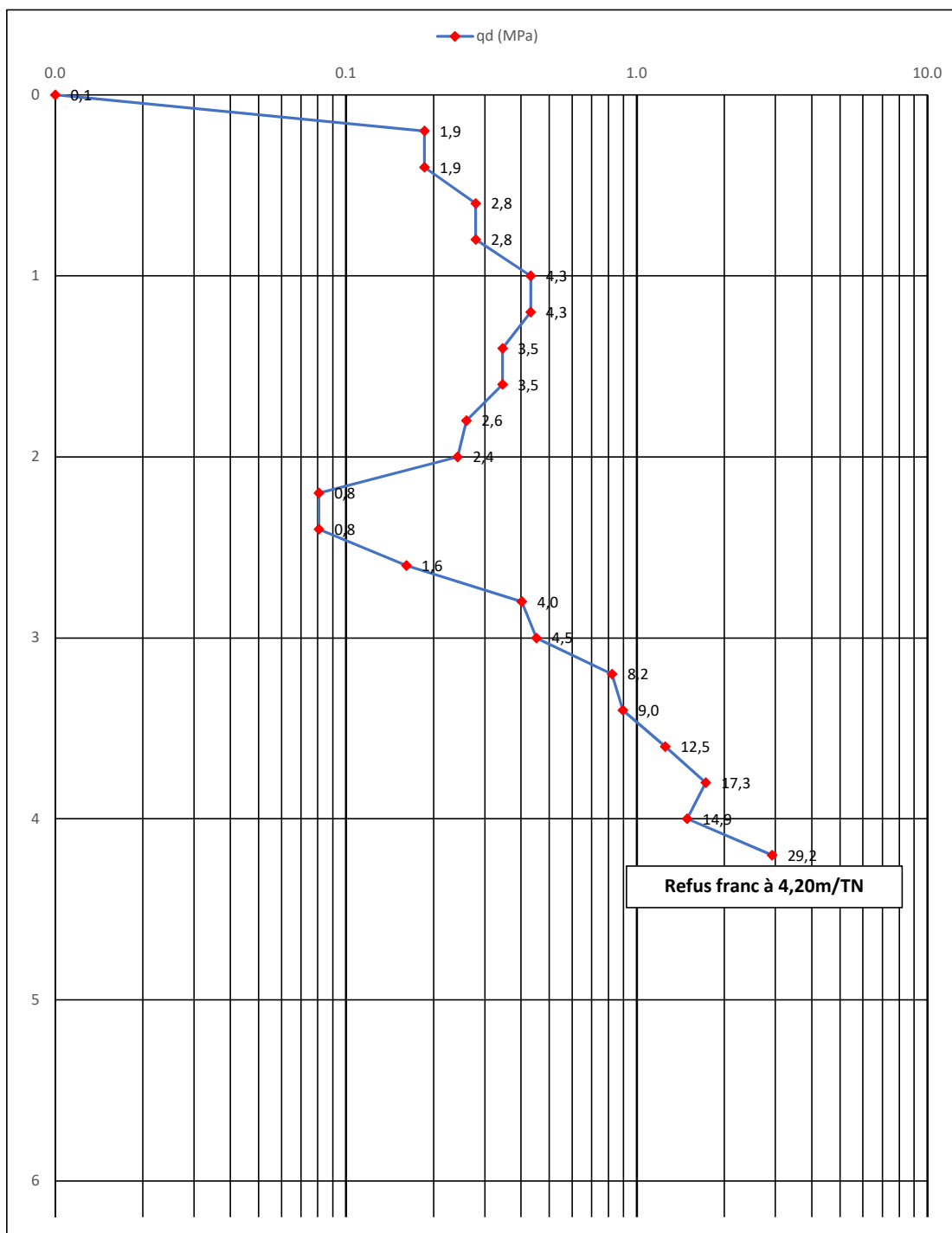
qd = résistance de pointe en MPa
Formule de Redtenbacher



Client **TERRA AMENAGEMENT**
Chantier **MINVERSHEIM - Lotissement et perméabili**
Dossier C.21.22.302
Date 6 décembre 2021

Sondage PD4

qd = résistance de pointe en MPa
Formule de Redtenbacher



ANNEXE 3

RÉSULTATS DES ESSAIS EN LABORATOIRE

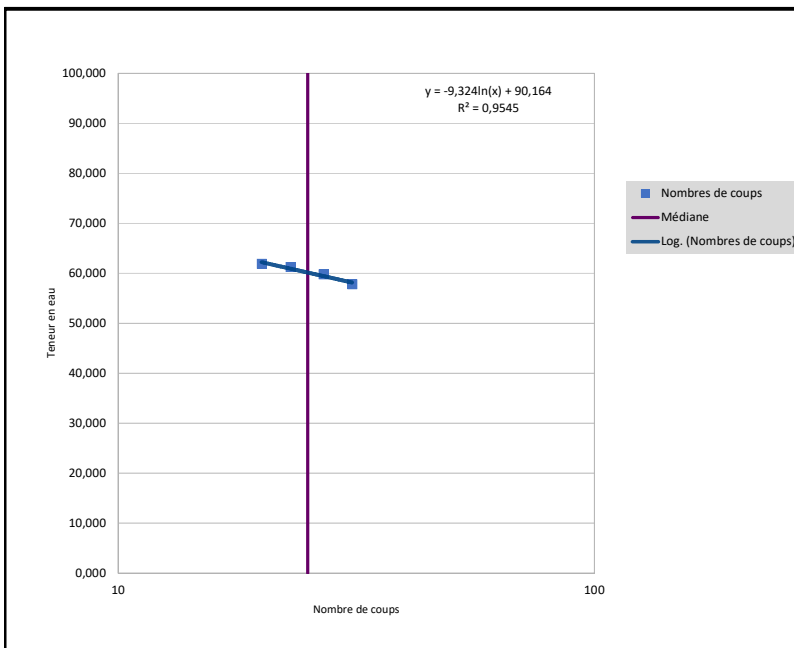


	Procès Verbal	Référence : R1.6-13-036	
	GTR Limite d'Atterberg et teneur en eau NF P 94-051 NF P 94-050	Version : 1	

Référence client : **Alsace** N° Enregistrement : **PV 22 067**

Date d'essai	Date de prélèvement	N° de Dossier	Chantier/opération	Ingénieur
06/01/22	06/12/21	C21 22 302	Minversheim	DBO
Observations :				

Sondage	Profondeur	Nature de l'échantillon	Référence échantillon
TA1	0,8-1,5 m	Argile brune	EA 22 108



Résultats	W% naturelle	20,9%
	WL	60
	WP	25
	IP	35
	IC	1,12

Estimation du GTR :	A3m
---------------------	------------

Essais réalisés par :	Visa :
Nom / Prénom : D VINTER	
Date : 19/01/22	

Résultats validés par :	Visa :
Nom / Prénom : S TOMASI	
Date : 19/01/22	

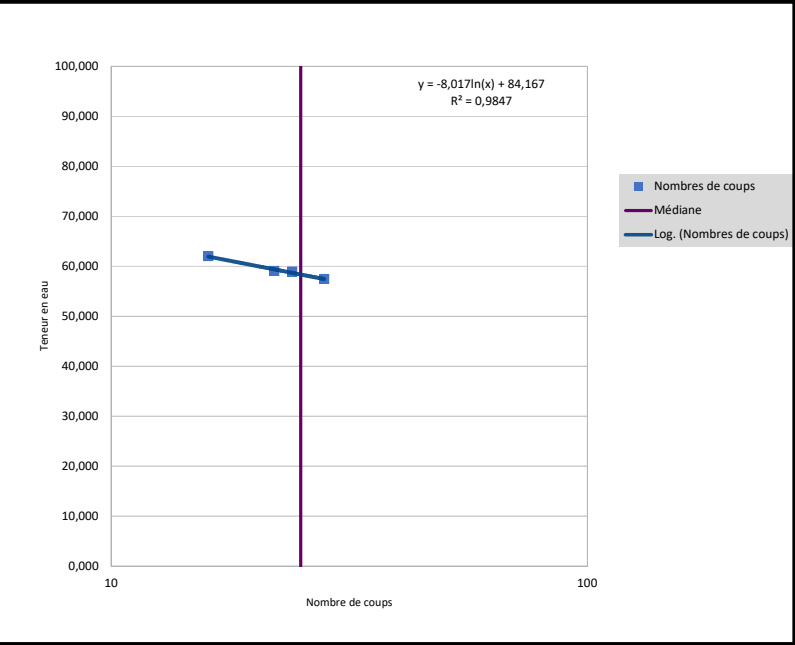
	Procès Verbal	Référence : R1.6-13-036	
	GTR Limite d'Atterberg et teneur en eau NF P 94-051 NF P 94-050	Version : 1	

Référence client :
Alsace

N° Enregistrement :
PV
22
068

Date d'essai	Date de prélèvement	N° de Dossier	Chantier/opération	Ingénieur
06/01/22	06/12/21	C21 22 302	Minversheim	DBO
Observations :				

Sondage	Profondeur	Nature de l'échantillon	Référence échantillon
TA2	0,8-1,3 m	Argile brune	EA 22 109



Résultats	W% naturelle	20,6%
	WL	58
	WP	25
	IP	33
	IC	1,13

Estimation du GTR :	A3m
---------------------	-----

Essais réalisés par :		Visa :
Nom / Prénom :	D VINTER	
Date :	19/01/22	

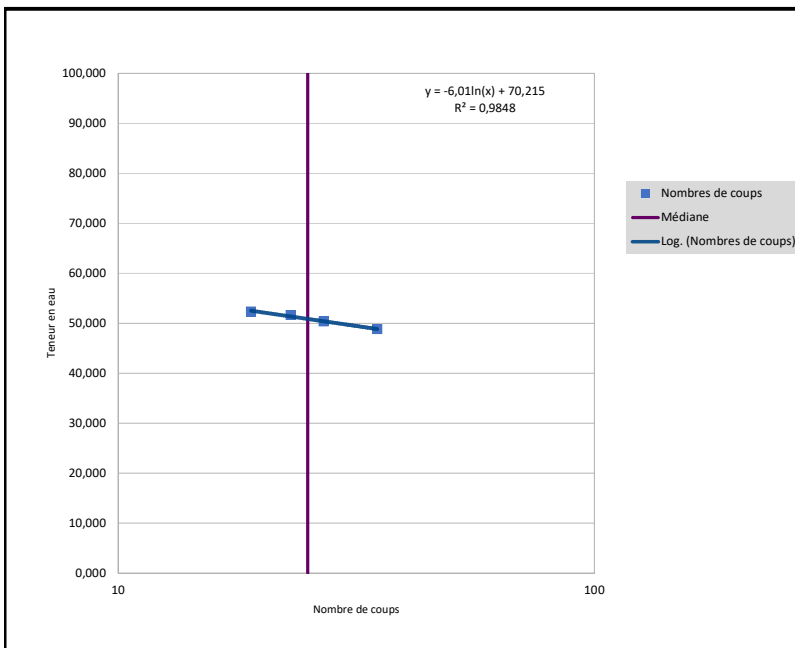
Résultats validés par :		Visa :
Nom / Prénom :	S TOMASI	
Date :	19/01/22	

	Procès Verbal GTR Limite d'Atterberg et teneur en eau NF P 94-051 NF P 94-050	Référence : R1.6-13-036	
		Version : 1	

Référence client : **Alsace** N° Enregistrement : **PV 22 069**

Date d'essai	Date de prélèvement	N° de Dossier	Chantier/opération	Ingénieur
06/01/22	06/12/21	C21 22 302	Minversheim	DBO
Observations :				

Sondage	Profondeur	Nature de l'échantillon	Référence échantillon
TA3	0,7-1,15 m	Argile brune	EA 22 110



Résultats	W% naturelle	18,8%
	WL	51
	WP	24
	IP	27
	IC	1,19

Estimation du GTR :	A3s
---------------------	------------

Essais réalisés par :	Visa :
Nom / Prénom : D VINTER	
Date : 19/01/22	

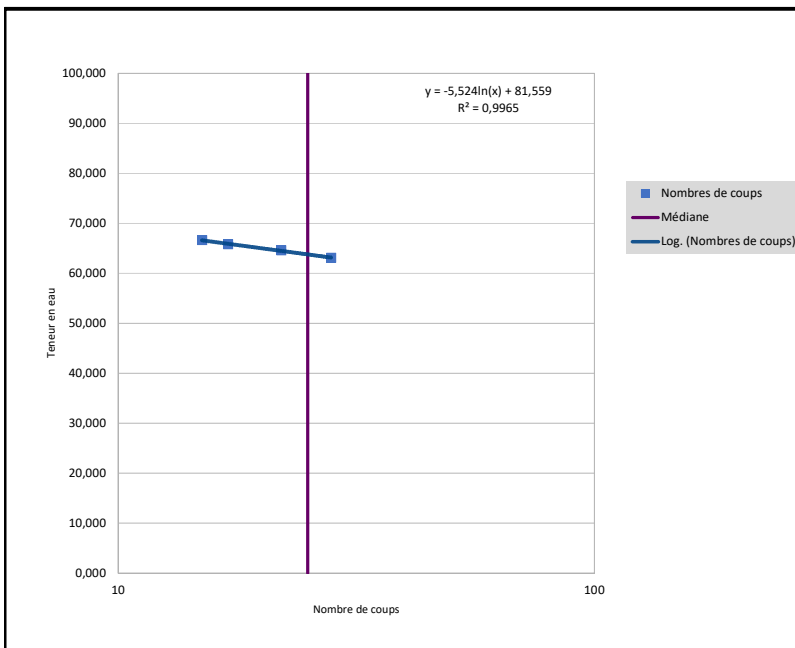
Résultats validés par :	Visa :
Nom / Prénom : S TOMASI	
Date : 19/01/22	

	Procès Verbal	Référence : R1.6-13-036	
	GTR Limite d'Atterberg et teneur en eau NF P 94-051 NF P 94-050	Version : 1	

Référence client : **Alsace** N° Enregistrement : **PV 22 070**

Date d'essai	Date de prélèvement	N° de Dossier	Chantier/opération	Ingénieur
06/01/22	06/12/21	C21 22 302	Minversheim	DBO
Observations :				

Sondage	Profondeur	Nature de l'échantillon	Référence échantillon
TA4	1,5-2,0 m	Argile brune	EA 22 111



Résultats	W% naturelle	33,7%
	WL	64
	WP	28
	IP	36
	IC	0,84

Estimation du GTR :	A3h
---------------------	------------

Essais réalisés par :	Visa :
Nom / Prénom : D VINTER	
Date : 19/01/22	

Résultats validés par :	Visa :
Nom / Prénom : S TOMASI	
Date : 19/01/22	

ANNEXE 4

MISSIONS GÉOTECHNIQUES



CLASSIFICATION DES MISSIONS TYPE D'INGÉNIERIE GÉOTECHNIQUE

(extraite de la norme NF P 94-500 - novembre 2013)

L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étapes 1 à 3) doit suivre les étapes de conception et de réalisation de tout projet pour contribuer à la maîtrise des risques géotechniques. Le maître d'ouvrage ou son mandataire doit faire réaliser successivement chacune de ces missions par une ingénierie géotechnique. Chaque mission s'appuie sur des données géotechniques adaptées issues d'investigations géotechniques appropriées.

ÉTAPE 1 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉALABLE (G1)

Cette mission exclut toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages géotechniques qui entre dans le cadre de la mission d'étude géotechnique de conception (étape 2). Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire. Elle comprend deux phases :

Phase Étude de site (ES)

Elle est réalisée en amont d'une étude préliminaire d'esquisse ou d'APS pour une première identification des risques géotechniques d'un site.

- Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisinants avec visite du site et des alentours.
- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant pour le site étudié un modèle géologique préliminaire, les principales caractéristiques géotechniques et une première identification des risques géotechniques majeurs.

Phase Principes Généraux de Construction (PGC)

Elle est réalisée au stade d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour réduire les conséquences des risques géotechniques majeurs identifiés. Elle s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats,
- Fournir un rapport de synthèse des données géotechniques à ce stade d'étude (première approche de la ZIG, horizons porteurs potentiels, ainsi que certains principes généraux de construction envisageables (notamment fondations, terrassements, ouvrages enterrés, améliorations de sols).

ÉTAPE 2 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)

Cette mission permet l'élaboration du projet des ouvrages géotechniques et réduit les conséquences des risques géotechniques importants identifiés. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend trois phases :

Phase Avant-Projet (AVP)

Elle est réalisée au stade de l'avant-projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats,
- Fournir un rapport donnant les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade de l'avant-projet, les principes de construction envisageables (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions générales vis-à-vis des nappes et des avoisinants), une ébauche dimensionnelle par type d'ouvrage géotechnique et la pertinence d'application de la méthode observationnelle pour une meilleure maîtrise des risques géotechniques.

Phase Projet (PRO)

Elle est réalisée au stade du projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées suffisamment représentatives pour le site.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats,
- Fournir un dossier de synthèse des hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet (valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques en particulier), des notes techniques donnant les choix constructifs des ouvrages géotechniques (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions vis-à-vis des nappes et des avoisinants), des notes de calcul de dimensionnement, un avis sur les valeurs seuils et une approche des quantités.

Phase DCE / ACT

Elle est réalisée pour finaliser le Dossier de Consultation des Entreprises et assister le maître d'ouvrage pour l'établissement des Contrats de Travaux avec le ou les entrepreneurs retenus pour les ouvrages géotechniques.

- Établir ou participer à la rédaction des documents techniques nécessaires et suffisants à la consultation des entreprises pour leurs études de réalisation des ouvrages géotechniques (dossier de la phase Projet avec plans, notices techniques, cahier des charges particulières, cadre de bordereau des prix et estimatif, planning prévisionnel).
- Assister éventuellement le maître d'ouvrage pour la sélection des entreprises, analyser les offres techniques, participer à la finalisation des pièces techniques des contrats de travaux.



ÉTAPE 3 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION (G3 et G4, distinctes et simultanées)**→ ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXÉCUTION (G3)**

Cette mission permet de réduire les risques géotechniques résiduels par la mise en œuvre à temps de mesures correctives d'adaptation ou d'optimisation. Elle est confiée à l'entrepreneur sauf disposition contractuelle contraire, sur la base de la phase G2 DCE/ACT.

Elle comprend deux phases interactives :

Phase Étude

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier dans le détail les ouvrages géotechniques : notamment établissement d'une note d'hypothèses géotechniques sur la base des données fournies par le contrat de travaux ainsi que des résultats des éventuelles investigations complémentaires, définition et dimensionnement (calculs justificatifs) des ouvrages géotechniques, méthodes et conditions d'exécution (phasages généraux, suivis, auscultations et contrôles à prévoir, valeurs seuils, dispositions constructives complémentaires éventuelles).
- Elaborer le dossier géotechnique d'exécution des ouvrages géotechniques provisoires et définitifs : plans d'exécution, de phasage et de suivi.

Phase Suivi

- Suivre en continu les auscultations et l'exécution des ouvrages géotechniques, appliquer si nécessaire des dispositions constructives prédéfinies en phase étude.
- Vérifier les données géotechniques par relevés lors des travaux et par un programme d'investigations géotechniques complémentaire si nécessaire (le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats).
- Etablir la prestation géotechnique du dossier des ouvrages exécutés (DOE) et fournir les documents nécessaires à l'établissement du dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO).

→ SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXÉCUTION (G4)

Cette mission permet de vérifier la conformité des hypothèses géotechniques prises en compte dans la mission d'étude et suivi géotechniques d'exécution. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend deux phases interactives :

Phase Supervision de l'étude d'exécution :

- Donner un avis sur la pertinence des hypothèses géotechniques de l'étude géotechnique d'exécution, des dimensionnements et méthodes d'exécution, des adaptations ou optimisations des ouvrages géotechniques proposées par l'entrepreneur, du plan de contrôle, du programme d'auscultation et des valeurs seuils.

Phase Supervision du suivi d'exécution :

- Par interventions ponctuelles sur le chantier, donner un avis sur la pertinence du contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur (G3), du comportement tel qu'observé par l'entrepreneur de l'ouvrage et des avoisinants concernés (G3), de l'adaptation ou de l'optimisation de l'ouvrage géotechnique proposée par l'entrepreneur (G3).
- Donner un avis sur la prestation géotechnique du DOE et sur les documents fournis par le DIUO.

DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5)

Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle. Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou ces éléments géotechniques sur les risques géotechniques identifiés ainsi que leurs conséquences possibles pour le projet ou l'ouvrage existant.

- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans la globalité du projet ou dans l'étude de l'état général de l'ouvrage existant.
- Si ce diagnostic conduit à modifier une partie du projet ou à réaliser des travaux sur l'ouvrage existant, des études géotechniques de conception et/ou d'exécution ainsi qu'un suivi et une supervision géotechniques seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étape 2 et/ou 3).



SCHÉMA D'ENCHAÎNEMENT DES MISSIONS GÉOTECHNIQUES
(extrait de la norme NFP 94-500 - Novembre 2013)

Enchaînement des missions G1 à G4	Phases de la maîtrise d'œuvre	Mission d'ingénierie géotechnique (GN) et Phase de la mission		Objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques	Niveau de management des risques géotechniques attendu	Prestations d'investigations géotechniques à réaliser
Étape 1 : Étude géotechnique préalable (G1)		Étude géotechnique préalable (G1) Phase Etude de Site (ES)		Spécificités géotechniques du site	Première identification des risques présentés par le site	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
	Étude préliminaire, esquisses, APS	Étude géotechnique préalable (G1) Phase Principes Généraux de Construction (PGC)		Première adaptation des futurs ouvrages aux spécificités du site	Première identification des risques pour les futurs ouvrages	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
Étape 2 : Étude géotechnique de conception (G2)	APD/AVP	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Avant-Projet (AVP)		Définition et comparaison des solutions envisageables pour le projet	Mesures préventives pour la réduction des risques identifiés, mesures correctives pour les risques résiduels avec détection au plus tôt de leur survenance	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	PRO	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Projet (PRO)		Conception et justifications du projet		Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	DCE/ACT	Étude géotechnique de conception (G2) Phase DCE / ACT		Consultation sur le projet de base / Choix de l'entreprise et mise au point du contrat de travaux		
Étape 3 : Études géotechniques de réalisation (G3/G4)		À la charge de l'entreprise	À la charge du maître d'ouvrage			
	EXE/VISA	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Etude (en interaction avec la phase Suivi)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision du suivi)	Étude d'exécution conforme aux exigences du projet, avec maîtrise de la qualité, du délai et du coût	Identification des risques résiduels, mesures correctives, contrôle du management des risques résiduels (réalité des actions, vigilance, mémorisation, capitalisation des retours d'expérience)	Fonction des méthodes de construction et des adaptations proposées si des risques identifiés surviennent
	DET/AOR	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Suivi (en interaction avec la phase Etude)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision de l'étude)	Exécution des travaux en toute sécurité et en conformité avec les attentes du maître d'ouvrage		Fonction du contexte géotechnique observé et du comportement de l'ouvrage et des avoisinants en cours de travaux
À toute étape d'un projet ou sur un ouvrage existant	Diagnostic	Diagnostic géotechnique (G5)		Influence d'un élément géotechnique spécifique sur le projet ou sur l'ouvrage existant	Influence de cet élément géotechnique sur les risques géotechniques identifiés	Fonction de l'élément géotechnique étudié

