

HYDROGEOTECHNIQUE

Spécialistes en études de sol,
chaussée et environnement.



Rivières de Haute Alsace
100 Avenue d'Alsace
68000 COLMAR



RAPPORT D'ÉTUDE GÉOTECHNIQUE

Bassin de rétention

Étude géotechnique (G5)

FROENINGEN (Haut-Rhin)

DOSSIER N°	INDICE	DATE	RÉDACTEUR	CONTRÔLEUR	SUPERVISEUR	OBSERVATIONS / MODIFICATIONS
C.21.20016_FROENINGEN	A	03/08/2021	S. SAMMUT	L. COLIN		1 ^{ère} diffusion

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	3
1.1. MISSIONS	3
1.2. RÉFÉRENTIELS	4
1.3. DOCUMENTS FOURNIS	4
1.4. DESCRIPTION DU PROJET AU STADE DE NOTRE MISSION	5
2. ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉLIMINAIRE DE SITE - MISSION G1 ES (RAPPEL G2AVP)	8
2.1. CONTEXTES SITOLOGIQUE ET HISTORIQUE	8
2.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE	8
2.3. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE	9
2.4. RISQUES NATURELS	9
2.5. SISMICITÉ	12
2.6. VESTIGES MILITAIRES ET OBJETS PYROTECHNIQUES	13
3. PROGRAMME SPÉCIFIQUE D'INVESTIGATIONS MIS EN ŒUVRE (MISSION G2AVP)	14
3.1. PROGRAMME SPÉCIFIQUE	14
3.2. IMPLANTATION ET CALAGE ALTIMÉTRIQUE	15
4. RÉSULTATS DES INVESTIGATIONS ET INTERPRÉTATION	17
4.1. LITHOLOGIE ET CARACTÉRISTIQUES GÉOTECHNIQUES	17
4.2. HYDROGÉOLOGIE	21
5. CONDITIONS SISMIQUES	22
6. SYNTHÈSE DES DONNÉES DE SOL ET ALÉAS GÉOTECHNIQUES (MISSION G2 AVP)	23
6.1. SYNTHÈSE DES DONNÉES GÉOTECHNIQUES	23
6.2. ALÉAS	23
7. STABILITÉ DES SOLS D'ASSISE DE LA DIGUE	25
7.1. STABILITÉ DES SOLS SUPPORTS	25
7.2. ESTIMATION DES TASSEMENTS ET TEMPS DE CONSOLIDATION	28
8. TOUR DE VIDANGE : ÉBAUCHE PRÉDIMENSIONNELLE DE LA SOLUTION DE FONDATION SUR UN RADIER	29
8.1. NIVEAU D'ASSISE	29
8.2. TAUX DE TRAVAIL	29
8.3. TASSEMENTS	29
8.4. SUJÉTIONS D'EXÉCUTION	29
ANNEXES	32
ANNEXE 1 PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES	33
ANNEXE 2 coupes des sondages	34
ANNEXE 3 analyses en laboratoire	35
ANNEXE 5 MISSIONS GÉOTECHNIQUES	36

1. INTRODUCTION

1.1. MISSIONS

À la demande du service **Rivières de Haute Alsace**, HYDROGEOTECHNIQUE Est a procédé à une mission G5 de diagnostic géotechnique des sols supports d'une digue en terre à construire, dans le cadre de la création d'un bassin de rétention sur la commune de FROENINGEN (Haut-Rhin).

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)
 - ES : Phase Étude de Site,
 - PGC : Phase Principes Généraux de Construction,
- ÉTAPE 2 : étude géotechnique de conception (G2)
 - 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 une mission G5 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 **Sylvain SAMMUT**, géologue géotechnicien et vérifié par **Laurent COLIN**, Directeur Régional- ingénieur géotechnicien.

Les objectifs de cette étude sont :

- définir, après enquête, un programme d'investigations spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique et en exploiter les résultats,
- préciser les caractéristiques des sols nécessaires au diagnostic,
- étudier les éléments géotechniques suivants :
 - la stabilité des sols d'assise
 - l'estimation des tassements oedométriques sous les digues.
- développer l'ébauche dimensionnelle de la partie d'ouvrage concernée (tour de vidange).

Notre mission de type G5 s'arrête à la remise de ce rapport.

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.

Cette mission exclut l'étude des conditions de réalisation de la digue et son dimensionnement.

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

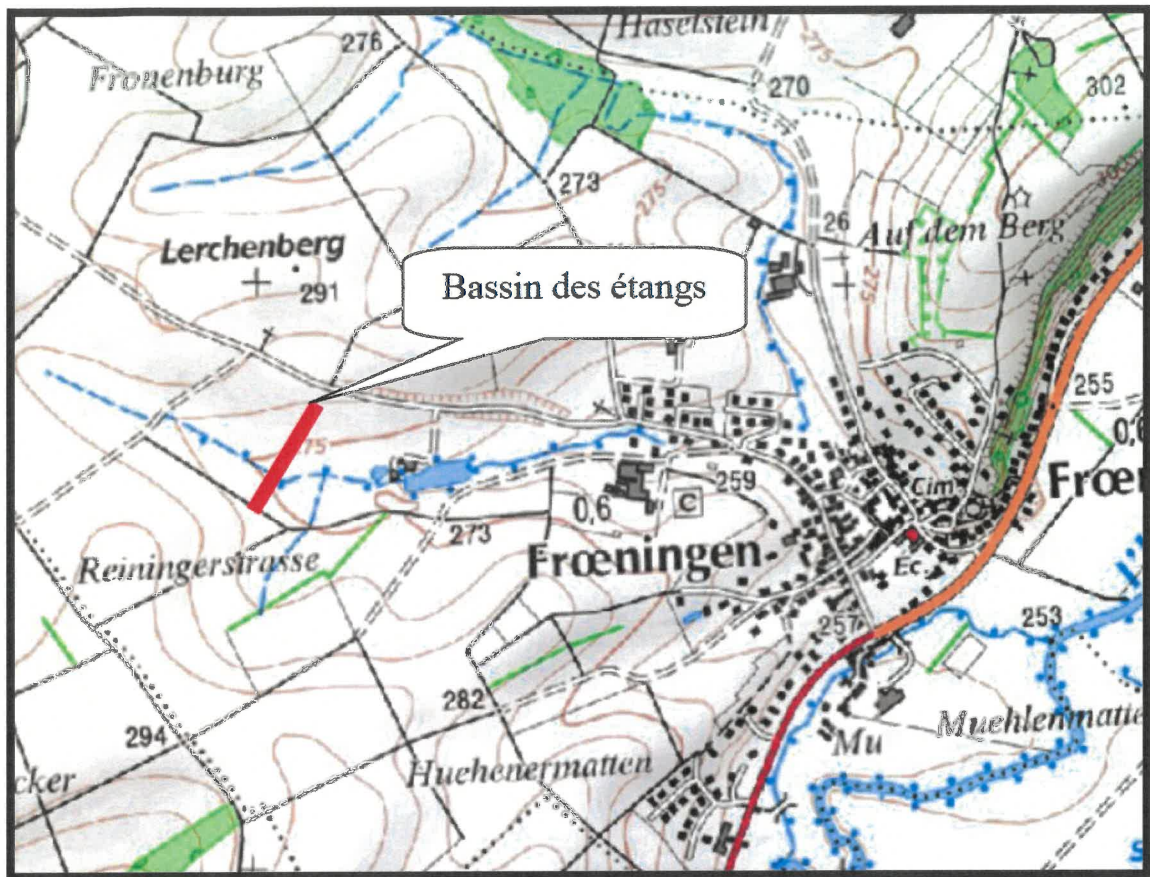
Nos études suivent les normes et documents français et plus particulièrement :

- 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 et du 19 juillet 2011 relatifs à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal »,
- 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'Œuvre et le Maître d'Ouvrage :

- Un plan de situation de l'ouvrage
- Un plan d'emprise de la digue
- Un profil type de la digue envisagée



Plan de situation

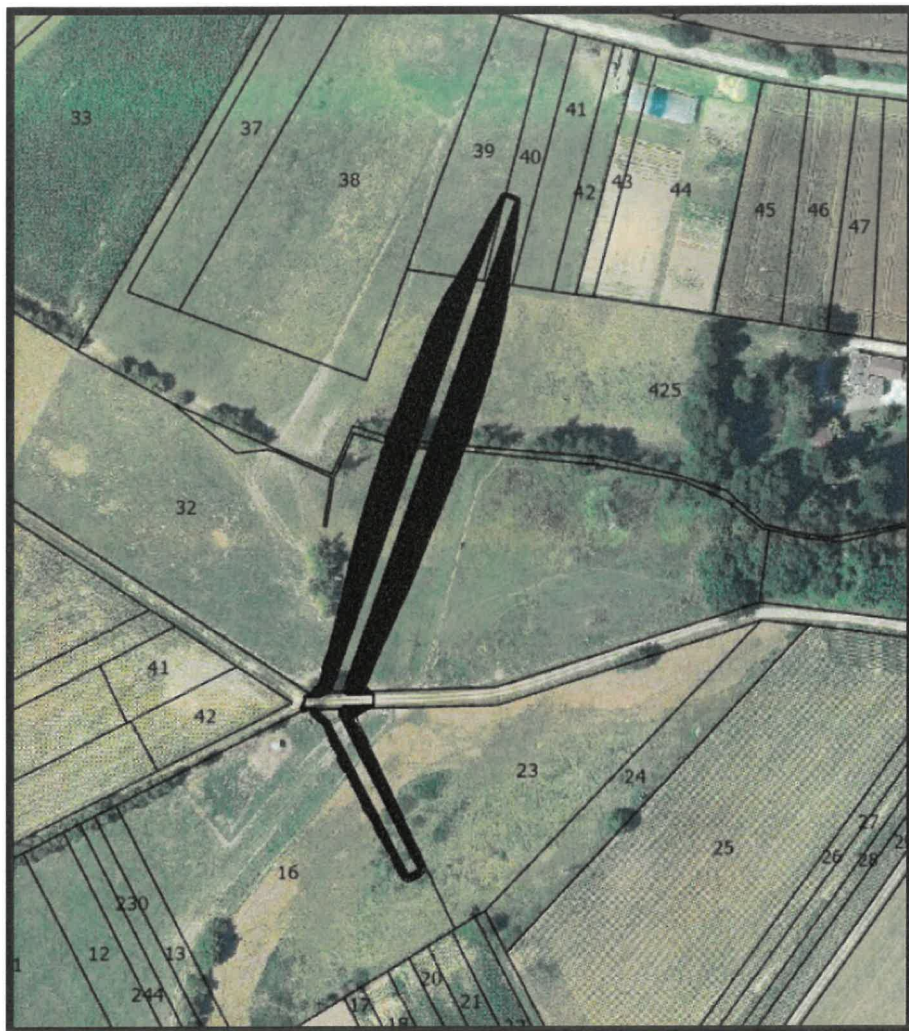
1.4. DESCRIPTION DU PROJET AU STADE DE NOTRE MISSION

Le projet concerne la mise en œuvre d'une digue en terre dans le cadre de la création d'un bassin de rétention anticrue d'environ 21000 m³ afin de protéger l'agglomération de FROENINGEN.

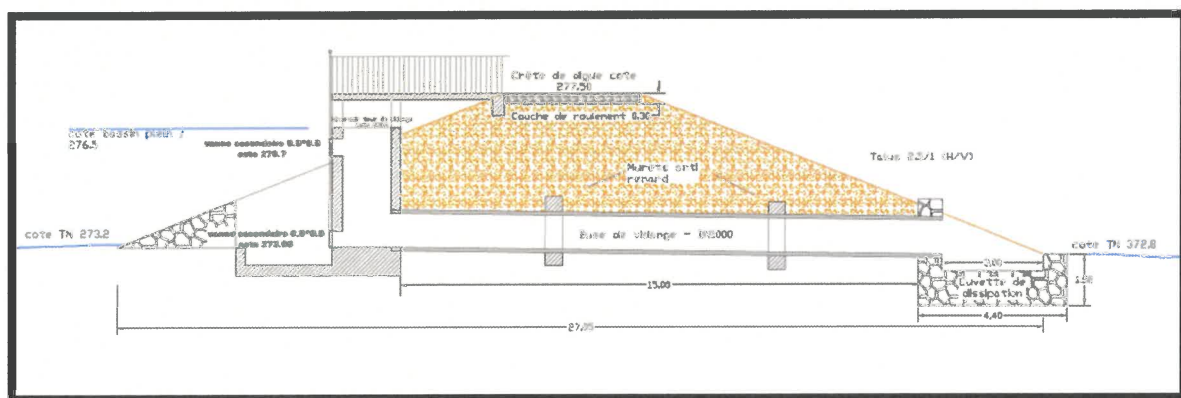
À ce stade, les informations connues sur le projet sont les suivantes :

- La mise en œuvre d'une digue en terre à l'aide de matériaux d'apport non connus à ce jour. Elle s'élèvera sur une hauteur de 4.7 m en aval et 4.3 m en amont. Il est prévu de régler les pentes des talus à 2.5 de base pour 1 de hauteur (2.5B/1H).
- La mise en œuvre d'une tour de vidange en béton armé au cœur de la digue, au niveau de l'actuel fossé. Cette tour est prévue d'être fondée sur radier.

Le plan suivant présente l'emprise du projet de digue :



Plan d'emprise de la digue sur photographie aérienne



Profil en travers type de la digue au niveau de la tour de vidange

Tout changement d'implantation ou d'importance du projet par rapport aux hypothèses et données prises lors de l'établissement de ce rapport doit 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 27 juillet 2021. Nous attirons l'attention sur le fait qu'un certain nombre de paramètres peuvent 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 (RAPPEL G2AVP)

2.1. CONTEXTES SITOLOGIQUE ET HISTORIQUE

Le site se trouve à l'Ouest de l'agglomération de FROENINGEN, dans des prés, sur un coteau sundgauvien, en amont d'un étang, il présente une pente globalement orientée vers l'Est-Sud-Est.

On observe en partie médiane un fossé en eau au moment de nos investigations en janvier et février 2021.

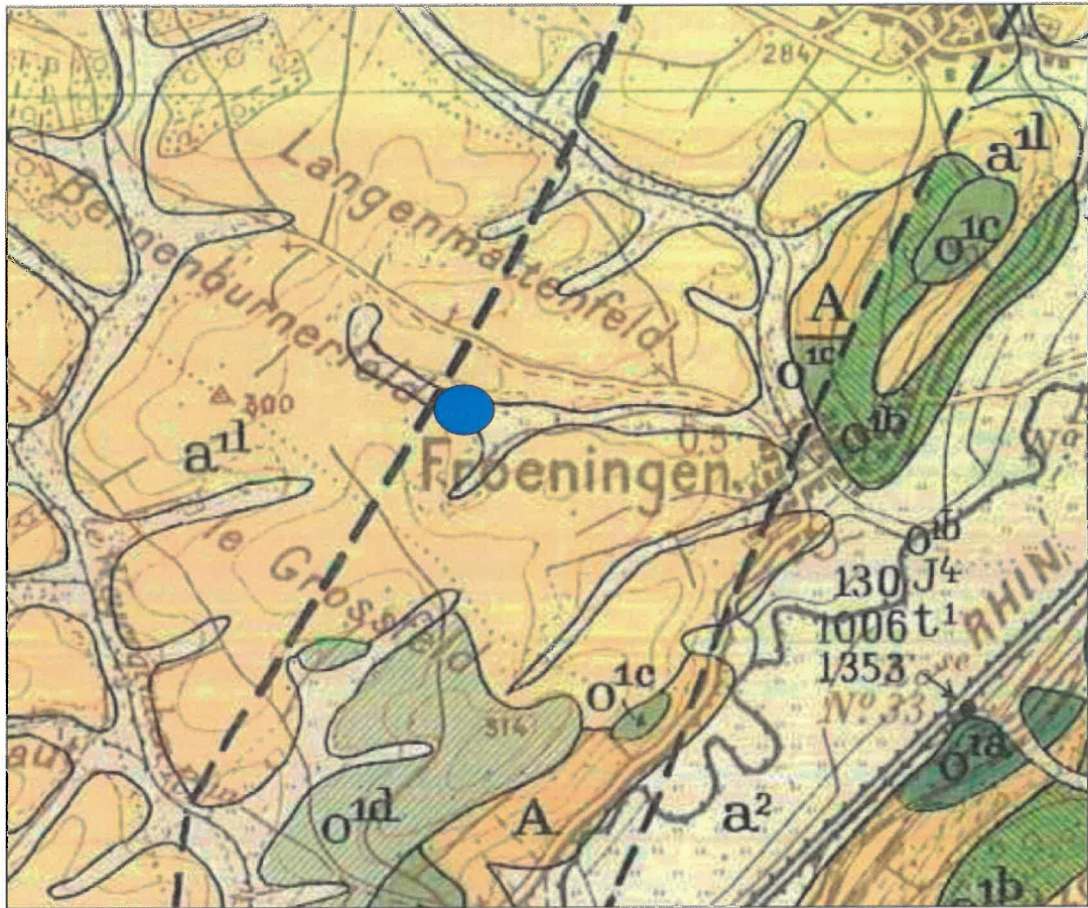


Photographie de l'emprise partielle de la digue

2.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE

La carte géologique (éditions du BRGM) au 1/50 000 d'ALTKIRCH montre que la zone d'étude se situe au niveau des formations suivantes :

- a², décrites comme des alluvions récentes constituées principalement de matériaux fins argileux.
- a^{1l}, décrites comme des loess, dépôts fins d'origine éolienne.
- Le tout repose sur le substratum Oligocène indifférencié noté o et principalement constitué de marnes dans le secteur d'étude.



Extrait carte géologique du BRGM d'ALTKIRCH

2.3. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE

Le site se trouve sur le flanc d'un coteau sundgauvien, en amont de la vallée de l'Ill. L'emprise du projet est traversée par un fossé en eau se rejetant dans un étang situé en aval.

Dans ce contexte, plusieurs types de nappes sont possibles :

- Une nappe d'accompagnement d'extension réduite en relation avec le fossé,
- Des circulations d'infiltration générant d'éventuelles nappes de rétention,
- L'éventuelle présence de sources fréquentes sur les côteaux sundgauviens à la faveur du contact entre les formations superficielles et le substratum marneux de l'Oligocène,
- Des ruissellements gravitaires en période pluvieuse.

Attention, la piézométrie de ces différents aquifères n'est pas nécessairement confondue.

2.4. RISQUES NATURELS

Selon le portail www.georisques.gouv.fr de prévention des risques majeurs du Ministère de la Transition Écologique et Solidaire, au niveau de la zone d'étude on note :

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
68PREF19990141	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999	30/12/1999

Inondations et coulées de boue : 8

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le Journal Officiel du
68PREF20020007	20/06/2002	20/06/2002	01/08/2002	23/08/2002
68PREF20170006	26/05/1988	26/05/1988	02/08/1988	13/08/1988
68PREF19830089	25/05/1983	27/05/1983	20/07/1983	26/07/1983

2.4.1. RISQUE INONDATIONS

Située dans la vallée alluviale de l'Ill, la zone d'étude est soumise à un Plan de Prévention des Risques Naturels Inondation. Cependant, l'emprise du projet n'est pas concernée par un zonage particulier.

2.4.2. 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.

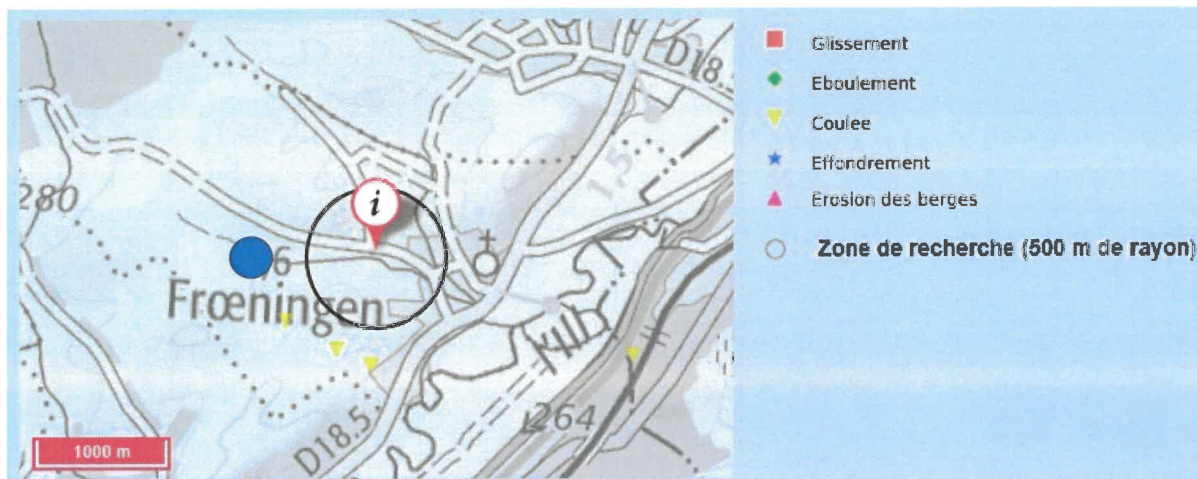


2.4.3. BASE DE DONNÉES DES CAVITÉS SOUTERRAINES

Aucune cavité souterraine n'a été recensée par le BRGM au droit de la zone.

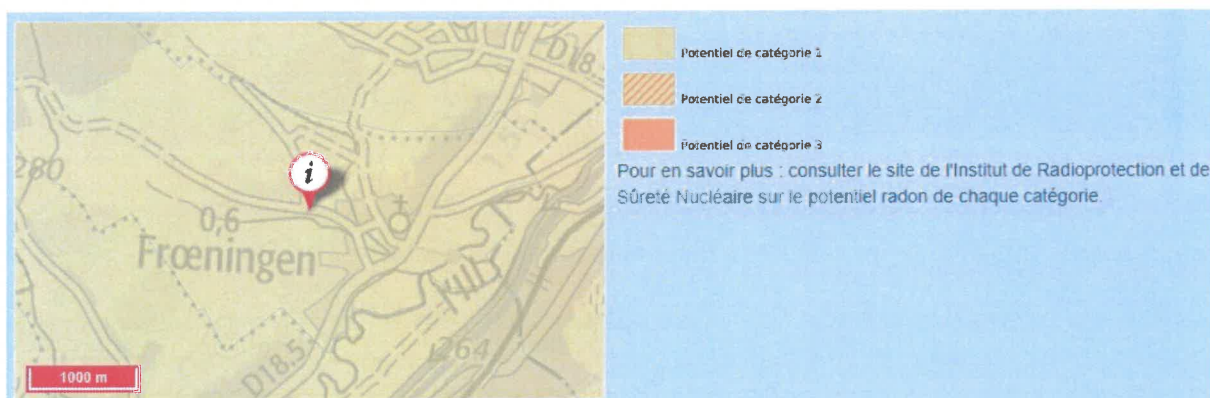
2.4.4. RISQUE DE GLISSEMENT DE TERRAIN

Le site ne se trouve pas en zone de glissement de terrain. Toutefois, des coulées de boue sont recensées à moins de 500 m de l'emprise du projet.



2.4.5. RISQUE RADON

D'après le site www.irs.fr, la commune de FROENINGEN 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} .

2.5. SISMICITÉ

Depuis le 22 octobre 2010, la France dispose d'un nouveau 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) :

- une zone de sismicité 1 où il n'y a pas de prescription parasismique particulière pour les bâtiments à risque normal (l'aléa sismique associé à cette zone est qualifié de très faible),
- quatre zones de sismicité 2 à 5, où les règles de construction parasismique sont applicables aux nouveaux bâtiments, et aux bâtiments anciens dans des conditions particulières.

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

Ces règles doivent être appliquées au moyen d'un coefficient d'importance γ_1 attribué à chacune des catégories d'importance du bâtiment. Les valeurs de ces coefficients sont données par le tableau suivant :

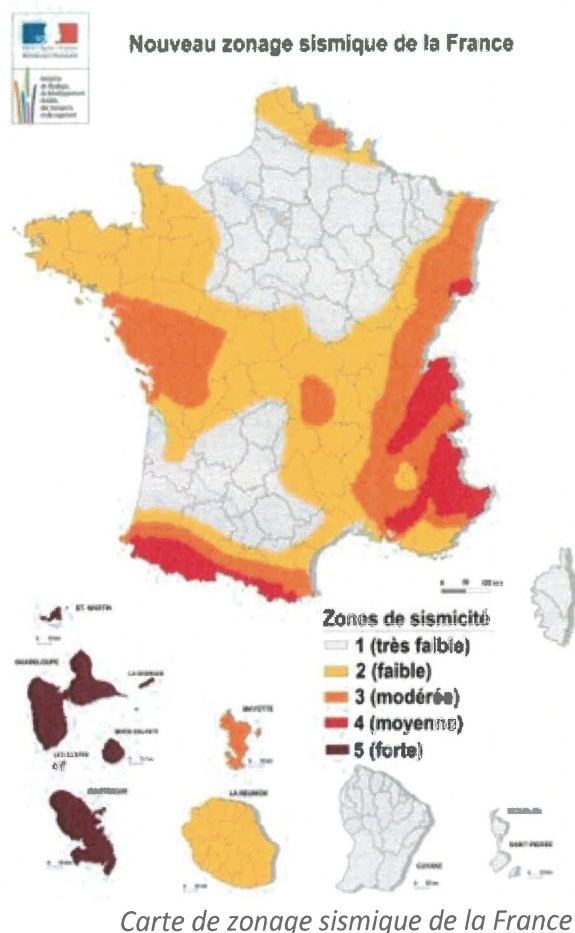
CATÉGORIE D'IMPORTANCE	COEFFICIENT D'IMPORTANCE γ_1
I	0,8
II	1
III	1.2
IV	1.4

Le mouvement dû au séisme est représenté par un spectre de réponse élastique en accélération. Il est caractérisé au niveau d'un sol rocheux (sol de classe A) par la valeur d'accélération a_{gr} . Les valeurs des accélérations a_{gr} sont données dans le tableau suivant :

ZONES DE SISMICITÉ	a_{gr} (en m/s^2)
1 (très faible)	0,4
2 (faible)	0,7
3 (modérée)	1,1
4 (moyenne)	1,6
5 (forte)	3,0

Dans le cadre de cette étude $a_{gr} = 1.1 m/s^2$.

L'accélération horizontale de calcul est déterminée à partir d'un sol référence de classe A rocheux. Elle est égale au produit de l'accélération a_{gr} par le coefficient d'importance γ_1 .



2.6. VESTIGES MILITAIRES ET OBJETS PYROTECHNIQUES

Compte tenu de la localisation du site, celui-ci pourrait contenir des vestiges de la première et/ou seconde guerre mondiale et des objets pyrotechniques enfouis.

3. PROGRAMME SPÉCIFIQUE D'INVESTIGATIONS MIS EN ŒUVRE (MISSION G2AVP)

3.1. PROGRAMME SPÉCIFIQUE

Afin de répondre aux problèmes posés, nous avons mis en œuvre les investigations suivantes au droit de la digue :

- **3 reconnaissances géologiques à la pelle hydraulique,**
notés PM1 à PM3,
conduits entre 2.0 et 2.5 m de profondeur par un géotechnicien pour le relevé de la succession lithologique et le prélèvement d'échantillons pour analyses en laboratoire.
- **3 essais au pénétromètre dynamique de type B,**
notés PD16 à PD18,
conduits au refus à 2.5 m en PD17 et arrêté à 5.0 m de profondeur en PD16 et PD18, avec mesure de la résistance de pointe q_d (en MPa) tous les 0.1 m selon la méthode de Redtenbacher.
- **1 sondage de reconnaissance géologique de type destructif,**
noté PR2,
conduit à 7.26 m de profondeur, en diamètre 70 mm, avec identification des formations traversées. Les outils ont été adaptés à la lithologie rencontrée,
- **L'enregistrement des paramètres de forage à l'avancement** avec un appareil numérique de type LUTZ. Cet appareil permet de mesurer :
 - la vitesse instantanée d'avancement (VIA),
 - la pression d'injection du fluide de forage (PI),
 - le couple de rotation (CR).
- Dans ce forage, **5 essais de chargement in situ de type pressiométrique**, suivant la norme NF EN 22476-4, permettant la mesure après dépouillement, par un essai de chargement in situ :
 - du module de compressibilité : EM
 - de la pression de fluage : pf
 - de la pression de rupture : pl

- **1 reconnaissance géologique en carottage continu,**
noté SC2,
conduit à 6.01 m de profondeur, en diamètre 116mm, avec conditionnement des échantillons non remaniés en caisses et en gaines PVC hermétiquement fermées pour analyses en laboratoire. Ce forage a été équipé en piézomètre provisoire PVC Ø50mm crépiné de 2.0 à 6.0 m et fermé par une tête de protection métallique hors sol.

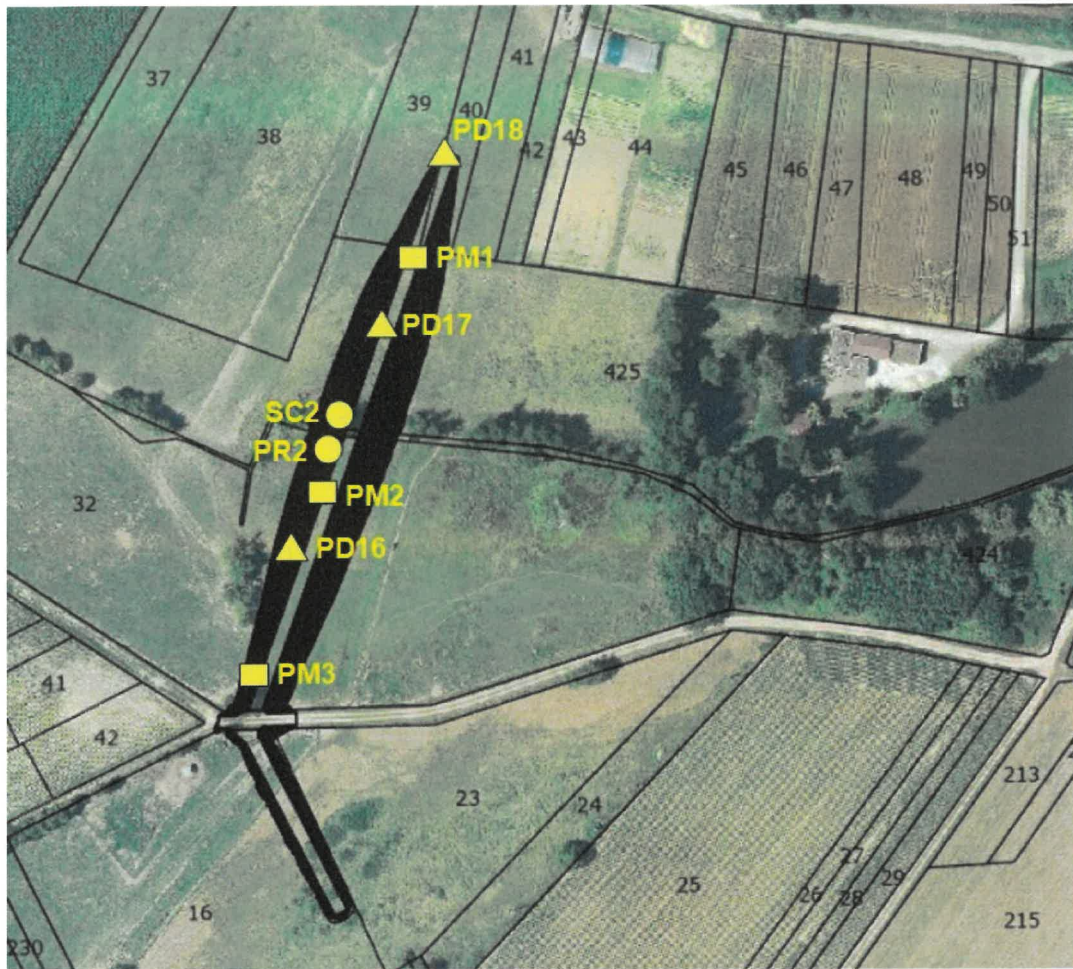
- **Analyses en laboratoire :**
 - 5 mesures de la teneur en eau naturelle (NF P 94-050),
 - 3 analyses granulométriques (NF P 94-056),
 - 3 mesures de la valeur au bleu de méthylène (NF P 94-068),
 - 3 indices de portance immédiat (NF P 94-078),
 - 1 essai proctor normal (NF P 94-093),
 - 1 essai de compressibilité par paliers à l'oedomètre (NF P 94-94-090-1),
 - 1 essai triaxial non consolidé non drainé UU (NF P 94-074).

Les forages ont été réalisés à l'aide d'une sondeuse de type HYDROFORE 750 et les essais au pénétromètre au Deep Drill.

3.2. IMPLANTATION DES SONDAGES

Le plan d'implantation des sondages et essais est présenté ci-après et en annexes du rapport.

Les sondages ont été positionnés à partir du plan topographique et photographie aérienne de l'emprise du projet fournis.



Implantation schématique des sondages

4. RÉSULTATS DES INVESTIGATIONS ET INTERPRÉTATION

4.1. LITHOLOGIE ET CARACTÉRISTIQUES GÉOTECHNIQUES

L'analyse des coupes lithologiques des différents sondages permet de schématiser la lithologie de la manière suivante :

Description par couches :

- 0.2 à 0.5 m d'horizons de « terre végétale » constitués de limons et argiles limoneuses bruns et marron-brun à racicules,
- Des argiles, argiles limoneuses, argiles légèrement sableuses, argiles silteuses et silts plus ou moins argileux marron et marron-beige renfermant localement quelques cailloutis et des nodules ferro-manganiques noirs. Ces formations sont reconnues comme suit :

Sondage	PR2	SC2	PM1	PM2	PM3
Profondeur du toit (m)	0.2	0.2	0.2	0.5	0.3
Profondeur du mur (m)	5.7	5.7	3*	3.0*	3.0*
Épaisseur (m)	5.5	5.5	2.8**	2.5**	2.7**

* fin du sondage

** Épaisseur partielle

Essais in situ au pressiomètre :

On mesure dans ces matériaux, une compacité très faible à modeste jusqu'à 3.0 m de profondeur puis moyenne au-delà car dans le détail on note :

Sondages	PR2	
Profondeur	Em	pl*
	En MPa	
1,0 m	2,8	0,21
2,0 m	2,4	0,17
3,0 m	3	0,29
4,0 m	19,9	0,65
Valeurs moyennes	Em = 7,03	MPa
	pl* = 0,33	MPa

compacités très faibles

compacités modestes

compacités moyennes

compacités élevées

compacités très élevées

Les valeurs caractéristiques retenues pour cette couche sont :

$$P_{I*,k} = 0.22 \text{ MPa}$$

$$E_{M,k} = 2.5 \text{ MPa}$$

Analyses en laboratoire :

Les échantillons prélevés au droit des sondages à la pelle hydraulique ainsi qu'en carottage ont été soumis à des essais d'identification des sols GTR (Guide des Terrassements Routiers, SETRA) essais de portance et essais de mécanique des sols afin de proposer un modèle géotechnique des sols supports de la digue.

Ainsi, on obtient les résultats suivants :

ESSAIS D'IDENTIFICATION		Classification	Teneur en eau	Teneur en eau	Valeur au bleu	Granulométrie par tamisage								Compactage ESSAI PROCTOR et POINÇONNEMENT				
		11-300	94-050	94-050	94-068	94-056								94-078 94-093				
Sondages	Prof (m)	GTR	W% (0/D)	W% (0/20)	VBS	% de passant								Naturel		OPN		
						Dmax (mm)	50 mm	20 mm	5 mm	2 mm	400 µm	80 µm	Wn% (0/20)	IPI	ρ d Wn t/m3 (0/20)	W% OPN (0/20)	IPI	ρ d OPN t/m3 (0/20)
SC2	1,50-3,00	A2	43,6	43,6	3,49	3,3	100	100	98	92	84	82,9	-	-	-	-	-	-
PM1	1,20	A2h	27,3%	27,3%	3,97	0,2	100	100	99	99	97	91	27,28	2,7	1,57	-	-	-
PM2	1,20	A2th	30,7%	30,7%	2,63	0,08	100	100	100	99	97	96	30,7	0,1	1,49	20,4	9,6	1,66
PM3	1,00	A2th	28,8%	28,8%	2,57	0,08	100	100	100	100	99	99	28,78	0,3	1,52	-	-	-

Selon le GTR, ces matériaux sont de classe A2, avec un état hydrique h à th lors de leur prélèvement, soit des matériaux sensibles à l'eau et au gel. L'indice de portance immédiat IPI = 0.1 à 2.7 indique une portance très faible, voire nulle, en adéquation avec l'état hydrique th lors des prélèvements.

De plus, au regard de l'essai proctor normal, les plages hydriques sont les suivantes :

Etat hydrique th : $W_n \geq 26.5\%$

Etat hydrique h : $22.4 \leq W_n < 26.5 \%$

Etat hydrique m : $18.4 \leq W_n < 22.4 \%$ (plage hydrique de réemploi optimal)

Etat hydrique s : $14.3 \leq W_n < 18.4 \%$

Etat hydrique ts : $W_n < 14.3 \%$

Mécanique des sols :

- Essai de poinçonnement oedométrique :

À 2.2 m de profondeur en SC2, dans les argiles limoneuses non remaniées l'essai oedométrique indique les caractéristiques suivantes :

CARACTERISTIQUES de COMPRESSIBILITE						
	Contrainte au repos	σ'_{vo} :	44	kPa		
		e_0 :	0,74			
	Pression de préconsolidation	σ'_p :	54	kPa		
	Indice de gonflement	C_s :	0,014			
	Indice de compression:	C_c :	0,207			
COEFFICIENT de CONSOLIDATION (Méthode de Taylor)						
		Palier (kPa)			CV (cm ² /s)	K _{vn} (m/s)
	de	101	à	201	16,1E-04	5,95E-10
	de	201	à	402	10,3E-04	1,96E-10
	de	402	à	804	9,1E-04	9,14E-11
COEFFICIENT de CONSOLIDATION (Méthode de casagrande)						
		Palier (kPa)			CV (cm ² /s)	K _{vn} (m/s)
	de	101	à	201	6,13E-04	2,27E-10
	de	201	à	402	1,14E-03	2,17E-10
	de	402	à	804	1,11E-03	1,11E-10

- Essai triaxial:

L'essai de cisaillement triaxial réalisé sur un échantillon de limons non remaniés à 2.0 m de profondeur en SC2 indique les résultats suivants :

	SC2 à 2.0 m
C _{uu} (paramètre court terme)	42 kPa
ϕ_{uu} (paramètre court terme)	0°
C'	5 kPa
ϕ'	20°
γ_h	19,3 kN/m ³

- Reposant sur des argiles marneuses grises reconnues en PR2 et SC2 comme suit :

Sondage	PR2	SC2
Profondeur du toit (m)	5.7	5.7
Profondeur du mur (m)	7.26*	6.01*
Épaisseur (m)	0.56**	0.31**

* fin du sondage

** Epaisseur partielle

Essais in situ au pressiomètre :

On mesure une compacité moyenne à 6.0 m de profondeur dans ces formations argilo-marneuses avec :

$$E_m = 11.7 \text{ MPa et } p_l^* = 0.46 \text{ MPa}$$

- Essais au pénétromètre dynamique sous l'emprise de la future digue en terre :

Ces essais indiquent des résistances de pointe fluctuantes, faibles (voire localement nulles) à modestes jusqu'à 1.1 à 1.9 m de profondeur, avec $0.0 \leq q_d \leq 2.2 \text{ MPa}$. Au-delà, les compacités sont moyennes à élevées avec de fortes hétérogénéités latérales et spatiales.

En PD16, les compacités sont moyennes jusqu'à 3.0 m puis élevées jusqu'à l'arrêt de l'essai à 5.0 m de profondeur.

En PD17, les compacités sont moyennes jusqu'à 1.7 m puis élevées jusqu'à l'obtention du refus à 2.5 m de profondeur.

En PD18, les compacités sont élevées jusqu'à 2.0 m puis moyennes jusqu'à l'arrêt de l'essai à 4.9 m de profondeur.

Dans le détail, on obtient :

Valeurs de la résistance de pointe équivalente qd en MPa				
Prof/TN en m	PD16	PD17	PD18	Prof/TN en m
0				0
0,1	1,2	1,2	0,8	0,1
0,2	1,9	1,9	1,5	0,2
0,3	1,9	1,5	1,5	0,3
0,4	0,0	1,2	0,8	0,4
0,5	0,8	0,8	0,8	0,5
0,6	0,8	1,2	0,8	0,6
0,7	0,4	0,8	1,5	0,7
0,8	0,8	1,5	1,5	0,8
0,9	0,8	1,5	2,7	0,9
1	1,1	1,4	2,2	1
1,1	1,4	2,2	2,2	1,1
1,2	1,8	1,8	3,6	1,2
1,3	1,8	1,8	4,7	1,3
1,4	1,8	1,1	6,4	1,4
1,5	2,2	2,2	6,1	1,5
1,6	2,2	4,3	5,7	1,6
1,7	2,2	4,7	7,1	1,7
1,8	2,2	6,1	7,8	1,8
1,9	1,7	7,5	7,1	1,9
2	2,7	8,5	6,0	2
2,1	4,1	8,8	5,0	2,1
2,2	4,4	8,2	5,0	2,2
2,3	3,7	8,8	5,7	2,3
2,4	3,4	8,2	4,7	2,4
2,5	3,1	REFUS	3,7	2,5
2,6	2,7		3,1	2,6
2,7	1,0		3,4	2,7
2,8	7,0		2,7	2,8
2,9	2,0		3,4	2,9
3	2,9		4,8	3
3,1	5,4		5,1	3,1
3,2	6,0		3,5	3,2
3,3	7,1		7,7	3,3
3,4	7,7		5,1	3,4
3,5	7,7		3,8	3,5
3,6	8,0		2,9	3,6
3,7	7,4		3,5	3,7
3,8	8,3		4,1	3,8
3,9	7,7		4,1	3,9
4	5,6		3,6	4
4,1	5,6		3,9	4,1
4,2	7,0		3,9	4,2
4,3	5,1		5,1	4,3
4,4	5,9		3,9	4,4
4,5	5,9		3,6	4,5
4,6	5,9		4,2	4,6
4,7	6,2		4,5	4,7
4,8	6,2		3,9	4,8
4,9	7,0		3,9	4,9
5	6,6			5

0 < qd < 1.2 MPa	Compacité faible
1.2 < qd < 2.3 MPa	Compacité modeste
2.3 < qd < 5.2 MPa	Compacité moyenne
5.2 < qd	Compacité élevée
	Refus

4.2. HYDROGÉOLOGIE

Un niveau d'eau stabilisé, en relation avec le fossé, a été mesuré dans le piézomètre en PR2 à 2.75 m de profondeur le 26 février 2021. Des venues d'eau ont également été relevées lors des sondages à la pelle hydraulique PM2 et PM3, au Sud du fossé, à 2.0 et 2.5 m de profondeur en avril 2021. On observe aussi des suintements à l'avancement de PM2 dès 0.6 m.

On retiendra donc de ce site :

- l'existence de circulations d'eau erratiques et intermittentes à différentes profondeurs au sein de toutes les couches, fortement conditionnées par la météorologie,
- l'existence d'une nappe d'accompagnement soumise à fluctuations saisonnières en relation avec le fossé, proche de la surface en période de hautes eaux.
- la formation possible, en périodes pluvieuses, de nappes de rétention localisées dans les horizons superficiels.

L'origine des fluctuations possibles 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, etc.).

5. CONDITIONS SISMIQUES

Au sens de la norme NF EN 1998-1, on retiendra que le sol est à priori de **classe D** 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.

Tableau 3.1 de la norme NF EN 1998-1

Classe de sol	Description du profil stratigraphique	Paramètres		
		Vs.30 (m/s)	NSPT (coups /30 cm)	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			

Les terrains ont donc un paramètre de sol $S = 1.6$

6. SYNTHÈSE DES DONNÉES DE SOL ET ALÉAS GÉOTECHNIQUES (MISSION G2 AVP)

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	Argiles	Argiles marneuses
N° couche		0	1	2
Limites des couches (m)	PR2	0.0. – 0.2	0,2 – 5.7	5.7 > 7.26
	SC2	0.0 – 0.2	0.2 – 5.7	5.7 > 6.01
	PM1	0.0 – 0.2	0.2 > 3.0	
	PM2	0.0 – 0.5	0.5 > 3.0	
	PM3	0.0 – 0.3	0.3 > 3.0	
Hydrogéologie		-	Présence d'une nappe en relation avec le fossé à faible profondeur, suintements et circulations d'infiltration superficielles	
GTR		-	A2 th	
Compacité		-	Faible (voire localement nulle) à modeste jusqu'à 1.1 à 3.0 m de profondeur puis moyenne à élevée au-delà	Moyenne à élevée

6.2. ALÉAS

Les aléas géotechniques sont en relation entre autres, avec :

6.2.1. LA GÉOLOGIE

Les aléas sont liés :

- variations d'épaisseur des différentes couches,
- variations latérales de faciès au sein des argiles (couche 1), pouvant entraîner l'apparition de lentilles de nature variable au sein de la couche 1. Il est possible que des sols de nature localement différente de celle retrouvée en sondages apparaissent localement lors des travaux de terrassement,

6.2.2. LA NATURE DES MATÉRIAUX

- sensibilité au remaniement mécanique à l'exécution,
- sensibilité à l'eau des sols argileux sous l'action des variations hydriques saisonnières,
- compacité fluctuantes des argiles de la couche 1 et globalement mauvaise en tête.

6.2.3. L'HYDROGÉOLOGIE

- des arrivées d'eau parasites en périodes pluvieuses et formation possible de nappe de rétention,
- fluctuations saisonnières du niveau libre de la nappe, pouvant se caler probablement à faible profondeur, voire en subsurface,

- caractère erratique et intermittent des circulations susceptibles d'affecter les sols.

6.2.4. *L'ENVIRONNEMENT ET L'HISTORIQUE DU SITE*

- présence d'éventuels réseaux enterrés et tranchées associées au niveau des exploitations environnantes dont le mode de remblaiement est inconnu,

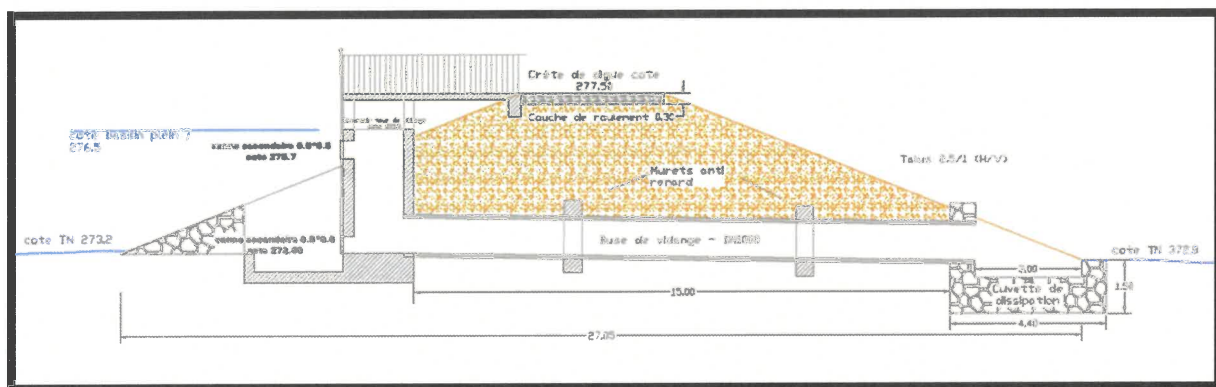
6.2.5. *LES RISQUES NATURELS*

- prise en compte du risque sismique.

7. STABILITÉ DES SOLS D'ASSISE DE LA DIGUE

Cette présente étude a en partie pour but d'apprécier les caractéristiques mécaniques des sols supports et leur réaction induite par la surcharge apportée par l'ouvrage (digue en terre). Il apparaît que globalement les matériaux argileux (couche 1) de la frange superficielle sont à des états hydriques th, de classe GTR A2, présentant des portances et des compacités faibles jusqu'à environ 2.0 à 3.0 m de profondeur. Au-delà, on caractérise des faciès de caractéristiques moyennes à élevées.

Le projet correspond à une digue de 4.7 à 4.3 m de hauteur environ avec une crête de 4,0 m de largeur et des pentes réglées à 2.5 de base pour 1 de hauteur selon le profil en travers de principe suivant, fourni par le Maître d'ouvrage :



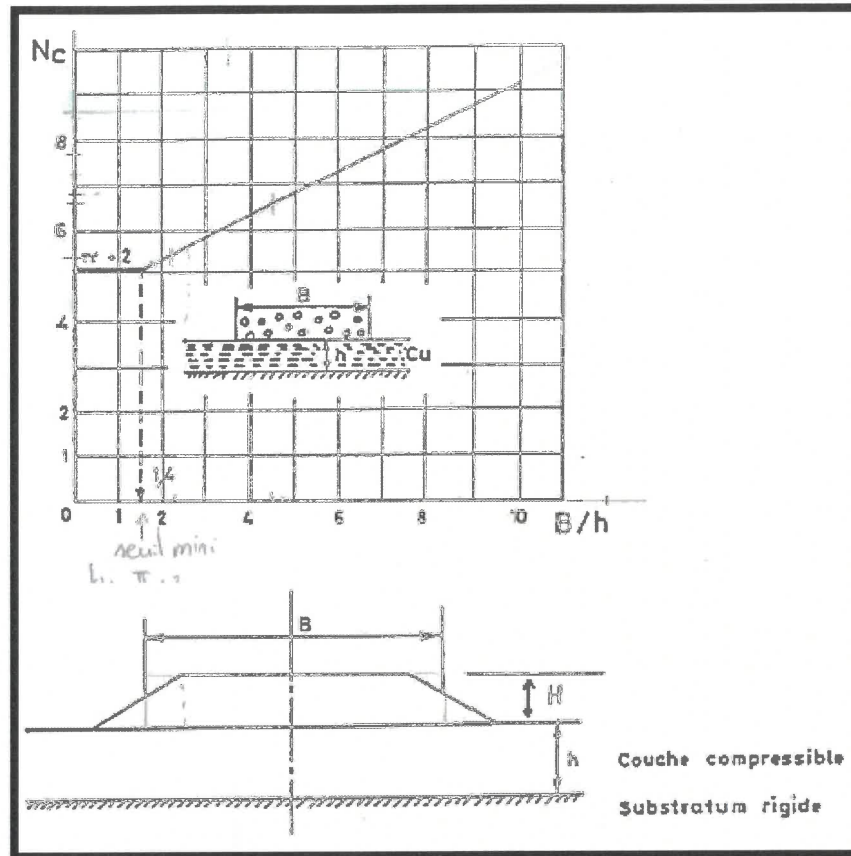
7.1. STABILITÉ DES SOLS SUPPORTS

Pour vérifier la stabilité des sols supports, on retiendra donc les hypothèses suivantes :

1. Une élévation maximale de 4.7 m (Hremblai) du pied de digue à la crête,
2. Un réglage des talus à 2.5 de base pour 1 de hauteur,
3. Une densité humide des matériaux d'apport $\gamma_{remblai} = 2.1 \text{ t/m}^3$ (hypothèse à confirmer par la maîtrise d'ouvrage en fonction des caractéristiques des matériaux d'apports utilisés).

7.1.1. STABILITE AU POINÇONNEMENT :

Cette stabilité sera appréciée à l'aide des formules et des abaques de Mandel et Salençon selon la méthode pressiométrique au regard des fluctuations de compacités mesurées lors des différentes investigations :



$p_l^* = 0,22 \text{ MPa}$ dans les argiles caractérisées jusqu'à 5.7 m de profondeur en moyenne.

$B = 18 \text{ m}$

$h = 3,0 \text{ m}$

soit $N_c = 7.2$ (coefficient de Mandel et Salençon)

On obtient alors :

$$q_{\max} = 0.8 \times p_l^* \times N_c / (\pi + 2) = 0,25 \text{ MPa}$$

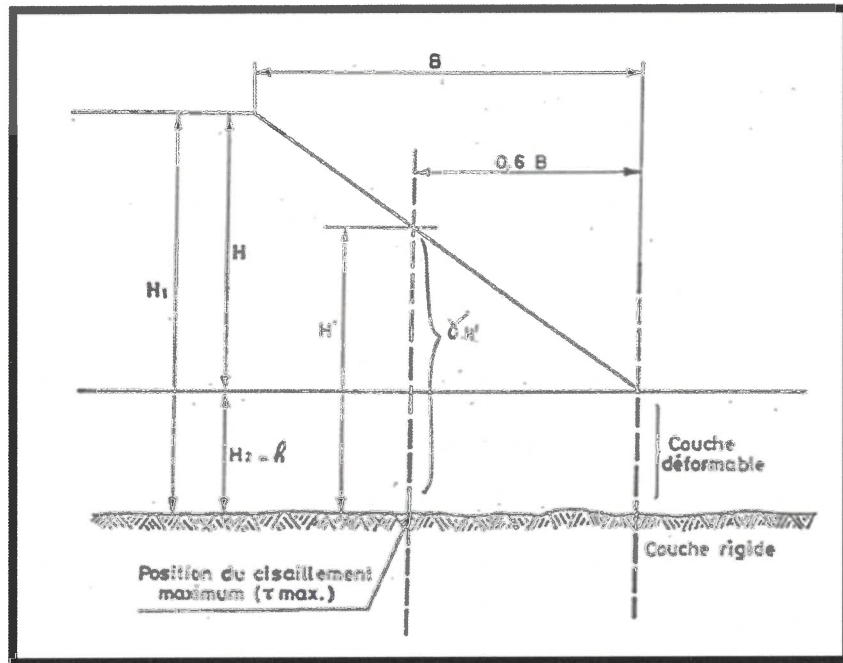
$$q_a = q_{\max} / 1.5 = 0.16 \text{ MPa}$$

$$q_{\text{remblai}} = \gamma_{\text{remblai}} \times H_{\text{remblai}} = 9.87 \text{ t/m}^2 \approx 0.1 \text{ MPa}$$

Soit $q_{\text{remblai}} < q_a$, la stabilité au poinçonnement est donc assurée.

7.1.2. STABILITE A L'ETALEMENT :

On évalue en premier lieu la contrainte de cisaillement moyenne en retenant les paramètres suivants :



- $B = 12 \text{ m}$
- $H1 = 7.7 \text{ m}$
- $H2 = 3.0 \text{ m}$
- $\gamma_h = 1,93 \text{ t/m}^3$
- $C = 5 \text{ kPa}$
- $\phi = 20^\circ$

Soit $\tan \phi_1 = (C + \gamma_h \times H1 \times \tan \phi) / (\gamma_h \times H1) = 0.398$ soit $\phi_1 = 21.7^\circ$

$$T_m = ((H1^2 - H2^2) / 2B) \times \gamma_h \times \tan^2 (\pi/4 - \phi_1/2) = 1.92 \text{ t/m}^2$$

$$T_{\max} = 1.4 \times T_m = 2.69 \text{ t/m}^2$$

$$T = C + \gamma H' \times H' \times \tan \phi = 4.39 \text{ t/m}^2$$

$$T / T_{\max} = 1,63$$

Soit un coefficient de sécurité supérieur à 1.5 d'où une stabilité assurée à l'étalement.

7.2. ESTIMATION DES TASSEMENTS ET TEMPS DE CONSOLIDATION

Les paramètres de compressibilité oedométrique mesurés en laboratoire permettent d'estimer les tassements prévisibles sous l'ouvrage :

- *dans les argiles silteuses reconnues en SC2 à 2,2 m de profondeur:*

e_0	σ'_{v0}	σ'_p	C_s	C_c	ρ_s	ρ_d	ρ_h
0,74	44 kPa	54 kPa	0.014	0.207	2.7 t/m ³	1.41 t/m ³	1.83 t/m ³

Si on considère la présence de ces matériaux comme assise de l'ouvrage sur 3,0 m d'épaisseur avec comme hypothèses géométriques, une digue de 4.7 m de hauteur, une crête de 4.0 m de largeur et des pentes réglées à 2.5 de base pour 1 de hauteur, les tassements prévisibles sous la digue seraient d'environ 9 cm en pied de digue à 34 cm au centre du corps digue (avec des matériaux constitutifs de la digue de densité $\rho_h = 2.1 \text{ t/m}^3$). Ces estimations ne prennent pas en compte l'épaisseur d'une éventuelle purge partielle ou totale de ces sols compressibles.

Par ailleurs, le temps de consolidation de ces matériaux (avec comme objectif 90% de consolidation) $t = T_v \cdot H^2 / C_v$ serait d'environ 1500 jours.

8. TOUR DE VIDANGE : ÉBAUCHE PRÉDIMENSIONNELLE DE LA SOLUTION DE FONDATION SUR UN RADIER

8.1. NIVEAU D'ASSISE

La tour de vidange pourrait être fondée sur un radier reposant sur les argiles de la couche 1 en respectant un niveau d'assise au moins calé à 3.0 m de profondeur sous le niveau du terrain naturel au regard des faibles compacités mesurées dans les formations superficielles.

Lors des terrassements conduits à cette profondeur, la présence de venues d'eau semble inévitable. Le fossé sera donc busé provisoirement durant les travaux et la mise en œuvre de pompes pour l'assèchement de la fouille sera probablement nécessaire.

Le niveau de pose, après terrassement à l'aide d'une pelle puissante travaillant en rétro, serait ensuite réglé avec un béton de propreté.

Il faudra également veiller à respecter une garde au gel de 0.95 m entre la base de la fondation et le niveau du terrain périphérique fini (valeur issue du calcul selon l'Annexe O de la norme NF P 94-261 et une altitude moyenne du site prise à 274 m NGF).

8.2. TAUX DE TRAVAIL

Compte tenu de la sensibilité au remaniement et à l'eau des sols d'assise, la contrainte admissible aux ELS sous le radier sera volontairement limitée 0.06 MPa à éventuellement pondérer par $i\delta\beta$.

8.3. TASSEMENTS

Pour un radier d'une emprise au sol de 4,0 m au carré (2m x 2m) et une contrainte de 0.06 MPa aux ELS, les tassements absolus, selon la méthode pressiométrique, seraient de l'ordre de 1,0 cm.

Ainsi, on admettra un coefficient de réaction vertical $K_v = 6 \text{ MPa/m}$.

8.4. SUJÉTIONS D'EXÉCUTION

Elles sont liées :

- à la réalisation des terrassements en période météorologique favorable, de beau temps et de préférence en période d'été,

- à l'utilisation d'une pelle puissante travaillant en retro godet bien à plat,
- à la réalisation des terrassements au large en respectant des pentes de talus provisoires réglées au maximum à $2B/1H$,
- à la sensibilité des matériaux au remaniement ainsi qu'à l'eau et à la finition soignée des fonds de fouilles,
- à la purge des horizons décomprimés, lentilles de limons ou d'argiles mous (3.0 m minimum sous le TN actuel),
- à la prise en compte d'un module d'Young $E_s = 6 \text{ MPa}$ dans les argiles de la couche 1 et $E_s = 20 \text{ MPa}$ dans les argiles marneuses de la couche 2,
- à la prise en compte des tassements sous le radier engendrés par la consolidation des sols supports de la digue et à la nécessité de mettre en place l'ouvrage après la consolidation des sols pour éviter des désordres.

Notre mission se termine à la remise du présent rapport qui constitue un ensemble indissociable.

Nous restons à la disposition du service des Rivières de Haute Alsace et de tous les intervenants pour tous renseignements complémentaires.

Dressé par les Ingénieurs soussignés

Ingénieur
en charge de l'opération

Sylvain SAMMUT



Ingénieur
en charge du contrôle interne (DR)

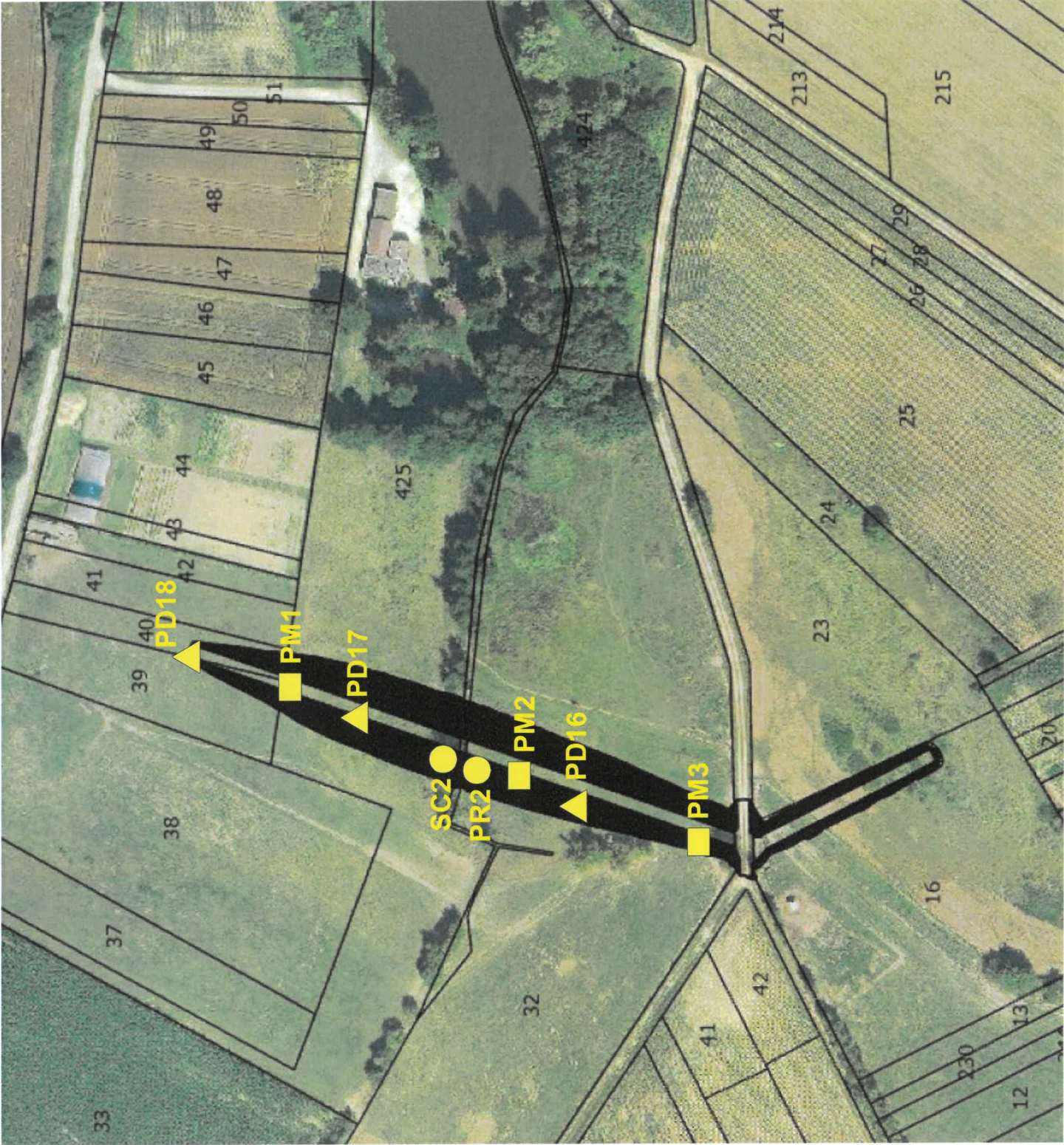
Laurent COLIN



ANNEXES

ANNEXE 1

PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES



ANNEXE 2

COUPES DES SONDAGES

**HYDROGEOTECHNIQUE****CEA**

(Contrat : C2120016)

**Bassin de rétention
FROENINGEN**

Date : 16/02/2021 Profondeur : 0,00 - 7,26 m X :
Heure début : 13:06 Machine : HYDROFORE 750 Y :
Z :

1/75

Forage : PR2

EXGTE 3.23

Profondeur (m)	Lithologie	Niveau d'eau	Outil	Tubage	Vitesse d'avancemen t (m/h)			Pression d'injection (bar)			Couple de rotation			Em (MPa)			Pf* (MPa)			PI* (MPa)			E/PI*			
					0	375	750	0	12,5	25	0	50	100	0	150	300	0	3,75	7,5	0	3,75	7,5				
0	Argiles limoneuses marron-brun à racielles 0,20 m	Forage à l'eau	Taillant Ø70mm																				13,8			
1	Argiles limoneuses marron																							13,9		
2																										
3																									10,4	
4	4,00 m																									30,7
5	Argiles légèrement sableuses marron																									
6	5,70 m																								25,7	
7	Argiles marneuses grises																									7,26 m

EXGTE 3.23/LB2EPF580FR



CEA
Bassin de rétention
FROENINGEN

Contrat C2120016

Date : 16/02/2021

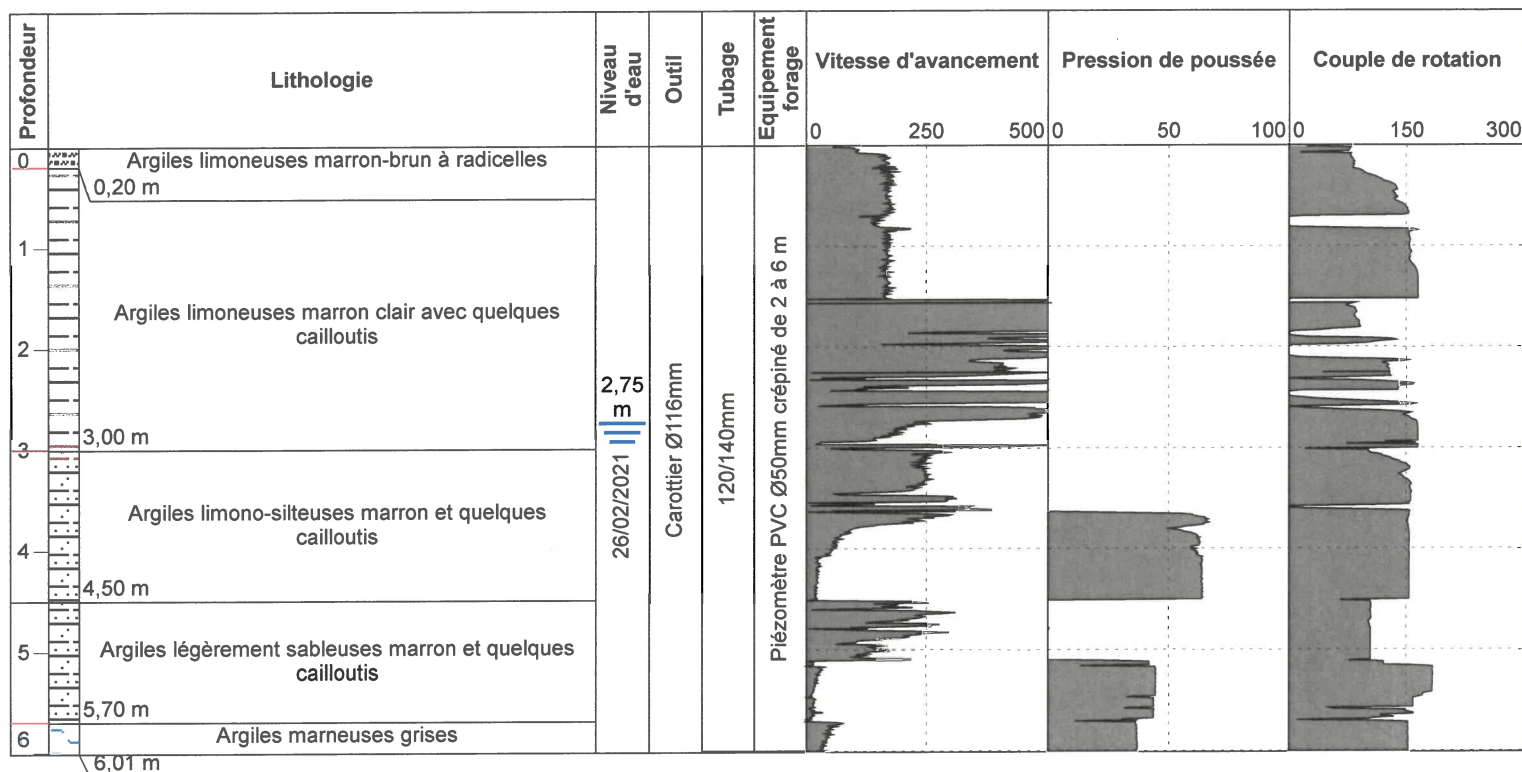
Machine : HYDROFORE 750

Profondeur : 0,00 - 6,01 m

1/75

Forage : SC2

EXGTE 3.23/LB2EPF580FR


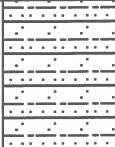
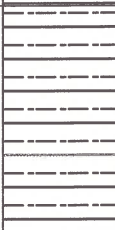
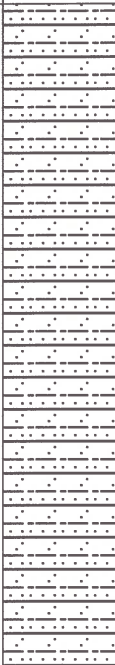





Contrat C.21.20.016


Profondeur : 0,00 - 3,00 m

EXGTE 3.23/GTE

Profondeur (m)	Lithologie	Outil	Niveau d'eau	Observations	Laboratoire
0,20	 Limons bruns à radicelles 0,20 m	Pelle hydraulique		Légers suintements d'eau à 0.05 m Mauvaise tenu des parois	1 sac moyen à 1.5 m
0,60	 Limons silteux marron-beige 0,60 m				
1,20	 Argiles plastiques marron-beige 1,20 m				
3,00	 Silt plus ou moins argileux beige-marron 3,00 m				

	CEA Bassin de rétention FROENINGEN (68)			Contrat C.21.20.016
	Date début : 13/04/2021	Machine : Pelle mécanique 3T	Profondeur : 0,00 - 3,00 m	

Profondeur (m)	Lithologie	Outil	Niveau d'eau	Observations	Laboratoire
0,50	<div> <div></div> <div>Limons bruns à radicules</div> <div>0,50 m</div> </div>	Pelle hydraulique	0,60 m	Légers suintements d'eau à 0.6 m puis venue franche à 2.0 m Mauvaise tenue des parois	
0,90	<div> <div></div> <div>Argiles marron</div> <div>0,90 m</div> </div>				
3,00	<div> <div></div> <div>Argiles silteuses marron-beige</div> <div>3,00 m</div> </div>		2,00 m		

	CEA Bassin de rétention FROENINGEN (68)			Contrat C.21.20.016
	Date début : 13/04/2021	Machine : Pelle mécanique 3T	Profondeur : 0,00 - 3,00 m	

1/20

Forage : PM3

EXGTE 3.23/GTE

Profondeur (m)	Lithologie	Outil	Niveau d'eau	Observations	Laboratoire
0,30	<div> <div></div> <div>Limons bruns à radicelles</div> <div>0,30 m</div> </div>	Pelle hydraulique			
0,70	<div> <div></div> <div>Silts marron-beige</div> <div>0,70 m</div> </div>				
3,00	<div> <div></div> <div>Silts argileux marron-beige à nodules ferro-manganiques</div> <div>3,00 m</div> </div>				
				Bonne tenue des parois	1 sac moyen à 1.0 m
			2,50 m		



HYDRO-GEOTECHNIQUE
LABORATOIRES REGIONAUX DE RECONNAISSANCE ET D'INGENIERIE
DE L'EAU, DES SOLS, DES FONDATIONS ET DE L'ENVIRONNEMENT

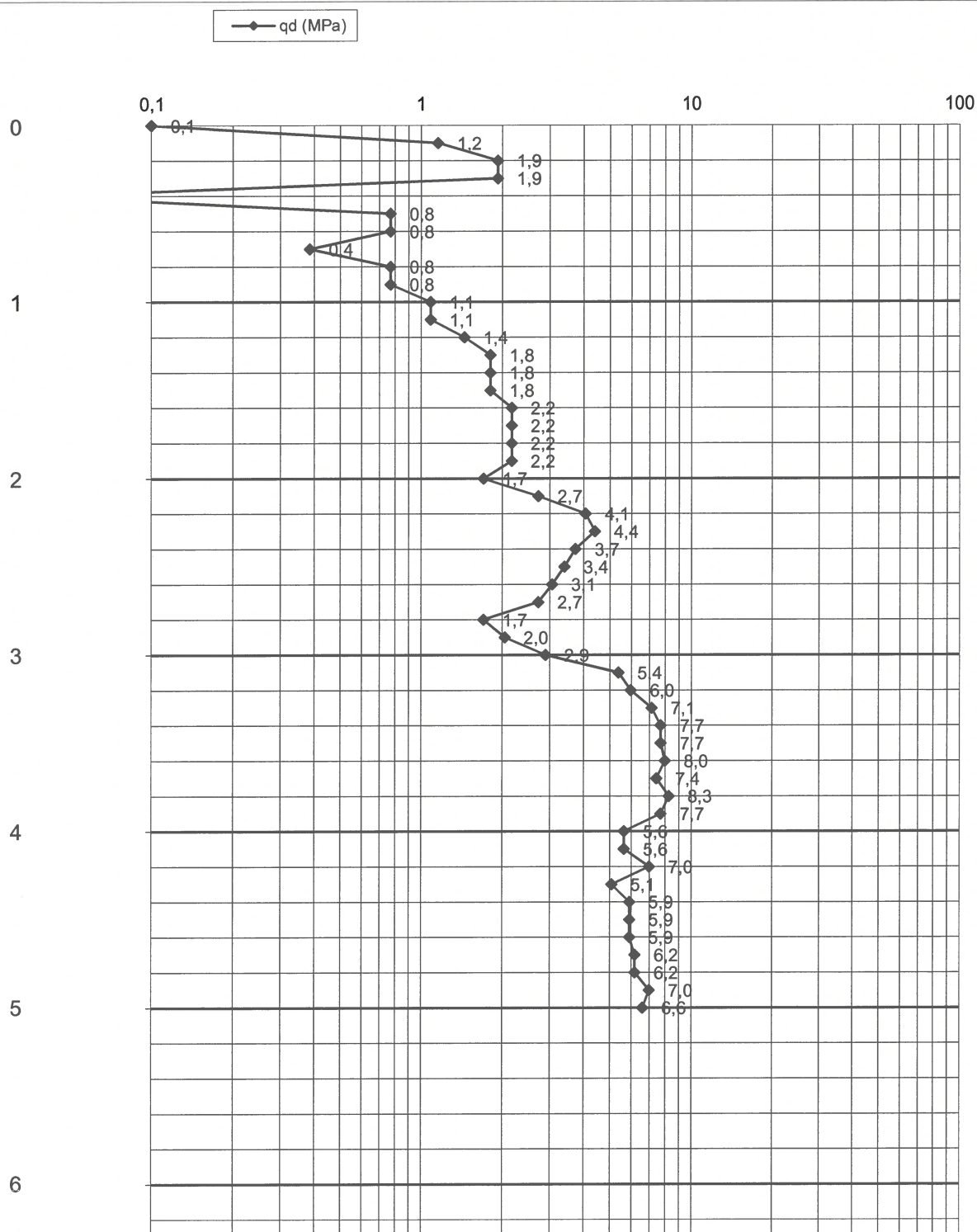
ESSAI AU PENETROMETRE DYNAMIQUE

Client **CEA**
Chantier **Bassin de rétention - FROENINGEN**
Dossier C2120016
Date 26 février 2021

Sondage **PD16**

qd= résistance de pointe en MPa
Formule de Redtenbacher

Couple N.m





HYDRO-GEOTECHNIQUE
LABORATOIRES REGIONAUX DE RECONNAISSANCE ET D'INGENIERIE
DE L'EAU, DES SOLS, DES FONDATIONS ET DE L'ENVIRONNEMENT

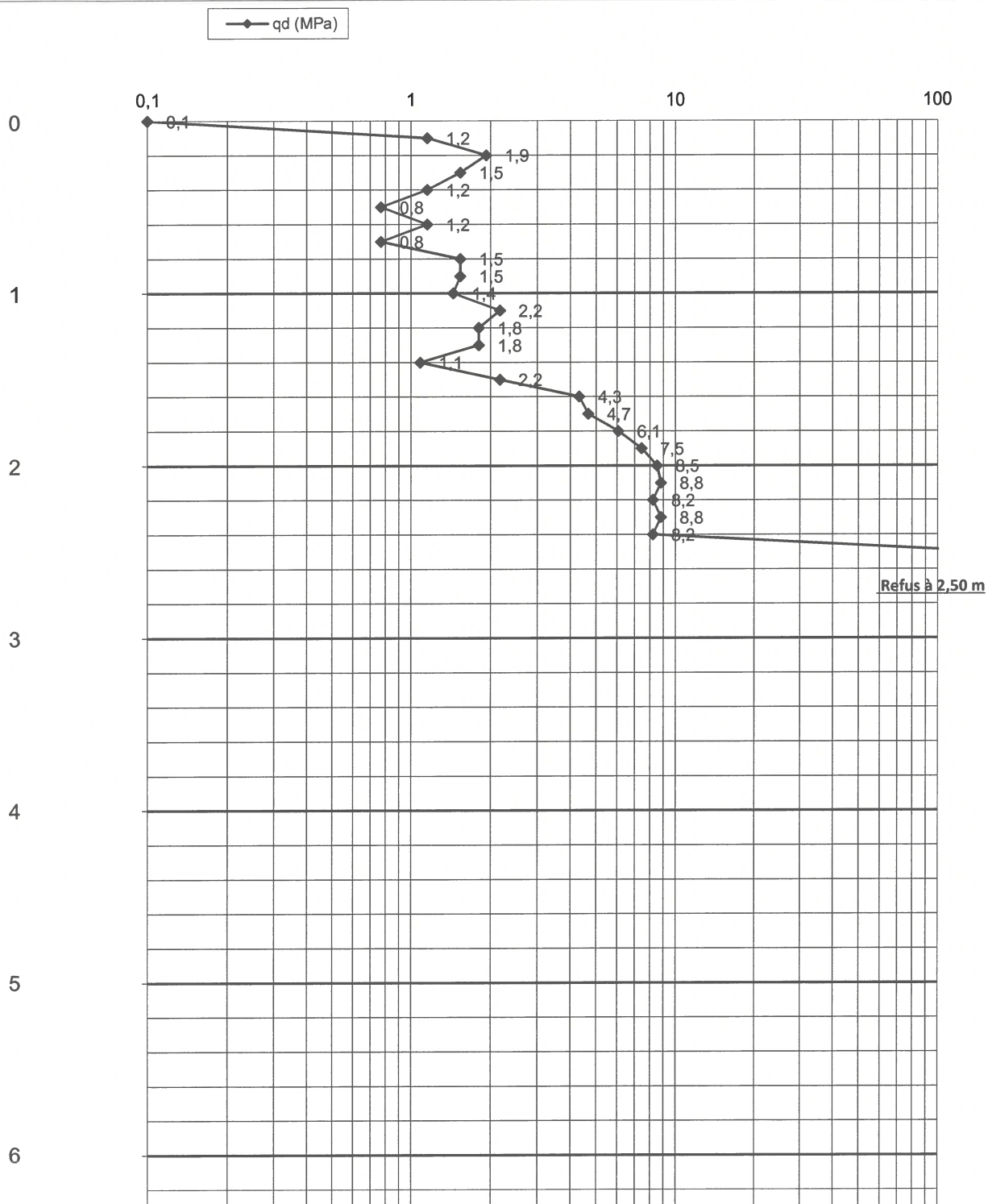
ESSAI AU PENETROMETRE DYNAMIQUE

Client **CEA**
Chantier **Bassin de rétention - FROENINGEN**
Dossier C2120016
Date 26 février 2021

Sondage **PD17**

qd= résistance de pointe en MPa
Formule de Redtenbacher

Couple N.m





HYDRO-GEOTECHNIQUE
LABORATOIRES REGIONAUX DE RECONNAISSANCE ET D'INGÉNIERIE
DE L'EAU, DES SOLS, DES FONDATIONS ET DE L'ENVIRONNEMENT

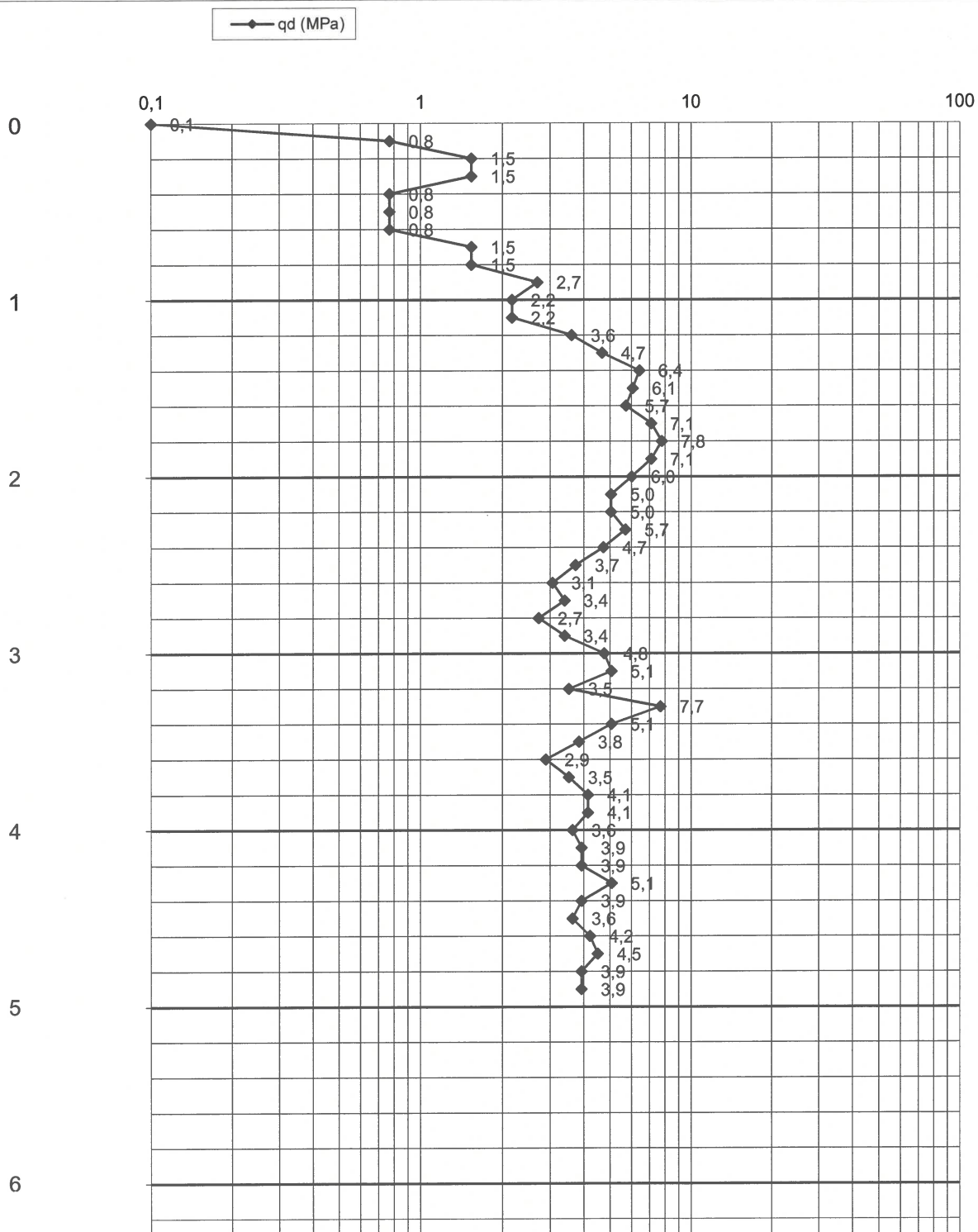
ESSAI AU PENETROMETRE DYNAMIQUE

Client **CEA**
Chantier **Bassin de rétention - FROENINGEN**
Dossier C2120016
Date 26 février 2021

Sondage **PD18**

qd = résistance de pointe en MPa
Formule de Redtenbacher

Couple N.m



ANNEXE 3

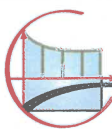

ANALYSES EN LABORATOIRE



RESULTATS DE LABORATOIRE

Affaire: Bassins Alsace Date: 14/04/2021
 Lieu : FROENINGEN Dossier : C/21.20016

ESSAIS D'IDENTIFICATION		Réaction à l'acide	Classification	Teneur en eau	Teneur en eau	Valeur au bleu	Densité (T/m ³)			Granulométrie par tamisage							Compactage ESSAI PROCTOR et POINCONNEMENT									
		-	11-300	94-050	94-050	94-068	94-054	94-053Sols		94-064 Roches	94-056							94-078 94-093								
											% de passant							Naturel				OPN				
								ρ_h	ρ_d	ρ_d	ρ_h	ρ_d	D _{max} (mm)	50 mm	20 mm	5 mm	2 mm	400 μ m	80 μ m	W _n % (0/20)	IPI	ρ_d W _n t/m ³ (0/20)	W _n % OPN (0/20)	IPI	ρ_d OPN t/m ³ (0/20)	
	Sondages	Prof (m)	GTR	W% (0/D)	W% (0/20)	VBS	PSG																			
	SC2	1,50-3,00	A2	43,6	43,6	3,49	-	-	-	-	-	-	3,3	100	100	98	92	84	82,9	-	-	-	-	-	-	-
	PM1	1,20	A2h	27,3%	27,3%	3,97	-	-	-	-	-	-	0,2	100	100	99	99	97	91	27,28	2,7	1,57	-	-	-	-
	PM2	1,20	A2th	30,7%	30,7%	2,63	-	-	-	-	-	-	0,08	100	100	100	99	97	96	30,7	0,1	1,49	20,4	9,6	1,66	
	PM3	1,00	A2th	28,8%	28,8%	2,57	-	-	-	-	-	-	0,08	100	100	100	100	99	99	28,78	0,3	1,52	-	-	-	-

	Procès Verbal		Référence : R1.6-13-033	
	GTR		Version : 1	
	ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE/ VBS / IPI / Teneur en eau / Identification ME EX NF P 94-056 / NF P 94-068 / NF P 94-093 / NF P 94-050 / NF P 94-078 / NF P 11-300			
Feuilles associées : <input type="checkbox"/> essai Protor <input type="checkbox"/> Limite d'atterberg				

Référence client : Belfort

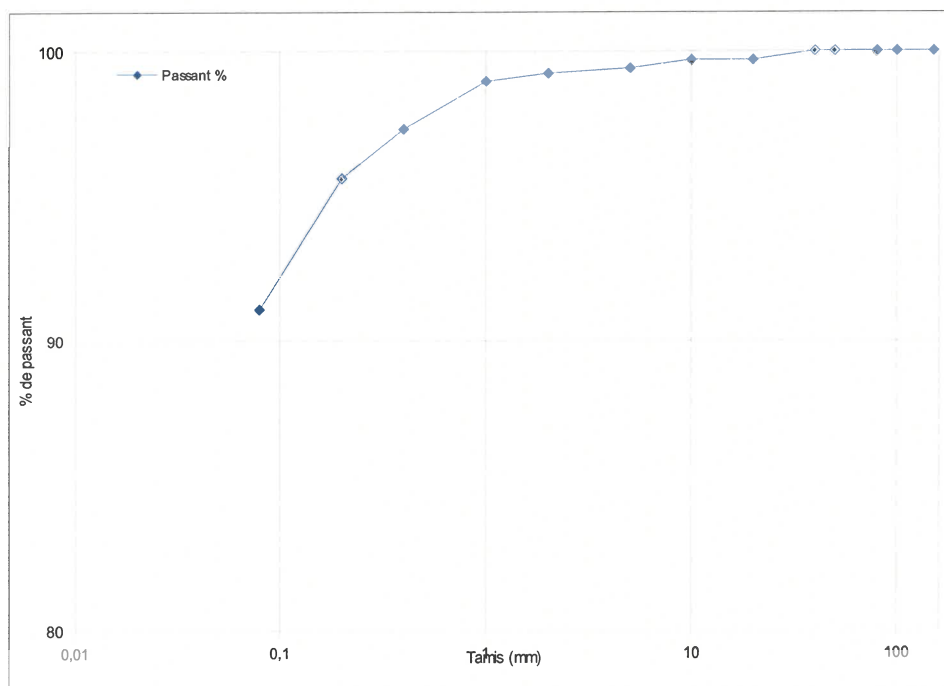
N° Enregistrement : PV 21 603

Date d'essai	Date de prélèvement	N° de Dossier	Chantier/opération	Ingénieur	Opérateur
04/05/21	12-13/04	C21 20 016	Froeningen	SS	DV

Observations :

Sondage	Profondeur	Nature de l'échantillon	Référence échantillon
PM1	1,2m	Argile brune claire/grise à cailloux et cailloutis	EA 21 755

Tamis (mm)	150	100	80	50	40,0	20	10	5	2	1	0,4	0,2	0,08	Dmax	0,2
Passant %	100	100	100	100	100	100	100	99	99	99	97	96	91		
Passant par rapport au 50mm %				100				99	99		97		91		



Teneur en eau(%)	27,28
------------------	-------


VBS	3,97
-----	------

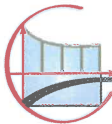

IPI	2,7
-----	-----

yd	1,57
----	------

Classification	A2h
----------------	-----

Essais réalisés par :	Visa :
Nom / Prénom : D VINTER	
Date : 17/05/21	

Résultats validés par :	Visa :
Nom / Prénom : Simon TOMASI	
Date : 17/05/21	

	Procès Verbal	Référence : R1.6-13-033	
	GTR	Version : 1	
	ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE/ VBS / IPI / Teneur en eau / Identification ME EX NF P 94-056 / NF P 94-068 / NF P 94-093 / NF P 94-050 / NF P 94-078 / NF P 11-300		
Feuilles associées : <input type="checkbox"/> essai Protor <input type="checkbox"/> Limite d'atterberg			

Référence client : Belfort

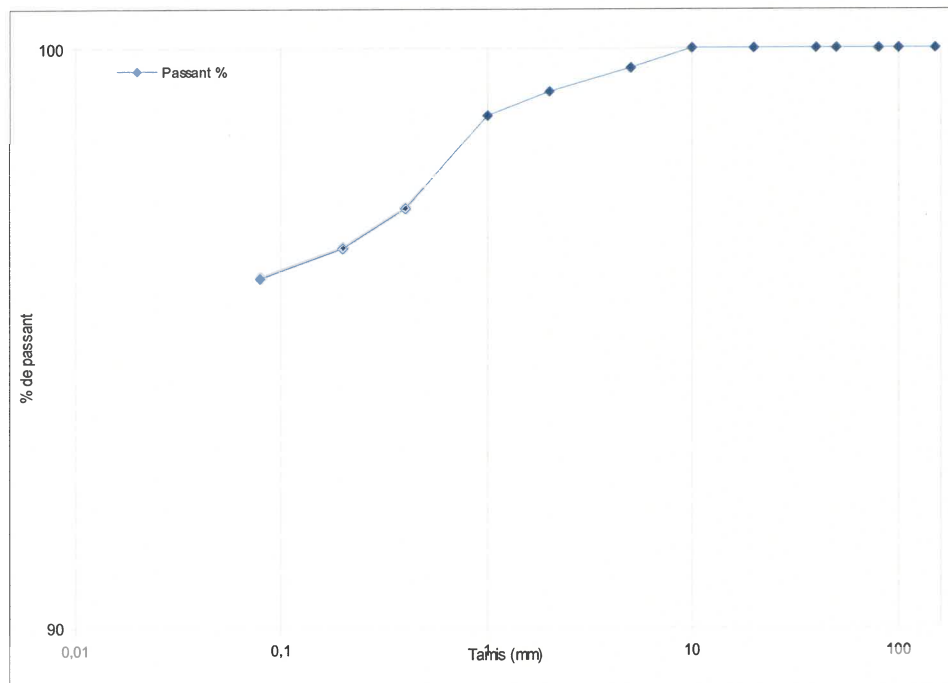
N° Enregistrement : PV 21 604

Date d'essai	Date de prélèvement	N° de Dossier	Chantier/opération	Ingénieur	Opérateur
04/05/21	12-13/04	C21 20 016	Froeningen	SS	DV

Observations :

Sondage	Profondeur	Nature de l'échantillon	Référence échantillon
PM2	1,2 m	limon argileux brun à taches grises.	EA 21 756

Tamis (mm)	150	100	80	50	40,0	20	10	5	2	1	0,4	0,2	0,08	Dmax	0,08
Passant %	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	97	97	96		
Passant par rapport au 50mm %				100				100	99		97		96		



Teneur en eau(%)	30,71
------------------	-------


VBS	2,63
-----	------

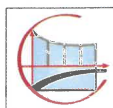
IPI	0,1
-----	-----

vd	1,49
----	------

Classification	A2th
----------------	------

Essais réalisés par :	Visa :
Nom / Prénom : D VINTER	
Date : 17/05/21	

Résultats validés par :	Visa :
Nom / Prénom : Simon TOMASI	
Date : 17/05/21	



PROCÈS VERBAL

GTR
Essai Proctor, IPI, Teneur en eau
NF P 94-093 NF P 94-078 NF P 94-050

Référence :
R1.6-13-037

Version :
1



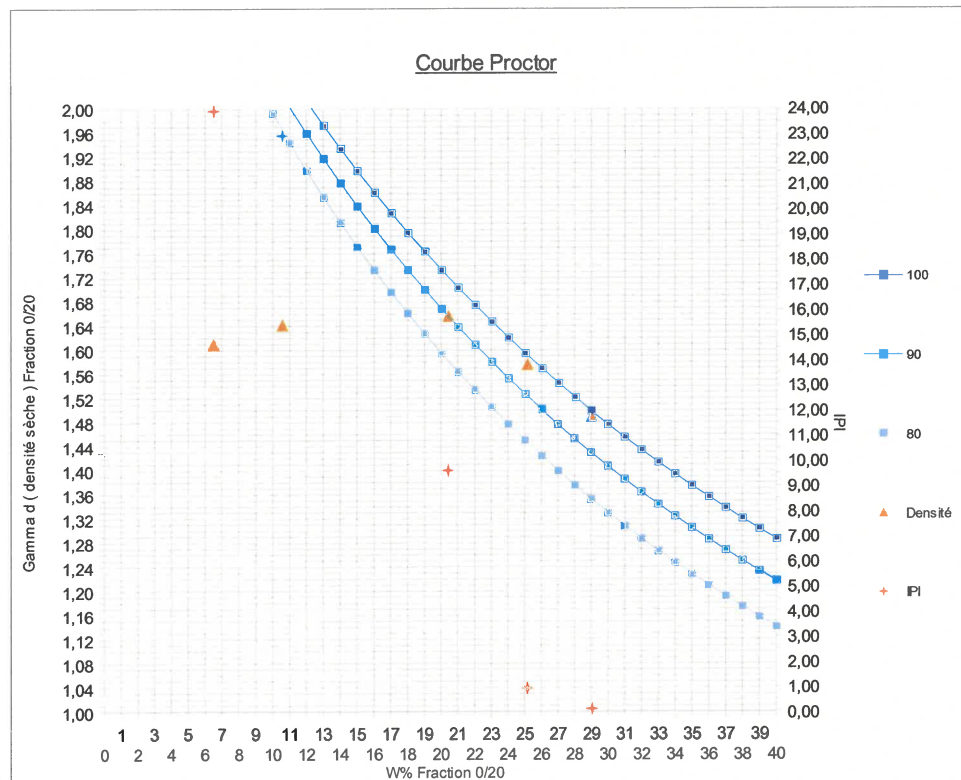
Référence client : Belfort

N° Enregistrement : PV 21 604

Date d'essai	Date de prélèvement	N° de Dossier	Chantier/opération
06/05/21	12-13/04/21	C2120016	Froeningen

Sondage	Profondeur	Nature de l'échantillon	Référence échantillon
PM2	1,2	limon argileux brun à taches grises.	EA 21 756

N° du point	1	2	3	4	5
W%	29,0%	25,1%	20,4%	10,5%	6,5%
Gamma d (Mg/m³)	1,49	1,58	1,66	1,64	1,61
IPI	0,1	0,9	9,6	22,9	23,9



Résultats (0/20) :	Wopn	20,4%
	γopn	1,66
	CBRopn	9,6

Résultats (0/D) :	Wopn	
	γopn	
	CBRopn	

Information essais :

Type d'essai : Essai proctor (normal)
Correction applicable (annexe A) : NON

Type de moule : B (CBR)
Type de dame : A (proctor normal)
Manuel

Mode de malaxage : Manuel

Essais réalisés par :
Nom / Prénom : D VINTER
Date : 17/05/21

Visa :

Résultats validés par :
Nom / Prénom : S TOMASI
Date : 17/05/21

Visa :

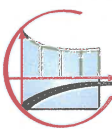



SIEGE SOCIAL : « ZA LES ORMEAUX » 3 RUE JM.PARADON – 71150 FONTAINES
LABORATOIRE D'ANJOUTEY : ZI de la Charmotte 90170 ANJOUTEY

☎ 03 84 54 68 24 - 📠 03 84 54 64 02

Page :

1/1

	Procès Verbal	Référence : R1.6-13-033	
	GTR	Version : 1	
	ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE/ VBS / IPI / Teneur en eau / Identification ME EX NF P 94-056 / NF P 94-068 / NF P 94-093 / NF P 94-050 / NF P 94-078/ NF P 11-300		
Feuilles associées : <input type="checkbox"/> essai Protor <input type="checkbox"/> Limite d'atterberg			

Référence client : Belfort

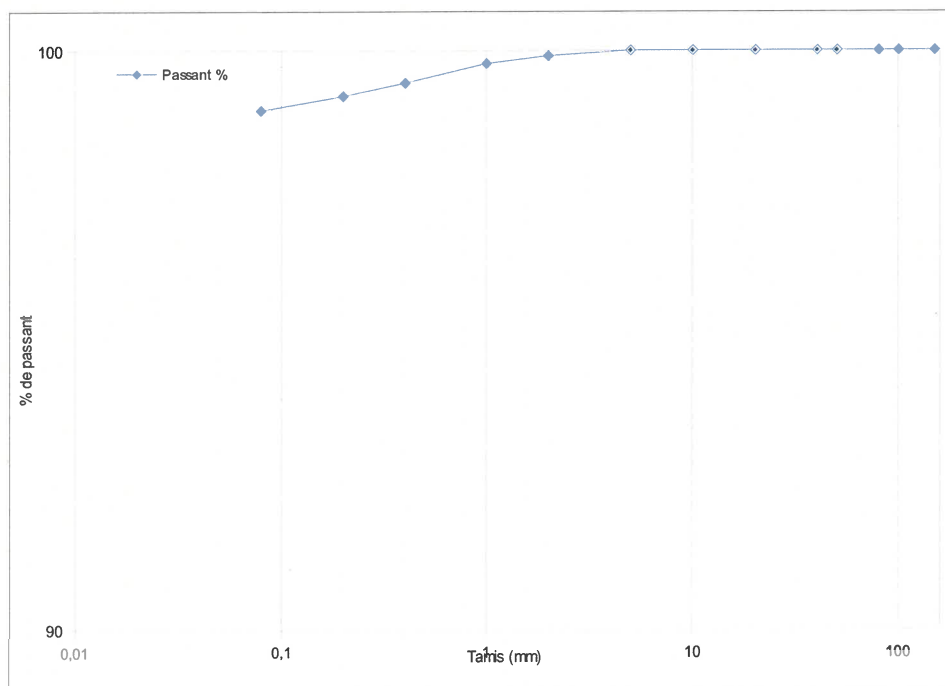
N° Enregistrement : PV 21 605

Date d'essai	Date de prélèvement	N° de Dossier	Chantier/opération	Ingénieur	Opérateur
04/05/21	12-13/04	C21 20 016	Froeningen	SS	DV

Observations :


Sondage	Profondeur	Nature de l'échantillon	Référence échantillon
PM3	1m	limon argileux brun à concrétions noires	EA 21 757

Tamis (mm)	150	100	80	50	40,0	20	10	5	2	1	0,4	0,2	0,08	Dmax	0,08
Passant %	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	99		
Passant par rapport au 50mm %				100				100	100		99		99		



Teneur en eau (%)	28,78
VBS	2,57
IPI	0,3
yd	1,52
Classification	A2th

Essais réalisés par :	Visa :
Nom / Prénom : D VINTER	
Date : 17/05/21	

Résultats validés par :	Visa :
Nom / Prénom : Simon TOMASI	
Date : 17/05/21	



Groupe
HYDROGEOTECHNIQUE

RAPPORT D'ESSAIS

(norme NF P 11-300)

Affaire suivie par: Sylvain SAMMUT

En date du: 14/04/2021

REFERENCES DU CHANTIER

Dossier N°: C/21.20016

Chantier: Bassins Alsace

Affaire: Reconnaissances géologiques et géotechniques

Lieu: FROENINGEN

REFERENCES DE L'ECHANTILLONNAGE:

Sondage : SC2

Date prélèvement: NC

Profondeur (m): 1,50-3,00

Réaction à l'acide : -

Nature : Limons marron beige à cailloutis

T° étuvage (°C) : 105

IDENTIFICATION - Laboratoire: Fontaines

Norme

Essai réalisé par :

Teneur en eau par étuvage

NF P 94-050

Technicien Supérieur Vincent TETU

Analyse granulométrique des sols

NF P 94-056

Technicien Supérieur Vincent TETU

Analyse granulométrique par sédimentation

NF P 94-057

-

Valeur de bleu de méthylène d'un sol

NF P 94-068

Technicien Supérieur Vincent TETU

Limites d'Atterberg

NF P 94-051

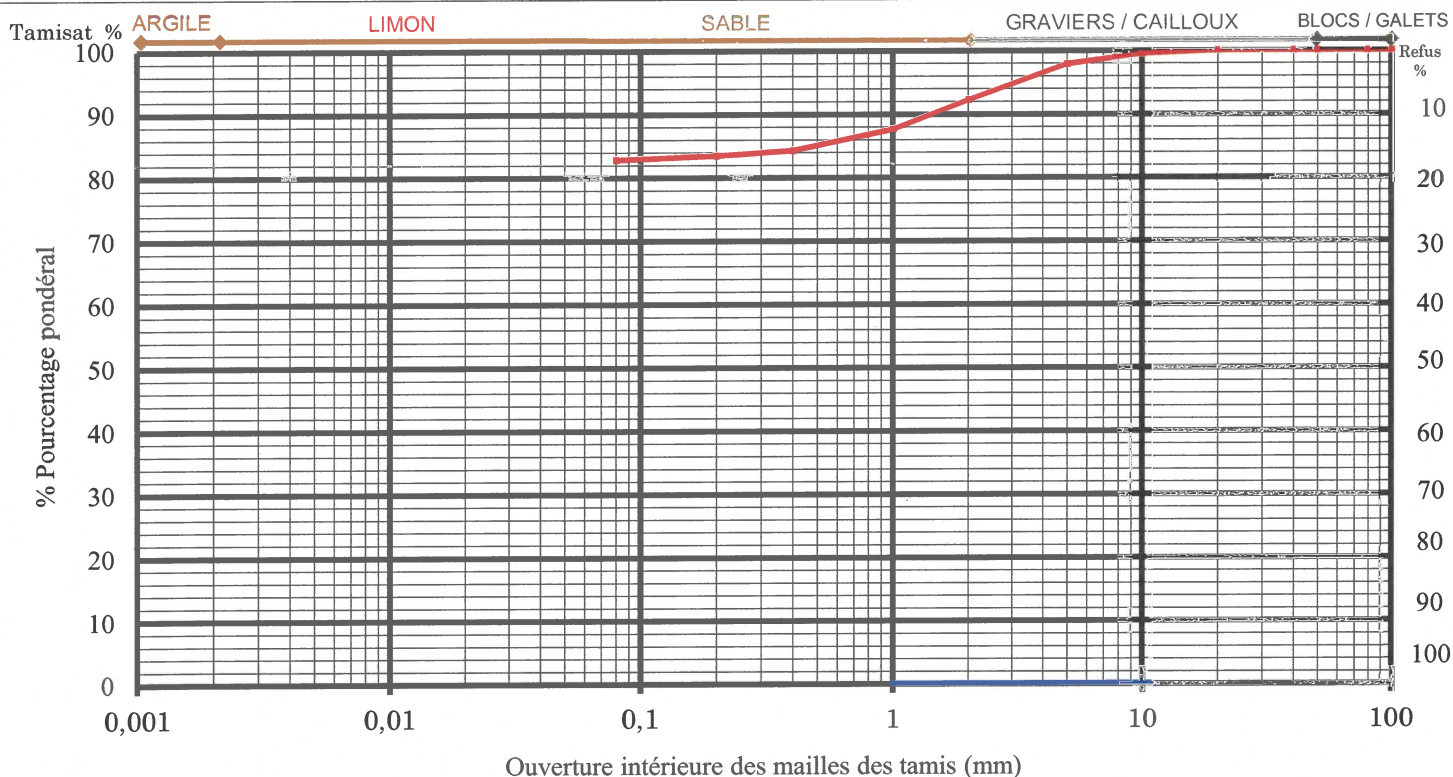
-

OBSERVATIONS:

RESULTATS:

TENEUR EN EAU NATURELLE | W_n (0/20) % | 43,6

W_n (0/D) % | 43,6



Maille tamis (mm)	200	150	100	80	50	40	20	10	5	2	1	0,4	0,2	0,08
% Tamisat	100	100	100	100	100	100	100	99	98	92	88	84	84	82,9

GRANULOMETRIE

D10 (mm):	-	D max (mm)*:	3,3
D30 (mm):	-	Passant à 0,08 mm:	82,9
D50 (mm):	-	Passant 0,08 mm (fraction 0/50):	82,9
D60 (mm):	-	Passant à 2µm:	-
Coefficient courbure (Cc):	-	* déterminé avec le D ₅₅ (NF P 11-300) de l'échantillon	
Coefficient uniformité (Cu):	-		

ARGILOSITE

Valeur au bleu (VBS)	3,49
Limite de liquidité (W _L %)	-
Indice de plasticité (I _p)	-

Classement GTR (NF P 11-300):

A2



HYDRO-GEOTECHNIQUE
LABORATOIRES REGIONAUX DE RECONNAISSANCE ET D'INGÉNIERIE
DE L'EAU, DES SOLS, DES INFRASTRUCTURES ET DE L'ENVIRONNEMENT

FROENINGEN

**Essai non consolidé non drainé UU à l'appareil triaxial
réalisé conformément à la norme NF P 94-074**

Sondage n°	SC2	σ_{v0} :	40 kPa	N° Dossier :	C.21.20016
Profondeur :	2 m	U_0 :	0 kPa	Date d'essai :	31 mai 2021

Caractéristiques des éprouvettes

Valeurs initiales		1	2	3
H_0 :	mm	76	76	76
D_0 :	mm	38	38	38
w :	%	28,1	26	26,6
pd :	kg/m ³	1511	1538	1540
ps :	mesuré :	-	-	-
	estimé :	2700	2700	2700
Sr :	%	96,4	92,9	95,3
U_{cp} :	kPa	-	-	-
$\Delta V_{saturation}$:	cm ³	-	-	-
B :		-	-	-

Valeurs finales

H :	mm	76	76	76
D :	mm	38	38	38
w :	%	28,1	26	16,6
pd :	kg/m ³	1511	1538	1540
Sr :	%	96,4	92,9	59,5
σ_3 :	kPa	50	150	250

Rupture

$q = (\sigma_1 - \sigma_3)_f$:	kPa	62,1	80,1	65,7
ε_{1f} :	%	7,4	7,4	5,7
Vitesse d'écrasement (µm/min)		1000	1000	1000

Observations :

Mode de rupture des éprouvettes :

E1: Ecrasement partie centrale (tonneau)

E2: Ecrasement partie centrale (tonneau)

E3: Ecrasement partie supérieure

Description des éprouvettes :

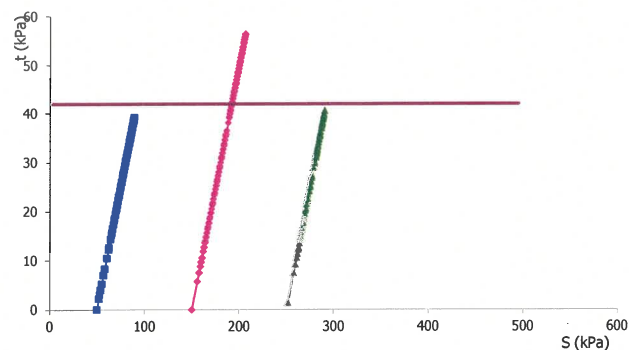
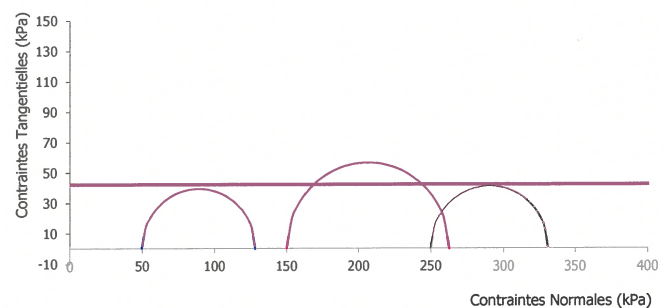
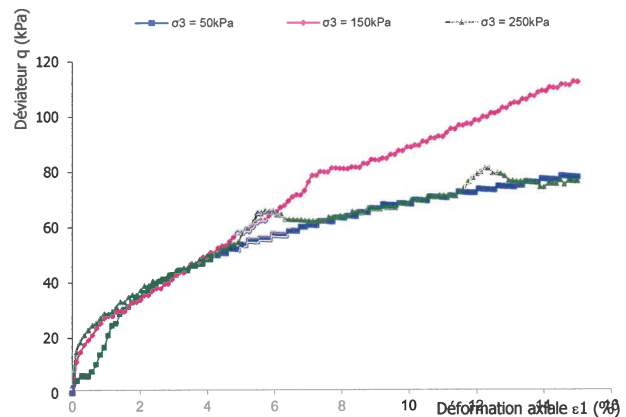
E1: Silt ± argileux - gris beige - -

E2: Silt ± argileux - gris beige - -

E3: Silt ± argileux - gris beige - -

Températures extrêmes en cours d'essai : 25 °C

Essai réalisé par : Vincent TETU



Résultats :

$C_{uu} = 42 \text{ kPa}$ $\phi_{uu} = 0^\circ$

**Essai non consolidé non drainé UU à l'appareil triaxial
réalisé conformément à la norme NF P 94-074**

FROENINGEN

Eprouvette 1 : $\sigma_3 = 50$ kPa

Sondage n° SC2

σ_{v0} : 40 kPa

N° Dossier : C.21.20016

Profondeur : 2,00 m

U_0 : 0 kPa

Date d'essai : 31 mai 2021

Déviateur max = 62,07 kPa
pour $\epsilon_1 = 7,37$ %

Défo. axiale (cm)	Défo. relative (%)	Lecture anneau	Force (N)	Section corrigée (cm ²)	Dév (q) (kPa)	p (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_3 (kPa)	σ_1/σ_3 0	S (kPa)	ϵ (kPa)
0,00	0,00	0	0,00	11,34	0,00	50,00	50,00	50,00	1,00	50,00	0,00
0,01	0,13	5	5,00	11,36	4,40	51,47	54,40	50,00	1,09	52,20	2,20
0,02	0,30	7	7,00	11,38	6,15	52,05	56,15	50,00	1,12	53,08	3,08
0,04	0,46	7	7,00	11,39	6,14	52,05	56,14	50,00	1,12	53,07	3,07
0,04	0,58	9	9,00	11,41	7,89	52,63	57,89	50,00	1,16	53,94	3,94
0,05	0,70	12	12,00	11,42	10,51	53,50	60,51	50,00	1,21	55,25	5,25
0,06	0,82	16	16,00	11,43	13,99	54,66	63,99	50,00	1,28	57,00	7,00
0,07	0,93	19	19,00	11,45	16,60	55,53	66,60	50,00	1,33	58,30	8,30
0,08	1,05	24	24,00	11,46	20,94	56,98	70,94	50,00	1,42	60,47	10,47
0,09	1,17	28	28,00	11,48	24,40	58,13	74,40	50,00	1,49	62,20	12,20
0,10	1,29	29	29,00	11,49	25,24	58,41	75,24	50,00	1,50	62,62	12,62
0,11	1,41	33	33,00	11,50	28,69	59,56	78,69	50,00	1,57	64,34	14,34
0,12	1,53	35	35,00	11,52	30,39	60,13	80,39	50,00	1,61	65,20	15,20
0,13	1,64	36	36,00	11,53	31,22	60,41	81,22	50,00	1,62	65,61	15,61
0,13	1,76	38	38,00	11,54	32,92	60,97	82,92	50,00	1,66	66,46	16,46
0,14	1,88	40	40,00	11,56	34,61	61,54	84,61	50,00	1,69	67,30	17,30
0,15	2,00	40	40,00	11,57	34,56	61,52	84,56	50,00	1,69	67,28	17,28
0,16	2,12	42	42,00	11,59	36,25	62,08	86,25	50,00	1,72	68,12	18,12
0,17	2,24	43	43,00	11,60	37,07	62,36	87,07	50,00	1,74	68,53	18,53
0,18	2,36	45	45,00	11,61	38,74	62,91	88,74	50,00	1,77	69,37	19,37
0,19	2,47	45	45,00	11,63	38,70	62,90	88,70	50,00	1,77	69,35	19,35
0,20	2,59	47	47,00	11,64	40,37	63,46	90,37	50,00	1,81	70,18	20,18
0,21	2,71	48	48,00	11,66	41,18	63,73	91,18	50,00	1,82	70,59	20,59
0,22	2,83	48	48,00	11,67	41,13	63,71	91,13	50,00	1,82	70,56	20,56
0,22	2,95	50	50,00	11,69	42,79	64,26	92,79	50,00	1,86	71,39	21,39
0,23	3,07	50	50,00	11,70	42,74	64,25	92,74	50,00	1,85	71,37	21,37
0,24	3,17	52	52,00	11,71	44,40	64,80	94,40	50,00	1,89	72,20	22,20
0,25	3,29	52	52,00	11,73	44,34	64,78	94,34	50,00	1,89	72,17	22,17
0,26	3,41	52	52,00	11,74	44,29	64,76	94,29	50,00	1,89	72,14	22,14
0,27	3,51	54	54,00	11,75	45,94	65,31	95,94	50,00	1,92	72,97	22,97
0,28	3,63	54	54,00	11,77	45,89	65,30	95,89	50,00	1,92	72,94	22,94
0,29	3,75	55	55,00	11,78	46,68	65,56	96,68	50,00	1,93	73,34	23,34
0,29	3,86	55	55,00	11,80	46,63	65,54	96,63	50,00	1,93	73,31	23,31
0,30	3,97	57	57,00	11,81	48,26	66,09	98,26	50,00	1,97	74,13	24,13
0,31	4,09	57	57,00	11,83	48,20	66,07	98,20	50,00	1,96	74,10	24,10
0,32	4,20	59	59,00	11,84	49,84	66,61	99,84	50,00	2,00	74,92	24,92
0,33	4,32	59	59,00	11,85	49,78	66,59	99,78	50,00	2,00	74,89	24,89

**Essai non consolidé non drainé UU à l'appareil triaxial
réalisé conformément à la norme NF P 94-074**

FROENINGEN

Eprouvette 2 : $\sigma_3 = 150$ kPa

Sondage n°	SC2	σ_{v0} :	40 kPa	N° Dossier :	C.21.20016
Profondeur :	2,00 m	U_0 :	0 kPa	Date d'essai :	31 mai 2021

Déviateur max = 80,06 kPa
pour $\varepsilon_1 = 7,36$ %

Défo. axiale (cm)	Défo. relative (%)	Lecture anneau	Force (N)	Section corrigée (cm ²)	Dév (q) (kPa)	p (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_3 (kPa)	σ_1/σ_3	S (kPa)	t (kPa)
0,00	0,00	0	0,00	11,34	0,00	150,00	150,00	150,00	1,00	150,00	0,00
0,01	0,12	13	13,00	11,35	11,45	153,82	161,45	150,00	1,08	155,72	5,72
0,02	0,24	17	17,00	11,37	14,95	154,98	164,95	150,00	1,10	157,48	7,48
0,03	0,36	20	20,00	11,38	17,57	155,86	167,57	150,00	1,12	158,79	8,79
0,04	0,47	22	22,00	11,40	19,31	156,44	169,31	150,00	1,13	159,65	9,65
0,05	0,59	24	24,00	11,41	21,04	157,01	171,04	150,00	1,14	160,52	10,52
0,05	0,71	27	27,00	11,42	23,64	157,88	173,64	150,00	1,16	161,82	11,82
0,06	0,83	29	29,00	11,44	25,36	158,45	175,36	150,00	1,17	162,68	12,68
0,07	0,95	31	31,00	11,45	27,08	159,03	177,08	150,00	1,18	163,54	13,54
0,08	1,07	32	32,00	11,46	27,92	159,31	177,92	150,00	1,19	163,96	13,96
0,09	1,18	32	32,00	11,48	27,88	159,29	177,88	150,00	1,19	163,94	13,94
0,10	1,30	34	34,00	11,49	29,59	159,86	179,59	150,00	1,20	164,79	14,79
0,11	1,42	34	34,00	11,50	29,55	159,85	179,55	150,00	1,20	164,78	14,78
0,12	1,54	34	34,00	11,52	29,52	159,84	179,52	150,00	1,20	164,76	14,76
0,13	1,66	36	36,00	11,53	31,22	160,41	181,22	150,00	1,21	165,61	15,61
0,14	1,78	38	38,00	11,55	32,91	160,97	182,91	150,00	1,22	166,46	16,46
0,14	1,89	38	38,00	11,56	32,87	160,96	182,87	150,00	1,22	166,44	16,44
0,15	2,01	39	39,00	11,57	33,70	161,23	183,70	150,00	1,22	166,85	16,85
0,16	2,13	41	41,00	11,59	35,38	161,79	185,38	150,00	1,24	167,69	17,69
0,17	2,25	41	41,00	11,60	35,34	161,78	185,34	150,00	1,24	167,67	17,67
0,18	2,37	43	43,00	11,62	37,02	162,34	187,02	150,00	1,25	168,51	18,51
0,19	2,49	44	44,00	11,63	37,83	162,61	187,83	150,00	1,25	168,92	18,92
0,20	2,61	44	44,00	11,64	37,79	162,60	187,79	150,00	1,25	168,89	18,89
0,21	2,72	46	46,00	11,66	39,46	163,15	189,46	150,00	1,26	169,73	19,73
0,22	2,83	46	46,00	11,67	39,41	163,14	189,41	150,00	1,26	169,71	19,71
0,22	2,95	48	48,00	11,69	41,08	163,69	191,08	150,00	1,27	170,54	20,54
0,23	3,07	50	50,00	11,70	42,74	164,25	192,74	150,00	1,28	171,37	21,37
0,24	3,17	51	51,00	11,71	43,54	164,51	193,54	150,00	1,29	171,77	21,77
0,25	3,29	51	51,00	11,73	43,49	164,50	193,49	150,00	1,29	171,74	21,74
0,26	3,41	53	53,00	11,74	45,14	165,05	195,14	150,00	1,30	172,57	22,57
0,27	3,51	55	55,00	11,75	46,79	165,60	196,79	150,00	1,31	173,40	23,40
0,28	3,63	55	55,00	11,77	46,73	165,58	196,73	150,00	1,31	173,37	23,37
0,29	3,75	56	56,00	11,78	47,53	165,84	197,53	150,00	1,32	173,76	23,76
0,29	3,86	58	58,00	11,80	49,17	166,39	199,17	150,00	1,33	174,58	24,58
0,30	3,97	58	58,00	11,81	49,11	166,37	199,11	150,00	1,33	174,55	24,55
0,31	4,09	60	60,00	11,83	50,74	166,91	200,74	150,00	1,34	175,37	25,37
0,32	4,20	60	60,00	11,84	50,68	166,89	200,68	150,00	1,34	175,34	25,34

**Essai non consolidé non drainé UU à l'appareil triaxial
réalisé conformément à la norme NF P 94-074**

FROENINGEN

Eprouvette 3 : $\sigma_3 = 250$ kPa

Sondage n°	SC2	σ_{v0} :	40 kPa	N° Dossier	C.21.20016
Profondeur :	2,00 m	U_0 :	0 kPa	Date d'essa	31 mai 2021

Déviateur max = 65,67 kPa
pour $\varepsilon_1 = 5,72$ %

Défo. axiale (cm)	Défo. relative (%)	Lecture anneau	Force (N)	Section corrigée (cm ²)	Dév (q) (kPa)	p (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_3 (kPa)	σ_1/σ_3	S (kPa)	t (kPa)
0,00	0,00	3	3,00	11,34	2,65	250,88	252,65	250,00	1,01	251,32	1,32
0,01	0,12	17	17,00	11,35	14,97	254,99	264,97	250,00	1,06	257,49	7,49
0,02	0,24	21	21,00	11,37	18,47	256,16	268,47	250,00	1,07	259,24	9,24
0,03	0,36	24	24,00	11,38	21,09	257,03	271,09	250,00	1,08	260,54	10,54
0,04	0,47	26	26,00	11,40	22,82	257,61	272,82	250,00	1,09	261,41	11,41
0,05	0,59	28	28,00	11,41	24,54	258,18	274,54	250,00	1,10	262,27	12,27
0,05	0,71	29	29,00	11,42	25,39	258,46	275,39	250,00	1,10	262,69	12,69
0,06	0,83	31	31,00	11,44	27,11	259,04	277,11	250,00	1,11	263,55	13,55
0,07	0,95	33	33,00	11,45	28,82	259,61	278,82	250,00	1,12	264,41	14,41
0,08	1,07	33	33,00	11,46	28,79	259,60	278,79	250,00	1,12	264,39	14,39
0,09	1,18	34	34,00	11,48	29,62	259,87	279,62	250,00	1,12	264,81	14,81
0,10	1,30	36	36,00	11,49	31,33	260,44	281,33	250,00	1,13	265,66	15,66
0,11	1,42	38	38,00	11,50	33,03	261,01	283,03	250,00	1,13	266,52	16,52
0,12	1,54	38	38,00	11,52	32,99	261,00	282,99	250,00	1,13	266,50	16,50
0,13	1,66	40	40,00	11,53	34,69	261,56	284,69	250,00	1,14	267,34	17,34
0,14	1,78	41	41,00	11,55	35,51	261,84	285,51	250,00	1,14	267,75	17,75
0,14	1,89	41	41,00	11,56	35,47	261,82	285,47	250,00	1,14	267,73	17,73
0,15	2,01	43	43,00	11,57	37,15	262,38	287,15	250,00	1,15	268,58	18,58
0,16	2,13	45	45,00	11,59	38,83	262,94	288,83	250,00	1,16	269,42	19,42
0,17	2,25	45	45,00	11,60	38,79	262,93	288,79	250,00	1,16	269,39	19,39
0,18	2,37	47	47,00	11,62	40,46	263,49	290,46	250,00	1,16	270,23	20,23
0,19	2,49	47	47,00	11,63	40,41	263,47	290,41	250,00	1,16	270,21	20,21
0,20	2,61	48	48,00	11,64	41,22	263,74	291,22	250,00	1,16	270,61	20,61
0,21	2,72	48	48,00	11,66	41,17	263,72	291,17	250,00	1,16	270,59	20,59
0,22	2,83	50	50,00	11,67	42,84	264,28	292,84	250,00	1,17	271,42	21,42
0,22	2,95	50	50,00	11,69	42,79	264,26	292,79	250,00	1,17	271,39	21,39
0,23	3,07	52	52,00	11,70	44,45	264,82	294,45	250,00	1,18	272,22	22,22
0,24	3,17	52	52,00	11,71	44,40	264,80	294,40	250,00	1,18	272,20	22,20
0,25	3,29	53	53,00	11,73	45,20	265,07	295,20	250,00	1,18	272,60	22,60
0,26	3,42	53	53,00	11,74	45,13	265,04	295,13	250,00	1,18	272,57	22,57
0,27	3,53	55	55,00	11,76	46,79	265,60	296,79	250,00	1,19	273,39	23,39
0,28	3,64	55	55,00	11,77	46,73	265,58	296,73	250,00	1,19	273,36	23,36
0,29	3,76	57	57,00	11,78	48,37	266,12	298,37	250,00	1,19	274,18	24,18
0,29	3,87	57	57,00	11,80	48,32	266,11	298,32	250,00	1,19	274,16	24,16
0,30	3,99	59	59,00	11,81	49,95	266,65	299,95	250,00	1,20	274,97	24,97
0,31	4,11	59	59,00	11,83	49,89	266,63	299,89	250,00	1,20	274,94	24,94
0,32	4,21	60	60,00	11,84	50,68	266,89	300,68	250,00	1,20	275,34	25,34



Groupe
HYDROGEOTECHNIQUE

ESSAI de COMPRESSIBILITE par PALIERS à l'OEDOMETRE

Essai réalisé selon la norme NF P94-090-1

SITE : Bassins Alsace	Date de prélèvement NC
Client :	Opérateur Marine JUHEL
N° DOSSIER: C.21.20016	Observations :
Sondage : SC2 Froeningen	
Profondeur : 2,20 m	
Nature du sol :	
Description : Argile marron à traces gris-bleu et ocre	

CARACTERISTIQUES de l'EPROUVETTE

Confection de l'éprouvette:	hauteur bague (mm) :	20
	Densité sèche initiale:	1,47
	Teneur en eau initiale(%):	29,8
	Teneur en eau initiale verif (%):	31,4
	Indice des vides initial:	0,93

CONSOLIDATION à σ'_{vo} et déchargement:

Poids humide initial de l'échantillon(g):	143,9	Hauteur initiale (mm):	19,8
Poids sec de l'échantillon(g):	110,9	Teneur en eau initiale(%):	29,8
Diametre de l'éprouvette(mm):	71,1	Densité sèche initiale:	1,41
Densité humide initiale:	1,91	Densité des grains estimée:	2,70
Indice des vides initial:	0,75	ei estimée:	0,91
		Wnsat estimée:	33,9
		Sr (%)	87,9%

CARACTERISTIQUES de COMPRESSIBILITE

	Contrainte au repos σ'_{vo} :	44	kPa
	e_0 :	0,74	
	Pression de préconsolidation σ'_p :	54	kPa
	Indice de gonflement C_s :	0,014	
	Indice de compression: C_c :	0,207	

COEFFICIENT de CONSOLIDATION (Méthode de Taylor)

		Palier (kPa)			CV (cm ² /s)	Kvn (m/s)
	de	101	à	201	16,1E-04	5,95E-10
	de	201	à	402	10,3E-04	1,96E-10
	de	402	à	804	9,1E-04	9,14E-11

COEFFICIENT de CONSOLIDATION (Méthode de casagrande)

		Palier (kPa)			CV (cm ² /s)	Kvn (m/s)
	de	101	à	201	6,13E-04	2,27E-10
	de	201	à	402	1,14E-03	2,17E-10
	de	402	à	804	1,11E-03	1,11E-10

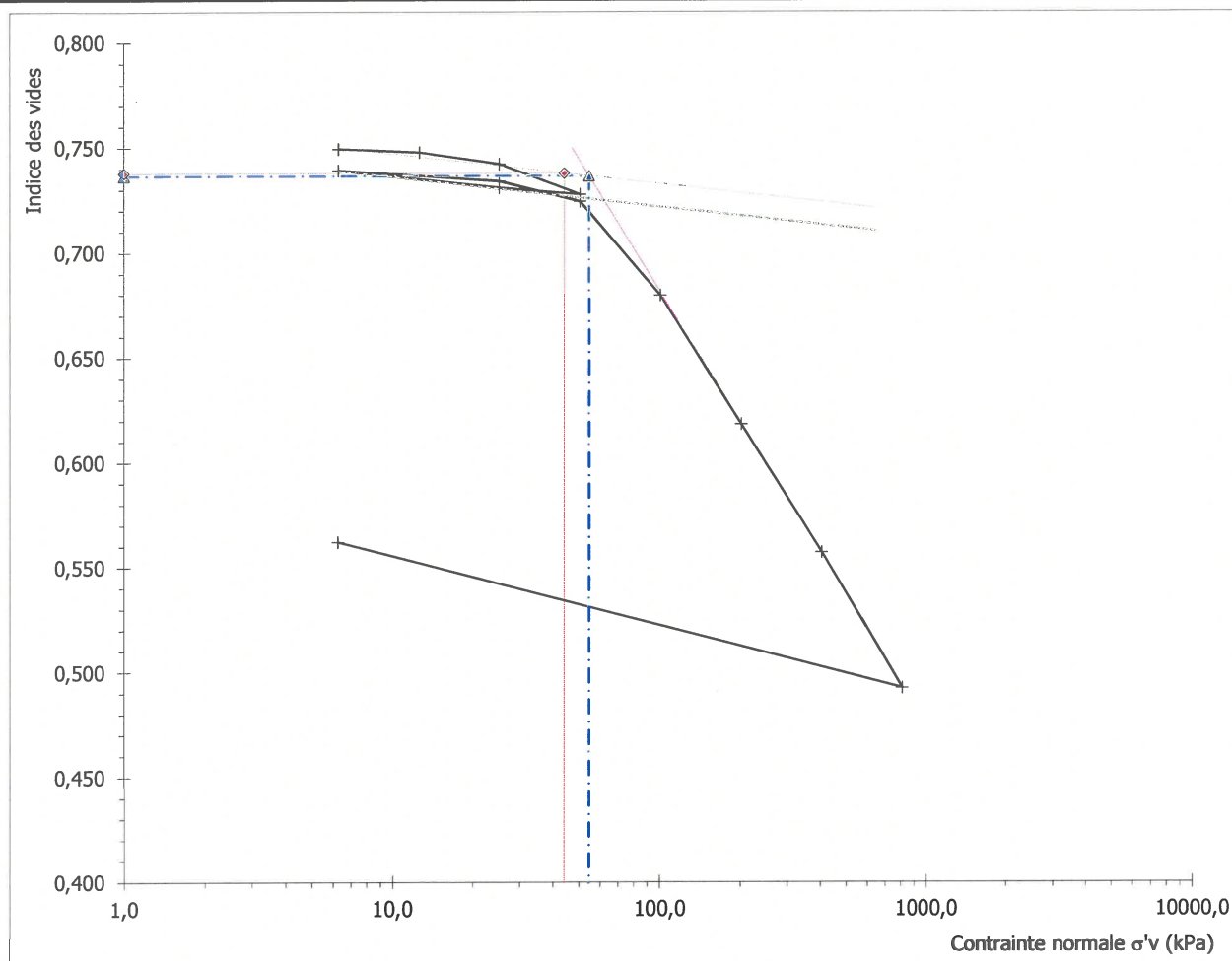


Groupe
HYDROGEOTECHNIQUE

ESSAI de COMPRESSIBILITE par PALIERS à l'OEDOMETRE

Essai réalisé selon la norme NF P94-090-1

SITE : Bassins Alsace	N° DOSSIER : C.21.20016
Client :	Prof. de la nappe : -
Sondage : SC2 Froeningen	
Profondeur : 2,20 m	
Nature du sol :	Date de prélèvement: NC
Description : Argile marron à traces gris-bleu et ocre	



CN (kPa)	Tassement (1/100mm)	Indice des vides
6,3	171,3	0,750
12,6	173,1	0,748
25,2	178,7	0,742
50,4	193,7	0,728
25,2	190,5	0,731
6,3	181,9	0,739
25,2	187,2	0,734
50,4	197,2	0,724
100,7	243,5	0,680
201,5	307	0,618
403,0	370,1	0,557
806,0	436,6	0,493
6,3	365	0,562



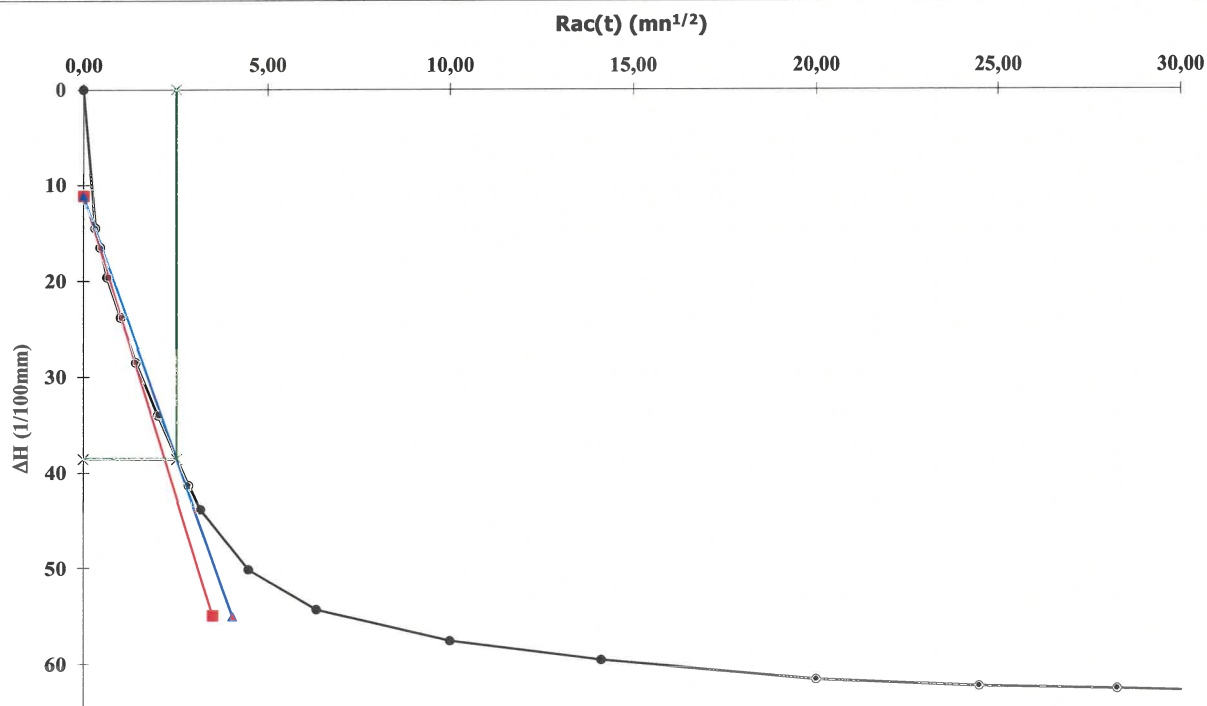
Groupe
HYDROGEOTECHNIQUE

GRAPHIQUE TASSEMENT-TEMPS

(Méthode de TAYLOR)

SITE :	Bassins Alsace	N° DOSSIER :	C.21.20016
Client :		Prof. de la nappe :	-
Sondage :	SC2 Froeningen		
Profondeur :	2,20 m		
Nature du sol :		Date de prélèvement :	NC
Description :	Argile marron à traces gris-bleu et ocre	Palier :	101 - 201 kPa

Temps (mn)	Lecture (1/100mm)	Rac(t) (mn ^{1/2})	ΔH (1/100mm)		
	243,5			emn	0,65
0,1	258	0,32	14,5	mvn=	0,000369468
0,2	260	0,45	16,5		
0,4	263,1	0,63	19,6	dc=sc=	11,100 1/100mm
1	267,3	1,00	23,8	d90=s ₉₀ =	38,569 1/100mm
2	272	1,41	28,5	t90=	6,343 mn
4	277,5	2,00	34	h=	0,850 cm
8	284,8	2,83	41,3		
10	287,4	3,16	43,9	Cv=	16,1E-04 cm ² /s
20	293,7	4,47	50,2		
40	297,9	6,32	54,4		
100	301,2	10,00	57,7	Kvn=	5,94843E-10
200	303,2	14,14	59,7		
400	305,2	20,00	61,7		
600	305,9	24,49	62,4		
800	306,2	28,28	62,7		
1000	306,5	31,62	63		
1200	306,7	34,64	63,2		
1440	307	37,95	63,5		





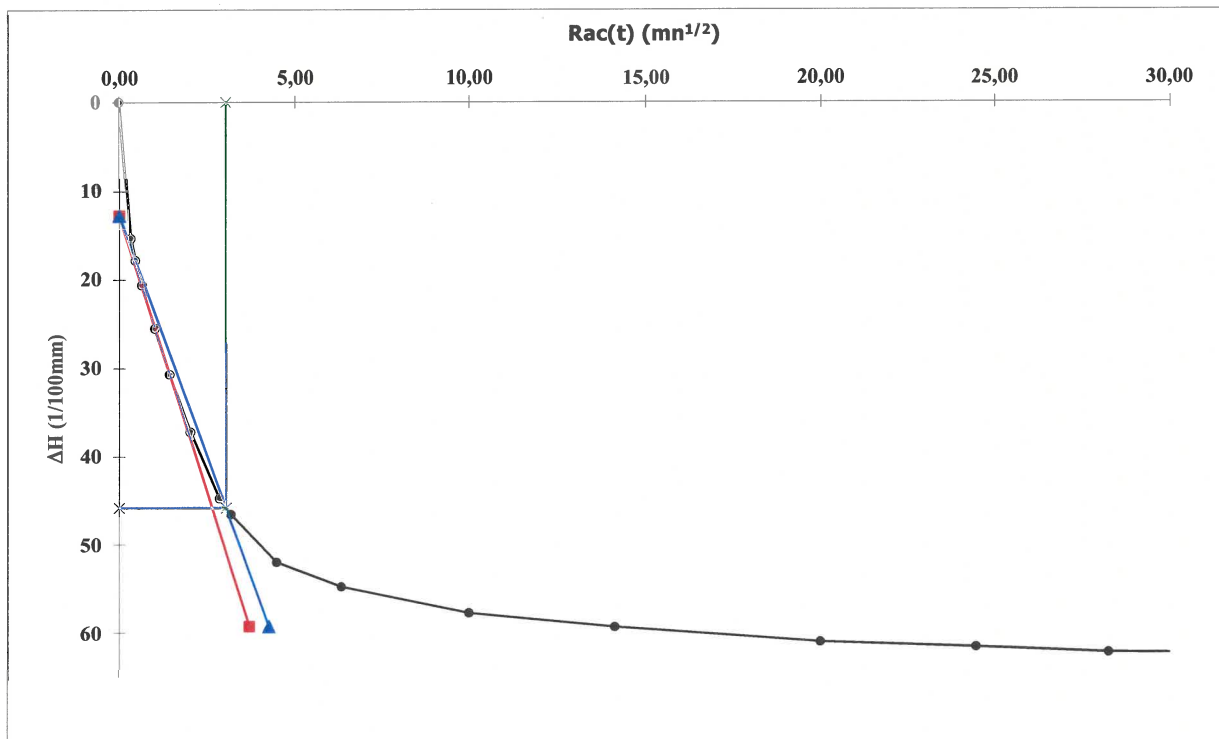
Groupe
HYDROGEOTECHNIQUE

GRAPHIQUE TASSEMENT-TEMPS

(Méthode de TAYLOR)

SITE : Bassins Alsace	N° DOSSIER : C.21.20016
Client :	
Sondage : SC2 Froeningen	
Profondeur : 2,20 m	
Nature du sol :	Date de prélèvement : NC
Description : Argile marron à traces gris-bleu et ocre	Palier : 201 - 402 kPa

Temps (mn)	Lecture (1/100mm)	Rac(t) (mn ^{1/2})	ΔH (1/100mm)		
	307			emn	0,59
0,1	322,3	0,32	15,3	mvn=	0,000190644
0,2	324,8	0,45	17,8		
0,4	327,6	0,63	20,6	dc=sc=	12,8 1/100mm
1	332,5	1,00	25,5	d90=s ₉₀ =	45,8 1/100mm
2	337,7	1,41	30,7	t90=	9,1 mn
4	344,2	2,00	37,2	h=	0,814 cm
8	351,7	2,83	44,7		
10	353,6	3,16	46,6	Cv=	10,3E-04 cm ² /s
20	359	4,47	52		
40	361,8	6,32	54,8		
100	364,8	10,00	57,8	Kvn=	1,96363E-10
200	366,4	14,14	59,4		
400	368,1	20,00	61,1		
600	368,7	24,49	61,7		
800	369,3	28,28	62,3		
1000	369,4	31,62	62,4		
1200	369,8	34,64	62,8		
1440	370,1	37,95	63,1		





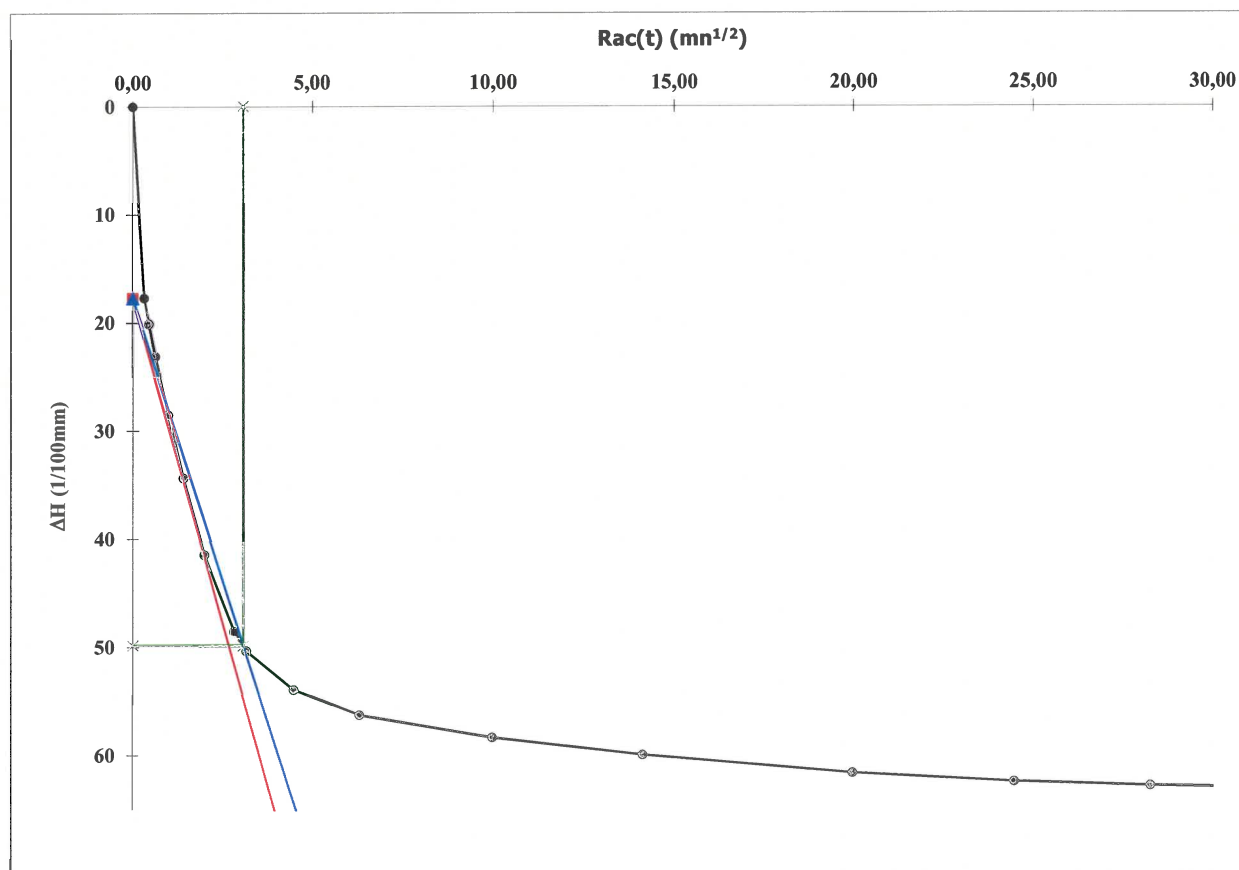
Groupe
HYDROGEOTECHNIQUE

GRAPHIQUE TASSEMENT-TEMPS

(Méthode de TAYLOR)

SITE :	Bassins Alsace	N° DOSSIER :	C.21.20016
Client :			
Sondage :	SC2 Froeningen		
Profondeur :	2,20 m		
Nature du sol :		Date de prélèvement :	NC
Description :	Argile marron à traces gris-bleu et ocre	Palier :	402 - 804 kPa

Temps (mn)	Lecture (1/100mm)	Rac(t) (mn ^{1/2})	ΔH (1/100mm)	
	370,1			emn 0,53
0,1	387,8	0,32	17,7	mvn= 0,000100458
0,2	390,2	0,45	20,1	
0,4	393,2	0,63	23,1	dc=sc= 17,7 1/100mm
1	398,6	1,00	28,5	d90=s90= 49,8 1/100mm
2	404,4	1,41	34,3	t90= 9,4 mn
4	411,5	2,00	41,4	h= 0,781 cm
8	418,6	2,83	48,5	
10	420,4	3,16	50,3	Cv= 9,1E-04 cm ² /s
20	424	4,47	53,9	
40	426,4	6,32	56,3	
100	428,5	10,00	58,4	
200	430,1	14,14	60	Kvn= 9,1417E-11
400	431,8	20,00	61,7	
600	432,6	24,49	62,5	
800	433	28,28	62,9	
1000	433,2	31,62	63,1	
1200	433,4	34,64	63,3	
1440	433,7	37,95	63,6	



ANNEXE 5

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).

SCHEMA D'ENCHAÎNEMENT DES MISSIONS GÉOTECHNIQUES

(extrait de la norme NF P 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

©HYDROGEOTECHNIQUE