B.E.G.T
Etudes Géotechniques

Projet Bâtiment 225

G2 AVP

Affaire : D240400345 G2 AVP

INDICE 1 du 08/10/2024



Projet : Construction d'un mur de protection biologique

Adresse : Cadarache – St Paul Lez Durance (13)

Client : CEA CADARACHE

B.E.G.T.
Études géotechniques
Chemin des Vernèdes
Espace Vernèdes 2 Nord
83480 PUGET SUR ARGENS
contact.begt@gmail.com
04 94 40 08 29

Sommaire

1 Préambule ____ 3

2 Projet ____ 3

2.1 Présentation du projet ____ 3

2.2 Situation géographique ____ 3

2.2.1 Plans de localisation ____ 3
2.2.2 Description du site ____ 4

2.3 Contexte géotechnique ____ 4

2.3.1 Géologie ____ 4
2.3.2 Retrait gonflement des argiles ____ 5
2.3.3 Séisme ____ 5
2.3.4 Zone d'influence géotechnique (ZIG) ____ 5

3 Investigations géotechniques ____ 6

3.1 Programme réalisé ____ 6

3.2 Résultats des sondages in situ ____ 6

3.3 Résultats des analyses en laboratoire ____ 7

3.4 Modèle géotechnique ____ 7

3.5 Hydrogéologie ____ 7

4 Application au projet ____ 8

4.1 Approches de calcul ____ Erreur ! Signet non défini.

4.1.1 Combinaison d'action ____ 8
4.1.2 Obliquité des contraintes ____ 8
4.1.3 Stabilité externe locale ____ 9
4.1.4 Prédimensionnement ____ 11

4.2 Tassements ____ 11

4.3 Terrassement / soutènement ____ 11

4.4 Réemploi des matériaux ____ 12

4.5 Voirie ____ 14

4.5.1 Partie Supérieure des Terrassements (PST) et classe d'arase ____ 14
4.5.2 Couche de forme ____ 15
4.5.3 Structure type de chaussée ____ 15

5 Dispositions constructives ____ 17

5.1 Conditions environnementales ____ 17

5.2 Règles générales ____ 17

5.2.1 Gestion des eaux ____ 17

5.2.2 Gestion de la végétation ____ 21

5.2.3 Construction suivant les règles de l'Art ____ 21

5.3 Règles spécifiques en zone de risque « argiles » ____ 22

5.3.1 Gestion de la végétation ____ 22

5.3.2 Construction en zone très sensible au retrait / gonflement ____ 22

5.4 Garde hors gel ____ 23

6 Recommandations générales ____ 24

6.1 Etudes d'exécution ____ 24

6.2 Supervision et suivi géotechnique d'exécution ____ 24

6.3 Méthode observationnelle ____ 24

Annexes ____ 25

1 Préambule

Le CEA de CADARACHE a confié à BEGT une mission G2 AVP dans le cadre de la création d'un mur de protection biologique et de l'aménagement d'une zone pour la circulation de PL sur le site du CEA de Cadarache sur la commune de St Paul Lez Durance (13).

Cette mission s'inscrit dans le cadre de la norme NF-P-94-500 de novembre 2013.

Elle a pour objectif de définir les hypothèses géotechniques à prendre en compte ainsi que de fournir une ébauche dimensionnelle des ouvrages géotechniques du projet.

2 Projet

2.1 Présentation du projet

Il nous a été fourni des schémas de l'aménagement existant et projeté.

Il s'agit essentiellement d'un mur de protection biologie, d'une dalle et d'une voirie.

Aucun ouvrage de type bâtiment n'est prévu à ce stade du projet.

2.2 Situation géographique

2.2.1 Plans de localisation

Le terrain étudié se situe sur le site de Cadarache sur la commune de St Paul Lez Durance (13).

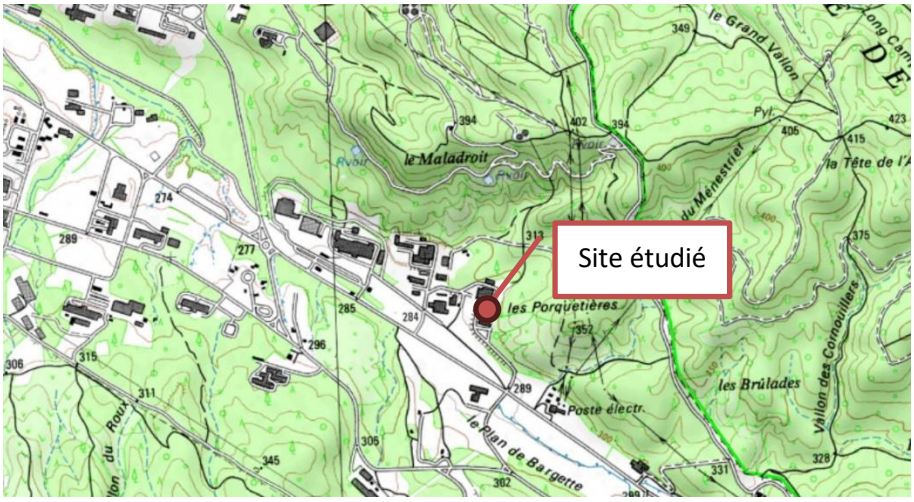


Figure 1 : Repérage sur plan topographique

2.2.2 Description du site

Le terrain est globalement plat et est actuellement occupé par une zone de stockage.

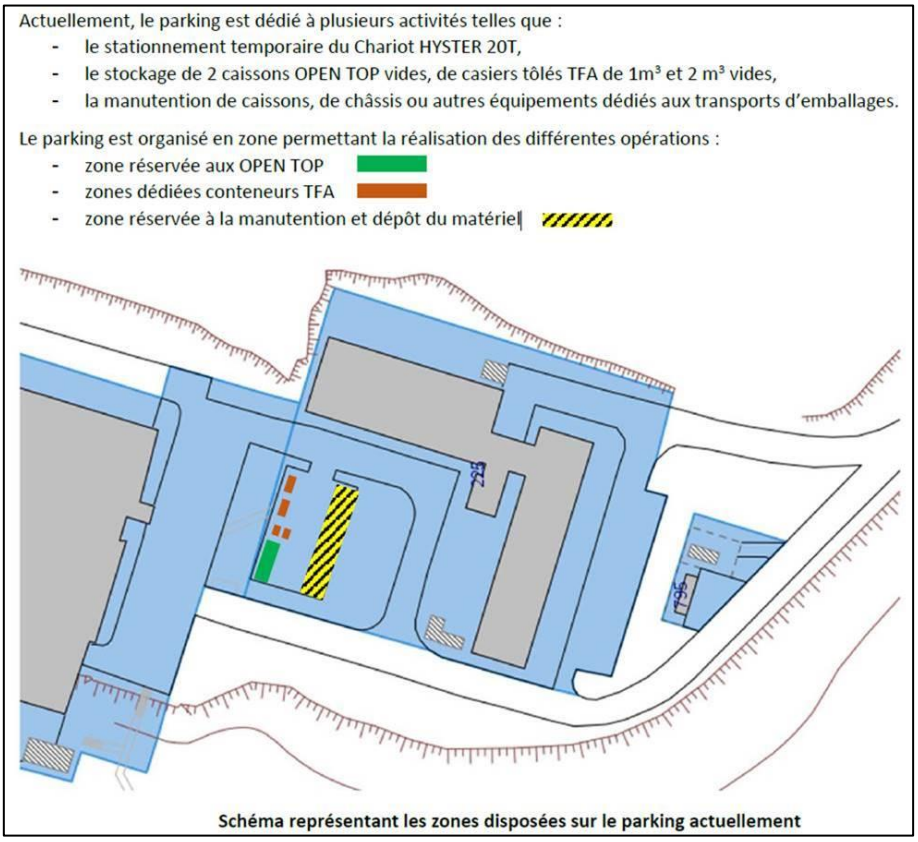


Schéma représentant les zones disposées sur le parking actuellement

2.3 Contexte géotechnique

2.3.1 Géologie

D'après la carte géologique au 1/50000 de la région, le terrain se situe sur une formation du Tortonien marin (molasses, sables molassiques, poudingues et marnes). La présence des calcaires à silex (vert sur la carte) plus en profondeur est fortement probable. Ces formations peuvent être recouvertes d'une épaisseur variable de remblais en fonction des aménagements du site.

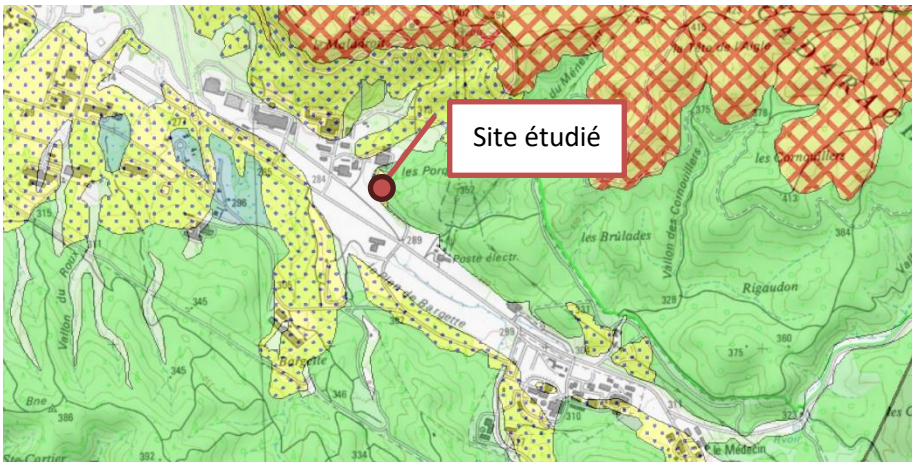


Figure 2 : Carte géologique (http://infoterre.brgm.fr/)

2.3.2 Retrait gonflement des argiles

Un sol argileux a la particularité de présenter un comportement très différent selon sa teneur en eau : humide il devient collant et plastique alors qu'il est généralement cassant voire pulvérulent à l'état sec. Ces matériaux naturels sont également affectés par des variations de volume, directement reliées aux modifications de leur état hydrique : un sol argileux humidifié sous contraintes constantes à tendance à gonfler alors que son dessèchement se traduit par une diminution de volume.

La parcelle étudiée dans le cadre de cette étude présente ainsi, d'après les informations du site *http://www.georisques.gouv.fr/*, un aléa fort.



Figure 3 : Carte de l'exposition au retrait gonflement (http://infoterre.brgm.fr/)

2.3.3 Séisme

D'après le zonage sismique, le site est classé en **zone 4**. Les coefficients à prendre en compte dans le calcul des ouvrages sont les suivants :

Zone 4	
a_{gr} (m/s²)	1.6
Classe de sol	B
Coefficient de sol	1.35
Catégorie d'importance de l'ouvrage	I
Coefficient d'importance (γ_I)	0.8

La catégorie d'importance de l'ouvrage est à valider par le maître d'ouvrage.

2.3.4 Zone d'influence géotechnique (ZIG)

Selon la norme NF P 94-500, la ZIG correspond volume de terrain au sein duquel il y a interaction entre d'une part l'ouvrage ou l'aménagement de terrain (du fait de sa réalisation et de son exploitation) et d'autre part, l'environnement (sols, ouvrages, aménagements de terrains ou biens environnants).

Pour les terrassements nous recommandons de considérer une ZIG équivalent à au moins 3 fois la hauteur des terrassements prévus.

3 Investigations géotechniques

3.1 Programme réalisé

Les investigations in situ ont été réalisées le **24/09/2024.** La campagne de sondages se compose de :

- 4 sondages au pénétromètre dynamique lourd ;
- 1 classifications GTR ;
- 2 sondages destructifs descendus à 10.00 mètres/T.N. ;
- Une campagne d'essais pressiométriques donnant :
  - Module pressiométrique : EM (MPa),
  - Pression limite nette : pl* (MPa),
  - Pression de fluage nette pf* (MPa),
  - Rapport EM/pl.

L'ensemble des coupes de sondages et résultats des essais in situ est donné en annexe du présent rapport.

NOTA : notre pénétromètre dynamique est équipé d'une balise GPS, les coordonnées indiquées dans les feuilles de sondages sont les coordonnées déterminées par le GPS de l'engin. Des approximations en X, Y et Z peuvent donc survenir. Les sondages n'ont en aucun cas fait l'objet d'un récolement.

3.2 Résultats des sondages in situ

Les profondeurs indiquées dans la suite du présent rapport sont données en mètres par rapport au terrain tel qu'il était le jour des investigations (m/TA).

L'analyse des résultats des sondages in situ, ainsi que leur synthèse, a permis de dresser la coupe lithologique suivante :

- **Formation 1 : Terrain de couverture**
  - *Toit de la couche* : 0m/TA ;
  - *Base de la couche* : ~1.0m/TA à 2.0m/TA ;
  - *Épaisseur* : ~1.0m
  - *Description* : Terre végétale et remblais probable généralement impropre à la fondation des ouvrages.
- **Formation 2 : Limon sableux**
  - *Toit de la couche* : ~1.0m/TA
  - *Base de la couche* : non reconnue
  - *Épaisseur* : importante
  - *Description* : Cette formation affleure dans le talus à l'est du projet. Elle présente une certaine cohésion mais peut se décomprimer lors de sa mise à nue.

3.3 Résultats des analyses en laboratoire

Il a été réalisé sur l'échantillon prélevé 1 classification GTR :

Ech	VBS	W (%)	GTR 2000	GTR 2023
Ech 1	1.14	5.59	B5	I1

Le PV d'essai est joint en annexe.

La classification selon le référentiel du GTR 2023 est fourni à titre indicatif. Nous basons nos analyses sur le GTR2000.

3.4 Modèle géotechnique

Des résultats précédents, il peut être retenu le modèle géotechnique suivant :

Formation	Toit (m)	Pl* (MPa)	Em (MPa)	α	Qd (Mpa)	γ(*) (kN/m³)	φ'(*) (°)	c'(*) (kPa)
Terrains de couverture	0.00	-	-	-	2.0	20	28	0
Limon sableux +/- induré	~1.0	1.80	26.0	1/3	20.0	20	30	5

(*) Ces paramètres ont été estimés d'après notre expérience dans ce type de formations et devront être validés par des essais en laboratoire.

3.5 Hydrogéologie

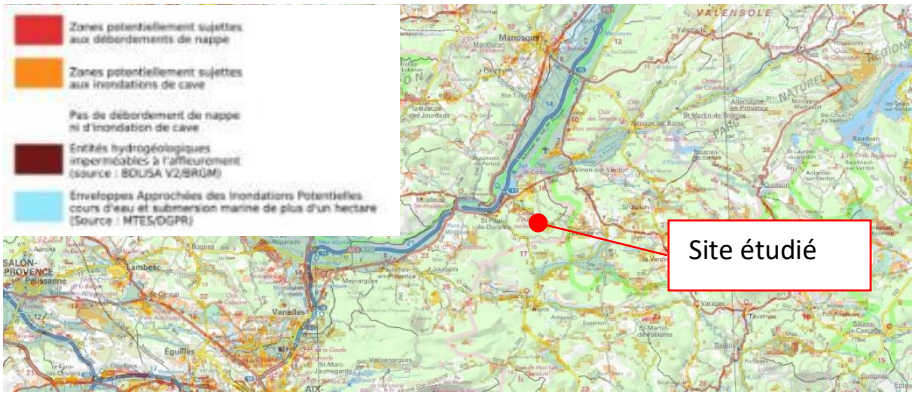


Figure 4 : Carte de l'exposition aux remontées de nappe (http://infoterre.brgm.fr/)

Selon la carte issue du site BRGM du secteur concernant l'exposition aux remontées de nappes, la propriété est classée en zone d'**Enveloppes Approchées des Inondations Potentielles cours d'eau et submersion marine de plus d'un hectare.**

Des circulations d'eau « en draperie » peuvent s'écouler au contact entre les couches de sol de perméabilités différentes ; ces écoulements d'eau peuvent se produire à la suite d'épisodes pluvieux abondants.

Lors de la réalisation de notre intervention sur site, le terrain était sec et aucune circulation d'eau n'a été recoupée par nos sondages.

Des informations plus précises sur le risque réel d'inondation peuvent être fournies dans les documents d'urbanisme (P.L.U.) et dépendent des travaux de protection réalisés, donc susceptibles de varier dans le temps. S'agissant de données d'aménagement hydraulique et non de données hydrogéologiques, elles ne font pas partie de notre mission d'étude géotechnique.

4 Application au projet

4.1 Mur de protection biologique

4.1.1 Combinaison d'action

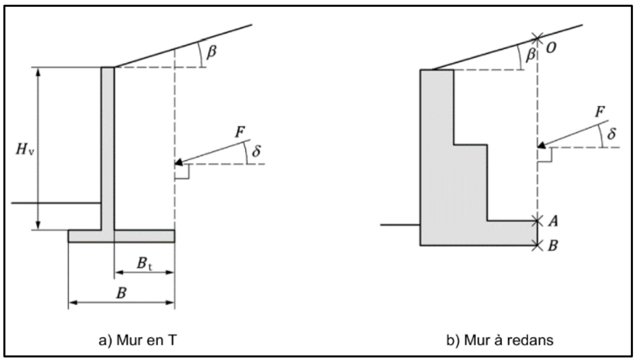
Les combinaisons d'actions pour les différents états limites sont définies ainsi :

Combinaison		Type	Ident.	Charges permanentes													
				$\gamma_{W,m}$	Poids mur	$\gamma_{W,s}$	Poids sol amont	$\gamma_{W,sa}$	Poids sol aval	$\gamma_{P,a}$	Poussée	$\gamma_{P,b}$	Butée	$\gamma_{P,w}$	Pression eau amont	$\gamma_{P,wa}$	Pression eau aval	$\gamma_{P,w,base}$	Pression eau sous la base
ELU	Fondamental	Gmax	101	1,35	W_m +	1,35	W_s +	1,35	W_{sa} +	1,35	P_a +	1,00	P_b +	1,20	P_w +	1,00	P_{wa} +	1,20	$P_{w,base}$
		Gmin	201	1,00	W_m +	1,00	W_s +	1,00	W_{sa} +	1,00	P_a +	1,00	P_b +	1,00	P_w +	1,00	P_{wa} +	1,00	$P_{w,base}$
ELS	Quasi-permanent		901	1,00	W_m +	1,00	W_s +	1,00	W_{sa} +	1,00	P_a +	1,00	P_b +	1,00	P_w +	1,00	P_{wa} +	1,00	$P_{w,base}$

NOTA : Aucune sollicitation accidentelle sous l'effet d'un choc ne nous a été transmise, cet état limite peut modifier la géométrie du mur proposée. De même, il conviendra de calculer les torseurs en prenant en compte les effets des actions environnementales (neige, vent…)

4.1.2 Obliquité des contraintes

Les efforts sur le mur sont calculés selon les prescriptions de la norme NF P94-281.



a) Mur en T
b) Mur à redans

Pour Hv ≤ β(tanθ) :

$$\delta_\gamma = \beta$$

$$\delta_q = \sup\left(\beta; \frac{1}{3}\varphi'\right)$$

Pour Hv ≥ β(tanθ) :

$$\delta_\gamma = \delta_q = \beta + (\delta_0 - \beta)\left(1 - \frac{B_t * tan\Theta}{H_v}\right)^2$$

Avec

$$\Theta = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} + \frac{y - \beta}{2}$$

$$\delta_0 = \sup\left(\beta; \frac{2}{3}\varphi'\right)$$

$$y = \arcsin\left(\frac{sin\beta}{sin\varphi'}\right)$$

4.1.3 Stabilité externe locale

4.1.3.1 Capacité portante

Le calcul est réalisé selon la méthode empirique à partir des essais PMT conformément à la norme NF P 94-261 et NF P94-261/A1.

$$qnet \ = \ kp \ x \ Ple * \ x \ i\delta \ x \ i\beta$$

Ainsi nous avons, avec la contrainte caractéristique :

$$qv; k \ = \ qnet \ / \ 1{,}0$$

$$ELU \ SIS \ R_{v;d} = \ Aq_{v;k} \ /1{,}4$$

$$ELU \ ACC \ R_{v;d} = \ Aq_{v;k} \ /1{,}2$$

$$ELU \ FOND \ R_{v;d} = \ Aq_{v;k} \ /1{,}4$$

$$ELS \ CARA \ R_{v;d} = \ Aq_{v;k} \ /2.3$$

$$ELS \ QP \ R_{v;d} = \ Aq_{v;k} \ /2.3$$

Pour chaque combinaison il convient de vérifier l'inégalité :

$$V_d - R_0 \leq R_{v;d}$$

Avec :

$$R_0 = Aq_0$$

4.1.3.2 Glissement

Conformément à la norme NF P94-261 et NF 94-281 le glissement est vérifié à pour :

$$H_d \leq R_{h;d} + R_{p;d}$$

- Hd : valeur de calcul de la composante horizontale (ou parallèle à la base de la fondation) de la charge transmise par la fondation superficielle au terrain ;
- Rp;d : valeur de calcul de la résistance frontale ou tangentielle de la fondation à l'effet de Hd ;
- Rh;d : valeur de calcul de la résistance au glissement de la fondation sur le terrain ;

$$R_{p;d} = R_{p;k}/\gamma_{R;e}$$

- $\gamma_{R;e}$:facteur partiel dont la valeur dépend du type de réaction mobilisée :
  - Réaction frontale = 1,4 ;
  - Réaction tangentielle = 1,1 ;

Et en condition drainée pour $R_{h;d}$:

$$R_{h;d} = \frac{V_d tan\delta_{a;k}}{\gamma_{R;h}\gamma_{R;d;h}}$$

- Rh;d : valeur de calcul de la résistance ultime au glissement ;
- Vd : valeur de calcul de la composante verticale de la charge transmise par la fondation superficielle au terrain déduite de la situation de calcul fournissant la valeur de la composante Hd ;
- $\gamma_{R;h}$: facteur partiel pour la résistance au glissement de la fondation superficielle = 1,1
- $\gamma_{R;d;h}$: coefficient de modèle lié à l'estimation de la résistance ultime au glissement =0.9 ;
- $\delta_{a;k}$: valeur caractéristique de l'angle de frottement à l'interface entre la base de la fondation et le terrain
  - Dans le cadre de l'approche 2 $\delta_{a;k} = \delta_{a;d}$;
  - $\delta_{a;d} = \varphi'_{crit}$ pour les fondations en béton coulé en place ;
  - $\delta_{a;d} = 2/3\varphi'_{crit}$ pour les fondations préfabriquées lisses ;

La réaction frontale est négligée.

4.1.3.3 Excentrement du chargement

Aux ELS, pour une fondation de largeur B, il convient de vérifier :

$$1 - \frac{2e}{B} \geq \frac{1}{2}$$

Aux ELU, pour une fondation de largeur B, il convient de vérifier :

$$1 - \frac{2e}{B} \geq \frac{1}{15}$$

4.1.4 Prédimensionnement

Le voile du mur aura une épaisseur de 1.0 pour la mise ne place de blocs de protection.

En première approche, nous considérons un mur en T avec une base de 1,5m de large et une densité de 27kN/m^3. Pour cet ouvrage, nous avons un poids de 93.15kN/ml.

Dans ces conditions, les taux de mobilisation sont les suivants :

Combinaison	État limite	Situation	Portance	Renversement	Glissement
✓ 101	ELU	Fondamental	✓ 8,69 % (OK)	✓ 1,67 % (OK)	✓ 5,85 % (OK)
✓ 201	ELU	Fondamental	✓ 6,44 % (OK)	✓ 1,67 % (OK)	✓ 5,85 % (OK)
✓ 901	ELS	Quasi-permanent	✓ 10,58 % (OK)	✓ 3,12 % (OK)	-

Il pourra être considéré également que le mur se comporte comme un mur poids avec une base de 1.0m de large.

4.2 Tassements

L'ouvrage n'est pas considéré comme sensible ou supportant une structure.

Le tassement n'est pas calculé à ce stade du projet.

En fonction des contraintes réglementaire pour ce type d'ouvrage il pourra être nécessaire d'évaluer les tassements de l'ouvrage.

Dans tous les cas il appartient au BET structure de prévoir des joints de dilatation.

4.3 Terrassement / soutènement

Il n'est pas prévu de terrassement autre que les fouilles des fondations dans le cadre de ce projet.

4.4 Dallage

4.4.1 Modalités de réalisation d'un nouveau dallage

La réalisation du dallage respectera les modalités suivantes :

- Purge des poches médiocres, des matériaux évolutifs et des sols altérés par les circulations d'engins et les eaux de pluies ;
- Terrassement jusqu'à obtention de la cote finie du fond de forme permettant la mise en place d'une couche de forme sous dallage ;
- Mise en place d'un géotextile anti contaminant ;
- Compactage soigné du fond de forme avec des engins adaptés. Ce compactage ne sera réalisable que si la teneur en eau des matériaux n'est pas trop importante. Une vérification du compactage du fond de forme par essais à la plaque sera effectuée ;
- Réalisation d'une couche de forme sur 0.30m d'épaisseur minimale pour support au dallage. Ce hérisson sera réalisé par couches minces successives en matériaux granulaires insensibles à l'eau et de granulométrie continue de type concassé de carrière GNT ou graves D2/D3. Il sera convenablement compacté à 95% de l'optimum Proctor modifié (OPM) ;
- Un contrôle de la plateforme à l'aide d'essais à la plaque devra être réalisée :
  - EV2 ≥ 50 MPa pour les charges d'exploitation avec des charges réparties ≤ 20 kN/m², ou des charges concentrées fixes ≤ 20 kN, ou des charges concentrées mobiles ≤ 20 kN/roue ;
  - EV2 ≥ 70 MPa pour les charges d'exploitation avec des charges réparties > 20 kN/m², ou des charges concentrées fixes > 20 kN, ou des charges concentrées mobiles > 20 kN/roue ;
  - Indice de compactage : EV2/EV1 ≤ 2,2.
  - En cas d'essai à la dynaplaque, l'interprétation du résultat, sous la forme d'un module EV2 équivalent, est du ressort du géotechnicien en charge de la mission G3. Il est nécessaire de prévoir un calage entre la dynaplaque et la plaque.

On veillera notamment à assurer le drainage de la plateforme sous dallage soit en réalisant une forme de pente, soit avec des épis drainant ou autre méthode. Les eaux seront redirigées vers un exutoire adapté. Dans tous les cas, Le matériau de la base drainante doit respecter le critère D10 > 1 mm : diamètre du tamis laissant passer en poids moins de 10 % des grains).

4.4.2 Hypothèses de dimensionnement

Les résultats des essais pressiométriques réalisés permettent de déduire les modules de déformation suivants pour chaque couche :

Sol	Toit (m/TF)	Em (MPa)	α	Es (MPa)
Fond de forme concassé	0.00	30.0	2/3	44.0
Sable limoneux	0.30	26.0	1/3	78.0

Le coefficient de réaction vertical kv est évalué en considérant les paramètres donnés ci-dessus et une charge répartie de 20kPa sur une dalle de 20cm d'épaisseur.

Dans ces conditions, le tassement est d'environ 1.4mm et le coefficient de réaction de 14000kPa/m.

4.4.3 Dispositions constructives

Compte-tenu de la surface du projet, nous conseillons de rigidifier au maximum le dallage afin de faire face aux éventuels mouvements de sol. Le dallage devra être réalisé par surface réduite avec mise en place de joints de fractionnement.

La plateforme sera protégée avant chaque épisodes pluvieux et chaque arrêt de chantier. Les travaux devront être réalisés par temps sec.

On appliquera également les recommandations du « Guide pour la réalisation des terrassements des plateformes de bâtiments et d'aires industrielles dans le cas de sols sensibles à l'eau » notamment pour les gestions des eaux (drainage, remontée capillaire…).

Dans le cas d'une dalle sans couverture, nous recommandons la mise en place de bêche périphérique descendues à au moins 1.2m.

4.5 Réemploi des matériaux

Les matériaux analysés dans le cadre de cette étude sont de type B5 (GTR 2000) et I1 (GTR 2023). Du fait de leur sensibilité à l'eau, ces sols sont difficilement utilisables en remblais et en couche de forme.

Nous rappelons ici les principales observations de mise en œuvre en remblai selon le GTR2000 :

Etat hydrique « th » : Sols normalement inutilisables en l'état. Ces sols sont très difficiles à mettre en œuvre, en raison de leur portance quasi-nulle. La réduction de teneur en eau par mise en dépôt provisoire, ou drainage préalable (plusieurs mois) peut être envisageable ;

- Etat hydrique « h » : Ces sols sont difficiles à mettre en œuvre en raison de leur portance faible. Ils sont sujets au matelassage ce qui est à éviter au niveau de l'arase de terrassement ;
- Etat hydrique « m » : Ces sols sont très sensibles à la situation météorologique, qui peut très rapidement interrompre le chantier à cause de l'excès de teneur en eau ou au contraire, conduire à un matériau sec, difficile à compacter ;
- Etat hydrique « s » : Ces sols sont très difficiles à compacter, du fait de leur faible teneur en eau. En conséquence il convient :
  - Soit de compacter intensément avec un arrosage superficiel
  - Soit d'humidifier le matériau dans sa masse pour le ramener en B5m Cette humidification est encore relativement facile à réaliser
- Etat hydrique « ts » : Sols normalement inutilisables en l'état, ais leur humidification dans la masse peut être envisagée pour les ramener à l'état B5s, voire B5m ;

Pour leur emploi en couche de forme, la grande sensibilité à l'eau des sols de cette classe implique nécessairement de les traiter pour les utiliser en couche de forme. Ce traitement peut être un traitement aux liants hydrauliques pour les moins argileux de la classe ou un traitement associant chaux + liant hydraulique pour les plus argileux et les plus humides. Ces sols se traitent le plus souvent en place et éventuellement en centrale après les avoir traités en place à la chaux.

4.6 Voirie

Le projet prévoit la création d'un accès poids lourd.

Au stade de l'étude on peut retenir une classe de trafic T5+.

Classe de trafic	T5-	T5+	T4	T3-	T3+
$TMJA_d$ (PL/jours/an)	1-10	11-25	26-50	51-85	86-150
Centre de classe (moyenne géométrique)	3	17	35	65	115

Pour le prédimensionnement des structures types, nous avons utilisé :

- Le guide technique de réalisation des remblais et des couches de forme SETRA & LCPC de 2000 ;
- Le Manuel de dimensionnement des chaussées neuves à faible trafic ;

4.6.1 Partie Supérieure des Terrassements (PST) et classe d'arase

La partie supérieure des terrassements est constituée par des sols sableux avec fines de type B5.

Lorsque les terrassements en déblai sont exécutés, la PST peut être estimée, en fonction des sols en présence, pour le sol support sans drainage ni amélioration, entre PST n°1, AR1 et PST n°2, AR1.

Des essais IPI et Proctor seront à réaliser afin de déterminer l'état hydrique du matériau.

Compte tenu de la nature du matériau et de la voirie à réaliser, il conviendra d'atteindre à minima une PF2, c'est-à-dire un module de 50 à 120MPa.

Cette classe peut évoluer en fonction des conditions météorologiques et chuter en **PST n°0 avec AR0.** Dans ce cas on cherchera à réaliser une purge et une substitution du matériau sur une forte épaisseur moyen d'un matériau granulaire insensible à l'eau type R2. Le support doit pouvoir être reclassé en AR1 avant exécution de la couche de forme.

Les travaux devront être réalisés en période météorologique favorable afin d'obtenir des matériaux en état hydrique moyen à sec et pour permettre une circulation des engins sur la PST sans difficulté.

Si, toutefois, les travaux sont réalisés en période défavorable, des sujétions seront à prévoir afin d'augmenter la portance avant la réalisation de la couche de forme.

On prévoira la réalisation d'essai à la plaque pour valider la portance.

4.6.2 Couche de forme

Les caractéristiques de la couche de forme (matériaux utilisés et épaisseurs) sont fournies dans le fascicule II du GTR 92, en fonction des classes de PST et AR.

Dans le cas d'une PST n°1 avec AR1, une solution d'amélioration de sol par liant hydraulique et à la chaux jusqu'à 50cm d'épaisseur selon une technique remblai peut conduire à une PST 2, 3 ou 4 selon le contexte.

On pourra également prévoir une purge du matériau pour exécuter la couche de forme au moyen d'un matériau granulaire insensible à l'eau type R2. On veillera à respecter les recommandations GTR lors de la mise en œuvre.

Les travaux devront être réalisés en période météorologique favorable afin d'obtenir des matériaux en état hydrique moyen à sec et pour permettre une circulation des engins sur la PST sans difficulté.

Si, toutefois, les travaux sont réalisés en période défavorable, des sujétions seront à prévoir afin d'augmenter la portance avant la réalisation de la couche de forme.

On prévoira la réalisation d'essai à la plaque pour valider la portance.

4.6.3 Structure type de chaussée

Concernant les épaisseurs de matériaux, nous nous référons au Manuel de dimensionnement des chaussées neuves à faible trafic rédigé par l'IDRRIM et édité par le CEREMA (2020).

Dans un premier temps il est nécessaire de déterminer la classe de trafic. En L'absence de données nous considérons une classe TC5+ avec 17 poids lourd par jour et égale à 150 véhicules par jour.

$$N_{PL} = TMJA_d * 365 * C$$

Avec C correspondant au cumul sur la période considérée. De même en l'absence de spécification nous considérons une croissance arithmétique du trafic, tel que :

$$C = n * \left(1 + \frac{(n-1) * \tau}{2}\right)$$

- n : durée de service à confirmer par le Maitre d'Ouvrage (20ans retenu ici) ;
- τ : Taux de croissance du trafic annuel moyen (0.02 en l'absence de données) ;

Le nombre d'essieux équivalent est donné par la relation :

$$NE = N_{PL} * CAM$$

- CAM : coefficient agressivité moyen du trafic

Valeur de CAM				
Type de matériau	Classe de trafic			
	T5	T4	T3-	T3+
GNT et sol	0,4	0,5	0,6	0,75
Béton, Matériaux traités aux liants hydrauliques	0,4	0,5	0,6	0,6
Matériaux bitumineux	0,3	0,3	0,4	0,5

Ainsi nous obtenons les résultats suivants :

- C = 23.8 ;
- N_{PL} = 147679 ;
- NE = 59072 ;

Les structures de GNT (GNT2) pour le NE calculé sont les suivantes :

PF1	PF2	PF2qs	PF3
65cm	45cm	30cm	20cm

L'entreprise pourra proposer des structures différentes dans la mesure où elles sont équivalentes (à justifier par note technique).

La structure de chaussée devra être vérifiée en fonction de la circulation effective prévue sur les voiries et de la tenue au gel.

Lors de la réalisation des travaux, la plus grande attention sera portée sur les points suivants :

- Contrôle du niveau de portance de la plateforme ;
- Respect des épaisseurs préconisées ;
- Contrôle de la qualité des matériaux mis en œuvre et de leur compacité ;

Par ailleurs, les GB et les BBSG seront conformes à la norme NF EN 13108 - 1

Les granulométries des matériaux hydrocarbonés seront fonction des épaisseurs mises en œuvre, qui pourront être les suivantes :

- GB (0/14 pour des épaisseurs de 8 à 14 cm) ;
- BBSG (0/10 pour des épaisseurs de 5 à 7 cm) ;

Leurs conditions de mise en œuvre sont définies par la norme NF P98-150. Les liants utilisés pour la couche d'accrochage seront adaptés au matériau hydrocarboné choisi.

Remarque : Ceci n'est donné qu'à titre d'exemple. Les matériaux disponibles sur place peuvent conduire à des dimensionnements de structure très différents. Nous nous tenons à disposition pour en vérifier la définition et les possibilités, dans le cadre d'une étude de projet.

De plus, dans le cas de zone de stationnements, nous recommandons de réaliser la chaussée en béton de manière à se prémunir de tout phénomène de fluage d'enrobé.

5 Dispositions constructives

5.1 Conditions environnementales

Afin d'adapter les dispositions constructives il est nécessaire de prendre en compte l'environnement de la construction en étudiant certains facteurs pouvant avoir un effet défavorable.

- Usuellement une pente supérieure à 3% constitue un élément défavorable dans la prise en compte des conditions environnementale.
- De même, la présence de zone de stagnation d'eau témoigne de l'existence de sols imperméables qui sont généralement argileux.
- La présence de végétation est également un vecteur favorisant le retrait / gonflement.
- Le dessouchage d'arbres dans l'emprise de la construction imposera automatiquement la réalisation de fondations plus profondes de manières à fonder la maison sur un son homogène non remanié.

5.2 Règles générales

Les recommandations générales s'appliquent à **tous les chantiers** de constructions **y compris en terrain peu ou pas sensible** au phénomène de retrait / gonflement.

5.2.1 Gestion des eaux

5.2.1.1 Phase chantier

Les eaux présentes dans les fouilles de fondations devront être évacuées et les fond de fouilles curés de manière à éliminer toutes poches gorgées d'eau. Les fondations ne seront en aucun cas coulées en en période défavorable.

5.2.1.2 Phase définitive

Les apports d'eau provenant des terrains environnants (eaux de ruissellement superficiel ou circulations souterraines) contribuent à l'apparition de mouvements différentiels du sol (phénomène de retrait-gonflement, modification des propriétés mécaniques des sols, etc.). La collecte et l'évacuation, ou le drainage, de ces apports permettent de minimiser les mouvements différentiels du sol.

La gestion des eaux, naturelles ou domestiques, doit donc être efficace. Il est nécessaire d'éviter toute rétention dommageable aux ouvrages environnant. L'étude de l'exutoire est primordiale avant de définir les moyens de captage des eaux.

L'étude et la conception pour la gestion des eaux (domestiques et naturelles) sont réaliser par un BET spécialisé. Les recommandations ici ne constitue que des préconisations générales destinées à alerter le Maître d'Ouvrage.

5.2.1.3 Eaux domestiques

Ce sont généralement les sorties d'ouvrages de traitement qui peuvent causer des problèmes. Pour cela les recommandations suivantes sont à prendre en compte :

- La sortie de fosse vers un ouvrage d'infiltration doit être réalisée selon les normes en vigueur ;
- Une étude de la capacité d'infiltration doit être mené à bien afin de déterminer le volume de l'ouvrage ;

- Un regard avec exutoire de trop plein doit être prévu en extrémité aval de l'ouvrage. Ce trop-plein ne peut que s'épandre superficiellement que de façon accidentelle, ce type de désordre devra être corrigé d'urgence ;
- Ces ouvrages sont à réaliser à au moins 5.0m de l'emprise de toute construction ;
- Ce réseau doit être le plus visitable et curable possible, pour cela des regards doivent être implantés aux principaux changements de directions et en amont et aval des ouvrages particuliers ;
- Le raccordement aux réseaux collectifs est à réaliser en respectant les directives sanitaires en vigueur.

5.2.1.4 Eaux pluviales

Les eaux pluviales peuvent être redirigées vers un réseau d'assainissement pluvial collectif, un fossé ou autre type d'ouvrage prévu à cet effet.

Les eaux captées par les surfaces imperméabilisées du projet peuvent être renvoyer vers des ouvrages d'infiltrations **sous réserve que le la règlementation locale l'y autorise**. Il convient d'être vigilant au respect de la Loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA).

De la même manière que pour la gestion des eaux domestiques, ce réseau doit être le plus visitable et curable possible, pour cela des regards doivent être implantés aux principaux changements de directions et en amont et aval des ouvrages particuliers.

Les prescriptions suivantes sont également à prendre en compte :

- L'écoulement des eaux doit être le plus naturel possible, le modelage du terrain est à réaliser avant démarrage des travaux de construction ;
- L'infiltration des eaux pluviales aux abords des fondations doit être évitée par la création par exemple d'une zone de rétention au-dessus des semelles ;
- Un drainage périphérique redirigera les eaux vers un exutoire adapté ;
- Le raccordement aux réseaux collectifs est à réaliser en respectant les directives sanitaires en vigueur.

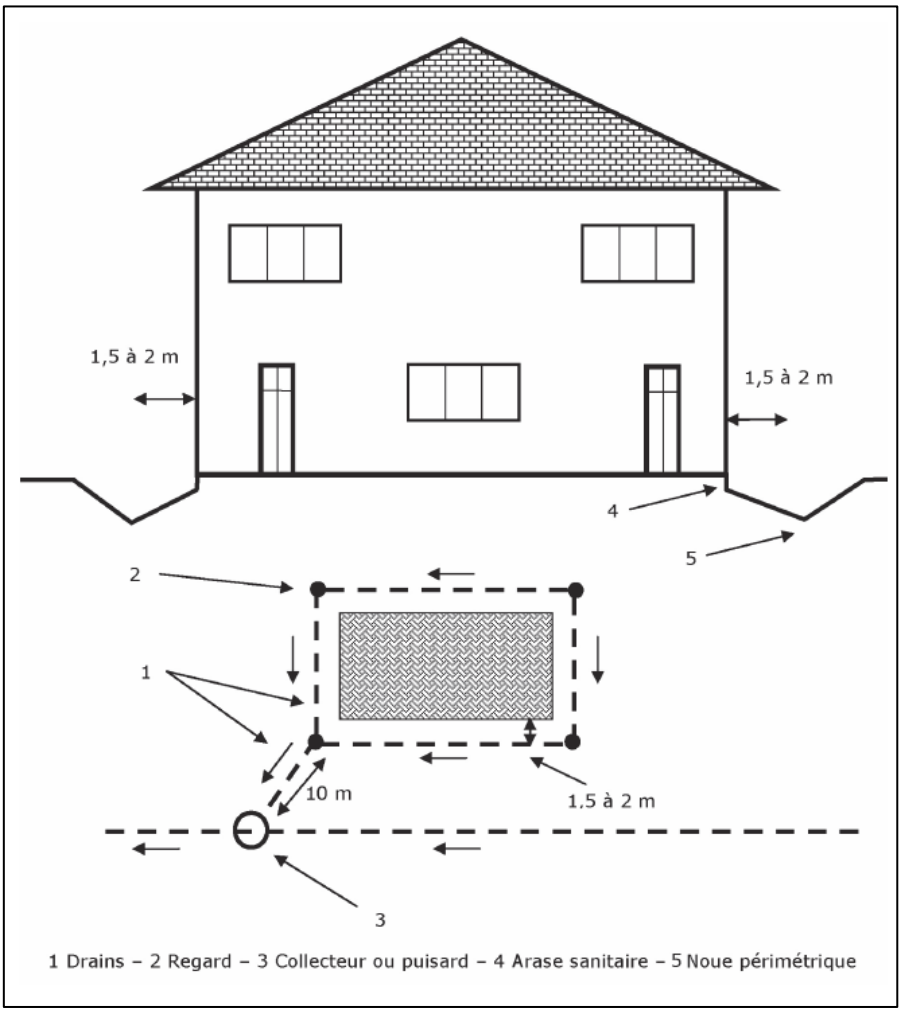


Figure 5 : Extrait DTU 20.1, illustration du drainage sur terrain plat

5.2.1.5 Eaux souterraines

Dans le cas de suspicions ou de découverte de zones de circulation d'eau qui pourraient créer des variations hydriques il conviendra de prévoir un dispositif de drainage autonome conforme aux règles de l'Art.

Les ouvrages enterrés recevront une protection étanche type cuvelage ou membrane dont l'application sera conforme au DTU 20.1.

5.2.1.6 Protection et étanchéification des canalisations enterrées

Il convient de s'assurer de l'absence de fuite pouvant entrainer des variations locales d'humidité. Les fuites peuvent résulter d'un défaut de conception ou de mouvements différentiels du sol qui ne sont pas forcément lié au retrait / gonflement.

Les canalisations doivent être parfaitement étanchéifiée :

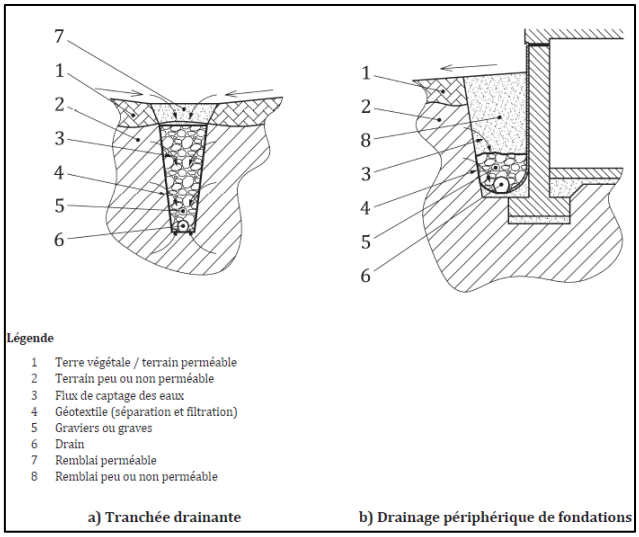
- Les tuyaux PVC sont collés pour les réseaux d'eaux usées et d'eaux pluviales ;
- Les liaisons des regards de pieds de chute des eaux de toiture avec les tuyaux sont parfaitement étanches ;
- Le tracé et la conception des réseaux sont à étudier de façon à minimiser le risque de rupture ;
- Utilisation de matériaux non fragile, flexible et protégée par un enrobage suffisant de sable ;
- Mise en place de joints souples dans zones de raccordement, ces produits doivent être conformes aux normes en vigueur et / ou faire l'objet d'un avis technique ;
- **En aucun cas les canalisations ne traverseront les fondations ;**
- Les canalisations longeront au minimum les ouvrages, limitant ainsi l'impact de fuites accidentelles en cas de rupture ;
- Un entretien régulier des ouvrages de collecte est à prévoir ;

5.2.1.7 Dispositif de drainage

Le dispositif de drainage périphérique doit permettre de capter les eaux de ruissellement et souterraines susceptibles de passer sous la construction. Les principes de réalisation de ces drains sont donnés par la norme NF DTU 20.1.

Ce drain peut être réalisé le long des fondations où à une distance d'environ 2.0m. Dans le cas de drain le long des fondations celui-ci ne doit pas les déstabiliser en :

- Modifiant l'état hydrique du sol ;
- Supprimant les butées ;



On prêtera une attention particulière au passage des réseaux secs qui peuvent former des zones de moindre perméabilité et avoir un effet de drain. La tranchée drainante périphérique pourra collecter les eaux circulant dans ces tranchées de réseaux situées au-dessus, à condition que le fil d'eau du drain passe sous le point bas des tranchées d'alimentation citées.

5.2.2 Gestion de la végétation

Les souches et racines les plus grosses peuvent, en pourrissant, créer des zones de décompression ou de circulation d'eau préférentielle.

Le dessouchage des arbres doit être réalisé avec le plus grand soin. Les fondations de l'ouvrage doivent reposer sur un terrain homogène non remanié.

Cette opération doit être maîtrisé par l'ensemble des intervenant concernés (constructeurs, maîtres d'œuvre, maçons...).

5.2.3 Construction suivant les règles de l'Art

La plupart des habitations classiques sont fondées dans la frange sensible aux variations saisonnières de teneur en eau. Toutefois, même sur un sol réputé non sensible au retrait / gonflement, on adoptera à minima les prescriptions suivantes :

- Profondeur d'ancrage suffisante, à adapter en fonction de la portance du sol et de la profondeur de pénétration du gel ;
- Éviter toute dissymétrie dans la profondeur des semelles de fondation ;
- Fondations coulées en pleine fouille sur toute leur hauteur ;
- Fondations continues et armées ;
- Rigidification suffisante de la structure pour résister aux distorsions des mouvements différentiels ;
- Mise en place de chaînage horizontaux et verticaux ;
- Désolidarisation, par un joint de rupture intéressant toute la hauteur de l'ouvrage, des structures fondées différemment ou présentant des niveaux différents ;
- Eviter les sous-sols partiels ;

Le choix de la densité de ferraillage et l'emplacement des dispositifs de renforcement relève de la responsabilité du BET structure en charge de l'opération.

Il conviendra de respecter un angle de fuite au plus égal à 3H/1V (3 horizontalement, 1 verticalement) entre les bases des fondations voisines établies à des cotes différentes et entre les bases de fondations et les pieds de talus et/ou d'ouvrages voisins.

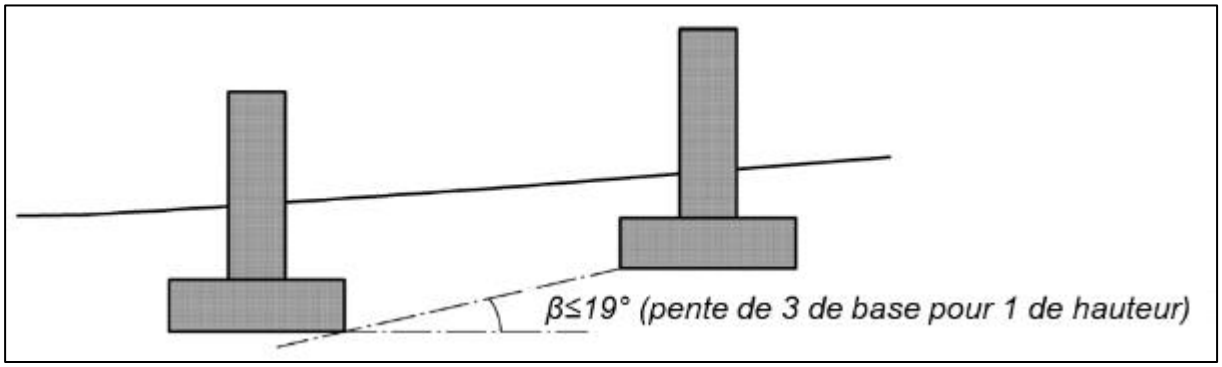


Figure 6

Pour les fondations implantées à proximité des têtes de talus, une diminution de la capacité portante des sols d'assiette devra être prise en compte ; cette diminution est d'autant plus importante lorsque la pente du talus augmente. L'inclinaison des charges sur la fondation, selon la direction opposée à la pente du talus, limitera voire négligera la perte de portance des sols.

Enfin les matériaux utilisés dans la construction doivent être conformes aux règlementations et normes en vigueurs. Les procédés novateurs doivent être couvert par un avis technique.

5.3 Règles spécifiques en zone de risque « argiles »

5.3.1 Gestion de la végétation

Forfaitairement il est admis qu'éloigner les arbres de la construction de 1.5 fois la hauteur de l'arbre adulte assure une protection suffisante pour les variations hydrique du sol.

Si cette mesure n'est pas applicable il convient de mettre en place un écran anti-racine. La profondeur de l'écran sera adaptée à l'agressivité de la végétation et à la profondeur possible du réseau racinaire. Il doit également être suffisamment long pour éviter que les racines le contournent.

5.3.2 Construction en zone très sensible au retrait / gonflement

En zone d'aléa fort, outres les prescriptions précédentes, il conviendra notamment de prévoir un ancrage des fondations à au moins 1.5m de profondeur par rapport à la plus proche surface soumise aux intempéries.

La valeur de bleu mesurée et la nature des terrains rencontré permet de limiter cette côte à 1.2m.

Cette profondeur ne dispense pas de s'ancrer plus profondément pour s'affranchir de la garde hors gel ou pour aller chercher la couche porteuse.

Sur des terrains en pente, l'encastrement aval doit être au moins aussi important que l'encastrement amont il conviendra de prévoir des redans.

L'assise des fondations doit être homogène.

La construction doit être découpée en blocs rigides séparés par des joints de rupture. Il appartient au BET structure de les prévoir dans la construction. Chaque bloc doit avoir une géométrie régulière et des conditions de fondation homogènes.

Pour une semelle coulée à pleine fouille la largeur minimale est de 50cm.

Les semelles doivent être armée dans toutes les directions au ferraillage minimal imposé par les normes en vigueur. Dans tous les cas le ferraillage doit être adaptée de manière à reprendre les efforts nécessaires à l'équilibre de la semelle. Il appartient au BET structure de déterminer ce ferraillage.

5.4 Garde hors gel

Il convient de respecter la norme NF P94-261/A1 pour la garde hors gel.



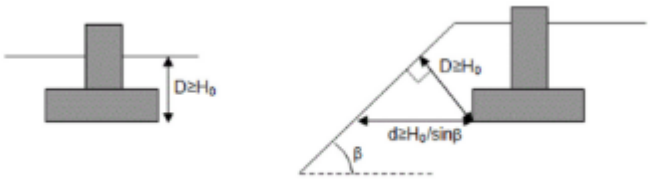
Figure 7

La garde hors gel, pour un ouvrage à plus de 150m d'altitude, est donnée par la formule suivante :

$$H = H0 + \frac{A - 150}{4000}$$

$$H = 0.5 + \frac{290 - 150}{4000} = 0.53m$$

A est l'altimétrie du terrain prise selon les cartes topographiques de l'IGN. Elle devra être recalée en fonction de l'altimétrie réelle de l'opération.



H_0 : profondeur de mise hors gel

Figure 8

Dans ces conditions il conviendra de descendre les fondations à au moins **0.85m par rapport à la plus proche surface soumises aux intempéries.**

Cette profondeur ne dispense pas de s'ancrer plus profondément pour s'affranchir de la garde hors front de dessication ou pour aller chercher la couche porteuse.

6 Recommandations générales

6.1 Etudes d'exécution

L'entreprise en charge de la réalisation des travaux devra dimensionner ses ouvrages dans le cadre d'une mission G3 phase étude. Si l'entreprise juge insuffisantes les données géotechniques présentes dans les études G2, elle prévoira la réalisation de sondages complémentaires et ce avant remise de son offre.

6.2 Supervision et suivi géotechnique d'exécution

Des contrôles et vérifications devront être réalisés durant l'exécution des travaux afin de valider les hypothèses retenues et de les adapter si nécessaire. Parallèlement à la mission G3 phase suivi de l'entreprise, une mission de supervision géotechnique d'exécution (mission G4) devra être prévue par la maitrise d'oeuvre/d'ouvrage. Elle permettra de vérifier la conformité de l'étude G3 vis-à-vis du projet.

6.3 Méthode observationnelle

Il est indispensable de mettre en place un suivi observationnel suivant la méthode observationnelle (Eurocode 7). Ce suivi consiste en :

- Définition d'un programme de mesure et de contrôle ;
- Définition des seuils d'alertes pour chaque phase de la construction ;
- Analyse des résultats des mesures et adaptation du projet et des méthodes de réalisation ;

Annexes

Annexe 1 : Tableau des missions géotechniques normalisées

Annexe 2 : Classification des missions d'ingénierie géotechnique

Annexe 3 : Plan d'implantation des sondages

Annexe 4 : Sondages pénétrométriques

Annexe 5 : Sondage pressiométriques

Annexe 6 : Analyses en laboratoire

Annexe 7 : Calculs Talren

Annexe 1 : Tableau des missions géotechniques normalisées

Enchaînement des missions G1 à G4	**Phases de la maîtrise d'oeuvre**	**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 Étude 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, esquisse, 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 Étude (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 Étude)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision du suivi 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

Annexe 2 : Classification des missions d'ingénierie géotechnique

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'oeuvre 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'oeuvre 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'oeuvre 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 d'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 G 4, distinctes et simultanées)

ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)

Cette mission permet de réduire les risques géotechniques résiduels par la mise en oeuvre 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).

— Élaborer 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).

— Établir 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'EXECUTION (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'oeuvre 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 pour 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).

Annexe 3 : Plan d'implantation des sondages

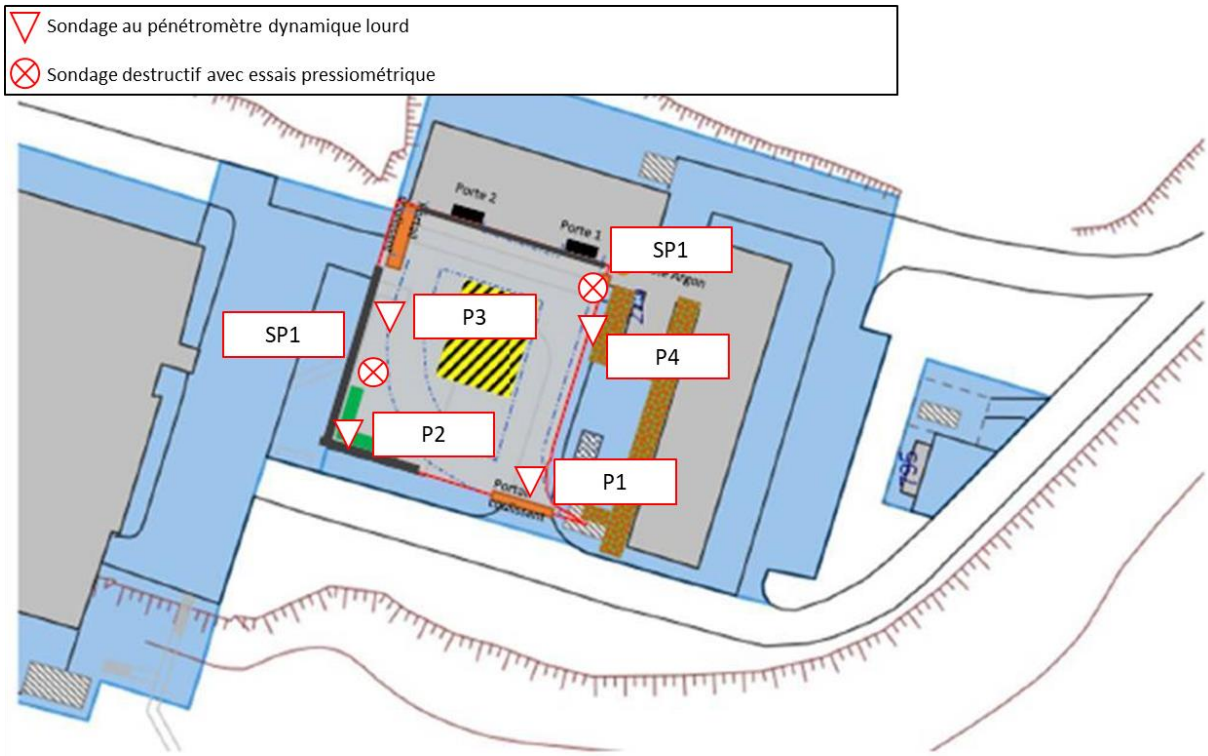


Schéma représentant les zones disposées sur le futur projet

- Zone Casiers OPEN TOP TFA
- Protection Biologique : murs en bétons à construire
- Clôture
- Zone de circulation piétonne
- Zone dédiée aux véhicules en transit / à la manutention

Annexe 4 : Sondages pénétrométriques

B.E.G.T
Etudes Géotechniques

Essai au pénétromètre dynamique à énergie constante

Reconnaissance de sol

NF P 94-115 EN ISO 22476-2

Informations du projet

Site : CEA Bat 225

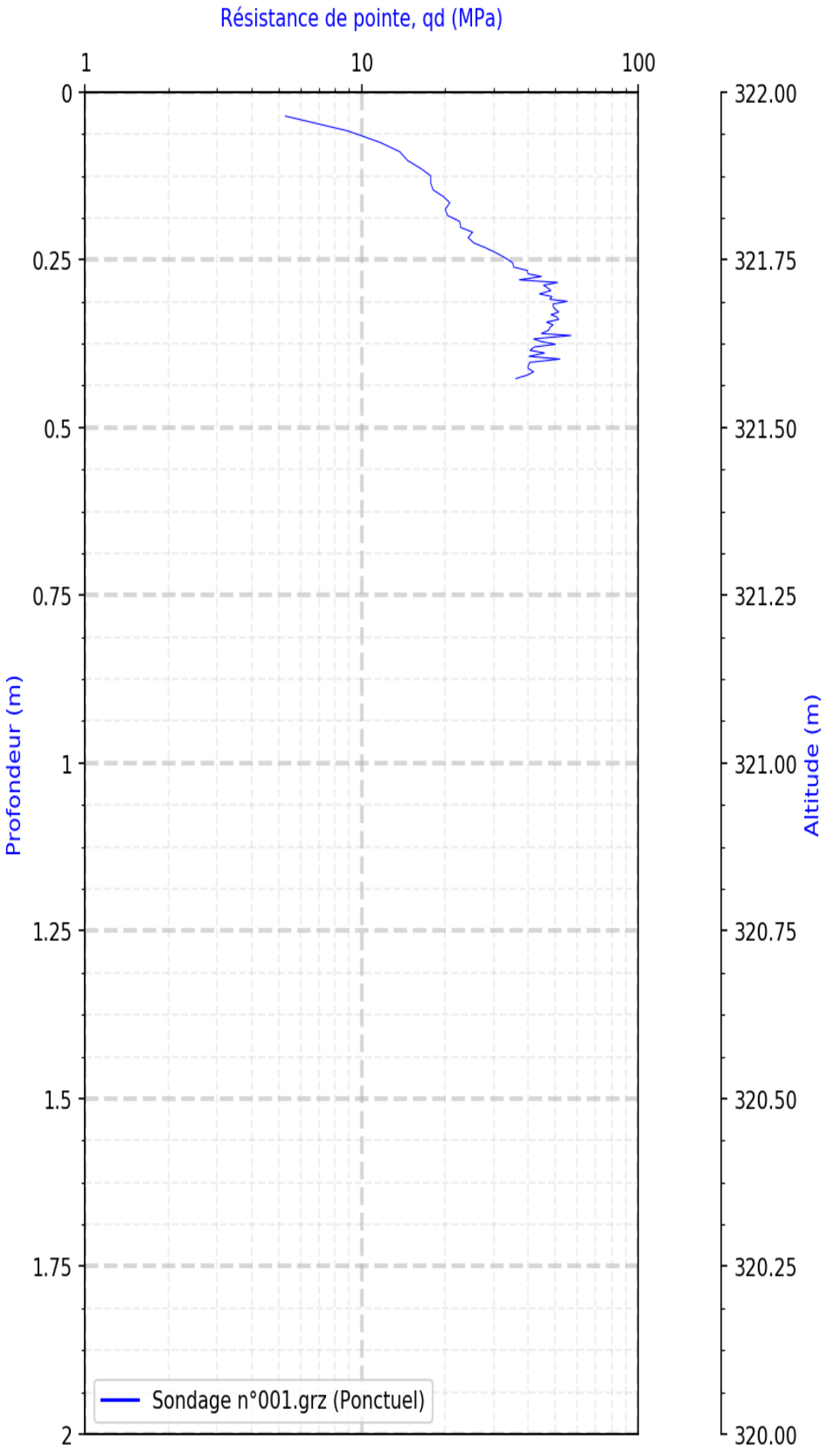
Date : 04/10/2024

Type : Grizzly
Sondage : Sondage n°001.grz
Date : 24/09/2024
Heure : 08:48:00

Opérateur : XR
Organisme : BEGT
Section : 20.0 cm²
Masse : 63.5 kg

Long. : 5.763463 E
Lat. : 43.686072 N
Altitude(m) : 322.0

Commentaires :



B.E.G.T
Etudes Géotechniques

Essai au pénétromètre dynamique à énergie constante

Reconnaissance de sol

NF P 94-115 EN ISO 22476-2

Informations du projet

Site : CEA Bat 225

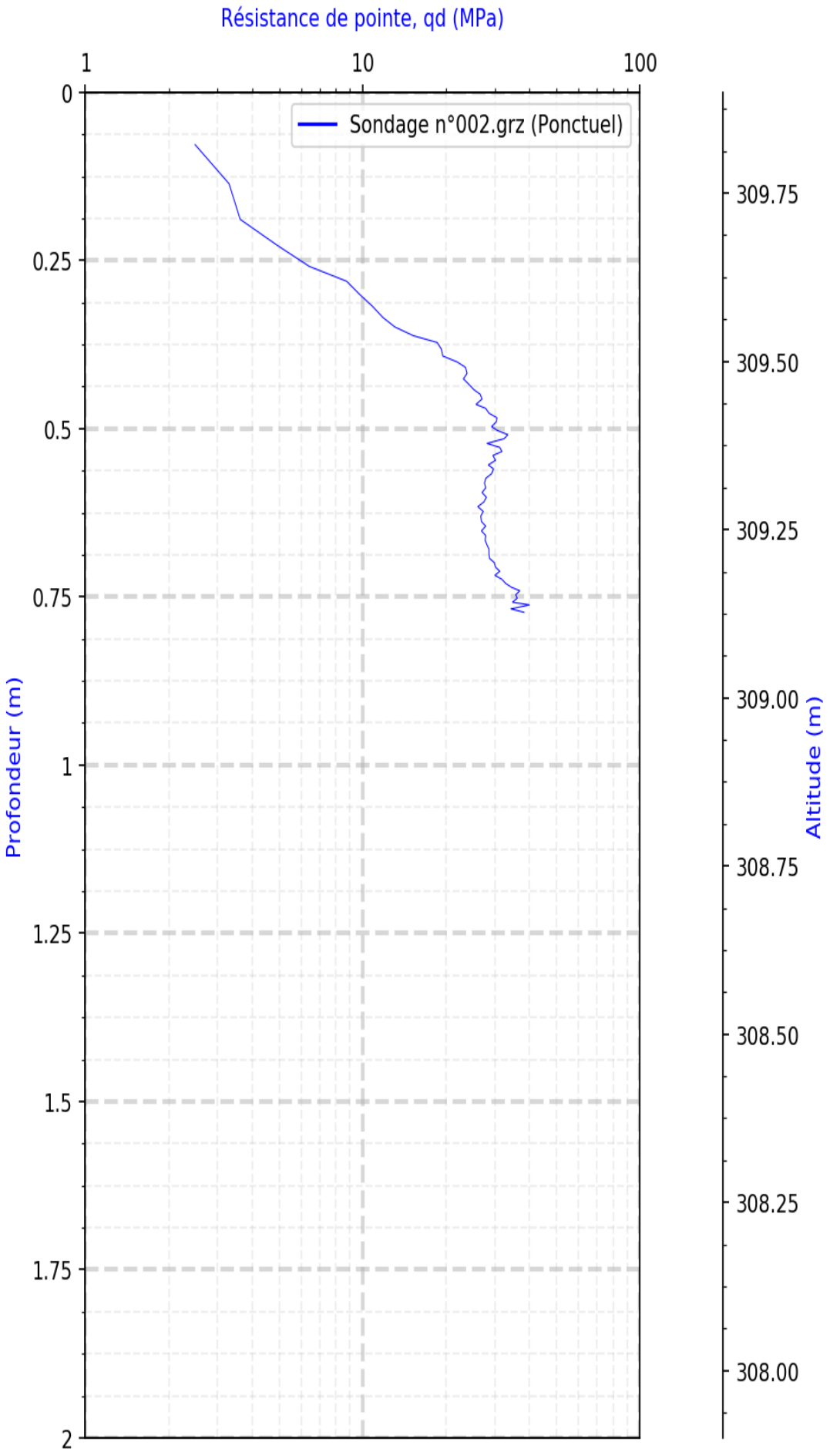
Date : 04/10/2024

Type :	Grizzly
Sondage :	Sondage n°002.grz
Date :	24/09/2024
Heure :	08:53:00

Opérateur :	XR
Organisme :	BEGT
Section :	20.0 cm²
Masse :	63.5 kg

Long. :	5.763603 E
Lat. :	43.686207 N
Altitude(m) :	309.9

Commentaires :



B.E.G.T
Etudes Géotechniques

Essai au pénétromètre dynamique à énergie constante

Reconnaissance de sol

NF P 94-115 EN ISO 22476-2

Informations du projet

Site : CEA Bat 225

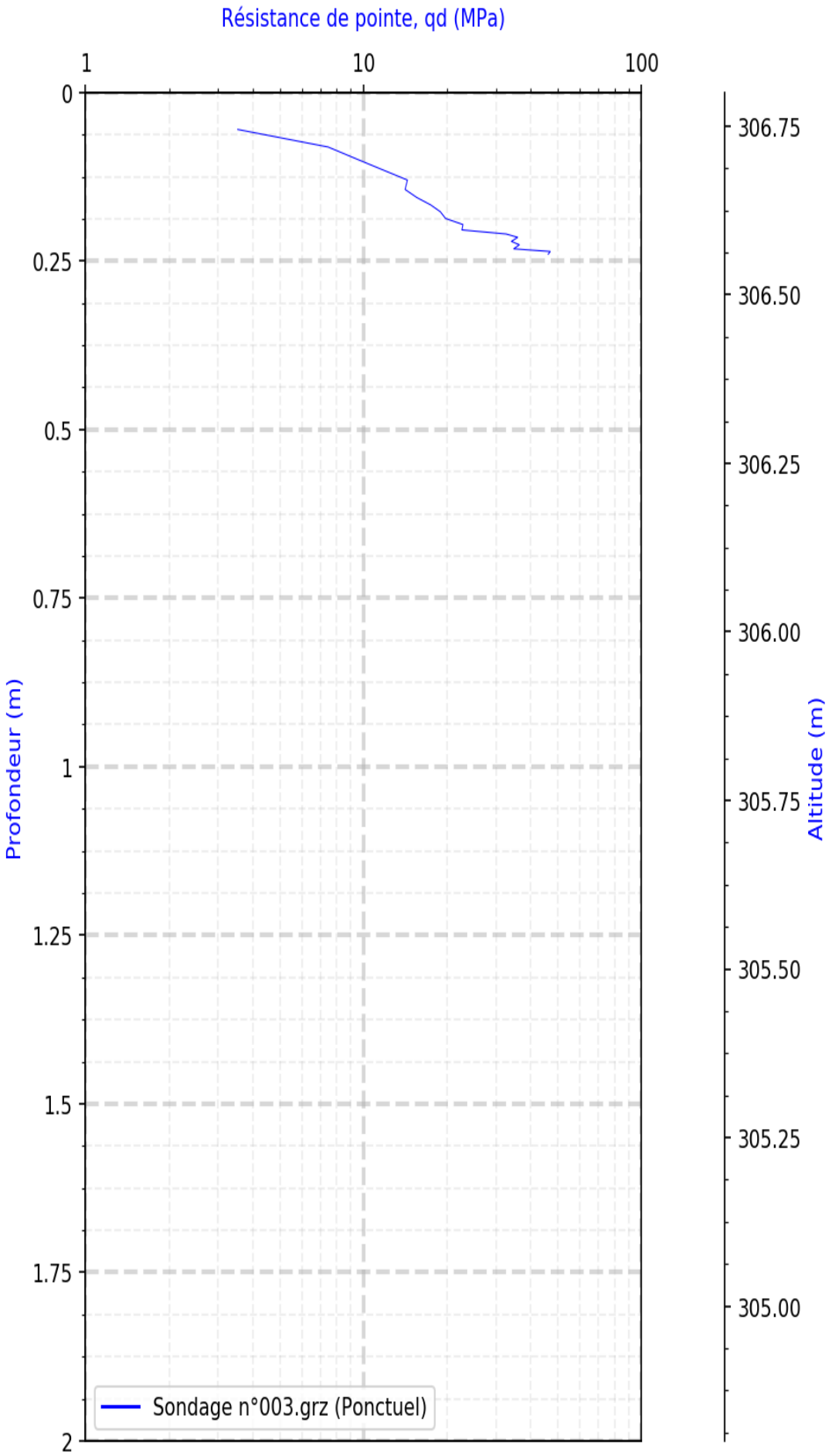
Date : 04/10/2024

Type :	Grizzly
Sondage :	Sondage n°003.grz
Date :	24/09/2024
Heure :	08:58:00

Opérateur :	XR
Organisme :	BEGT
Section :	20.0 cm²
Masse :	63.5 kg

Long. :	5.763828 E
Lat. :	43.686442 N
Altitude(m) :	306.8

Commentaires :



B.E.G.T
Etudes Géotechniques

Essai au pénétromètre dynamique à énergie constante

Reconnaissance de sol

NF P 94-115 EN ISO 22476-2

Informations du projet

Site : CEA Bat 225

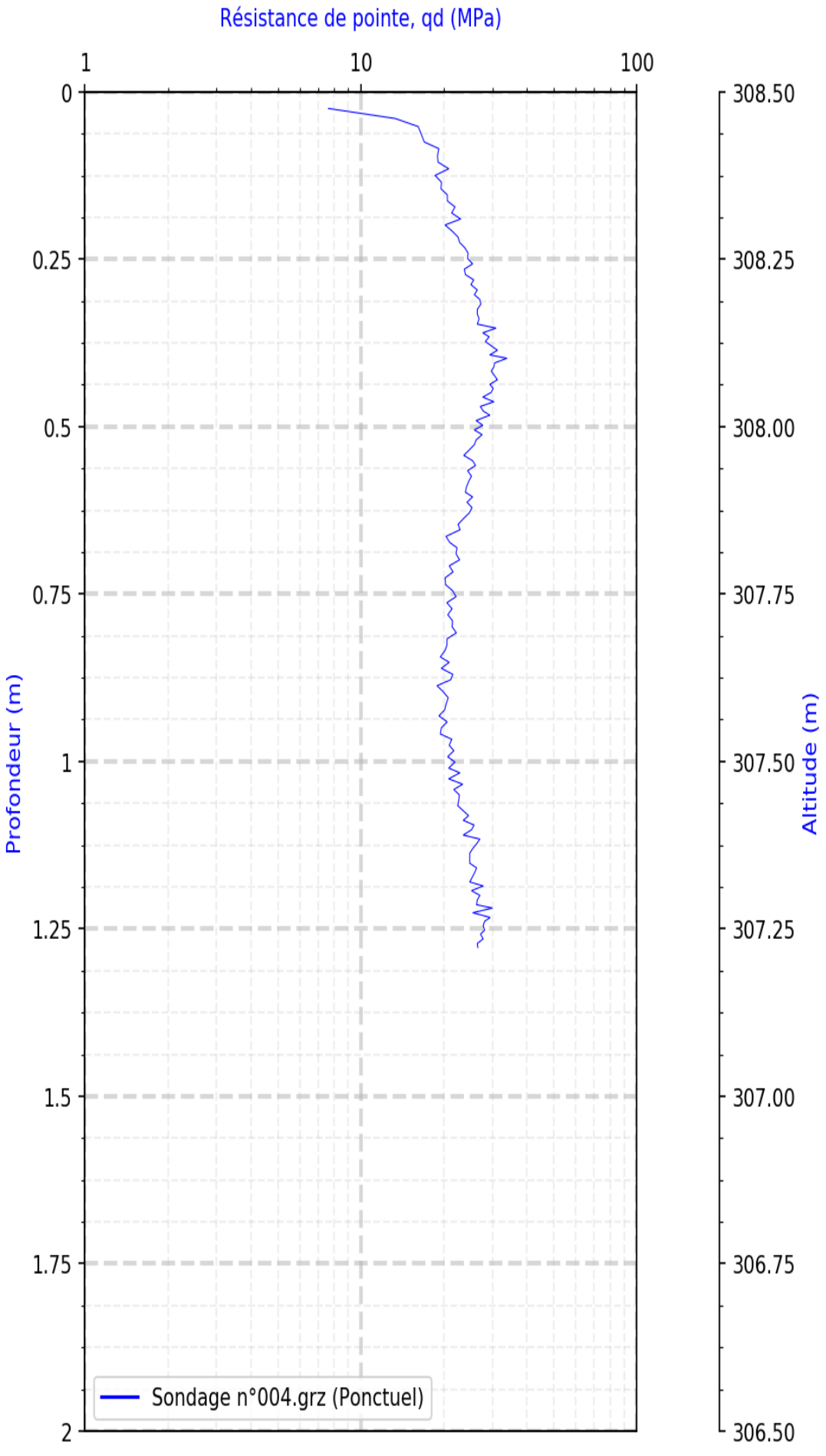
Date : 04/10/2024

Type :	Grizzly
Sondage :	Sondage n°004.grz
Date :	24/09/2024
Heure :	09:03:00

Opérateur :	XR
Organisme :	BEGT
Section :	20.0 cm²
Masse :	63.5 kg

Long. :	5.76386 E
Lat. :	43.686178 N
Altitude(m) :	308.5

Commentaires :



Annexe 5 : Sondage pressiométriques

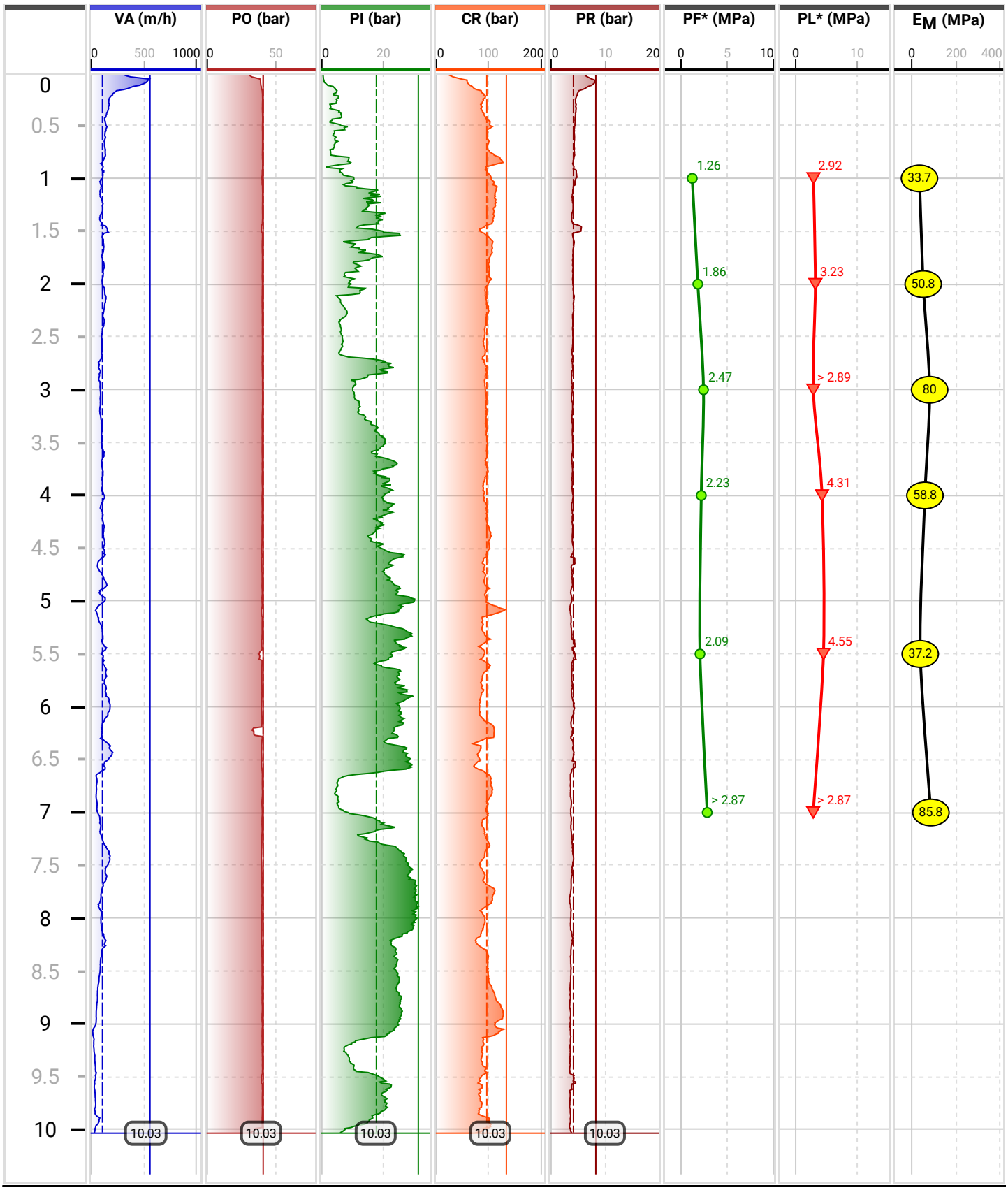
GEO-LOG4

Paramètres de forage

Date de début	Cote début
24/09/2024	0 m
Date de fin	Cote fin
24/09/2024	10.03 m

Machine
4.50
Observation
Opérateur
AF

Dossier
CADARACHE
Forage
SP1



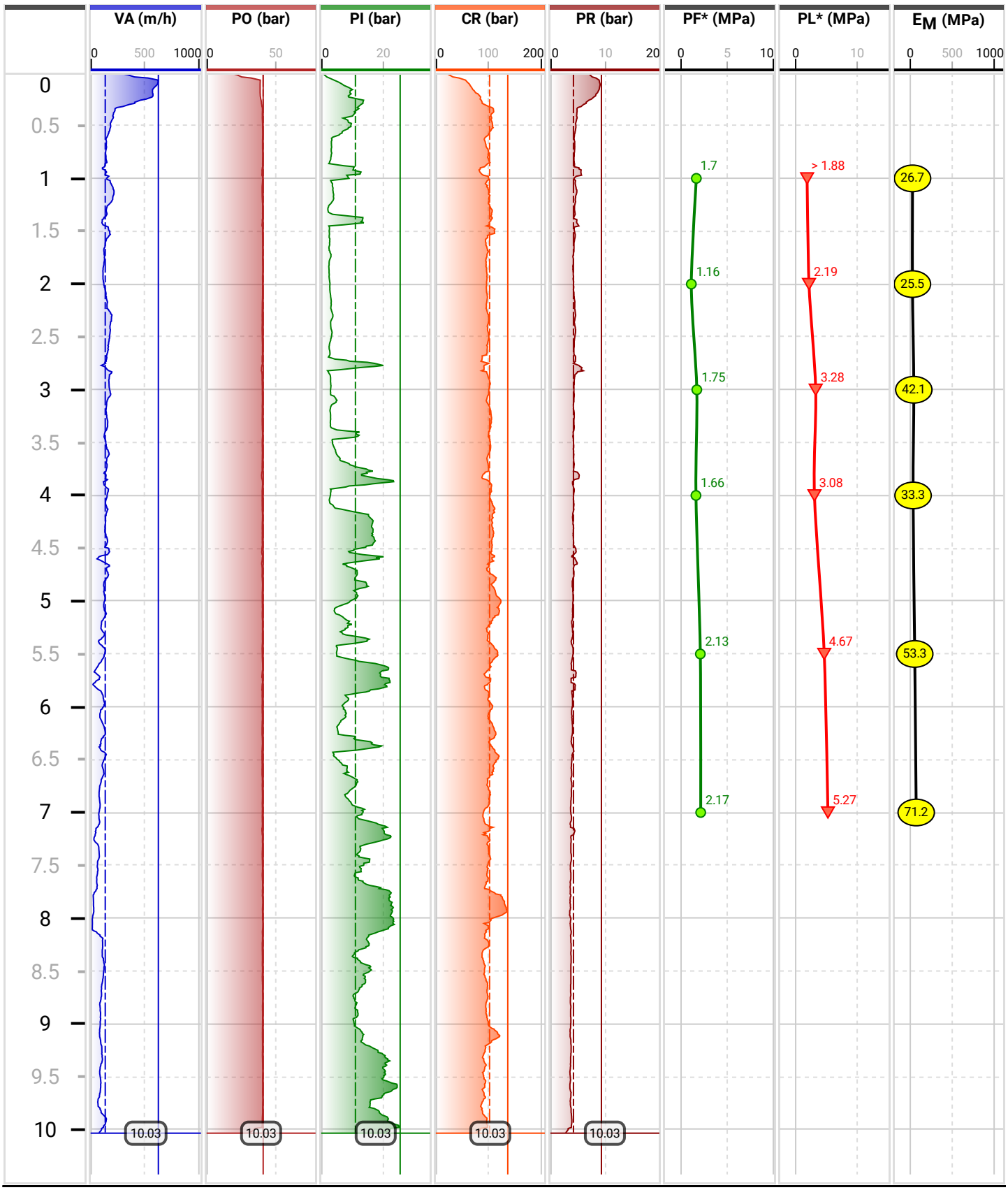
GEO-LOG4

Paramètres de forage

Date de début	Cote début
24/09/2024	0 m
Date de fin	Cote fin
24/09/2024	10.03 m

Machine
4.50
Observation
Opérateur
AF

Dossier
CADARACHE
Forage
SP2



Annexe 6 : Analyses en laboratoire

CEA CADARACHE	réalisé le : 24/09/2024

Mode de prélèvement	Pelle mécanique	**Réalisation de l'essai**	VT SOL INGENIERIE
Conditions de conservation	Sachet hermétique	**Numéro de dossier**	24-0008
Température d'étuvage	105°	**Date de l'essai**	08/10/2024

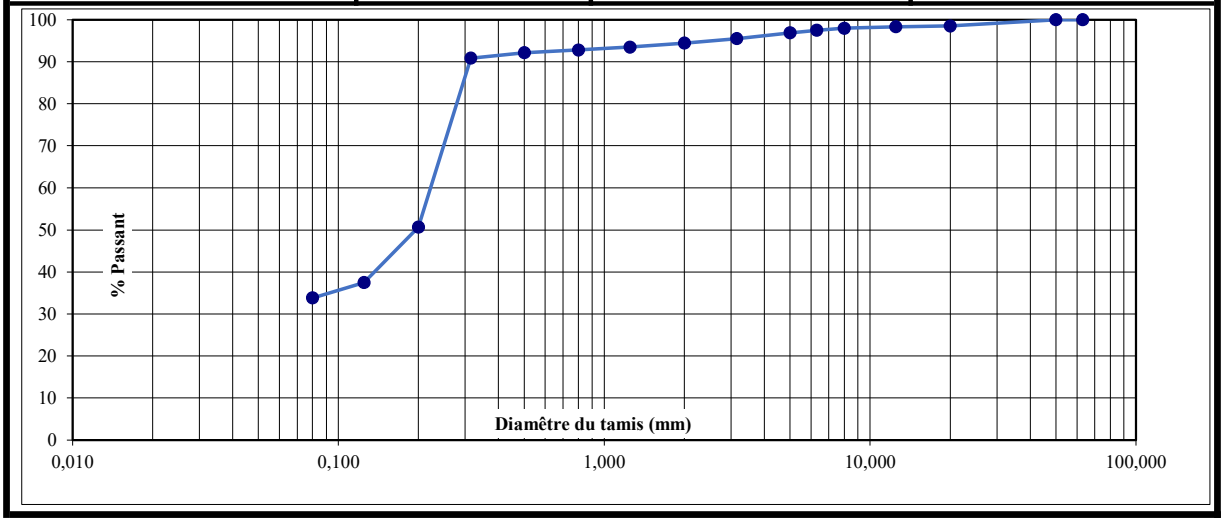
Sondage	T1	**Profondeur**	1,00m

Norme ISO 17892-1	**Teneur en eau (%W) :**	5,59%

Norme NF P 94-068	**Proportion de la fraction 0/5mm (C) :**	96,94%
	Valeur de bleu rapportée à la fraction 0/5mm:	1,14
	Indice de plasticité* :	

**Valeur privilégié pour la détermination de la classe de sol.*

Norme NF P 94-056						
Tamis (mm)	**63**	**50**	**20**	**12,5**	**8**	**6,3**
Passant (%)	*100,00*	*100,00*	*98,51*	*98,33*	*97,97*	*97,52*
Tamis (mm)	**5**	**3,15**	**2**	**1,25**	**0,8**	**0,5**
Passant (%)	*96,94*	*95,49*	*94,42*	*93,50*	*92,85*	*92,19*
Tamis (mm)	**0,315**	**0,2**	**0,125**	**0,08**	**0,063**	Dmax :
Passant (%)	*90,85*	*50,63*	*37,43*	*33,82*	*31,09*	<50mm
Facteur d'uniformité		Néant	**Facteur de courbure**		Néant	



Nature du sol :	Sable limoneux orangé	**Classe de sol :**	B5

Observations	Teneur en eau :	-
	Valeur au bleu :	-
	Granulométrie :	-

Annexe 7 : Calculs Talren

Données du projet

Type d'application : Calcul de stabilité de murs de soutènement

Numéro d'affaire : D240400345

Titre du calcul : Mur de protection biologique

Lieu : CEA Cadarache

Commentaires : N/A

Système d'unités : kN, kPa, kN/m³

γw : 10.0

Points

	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y	X	Y	X	Y
1	0,000	296,000	2	20,000	296,000	3	0,000	295,500	4	20,000	295,500				

Segments

	Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2
1	1	2	2	4	3															

Couches de sol

	Nom	Couleur	γ	φ	c	Δc	qs,clou	pmax	ks×B	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité spécifiques
1	Couche 1		20,0	28,00	0,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
2	Couche 2		20,0	30,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non

Couches de sol (cont.)

	Nom	Couleur	Γγ	Γc	Γtan(φ)	Type de cohésion	Courbe	Écoulement dans le sol	kh	kv
1	Couche 1		-	-	-	Effective	Linéaire	Non	-	-
2	Couche 2		-	-	-	Effective	Linéaire	Non	-	-

Mur

Nom : Mur 1

Type de mur : Mur en T avec ou sans bêche (béton armé)

Poids propre du mur : 27.0

Abscisse du point de référence A du mur : 9.5

Ordonnée du point de référence A du mur : 295.3

Définition de la géométrie

Nom	Valeur	Unité	Description
Base	-		
bm	1,500	m	Largeur totale de la base
Voile	-		
hm	3,000	m	Hauteur du voile
β	0,000	°	Fruit amont du voile
βa	0,000	°	Fruit aval du voile
Semelle	-		
hs	0,300	m	Hauteur de la semelle
Talon	-		
bt	0,250	m	Largeur du talon
Patin	-		
bp	0,250	m	Largeur du patin
Bêche	-		
hb	0,000	m	Hauteur de la bêche (=0 pour désactiver)
bb,inf	0,000	m	Largeur inférieure de la bêche
bb,sup	0,000	m	Largeur supérieure de la bêche
db	0,000	m	Position du centre de la bêche par rapport au bord du talon
Réhausse	-		
hr	0,000	m	Hauteur de la réhausse (=0 pour désactiver)

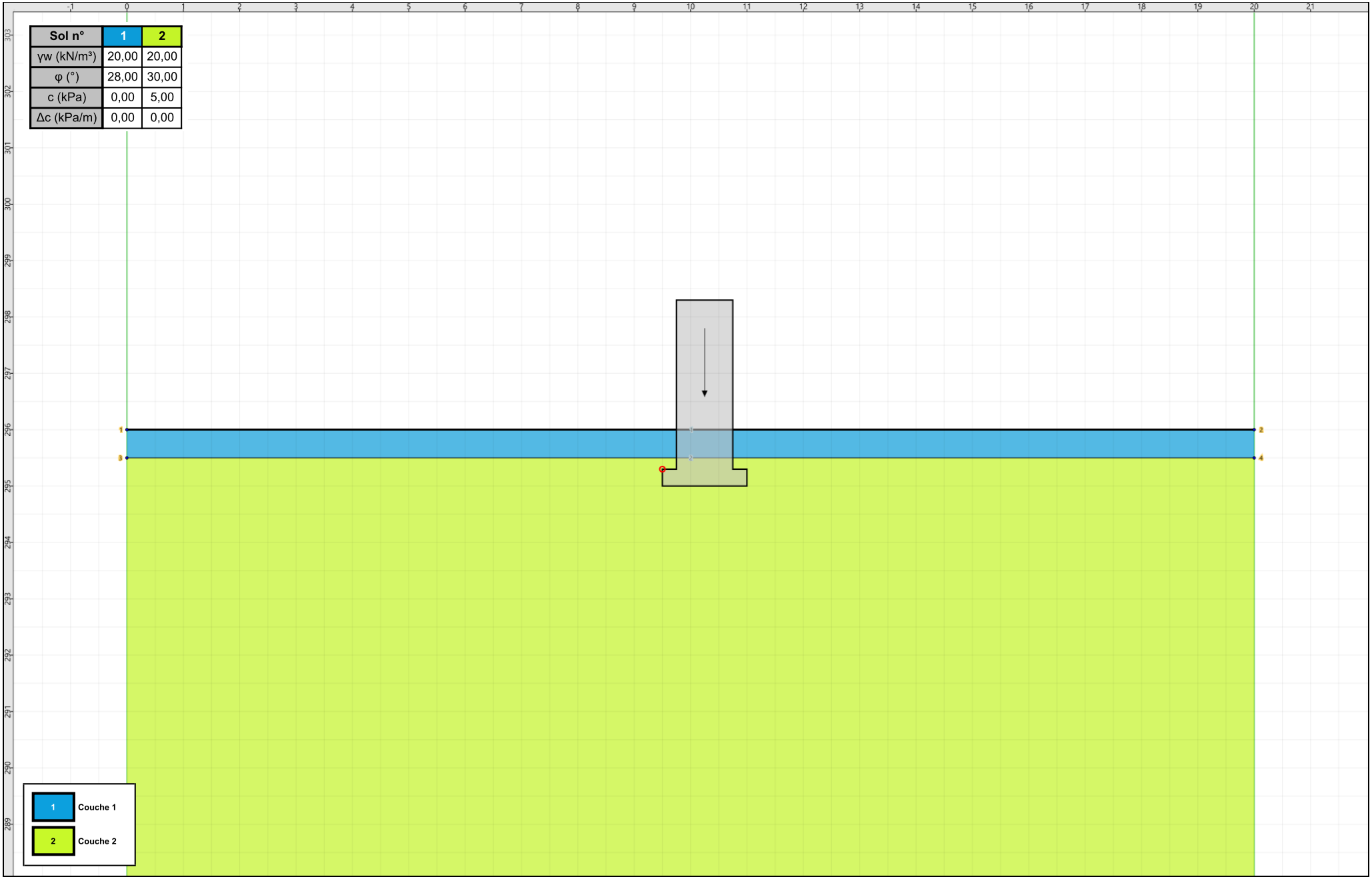
Poids du mur : 93.15000000000737

Section du mur : 3.450000000000273

Centre de gravité : 10.25 / 296.5847826086956

Échelle 1:90

Sol n°	1	2
γw (kN/m³)	20,00	20,00
φ (°)	28,00	30,00
c (kPa)	0,00	5,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00



Données de la phase 1

Nom de la phase : Phase 1

Segments de la phase

	Point 1	Point 2	Sol sous-jacent		Point 1	Point 2	Sol sous-jacent		Point 1	Point 2	Sol sous-jacent
1	1	2	Couche 1	2	4	3	Couche 2				

Liste des éléments activés

Murs : Mur 1

Polygones : Polygone entre les points 3,4,xMax,xMin
Polygone entre les points 1,2,4,3

Conditions hydrauliques : Néant

Données de la situation 1

Nom de la phase : Phase 1

Nom de la situation : Situation 1

Option de calcul : Calcul de stabilité externe locale

Nature de la situation : Durable ou transitoire

Mur sélectionné : Mur 1

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : NF P 94-281 - Situation durable - Ouvrage courant - Stabilité externe locale

Détermination de ΓRd : Automatique

ΓRd : 1.1

Gestion de XF : Calcul avec valeur imposée

XF imposé : 1,0000

Poussée

Mode de définition : Calcul direct

Neutraliser la cohésion des couches de sol pour le calcul du diagramme de poussée : Oui

Type de plan fictif : Plan fictif de calcul vertical

Rugosité δS/S/φ (–) : 0.0

Rugosité δS/M/φ (–) : 0.0

Pas maximal Δl (m) : 1.0

Butée

Autoriser la prise en compte de la butée : Non

Méthode de dimensionnement : Méthode pressiométrique

Détermination de la base : Base déterminée automatiquement

Catégorie de sol : Argiles et limons

Type de comportement : Comportement frottant

Type d'interface : Interface frottante

Cohésion à l'interface : 0.0

Pente du talus : 0.0

Distance du talus : 0.0

Poids des terres à la base du mur (après travaux) : 0.0

Définition des sols sous la base du mur

Couche	ysup [m]	yinf [m]	pl* [kPa]
Couche 1	296,000	295,500	300,000
Couche 2	295,500	195,500	1800,000

Source de combinaison(s) : Combinaisons générées conformément à la norme NF P 94-281

Combinaison		Type	Ident.	$\gamma_{W,m}$	Poids mur	$\gamma_{W,s}$	Poids sol amont	$\gamma_{W,sa}$	Poids sol aval	$\gamma_{P,a}$	Poussée	$\gamma_{P,b}$	Butée	$\gamma_{P,w}$	Pression eau amont	$\gamma_{P,wa}$	Pression eau aval	$\gamma_{P,w,base}$	Pression eau sous la base
ELU	Fondamental	Gmax	101	1,35	W_m +	1,35	W_s +	1,35	W_{sa} +	1,35	P_a +	1,00	P_b +	1,20	P_w +	1,00	P_{wa} +	1,20	$P_{w,base}$
ELU	Fondamental	Gmin	201	1,00	W_m +	1,00	W_s +	1,00	W_{sa} +	1,00	P_a +	1,00	P_b +	1,00	P_w +	1,00	P_{wa} +	1,00	$P_{w,base}$
ELS	Quasi-permanent		901	1,00	W_m +	1,00	W_s +	1,00	W_{sa} +	1,00	P_a +	1,00	P_b +	1,00	P_w +	1,00	P_{wa} +	1,00	$P_{w,base}$

(Charges permanentes)

Sol, eau, mur

Charges de nature permanente (1/2)

Coefficient	Caractère	γ...,G,sup	γ...,G,inf	Action sur laquelle la pondération est appliquée
γW,m	Favorable/défavorable	1,35	1,00	Wm Poids du mur

Données de la situation 1

Charges de nature permanente (2/2)

Coefficient	Caractère	γ...,G,sup	γ...,G,inf	Action sur laquelle la pondération est appliquée
γW,s	Favorable/défavorable	1,35	1,00	Ws Poids des terres (non déjaugées et déjaugées) entre le mur et le parement fictif amont
γW,sa	Favorable/défavorable	1,35	1,00	Wsa Poids des terres (non déjaugées et déjaugées) entre le mur et le parement fictif aval
γP,w	Défavorable	1,20	1,00	Pw Pression de l'eau sur le parement fictif amont
γP,wa	Favorable	1,00	1,00	Pwa Pression de l'eau sur le parement fictif aval
γP,a	Défavorable	1,35	1,00	Pa Poussée des terres sur le parement fictif amont (avec les actions à l'arrière)
γP,b	Favorable	1,00	1,00	Pb Butée des terres sur le parement fictif aval (avec les actions à l'aval)
γP,w,base	Défavorable	1,20	1,00	Pw,base Pression de l'eau sous la base du mur

Actions extérieures

Sécurité

Source de coefficients : Coefficients choisis conformément à la norme NF P 94-281

Mur porteur ou sensible aux déplacements : Non

γR,d,v : 1.0

γR,v,ELU,Fond : 1.4

γR,v,ELU,Acc : 1.2

γR,v,ELU,Sism : 1.2

γR,v,ELS,QP : 2.3

γR,v,ELS,Carac : 2.3

γR,v,ELS,Freq : 2.3

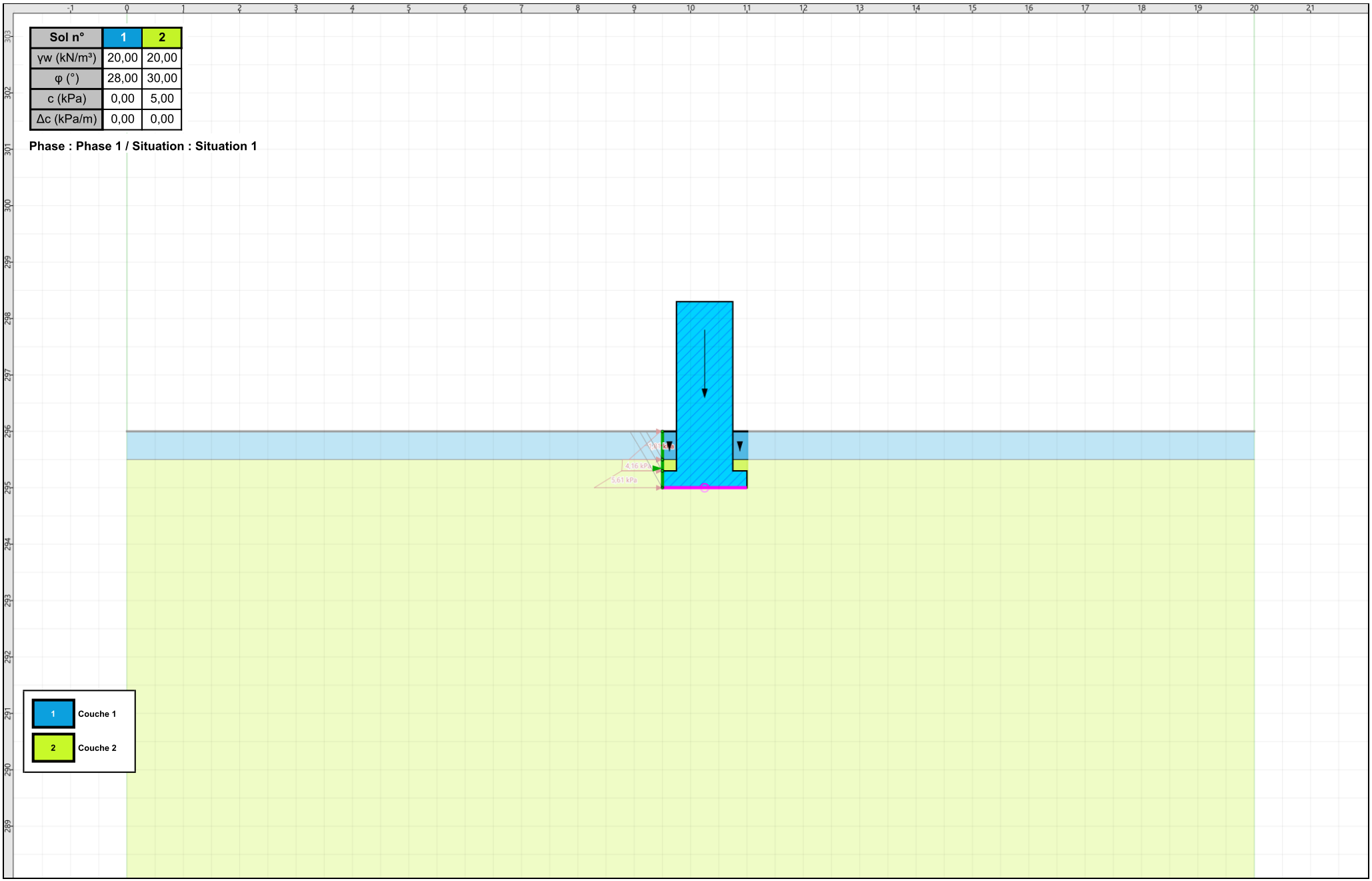
γR,h : 1.1

γR,d,h : 0.9

Échelle 1:90

Sol n°	1	2
γw (kN/m³)	20,00	20,00
φ (°)	28,00	30,00
c (kPa)	0,00	5,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00

Phase : Phase 1 / Situation : Situation 1



Résultats module Mur

Nom de la phase : Phase 1

Nom de la situation : Situation 1

Actions non pondérées

Type	Action	Nature	Caract.	Hk [kN/m]	Vk [kN/m]	Mk [kN.m/m]	x [m]	y [m]	Description
Mur	Wm	Perm.	Fav./déf.	0,0	93,2	-	10,250	296,585	Poids du mur
Sol	Ws	Perm.	Fav./déf.	0,0	3,5	-	9,625	295,650	Poids des terres (non déjaugées et déjaugées) entre le mur et le parement fictif amont
Sol	Wsa	Perm.	Fav./déf.	0,0	3,5	-	10,875	295,650	Poids des terres (non déjaugées et déjaugées) entre le mur et le parement fictif aval
Eau	Pw	Perm.	Déf.	0,0	0,0	-	0,000	0,000	Pression de l'eau sur le parement fictif amont
Eau	Pwa	Perm.	Fav.	0,0	0,0	-	0,000	0,000	Pression de l'eau sur le parement fictif aval
Sol	Pa	Perm.	Déf.	3,4	0,0	-	9,500	295,343	Poussée des terres sur le parement fictif amont (avec les actions à l'arrière)
Sol	Pb	Perm.	Fav.	0,0	0,0	-	0,000	0,000	Butée des terres sur le parement fictif aval (avec les actions à l'aval)
Eau	Pw,base	Perm.	Déf.	0,0	0,0	-	0,000	0,000	Pression de l'eau sous la fondation

Poussée du sol amont

Diagramme de type poussée

N° tronçon	X [m]	Y [m]	P [kPa]	Anglehoriz [°]
1	9,500	296,000	0,2	180,0
1	9,500	295,500	3,4	180,0
2	9,500	295,500	4,1	180,0
2	9,500	295,300	4,2	180,0
3	9,500	295,300	4,2	180,0
3	9,500	295,000	7,0	180,0

Résultante : 3.4

Angle par rapport à l'horizontale : -0.0

Point d'application : 9.5 / 295.343

Taux de mobilisation

Combinaison	État limite	Situation	Portance	Renversement	Glissement
✓ 101	ELU	Fondamental	✓ 8,69 % (OK)	✓ 1,67 % (OK)	✓ 5,85 % (OK)
✓ 201	ELU	Fondamental	✓ 6,44 % (OK)	✓ 1,67 % (OK)	✓ 5,85 % (OK)
✓ 901	ELS	Quasi-permanent	✓ 10,58 % (OK)	✓ 3,12 % (OK)	-

Combinaison 101 (ELU)

Torseur combiné résultant excentré (valeur de calcul)

	Valeur	Unité	Description
Vd,e	135,2	kN/m	Effort vertical combiné
Hd,e	4,6	kN/m	Effort horizontal combiné
Md,e	0,0	kN.m/m	Moment combiné
xe	10,262	m	Abscisse du point d'application
ye	295,000	m	Ordonnée du point d'application

Torseur combiné résultant centré (valeur de calcul)

	Valeur	Unité	Description
Vd	135,2	kN/m	Effort vertical combiné au centre de la base du mur
Hd	4,6	kN/m	Effort horizontal combiné au centre de la base du mur
Md	1,6	kN.m/m	Moment combiné au centre de la base du mur
x	10,250	m	Abscisse du point d'application
y	295,000	m	Ordonnée du point d'application

Vérification de la portance

	Valeur	Unité	Description
Vd	135,2	kN/m	Effort vertical appliqué (pondéré)
R0	0,0	kN/m	Poids des terres après travaux (résultante)
Rv,d	1555,6	kN/m	Résistance nette du terrain sous le mur (valeur de calcul)
Uf	8,69	%	Taux de mobilisation
	✓		Vd - R0 ≤ Rv,d

Résultats module Mur

Poids des terres après travaux (résultante)

	Valeur	Unité	Description
A	1,500	m²/m	Surface de la base du mur
q0	0,0	kN/m²	Poids des terres au-dessus de la base (après travaux)
R0	0,0	kN/m	Poids des terres après travaux (résultante)

Résistance nette pondérée (résultante)

	Valeur	Unité	Description
B	1,500	m	Largeur de la base du mur
D	1,000	m	Encastrement
Hr	2,250	m	Hauteur d'intégration
ple*	1800,0	kPa	Pression limite nette équivalente
De	0,583	m	Profondeur d'encastrement équivalent
kp	0,88	-	Facteur de portance pressiométrique (= kp,1)
iδ	0,93	-	Coefficient réducteur lié à l'inclinaison du chargement
iβ	1,00	-	Coefficient réducteur lié à la proximité d'un talus
bq	1,00	-	Coefficient réducteur lié à la base inclinée du mur
qnet	1474,9	kN/m²	Contrainte de rupture du terrain
eB	0,012	m	Excentricité
A'	1,477	m²/m	Surface effective de la base du mur
γR,d,v	1,00	-	Coefficient de modèle
Rv,k	2177,8	kN/m	Résistance nette du terrain sous le mur (valeur caractéristique)
γR,v	1,40	-	Facteur partiel pour le calcul de la portance à l'ELU
Rv,d	1555,6	kN/m	Résistance nette du terrain sous le mur (valeur de calcul)

Vérification de non-renversement par limitation de l'excentrement

	Valeur	Unité	Description
B	1,500	m	Largeur de la base du mur
eB	0,012	m	Excentricité
elim	0,700	m	Excentricité limite (= 7 B / 15)
Uf	1,67	%	Taux de mobilisation
	✔		eB ≤ elim

Glissement sur la base du mur

	Valeur	Unité	Description
Hd	4,6	kN/m	Valeur de calcul de la charge horizontale (parallèle à la base de la fondation)
Vd	135,2	kN/m	Valeur de calcul de la charge verticale concommitante à Hd
δak	0,52	°	Valeur caractéristique de l'angle de frottement à l'interface (= δa,d)
γR,h	1,10	-	Facteur partiel pour la résistance au glissement
γR,d,h	0,90	-	Coefficient de modèle lié à l'estimation de la résistance ultime au glissement
Rh,d	78,8	kN/m	Valeur de calcul de la résistance ultime au glissement
Uf	5,85	%	Taux de mobilisation
	✔		Hd ≤ Rh,d

Combinaison 201 (ELU)

Torseur combiné résultant excentré (valeur de calcul)

	Valeur	Unité	Description
Vd,e	100,1	kN/m	Effort vertical combiné
Hd,e	3,4	kN/m	Effort horizontal combiné
Md,e	0,0	kN.m/m	Moment combiné
xe	10,262	m	Abscisse du point d'application
ye	295,000	m	Ordonnée du point d'application

Torseur combiné résultant centré (valeur de calcul)

	Valeur	Unité	Description
Vd	100,1	kN/m	Effort vertical combiné au centre de la base du mur
Hd	3,4	kN/m	Effort horizontal combiné au centre de la base du mur
Md	1,2	kN.m/m	Moment combiné au centre de la base du mur
x	10,250	m	Abscisse du point d'application
y	295,000	m	Ordonnée du point d'application

Résultats module Mur

Vérification de la portance

	Valeur	Unité	Description
Vd	100,1	kN/m	Effort vertical appliqué (pondéré)
R0	0,0	kN/m	Poids des terres après travaux (résultante)
Rv,d	1555,6	kN/m	Résistance nette du terrain sous le mur (valeur de calcul)
Uf	6,44	%	Taux de mobilisation
	✔		Vd - R0 ≤ Rv,d

Poids des terres après travaux (résultante)

	Valeur	Unité	Description
A	1,500	m²/m	Surface de la base du mur
q0	0,0	kN/m²	Poids des terres au-dessus de la base (après travaux)
R0	0,0	kN/m	Poids des terres après travaux (résultante)

Résistance nette pondérée (résultante)

	Valeur	Unité	Description
B	1,500	m	Largeur de la base du mur
D	1,000	m	Encastrement
Hr	2,250	m	Hauteur d'intégration
ple*	1800,0	kPa	Pression limite nette équivalente
De	0,583	m	Profondeur d'encastrement équivalent
kp	0,88	-	Facteur de portance pressiométrique (= kp,1)
iδ	0,93	-	Coefficient réducteur lié à l'inclinaison du chargement
iβ	1,00	-	Coefficient réducteur lié à la proximité d'un talus
bq	1,00	-	Coefficient réducteur lié à la base inclinée du mur
qnet	1474,9	kN/m²	Contrainte de rupture du terrain
eB	0,012	m	Excentricité
A'	1,477	m²/m	Surface effective de la base du mur
γR,d,v	1,00	-	Coefficient de modèle
Rv,k	2177,8	kN/m	Résistance nette du terrain sous le mur (valeur caractéristique)
γR,v	1,40	-	Facteur partiel pour le calcul de la portance à l'ELU
Rv,d	1555,6	kN/m	Résistance nette du terrain sous le mur (valeur de calcul)

Vérification de non-renversement par limitation de l'excentrement

	Valeur	Unité	Description
B	1,500	m	Largeur de la base du mur
eB	0,012	m	Excentricité
elim	0,700	m	Excentricité limite (= 7 B / 15)
Uf	1,67	%	Taux de mobilisation
	✔		eB ≤ elim

Glissement sur la base du mur

	Valeur	Unité	Description
Hd	3,4	kN/m	Valeur de calcul de la charge horizontale (parallèle à la base de la fondation)
Vd	100,1	kN/m	Valeur de calcul de la charge verticale concommitante à Hd
δak	0,52	°	Valeur caractéristique de l'angle de frottement à l'interface (= δa,d)
γR,h	1,10	-	Facteur partiel pour la résistance au glissement
γR,d,h	0,90	-	Coefficient de modèle lié à l'estimation de la résistance ultime au glissement
Rh,d	58,4	kN/m	Valeur de calcul de la résistance ultime au glissement
Uf	5,85	%	Taux de mobilisation
	✔		Hd ≤ Rh,d

Combinaison 901 (ELS)

Torseur combiné résultant excentré (valeur de calcul)

	Valeur	Unité	Description
Vd,e	100,1	kN/m	Effort vertical combiné
Hd,e	3,4	kN/m	Effort horizontal combiné
Md,e	0,0	kN.m/m	Moment combiné
xe	10,262	m	Abscisse du point d'application
ye	295,000	m	Ordonnée du point d'application

Résultats module Mur

Torseur combiné résultant centré (valeur de calcul)

	Valeur	Unité	Description
Vd	100,1	kN/m	Effort vertical combiné au centre de la base du mur
Hd	3,4	kN/m	Effort horizontal combiné au centre de la base du mur
Md	1,2	kN.m/m	Moment combiné au centre de la base du mur
x	10,250	m	Abscisse du point d'application
y	295,000	m	Ordonnée du point d'application

Vérification de la portance

	Valeur	Unité	Description
Vd	100,1	kN/m	Effort vertical appliqué (pondéré)
R0	0,0	kN/m	Poids des terres après travaux (résultante)
Rv,d	946,9	kN/m	Résistance nette du terrain sous le mur (valeur de calcul)
Uf	10,58	%	Taux de mobilisation
	✔		Vd - R0 ≤ Rv,d

Poids des terres après travaux (résultante)

	Valeur	Unité	Description
A	1,500	m²/m	Surface de la base du mur
q0	0,0	kN/m²	Poids des terres au-dessus de la base (après travaux)
R0	0,0	kN/m	Poids des terres après travaux (résultante)

Résistance nette pondérée (résultante)

	Valeur	Unité	Description
B	1,500	m	Largeur de la base du mur
D	1,000	m	Encastrement
Hr	2,250	m	Hauteur d'intégration
ple*	1800,0	kPa	Pression limite nette équivalente
De	0,583	m	Profondeur d'encastrement équivalent
kp	0,88	-	Facteur de portance pressiométrique (= kp,1)
iδ	0,93	-	Coefficient réducteur lié à l'inclinaison du chargement
iβ	1,00	-	Coefficient réducteur lié à la proximité d'un talus
bq	1,00	-	Coefficient réducteur lié à la base inclinée du mur
qnet	1474,9	kN/m²	Contrainte de rupture du terrain
eB	0,012	m	Excentricité
A'	1,477	m²/m	Surface effective de la base du mur
γR,d,v	1,00	-	Coefficient de modèle
Rv,k	2177,8	kN/m	Résistance nette du terrain sous le mur (valeur caractéristique)
γR,v	2,30	-	Facteur partiel pour le calcul de la portance à l'ELS
Rv,d	946,9	kN/m	Résistance nette du terrain sous le mur (valeur de calcul)

Vérification de non-renversement par limitation de l'excentrement

	Valeur	Unité	Description
B	1,500	m	Largeur de la base du mur
eB	0,012	m	Excentricité
elim	0,375	m	Excentricité limite (= B / 4)
Uf	3,12	%	Taux de mobilisation
	✔		eB ≤ elim