
Campagne géotechnique

*Etude au pénétromètre
Pour l'étude des fondations d'un ouvrage.*

Dossier n° 24-4671

Nouvelle version - 01/2022

Intervenants :

Le client |
|

Le maître d'œuvre |
|

Le bureau d'études |
|

L'adresse du projet |
|

Le mardi 2 juillet 2024

Table des matières :

1. Introduction	4
1.1. Notre mission	4
1.2. Normalisation	4
2. Contexte géographique	5
3. Contexte géologique	6
3.1. Carte géologique de base	6
3.2. Cartographie des aléas	7
4. Les essais au pénétromètre statique	8
4.1. Méthodologie de l'essai	8
4.2. Caractéristiques principales des essais.	9
4.3. Stratigraphie	10
5. Résultats	12
5.1. Justification du refus	12
5.2. Synthèse sur les résultats	12
5.3. Résultats brut des essais.	14
5.4. Conclusions générales	21
6. Interprétations des résultats	22
6.1. Evaluation de la capacité portante d'une semelle.	22
6.2. Evaluation des tassements pour une semelle.	25
6.3. Evaluation des tassements pour un radier	31
6.4. L'étude d'un radier par la raideur du sol	32
7. Annexes	33
7.1. Plan d'implantation	33
7.2. Méthodologie de calcul pour la capacité portante	34
7.3. Tassement selon SCHERTMANN	36
7.4. Tassement selon TERZAGHI	37
7.5. Paramètres capacité portante selon la méthode C-j	37
7.6. Diagrammes	41

1. Introduction

1.1. *Notre mission*

Nous avons été mandatés par _____ pour la réalisation d'une étude géotechnique dans le but est de déterminer le type de fondation pour le futur ouvrage. Cette étude consiste à réaliser des essais in situ au pénétromètre statique.

L'intervention a été réalisée le 24/06/24 avec succès.

Le rapport contient les résultats des essais avec une analyse complète géotechnique permettant au bureau d'études de réaliser le dimensionnement des fondations.

1.2. *Normalisation*

La procédure d'essais respecte la norme :

NBN EN ISO 22476-12 : 2009 - Reconnaissance et essais géotechniques - Essais en place - Partie 12 : Essai de pénétration statique au cône à pointe mécanique.

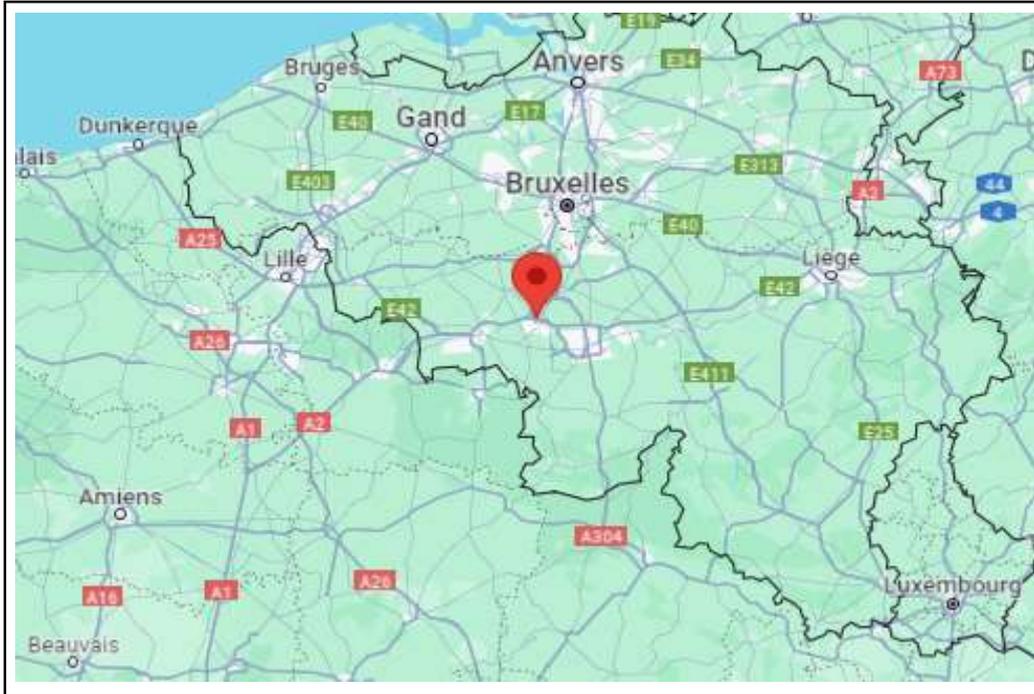
La réalisation de l'étalonnage respecte la norme et est effectuée tous les 6 mois au sein de l'usine de fabrication de la machine.

NBN EN ISO 22476-2 : 20059 - Reconnaissance et essais géotechniques - Essais en place - Partie 2 : Essai de pénétration dynamique

Les résultats des essais conviennent particulièrement à la détermination qualitative d'un profil de terrain, couplée à des investigations directes (par exemple au prélèvement d'échantillons selon (EN ISO 22475-1) ou comme comparaison relative à d'autres essais in situ. Ils peuvent également être utilisés pour déterminer des propriétés de résistance et de déformation des sols généralement sans cohésion, mais aussi des sols fins, et ce par des corrélations appropriées. Les résultats peuvent être également utilisés pour déterminer la profondeur des couches de terrain très denses, par exemple pour déterminer la longueur des pieux portant en pointe et pour détecter des terrains très lâches, remblayés présentant des cavités, ou des vides comblés.

2. Contexte géographique

Le bien se situe à l'adresse suivante :



Le plan suivant montre l'emplacement en fonction des références cadastrales :



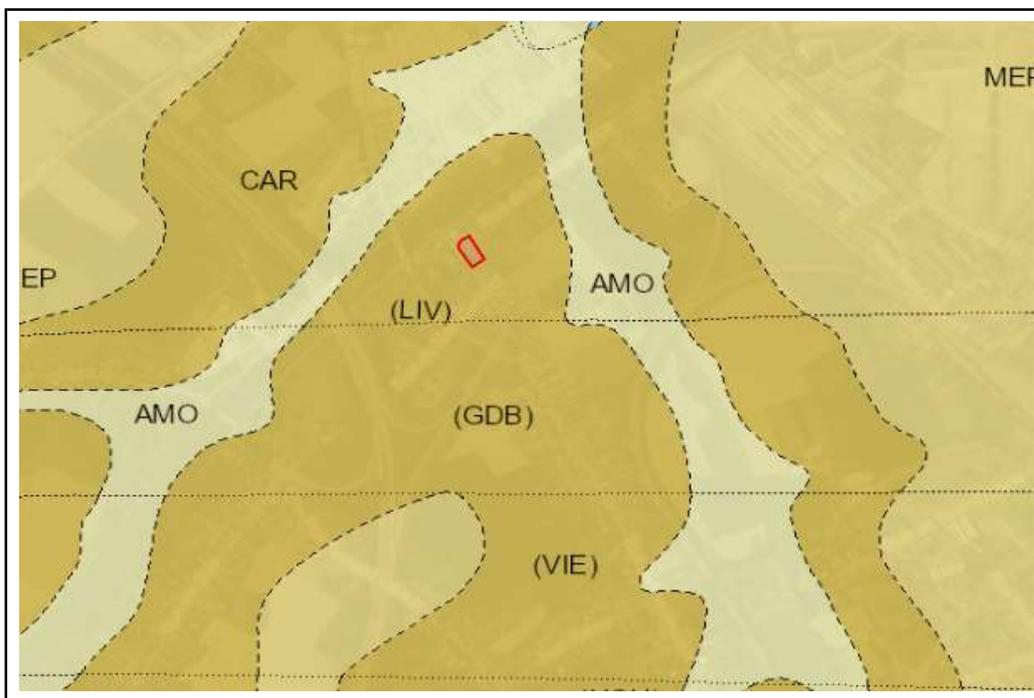
3. Contexte géologique

Le contexte géologique est étudié par le biais de d'outils public. Ces outils permettent une première approche sur le type de sol et des différents aléas. Dans le cas éventuel de présence d'aléas, d'autres essais de reconnaissance peuvent être réalisés.

3.1. Carte géologique de base

Cette carte est réalisée partiellement par des géologues sur le territoire de la Belgique. Les informations recueillies permettent une première approche qui n'est pas représentative du domaine de la géotechnique. Il s'agit d'une approche qualitative à grande échelle.

Les informations suivantes sont extraites sur le site : <https://geoportail.wallonie.be/>



Le terrain se situe sur la formation de: Lives

LIV

La Formation de Lives est constituée de calcaire stratifié et d'une brèche calcaire à blocs de taille variée.

Epaisseur: 100 m

Période: Livien

Utilisation particulière: Ce calcaire a été exploité pour la production de concassés.

3.2. Cartographie des aléas

Les informations recueillies permettent une première approche de certains aléas comme :

- Les zones karstiques;
- Les inondations;
- Les zones de captages d'eau;
- Les concessions de mines.

Il s'agit, généralement, des données statistiques couplées avec les cartes géologiques. En fonction des résultats des recherches ; d'autres investigations sont peut-être à réaliser.



Aléas karstiques - 2

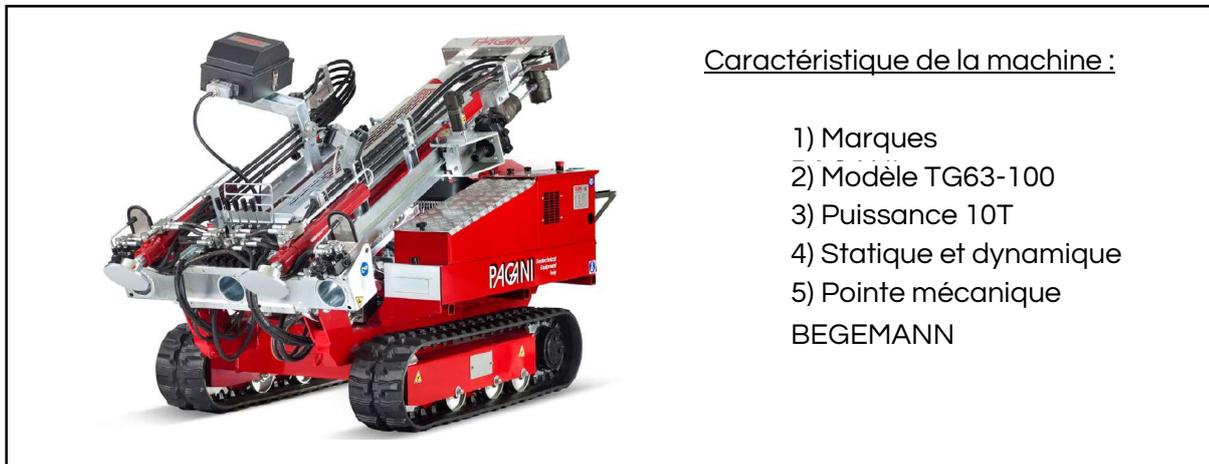
Les cartes mentionnent la présence de calcaire sous couverture sans aléas karstiques particuliers.

Il n'y a pas d'autres aléas

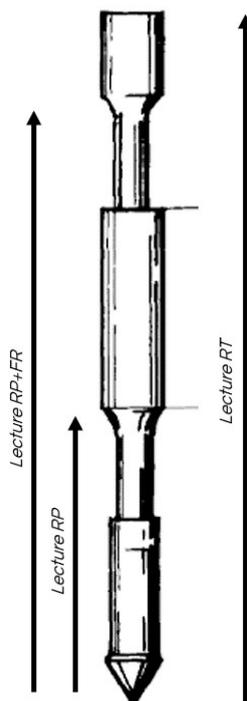
4. Les essais au pénétromètre statique

4.1. Méthodologie de l'essai

L'essai au pénétromètre statique consiste à enfoncer verticalement dans le terrain, à vitesse lente et constante de 2 cm/s, un train de tiges terminé à sa base par une pointe conique de même diamètre que le tube, permettant de mesurer la résistance des sols traversés.



Lors de l'enfoncement, les mesures suivantes sont mesurées par pas de 20 cm :



RP Il s'agit de la force totale pour enfoncer la tige centrale dans le sol. Cette mesure ne prend pas en considération le frottement des parois latérales. Cette donnée permet de calculer la capacité portante du sol.

RP+FR La mesure prend en considération la force totale du train des tiges sur 20 cm. Elle est indépendante de la profondeur totale. Il s'agit donc du frottement local permettant l'étude des couches (stratigraphie du sol)

RT Dans ce cas, la force totale est mesurée. Elle prend en considération la force totale à la pointe et des frottements sur toute la profondeur.

Ces valeurs sont mesurées avec un décalage pouvant aller jusqu'à 4 cm.

On considère généralement, pour un projet standard (400m²), la réalisation de trois sondages CPT. En fonction de la taille et l'envergure du projet, il est recommandé de rajouter un essai supplémentaire par 150m². Plusieurs essais sont nécessaires afin de vérifier l'homogénéité du sol. En cas de différence dans les résultats, des adaptations au niveau des futures fondations sont à prévoir.

En Belgique, les sols sont majoritairement sédimentaires et ils permettent l'utilisation d'un pénétromètre statique de manière aisée. Cependant, la partie sud de la Wallonie présente le massif rocheux proche de la surface du terrain naturel. Lorsque le refus au CPTM est atteints en surface par un accroissement instantané de la pointe ; le mode dynamique peut être activé.

Il consiste à enfoncer dans le sol une tige par battage et de relever le nombre de coup sur un pas de 10 cm ou de 20 cm. Cette variable "N" est l'image d'une résistance appelée "Qd" dynamique où la capacité portante du sol est directement interprétable.

$$Q_d = \frac{M^2 \cdot H \cdot g}{M + MF} \cdot \frac{1}{S} \cdot \frac{Nd_{10/20}}{\Delta h}$$

- M* Masse frappante
- H* Hauteur de chute
- g* Accélération terrestre
- MF* Masse enclume + tige
- S* Section pointe

Ce mode dynamique est intéressant pour traverser les couches remblayées et les sols présentant des roches stratifiées où la version statique est limitée.

La norme propose différents modes dynamiques avec des masses qui varient entre 10 et 63,5 kg et une chute qui varie entre 10 et 75 cm. Certains modes permettent une meilleure précision, d'autres une plus grande puissance et certains sont préconisés pour les accès limités aux machines.



Nous proposons, dans nos rapports, d'évaluer cette résistance dynamique et de la convertir à son équivalent "CPTM".

Pénétromètre dynamique proposé par la norme :

	<i>Type</i>	<i>Poids</i>	<i>Hauteur</i>	<i>Section</i>	<i>Avantage</i>
DPL	<i>Léger</i>	10 kg	50 cm	10 cm ²	Accès
DPML	<i>Moyen</i>	30 kg	20 cm	10 cm ²	Accès
DPH	<i>Lourd</i>	50 kg	50 cm	15 cm ²	Puissance et précision
DPSH-B	<i>Très lourd</i>	63,5 kg	75 cm	20 cm ²	Très puissant

Facteur de conversion - Qd en Qc :

<i>Catégorie</i>	<i>Qd/Qc</i>	<i>Catégorie</i>	<i>Qd/Qc</i>
Sable	1,00	Argile	1,40
Sable Lâche	1,30	Limon ferme	1,25
Alluvions	1,50	Graves	1,00

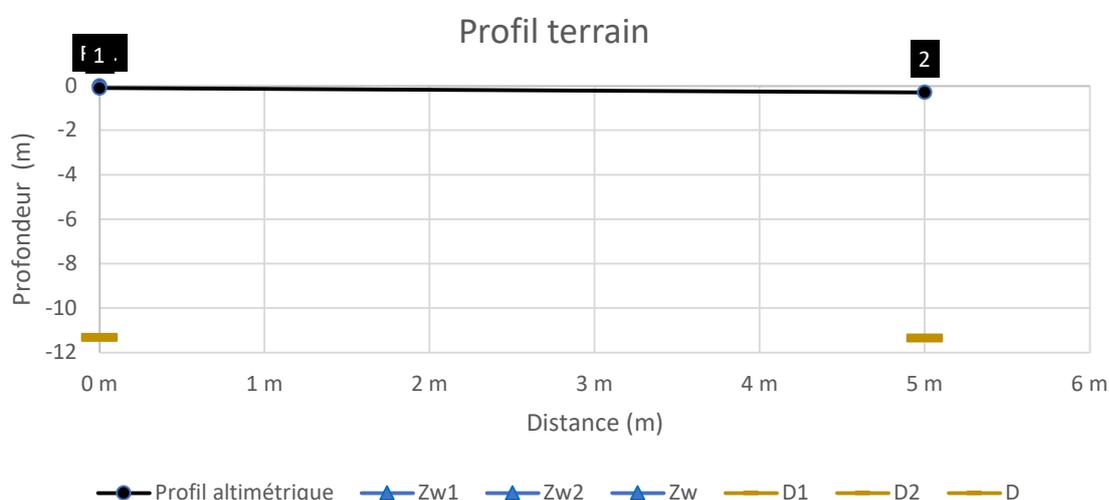
Le choix précis de ce rapport nécessite un forage descriptif. Par défaut, nous considérons un coefficient de 1,5.

4.2. Caractéristiques principales des essais.

Profil topographique

Les niveaux altimétriques sont mesurés lors des essais. A la fin de l'essai, il est possible de relever le niveau de l'eau éventuel dans le trou par le biais d'un capteur piézométrique. Dans certains cas, le trou de l'essai peut s'ébouler. Ces données sont reprises dans le tableau ci dessous :

N°	Zi (m)	Zw1 (m)		Zw2 (m)		Zéb (m)		Profon. (m)		Type de refus
		Rala.	Absa.	Rala.	Absa.	Rala.	Absa.	Rala.	Absa.	
1	-0,10	/	/	/	/	/	/	11,22	-11,3	Ancrage < 10T
2	-0,29	/	/	/	/	/	/	11,06	-11,4	Ancrage < 10T



Le niveau de l'eau correspond au niveau potentiel de la nappe phréatique. Précisément, l'on parle du niveau piézométrique puisque la nappe peut être en pression sous une couche impénétrable.

De plus, le niveau de l'eau varie tout au long de l'année avec le niveau le plus haut au printemps et le niveau le plus bas vers le mois d'octobre.

La mesure du niveau de l'eau est réalisée par un capteur piézométrique en deux temps - une mesure à la fin de l'essai et une mesure à la fin de la mission.

4.3. Stratigraphie

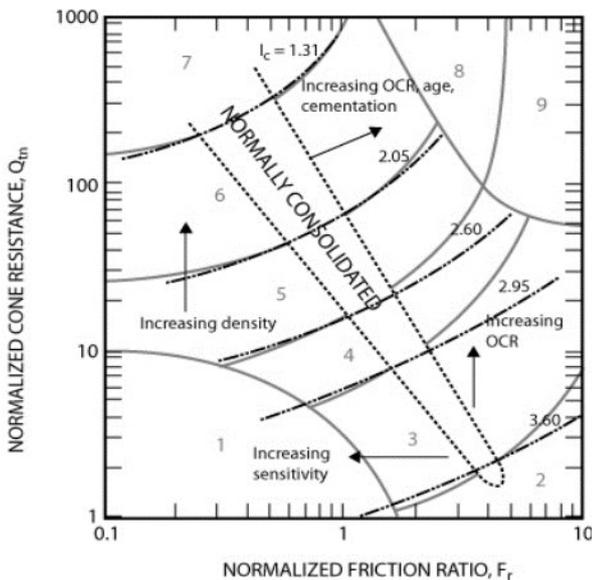
Les essais au pénétromètre statique mesurent les valeurs de la résistance par le passage du cône dans le sol. La mesure du frottement joue un rôle important pour différencier les sols grenus (sables) avec les sols fins (argiles).

Des géologues, comme Robertson ont étudié des rapports entre les résultats bruts du pénétromètre (Q_c, f_s) et tous les paramètres géotechniques. Les conclusions de ces études empiriques permettent une meilleure approche qualitative des sols.

Dans un premier temps, il est possible de caractériser le sol par les informations identifiables lors d'un essai quand l'opérateur réalise l'ancrage et le retrait de la machine. Ces informations sont visibles sur une profondeur de variant de 150 cm à 200 cm de profondeur :

N°	Type	Adjonction	Consistance	Remarques
1	Argile		Moyenne	
2	Argile		Moyenne	

Afin d'appréhender la stratigraphie, nous étudions le rapport entre la résistance à la pointe normalisée et le coefficient de frottement :

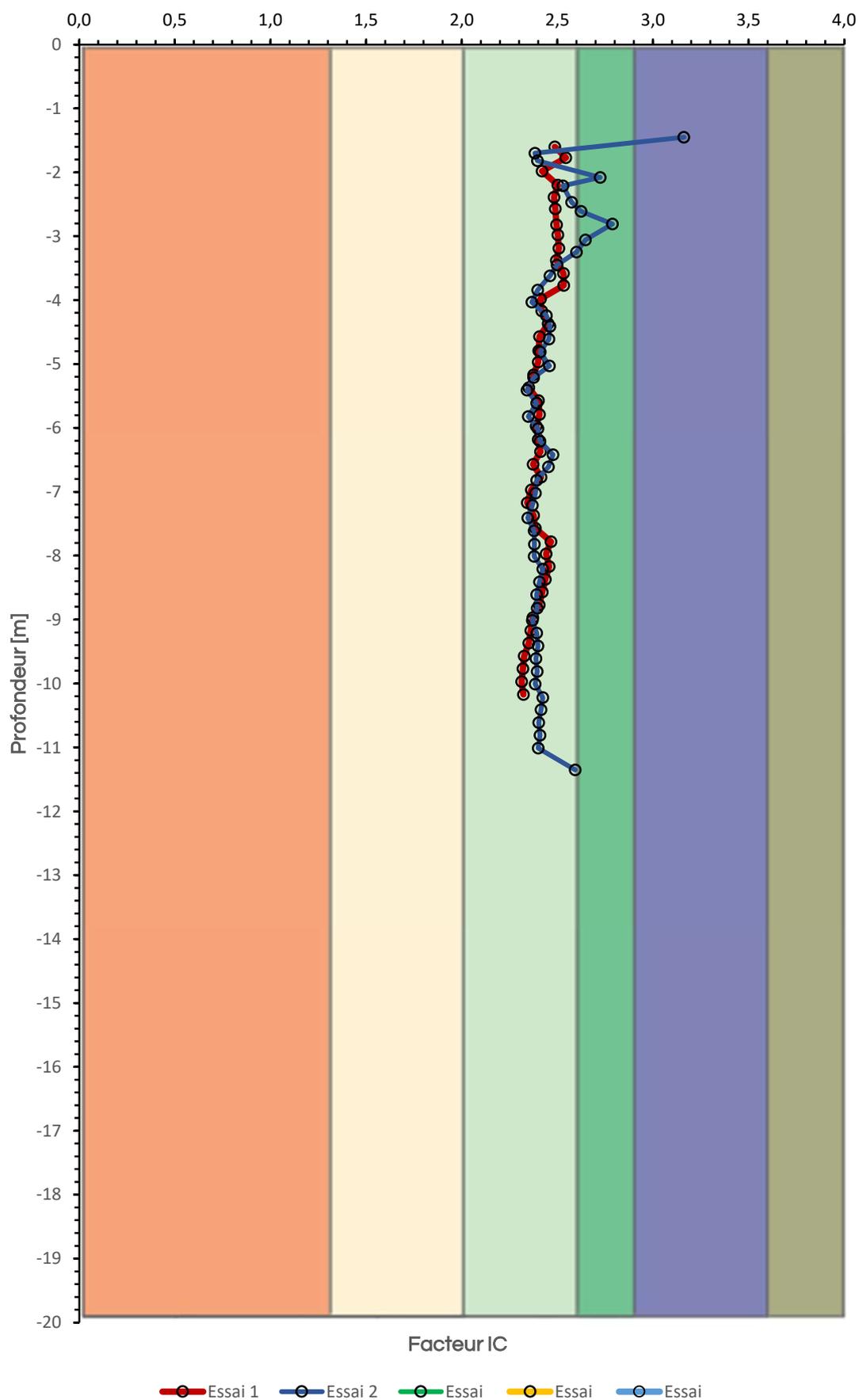


Zone	Soil Behavior Type	I_c
1	Sensitive, fine grained	N/A
2	Organic soils – clay	> 3.6
3	Clays – silty clay to clay	2.95 – 3.6
4	Silt mixtures – clayey silt to silty clay	2.60 – 2.95
5	Sand mixtures – silty sand to sandy silt	2.05 – 2.6
6	Sands – clean sand to silty sand	1.31 – 2.05
7	Gravelly sand to dense sand	< 1.31
8	Very stiff sand to clayey sand*	N/A
9	Very stiff, fine grained*	N/A

$$I_c = ((3.47 - \log Q_t)^2 + (\log F_r + 1.22)^2)^{0.5}$$

Le graphique à la page suivante représente I_c en fonction de la profondeur. (Attention, les essais en version dynamique ne peuvent être considérés pour l'étude des strates.)

Stratigraphie du sol



5. Résultats

5.1. Justification du refus

Le tableau suivant est une synthèse sur le résultat brut des essais de sol par le pénétromètre statique.

N°	Qc,refus [Mpa]	Qt,max [kN]	Type de refus	Réducteur de frottement	Profondeur
1	6,13		Ancrage < 10T	Non	11,22 m
2	5,14		Ancrage < 10T	Non	11,06 m

Le refus peut-être obtenu par frottement dans le cas où le sol présente une couche d'argile très compacte ; c'est pour cela que l'on utilise, dans certains des cas un réducteur de frottement afin de pénétrer le sol d'avantage.

Cependant, il est possible que le refus est atteint à 5T à la pointe. Ceci peut être justifié par la présence de la roche. En effet, la pointe mécanique peut résister à une force maximale de 5T en compression. Il s'agit d'une situation qui survient souvent en Wallonie où le massif rocheux est proche de la surface du terrain naturel.

Enfin, le refus peut être obtenu à l'ancrage de la machine très faible par la présence d'une couche superficielle non-cohérente. Généralement, lorsque l'ancrage est effectué dans un sable pur, nous couplons un réducteur de frottement systématiquement.

5.2. Synthèse sur les résultats

Par les données qui nous ont été transmises, nous supposons que le projet consiste à construction de 4 habitations.

a) Mise en œuvre des semelles filantes à 80 cm, sous le niveau le plus bas.

Largeur de la semelle filante : 60 cm

N°	Profondeur	Assise Niv	Chargement appliqué	Contrainte admissible	Tassement	Avis
1	0,99 m	-1,09 m	150,0 kPa	137,2 kPa	7,34 cm	<i>Non favorable</i>
2	0,80 m	-1,09 m	150,0 kPa	80,0 kPa	10,30 cm	<i>Non favorable</i>

b) Mise en œuvre des semelles filantes à 80 cm de profondeur.

N°	Profondeur (Hors gel)	Assise	Chargement appliqué	Contrainte admissible	Tassement	Avis
1	0,80 m	-0,90 m	150,0 kPa	125,4 kPa	7,34 cm	<i>Non favorable</i>
2	0,80 m	-1,09 m	150,0 kPa	76,5 kPa	10,30 cm	<i>Non favorable</i>

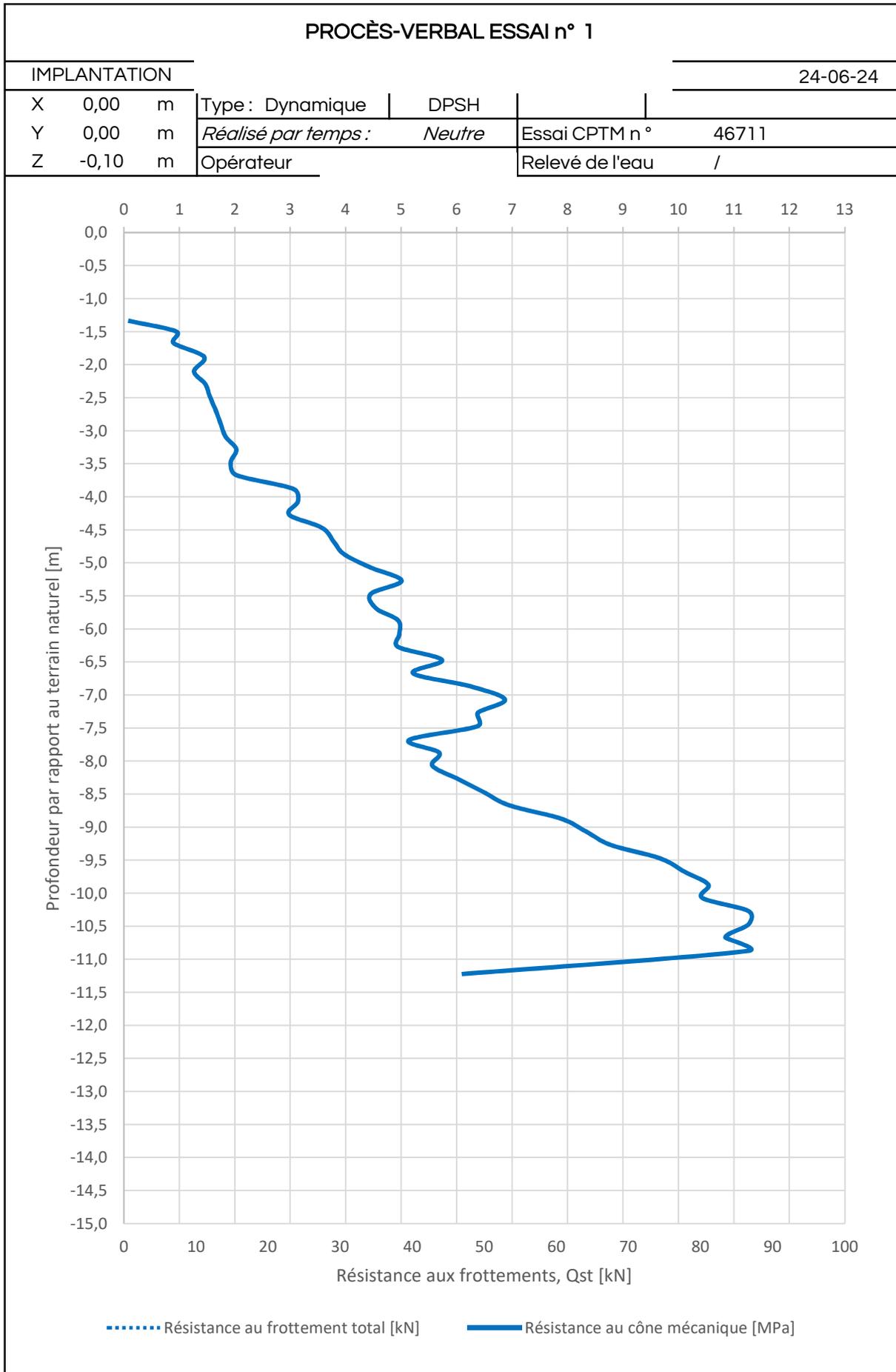
c) Mise en œuvre d'un radier à 80 cm sous le niveau le plus bas.

N°	Profondeur (Hors gel)	Assise	Chargement appliqué		Tassement	Avis
1	0,99 m	-1,09 m	30,0 kPa		0,90 cm	<i>Favorable</i>
2	0,80 m	-1,09 m	30,0 kPa		1,07 cm	<i>Favorable</i>

d) Mise en œuvre d'un radier en profondeur pour former des caves.

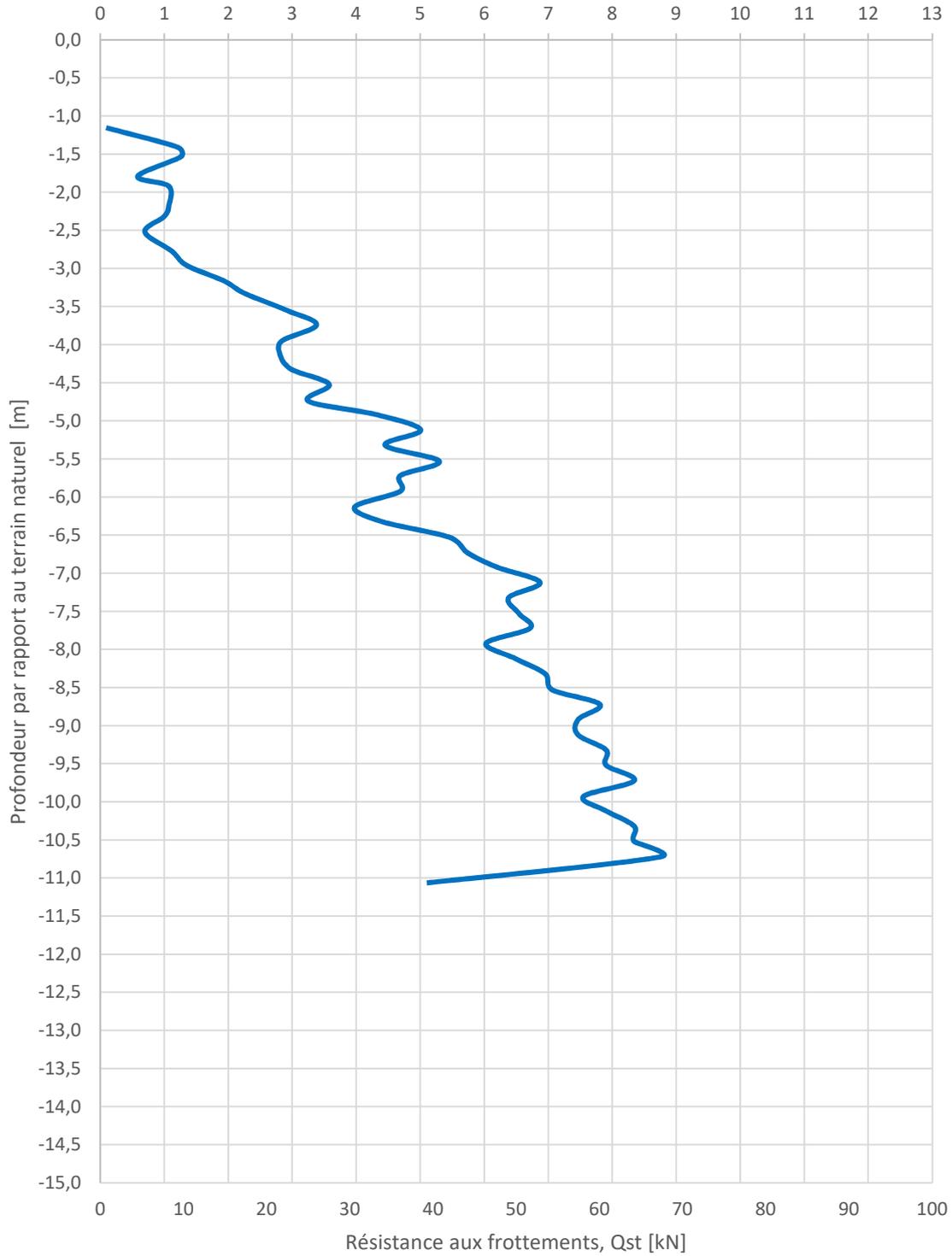
N°	Profondeur (Hors gel)	Assise	Chargement appliqué	Contrainte admissible	Tassement	Avis
1	2,50 m	-2,60 m	30,0 kPa		0,15 cm	<i>Favorable</i>
2	2,50 m	-2,79 m	30,0 kPa		0,17 cm	<i>Favorable</i>

5.3. Résultats brut des essais.



PROCÈS-VERBAL ESSAI n° 2

IMPLANTATION		24-06-24			
X	0,00 m	Type : Dynamique	DPSH		
Y	0,00 m	<i>Réalisé par temps :</i> Neutre		Essai CPTM n °	46712
Z	-0,29 m	Opérateur		Relevé de l'eau	/



..... Résistance au frottement total [kN]
 ———— Résistance au cône mécanique [MPa]

Résultats essai n° 1

Date de l'intervention	24-06-24	Niveau terrain naturel	-0,10 m
Type de pointe	DPSH	Réducteur de frottement	Non

P[m]	Niv[m]	Qc [Mpa]	Fs [kpa]	Qt [kN]	Qst [kN]
1,3	-1,44	0,11			
1,5	-1,60	0,95			
1,7	-1,77	0,89			
1,9	-1,98	1,44			
2,1	-2,20	1,26			
2,3	-2,39	1,46			
2,5	-2,57	1,54			
2,7	-2,82	1,67			
2,9	-2,98	1,74			
3,1	-3,19	1,83			
3,3	-3,38	2,03			
3,5	-3,58	1,93			
3,7	-3,77	2,03			
3,9	-3,98	3,06			
4,1	-4,17	3,14			
4,3	-4,37	2,98			
4,5	-4,57	3,58			
4,7	-4,79	3,79			
4,9	-4,97	3,97			
5,1	-5,17	4,45			
5,3	-5,37	5,01			
5,5	-5,57	4,45			
5,7	-5,79	4,55			
5,9	-5,97	4,94			
6,1	-6,18	4,97			
6,3	-6,37	4,94			
6,5	-6,57	5,74			
6,7	-6,77	5,21			
6,9	-6,97	6,26			
7,1	-7,17	6,87			
7,3	-7,37	6,38			
7,5	-7,57	6,38			
7,7	-7,78	5,14			
7,9	-7,97	5,68			
8,1	-8,17	5,56			
8,3	-8,37	6,03			
8,5	-8,57	6,49			
8,7	-8,77	6,95			
8,9	-8,97	7,88			
9,1	-9,17	8,34			
9,3	-9,37	8,78			
9,5	-9,57	9,66			
9,7	-9,77	10,10			
9,9	-9,97	10,54			
10,1	-10,17	10,43			
10,3	-10,37	11,26			
10,5	-10,57	11,26			
10,7	-10,77	10,85			
10,9	-10,97	11,26			
11,2	-11,32	6,13			

Résultats essai n° 2

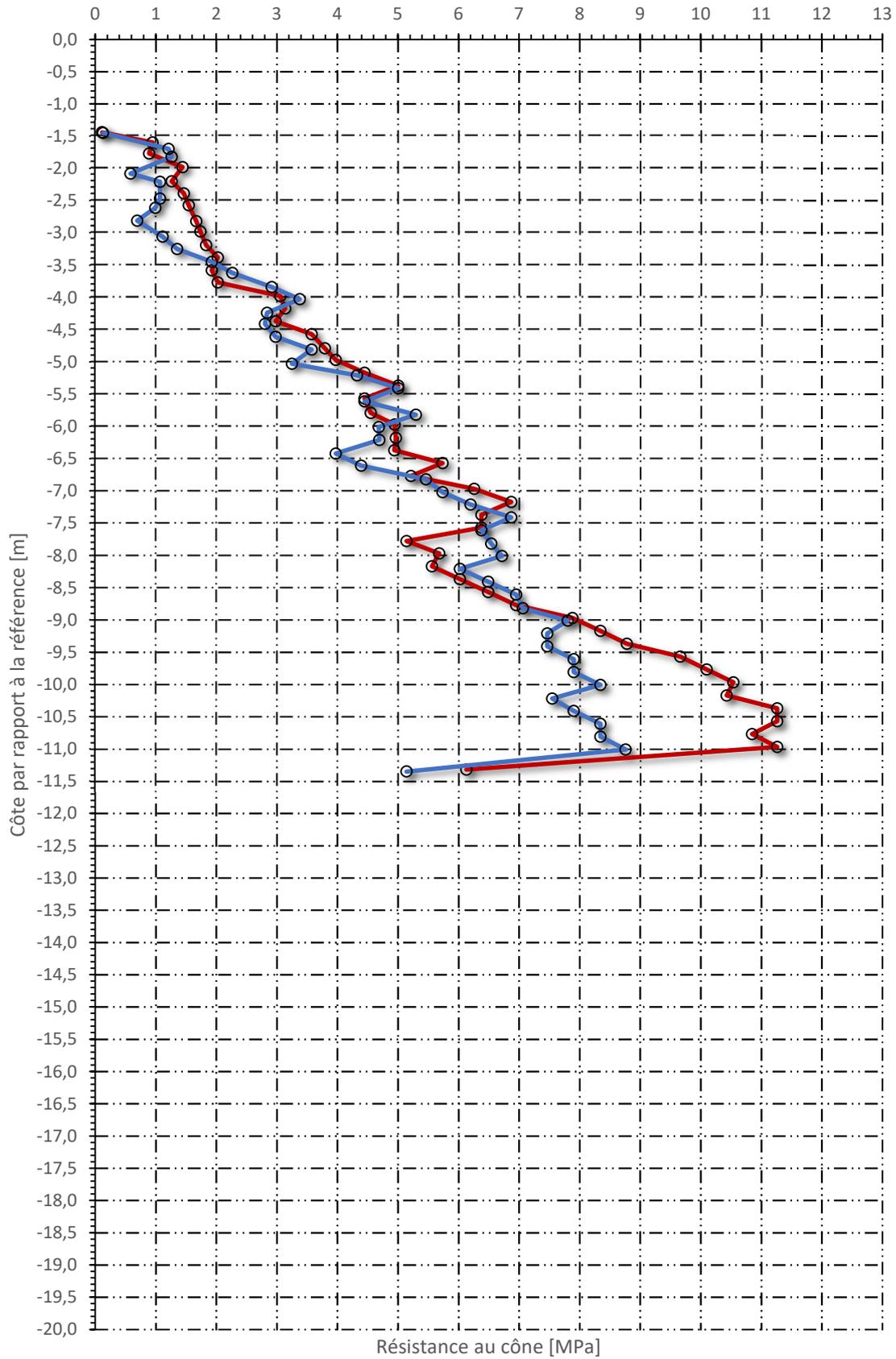
Date de l'intervention	24-06-24	Niveau terrain naturel	-0,29 m
Type de pointe	DPSH	Réducteur de frottement	Non

P[m]	Niv[m]	Qc [Mpa]	Fs [kpa]	Qt [kN]	Qst [kN]
1,2	-1,45	0,13			
1,4	-1,70	1,21			
1,5	-1,82	1,26			
1,8	-2,08	0,58			
1,9	-2,21	1,07			
2,2	-2,47	1,07			
2,3	-2,61	0,99			
2,5	-2,81	0,70			
2,8	-3,06	1,11			
3,0	-3,25	1,35			
3,2	-3,45	1,93			
3,3	-3,62	2,27			
3,6	-3,84	2,92			
3,7	-4,03	3,38			
4,0	-4,24	2,84			
4,1	-4,41	2,80			
4,3	-4,61	2,98			
4,5	-4,81	3,58			
4,7	-5,03	3,25			
4,9	-5,21	4,33			
5,1	-5,41	5,01			
5,3	-5,61	4,45			
5,5	-5,82	5,30			
5,7	-6,01	4,68			
5,9	-6,21	4,69			
6,1	-6,42	3,97			
6,3	-6,61	4,39			
6,5	-6,82	5,46			
6,7	-7,02	5,74			
6,9	-7,21	6,20			
7,1	-7,41	6,87			
7,3	-7,61	6,38			
7,5	-7,82	6,54			
7,7	-8,01	6,72			
7,9	-8,21	6,03			
8,1	-8,41	6,49			
8,3	-8,61	6,95			
8,5	-8,82	7,06			
8,7	-9,01	7,81			
8,9	-9,21	7,46			
9,1	-9,41	7,46			
9,3	-9,61	7,90			
9,5	-9,81	7,90			
9,7	-10,01	8,34			
9,9	-10,22	7,55			
10,1	-10,41	7,90			
10,3	-10,61	8,34			
10,5	-10,81	8,34			
10,7	-11,01	8,76			
11,1	-11,35	5,14			

Synthèse des résultats : Pénétration au cône mécanique

1MPa = 1cm

1m = 1cm



Essai 1 Essai 2 Essai 3 Essai 4 Essai 5

5.4. Conclusions générales

Nous avons réalisé une campagne de 2 essais de sol au pénétromètre d'une puissance de 10T pour un projet de construction de 4 habitations.

Le projet semble être assis en superficie du terrain afin d'y fonder des semelles filantes ou un radier général. En considérant le niveau 0 du projet à 122,88m, l'assise des fondations est estimée à 121,68m.

L'analyse de l'ensemble des pénétrogrammes démontrent que sous le niveau présumé des fondations, la structure du sol est homogène par des courbes caractéristiques essentiellement identiques

Le refus est atteints entre 11,06 m et 11,22 m de profondeur par rapport à la surface du terrain naturel. Ce refus est essentiellement dû par la présence de la roche ou d'un obstacle et il peut être justifié par l'accroissement instantané de la résistance à la pointe à cette profondeur.

Lors de l'extraction de la tige, le technicien n'a pas relevé la présence d'eau souterraine jusqu'à une profondeur de 11,22 m par l'éboulement des trous d'essais. Cependant, les tiges semblent humides à partir d'1,5m de profondeur.

L'analyse de la capacité portante au niveau de l'assise des fondations, c'est-à-dire à 121,68 m, démontre des valeurs comprises entre 77 kPa et 125 kPa. Dès cette couche atteinte, la résistance à la pointe tend vers un accroissement positif qui semble favorable pour le projet.

Nous tenons un avis partagé au vu des résultats assez faibles, justifiés par la lithologie du sol de moyenne qualité. L'ingénieur en stabilité qui établira une descente des charges devra minimiser la contrainte au sol afin de permettre la pose de fondations superficielles (semelle ou radier).

La mise en œuvre des caves vers 250 cm de profondeur semble difficile par la présence de la nappe d'eau. En effet, il peut être nécessaire d'étudier un cuvelage des caves et probablement un rabattement de la nappe qui peut avoir une influence auprès des bâtiments voisins.

Par la présence d'eau à faible profondeur, le sol a tendance à être mou ou lâche ou même en « panse de vache ». Il peut être nécessaire de prévoir une sous fondation drainante.

6. Interprétations des résultats

6.1. Evaluation de la capacité portante d'une semelle.

Les valeurs de la capacité portante présentée ci-dessous sont étudiées par une méthode normative provenant de l'EUROCODE 7. La méthode considère un lissage de la courbe de la résistance à la pointe minorée d'un facteur (Kc) fonction de la nature du sol et du type de fondation. L'explication détaillée est en annexe de ce présent rapport.

Capacité portante - méthode CPT : essai n° 1

Rd - Capacité portante du sol sous la semelle filante - ELU-Fondamentale [kPa]

Catégorie de sol : *Argile et limons*

P[m]	Niv[m]	Kc Moyen	Largeur de la semelle filante en cm								
			60	70	80	90	100	110	120	130	140
0,80	-0,90	0,318	125	163	165	207	250	271	254	274	299
1,00	-1,10	0,325	137	179	181	225	269	294	277	309	344
1,20	-1,30	0,331	149	193	195	239	289	324	297	329	365
1,40	-1,50	0,336	160	205	206	259	319	360	326	365	406
1,60	-1,70	0,340	169	224	226	291	356	403	362	407	445
1,80	-1,90	0,344	189	259	260	330	400	444	405	447	491
2,00	-2,10	0,347	205	278	279	348	426	475	432	479	524
2,20	-2,30	0,350	234	303	304	387	472	523	477	526	571
2,40	-2,50	0,353	261	345	345	434	526	578	530	579	626
2,60	-2,70	0,355	301	391	390	483	585	642	586	635	678
2,80	-2,90	0,357	322	416	415	519	631	682	625	671	716
3,00	-3,10	0,359	346	451	449	567	670	716	661	710	751

Rd - Capacité portante du sol sous la semelle isolée - ELU-Fondamentale [kPa]

Catégorie de sol : *Argile et limons*

P[m]	Niv[m]	Kc Moyen	Largeur de la semelle de section carré en m								
			0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,5	2	2,5	3
0,80	-0,90	0,342	133	175	177	223	270	292	274	296	323
1,00	-1,10	0,351	147	193	195	243	292	318	299	334	372
1,20	-1,30	0,358	160	209	211	260	314	350	320	356	394
1,40	-1,50	0,363	173	222	224	282	347	390	352	394	438
1,60	-1,70	0,368	183	243	245	316	387	436	390	439	480
1,80	-1,90	0,372	204	281	283	359	435	480	436	481	528
2,00	-2,10	0,375	223	302	303	379	463	512	464	514	562
2,20	-2,30	0,378	254	330	330	421	514	563	512	564	611
2,40	-2,50	0,381	284	375	375	472	572	622	567	619	669
2,60	-2,70	0,383	327	424	424	525	636	689	626	677	722
2,80	-2,90	0,385	350	452	450	564	685	731	667	715	762
3,00	-3,10	0,387	375	490	488	615	727	767	705	755	798

Capacité portante - méthode CPT : essai n° 2

Rd - Capacité portante du sol sous la semelle filante - ELU-Fondamentale [kPa]

Catégorie de sol : *Argile et limons*

P[m]	Niv[m]	Kc Moyen	Largeur de la semelle filante en cm								
			60	70	80	90	100	110	120	130	140
0,80	-1,09	0,318	77	96	97	124	154	175	161	185	214
1,00	-1,29	0,325	80	107	108	140	186	203	200	233	264
1,20	-1,49	0,331	85	120	121	160	200	239	216	251	284
1,40	-1,69	0,336	100	145	146	194	241	284	255	290	325
1,60	-1,89	0,340	129	182	183	238	293	335	300	338	379
1,80	-2,09	0,344	166	227	228	290	351	397	352	397	433
2,00	-2,29	0,347	192	261	262	327	392	430	394	430	466
2,20	-2,49	0,350	240	306	307	372	441	483	441	478	515
2,40	-2,69	0,353	266	332	332	401	485	517	479	518	562
2,60	-2,89	0,355	282	352	352	435	511	562	515	564	612
2,80	-3,09	0,357	287	371	370	446	546	603	551	603	652
3,00	-3,29	0,359	294	371	370	472	579	636	582	637	685

Rd - Capacité portante du sol sous la semelle isolée - ELU-Fondamentale [kPa]

Catégorie de sol : *Argile et limons*

P[m]	Niv[m]	Kc Moyen	Largeur de la semelle de section carré en m								
			0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,5	2	2,5	3
0,80	-1,09	0,342	81	102	104	133	166	189	173	199	232
1,00	-1,29	0,351	86	115	116	151	201	220	216	252	285
1,20	-1,49	0,358	92	129	131	174	217	259	233	271	307
1,40	-1,69	0,363	108	157	158	210	263	307	275	313	351
1,60	-1,89	0,368	140	198	199	259	319	363	323	364	408
1,80	-2,09	0,372	180	247	248	315	382	429	379	426	465
2,00	-2,29	0,375	209	283	284	356	427	464	423	461	500
2,20	-2,49	0,378	260	333	333	404	480	521	473	512	551
2,40	-2,69	0,381	289	361	361	436	527	556	513	554	600
2,60	-2,89	0,383	306	383	382	473	555	604	550	601	652
2,80	-3,09	0,385	311	403	402	484	593	647	588	642	694
3,00	-3,29	0,387	319	403	401	512	628	681	620	677	728

6.2. Evaluation des tassements pour une semelle.

Les calculs des tassements par le biais du pénétromètre ne sont donnés qu'à titres indicatifs. Il est recommandé de prioriser la capacité portante dans le choix et le dimensionnement des fondations. La méthode utilisées est celle de SCHMERTMANN où les valeurs du pénétromètre sont directement utilisées ; la méthodologie est expliquée en annexe.

Tassement semelle filante (mm) - essai 1						
Chargement 25 kN/m						

		Largeur de la semelle en cm				
P[m]	Niv[m]	60	70	80	90	100
0,80	-0,90	7,49	5,03	3,25	2,40	1,86
1,20	-1,30	2,62	1,84	1,22	0,73	0,33
1,60	-1,70	0,72	0,37	0,06	0,00	0,00
2,00	-2,10	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00
2,80	-2,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Chargement 50 kN/m						
--------------------	--	--	--	--	--	--

		Largeur de la semelle en cm				
P[m]	Niv[m]	60	70	80	90	100
0,80	-0,90	27,00	21,16	16,97	13,86	11,41
1,20	-1,30	14,86	11,50	8,90	6,85	5,14
1,60	-1,70	5,34	3,99	2,77	2,16	1,75
2,00	-2,10	3,12	2,16	1,68	1,26	0,89
2,80	-2,90	1,08	0,69	0,37	0,10	0,00

Chargement 75 kN/m						
--------------------	--	--	--	--	--	--

		Largeur de la semelle en cm				
P[m]	Niv[m]	60	70	80	90	100
0,80	-0,90	49,17	39,41	32,44	27,32	23,29
1,20	-1,30	28,96	23,70	19,66	16,54	13,91
1,60	-1,70	11,94	10,08	8,36	6,88	5,57
2,00	-2,10	8,56	6,87	5,35	4,02	2,93
2,80	-2,90	3,45	2,22	1,75	1,38	1,04

Chargement 100 kN/m						
---------------------	--	--	--	--	--	--

		Largeur de la semelle en cm				
P[m]	Niv[m]	60	70	80	90	100
0,80	-0,90	73,36	59,24	49,20	41,88	36,12
1,20	-1,30	44,02	36,71	31,13	26,85	23,24
1,60	-1,70	19,06	16,65	14,39	12,47	10,74
2,00	-2,10	14,44	12,29	10,32	8,62	7,10
2,80	-2,90	6,93	5,35	4,09	3,01	2,35

Tassement semelle filante (mm) - essai 2

Chargement 25 kN/m

		Largeur de la semelle en cm				
P[m]	Niv[m]	60	70	80	90	100
0,80	-1,09	10,67	7,53	5,03	3,82	3,03
1,20	-1,49	3,08	2,24	1,53	0,93	0,42
1,60	-1,89	1,60	0,79	0,13	0,00	0,00
2,00	-2,29	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00
2,80	-3,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Chargement 50 kN/m

		Largeur de la semelle en cm				
P[m]	Niv[m]	60	70	80	90	100
0,80	-1,09	38,19	31,49	26,19	22,02	18,61
1,20	-1,49	17,90	14,42	11,44	8,96	6,85
1,60	-1,89	11,97	8,64	5,85	4,49	3,55
2,00	-2,29	6,46	4,26	3,23	2,36	1,64
2,80	-3,09	1,56	1,01	0,54	0,14	0,00

Chargement 75 kN/m

		Largeur de la semelle en cm				
P[m]	Niv[m]	60	70	80	90	100
0,80	-1,09	69,24	58,44	49,94	43,32	37,97
1,20	-1,49	35,41	30,17	25,66	21,95	18,81
1,60	-1,89	26,81	21,89	17,71	14,31	11,30
2,00	-2,29	17,73	13,58	10,29	7,54	5,40
2,80	-3,09	5,01	3,26	2,53	1,97	1,49

Chargement 100 kN/m

		Largeur de la semelle en cm				
P[m]	Niv[m]	60	70	80	90	100
0,80	-1,09	102,97	87,63	75,62	66,31	58,82
1,20	-1,49	54,41	47,23	41,04	35,99	31,74
1,60	-1,89	42,85	36,20	30,51	25,92	21,80
2,00	-2,29	29,92	24,28	19,87	16,14	13,07
2,80	-3,09	10,08	7,88	5,90	4,28	3,35

Tassement semelle isolée - carré (mm) - essai 1

Chargement 50 kN

		Largeur de la semelle en cm				
P[m]	Niv[m]	50	100	150	200	300
0,80	-0,90	66,13	14,92	1,71	0,00	0,00
1,20	-1,30	71,73	5,30	0,00	0,00	0,00
1,60	-1,70	16,65	1,49	0,00	0,00	0,00
2,00	-2,10	17,13	0,89	0,00	0,00	0,00
2,80	-2,90	10,36	0,00	0,00	0,00	0,00

Chargement 150 kN

		Largeur de la semelle en cm				
P[m]	Niv[m]	50	100	150	200	300
0,80	-0,90	284,33	85,46	25,62	7,79	2,19
1,20	-1,30	310,68	45,74	12,19	2,74	0,22
1,60	-1,70	74,88	18,92	0,79	0,00	0,00
2,00	-2,10	80,08	16,31	2,69	0,00	0,00
2,80	-2,90	54,32	8,60	0,90	0,00	0,00

Chargement 200 kN

		Largeur de la semelle en cm				
P[m]	Niv[m]	50	100	150	200	300
0,80	-0,90	416,44	126,65	40,58	15,07	4,79
1,20	-1,30	452,59	68,81	21,38	6,13	1,76
1,60	-1,70	109,23	29,42	2,29	0,19	0,00
2,00	-2,10	116,88	26,24	6,23	1,20	0,00
2,80	-2,90	79,79	15,37	2,51	0,00	0,00

Chargement 400 kN

		Largeur de la semelle en cm				
P[m]	Niv[m]	50	100	150	200	300
0,80	-0,90	1054,92	318,67	108,85	48,02	23,87
1,20	-1,30	1126,87	173,75	62,54	28,11	12,58
1,60	-1,70	271,43	77,35	14,15	4,96	1,92
2,00	-2,10	289,10	71,13	26,11	9,54	2,92
2,80	-2,90	197,93	45,80	15,19	0,90	0,00

Tassement semelle isolée - carré (mm) - essai 2

Chargement 50 kN

		Largeur de la semelle en cm				
P[m]	Niv[m]	50	100	150	200	300
0,80	-1,09	124,34	20,10	2,56	0,00	0,00
1,20	-1,49	40,09	6,21	0,00	0,00	0,00
1,60	-1,89	42,18	3,45	0,00	0,00	0,00
2,00	-2,29	37,60	1,64	0,00	0,00	0,00
2,80	-3,09	14,76	0,00	0,00	0,00	0,00

Chargement 150 kN

		Largeur de la semelle en cm				
P[m]	Niv[m]	50	100	150	200	300
0,80	-1,09	534,64	114,45	38,12	12,60	3,64
1,20	-1,49	175,98	54,82	17,49	4,09	0,32
1,60	-1,89	191,22	43,88	1,60	0,00	0,00
2,00	-2,29	176,63	30,00	4,67	0,00	0,00
2,80	-3,09	77,41	12,79	1,37	0,00	0,00

Chargement 200 kN

		Largeur de la semelle en cm				
P[m]	Niv[m]	50	100	150	200	300
0,80	-1,09	783,05	169,34	60,30	24,37	7,96
1,20	-1,49	257,25	82,94	30,87	9,20	2,66
1,60	-1,89	279,54	68,28	4,65	0,36	0,00
2,00	-2,29	258,14	48,22	10,81	2,06	0,00
2,80	-3,09	113,73	22,85	3,81	0,00	0,00

Chargement 400 kN

		Largeur de la semelle en cm				
P[m]	Niv[m]	50	100	150	200	300
0,80	-1,09	1983,61	424,39	161,30	77,56	39,61
1,20	-1,49	645,74	212,55	91,65	42,82	19,26
1,60	-1,89	698,10	179,82	28,77	9,55	3,55
2,00	-2,29	640,51	130,48	45,19	16,27	4,96
2,80	-3,09	282,21	68,14	23,16	1,39	0,00

6.3. *Evaluation des tassements pour un radier*

Les calculs des tassements par le biais du pénétromètre ne sont donnés qu'à titres indicatifs. Il est recommandé de prioriser la capacité portante dans le choix et le dimensionnement des fondations. La méthode utilisée est celle de TERZAGHI qui est mieux adaptée pour les radiers.

Dimension du radier :		Longueur : 12,0 m	Largeur : 9,0 m			
Tassement radier rectangulaire (mm) - essai 1						
<i>Charge surfacique uniformément répartie [kPa]</i>						
P[m]	Niv[m]	20	30	40	50	60
0,4	-0,5	13,17	18,68	23,74	28,43	32,83
0,8	-0,9	4,72	8,95	12,94	16,71	20,30
1,2	-1,3	0,30	4,01	7,55	10,93	14,17
1,6	-1,7	0,00	1,46	4,69	7,79	10,77
3	-3,1	0,00	0,00	0,00	0,43	2,53

Tassement radier rectangulaire (mm) - essai 2						
<i>Charge surfacique uniformément répartie [kPa]</i>						
P[m]	Niv[m]	20	30	40	50	60
0,4	-0,69	14,28	20,35	25,95	31,17	36,08
0,8	-1,09	5,64	10,69	15,44	19,92	24,19
1,2	-1,49	0,37	4,81	9,03	13,05	16,89
1,6	-1,89	0,00	1,74	5,56	9,23	12,74
3	-3,29	0,00	0,00	0,00	0,46	2,69

--	--	--	--	--	--	--

6.4. L'étude d'un radier par la raideur du sol

Dans le cas d'une fondation souple de type "radier", les modèles numériques sont les solutions à conseiller pour la détermination des efforts internes par le biais des raideurs du sol. Dans la pratique, le calcul structural de l'élément de fondation se base souvent sur un modèle de type Winkler dans lequel le sol est représenté par des ressorts juxtaposés indépendants. La raideur surfacique de ces ressorts est usuellement appelée "coefficient de réaction".

L'essai au pénétromètre statique n'est pas la solution optimum pour déterminer le coefficient de réaction. Pour un calcul se rapprochant, au plus de la réalité, il y a lieu de réaliser des essais en laboratoire de type "c-phi" ou de réaliser des essais in situ, au pressiomètre.

Toutefois, pour compléter ce rapport, le coefficient de réaction est évalué ci-dessous, par des formules empiriques.

Par chacune de ces formules, les paramètres sont les suivants :

L =	12,0 m	Longueur de la dalle
B =	9,0 m	Largeur de la dalle
$E_{\text{fondation}} =$	30000	Module de Young de la fondation (béton)

Module Ks	Essai 1	Essai 2
<u>Ks- BIOT</u>		
E sol [80 cm] =	#N/A	#N/A
Ks [80 cm] =	#N/A	#N/A
E sol [280 cm] =	17 MPa	20 MPa
Ks [280 cm] =	10704 kN/m ³	13216 kN/m ³

Module Ks
<u>Ks- BIOT</u>
E sol [80 cm] =
Ks [80 cm] =
E sol [280 cm] =
Ks [280 cm] =

Dans la plupart des cas, la raideur est estimée en fonction du type de sol

Sol remblayé	5000 < ks < 10000	kN/m ³
Limon/argile meuble	4000 < ks < 8000	kN/m ³
Sable	25000 < ks < 50000	kN/m ³
Argile schisteuse	150 000 < ks < 500 000	kN/m ³
Roche	400 000 < ks < 1 000 000	kN/m ³

7. Annexes

7.1. Plan d'implantation



Référence rapport : Poteau électrique (PE).

 sainatech	Projet de construction de 4 habitations.			Relevé altimétrique		
	PE	0,00 m		1	-0,10 m	
				2	-0,29 m	
IMPLANTATION						

7.2. Méthodologie de calcul pour la capacité portante

Le passage de la résistance à la pointe apparente à la capacité portante peut être réalisé de plusieurs manières différentes. Ce rapport présente une méthode normative : La NF P 24 207

Le schéma de principe est le suivant :



Etape n°1 : Lissage

q_c	Résistance apparente à la pénétration	[Mpa]
q_{ce}	Résistance équivalente à la pénétration	[Mpa]

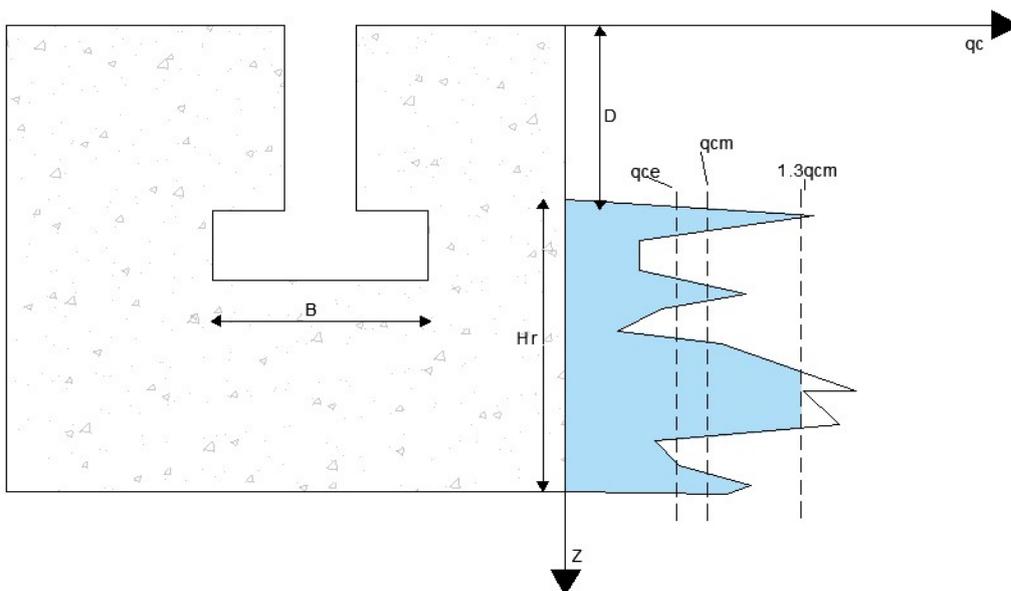
La première étape consiste à lisser la courbe de résistance apparente :

$$q_{CE} = \frac{1}{H_r} \cdot \int_D^{D+h_r} q_{cc}(z) \cdot dz$$

Où :

q_{cc}	Résistance de cône, q_c , écrêtée à $1.3 q_{cm}$	
H_r	$3 \times$ largeur (B)	

$$q_{CM} = \frac{1}{H_r} \cdot \int_D^{D+H_r} q_c(z) \cdot dz$$



Etape n°2 : Nature du sol

Lorsque les valeurs "qcc" ont été lissées, la norme prévoit un facteur "Kc" prenant en considération la nature du sol et le type de semelles.

$$R = A \cdot K_c \cdot q_{ce}$$

R	Capacité portante	[kN]
q _{ce}	Résistance équivalente à la pénétration [Mpa]	
K _c	Facteur de portance	

Le facteur Kc varie en fonction de la nature du sol :

Argiles et limons	0.27 < Kc < 0.35	Semelle filante
Sables et graves	0.09 < Kc < 0.14	
Craies	0.11 < Kc < 0.21	
Marnes et roches altérées	0.11 < Kc < 0.21	
Argiles et limons	0.27 < Kc < 0.38	Semelle isolée
Sables et graves	0.09 < Kc < 0.16	
Craies	0.11 < Kc < 0.24	
Marnes et roches altérées	0.11 < Kc < 0.24	

La méthode pénétrométrique est une approche en contraintes totale. Si la base de la fondation est immergée, il n'y a pas donc lieu de tenir compte de la poussée d'Archimède. En d'autres termes, on ne déjauge pas la fondation.

Etape n°3 : Combinaison

Pour l'étude de la capacité portante, il y a lieu d'utiliser une combinaison ELU pour la décente de charges.

Le principe général est de vérifier cette inéquation suivante :

$$V_d \leq R_d + R_0 \quad \text{avec :} \quad R_d = \frac{R}{Y_{RD} Y_R}$$

V _d	Charge totale ELU	[kN]
R _d	Capacité portante	[kN]
R ₀	Effort du sol escavé	[kN]
Y _R	Facteur partiel sur la résistance	
Y _{Rd}	Facteur de modèle sur la résistance	

	ELU - FONDAMENTALES		ELU ACCIDENTELLE		ELS QUASI PERMANENTE	
	Y _R	Y _{Rd}	Y _R	Y _{Rd}	Y _R	Y _{Rd}
Facteur CPT	1,4	1,2	1,2	1,2	2,3	1,2

7.3. Tassement selon SCHERTMANN

La méthode décrite ci-dessous est celle de SCHMERTMANN, adaptée pour l'essai au pénétromètre statique. Cette méthode se présente comme une corrélation entre le module d'Young et la résistance à la pointe. Elle suppose une distribution bien définie de la déformation verticale du sol sous la fondation et s'apparente en fait à une méthode directe, qu'il faut utiliser en bloc, c'est à dire comme un tout indissociable. Le tassement " s" d'une fondation s'exprime dans cette approche par l'équation suivante :

$$s = C_1 \cdot C_2 \cdot (q - \sigma'_v) \cdot \int_0^{Z1} \frac{Iz}{c_3 E} dz$$

Avec :

C1	Facteur de correction pour l'encastrement de la fondation; $C_1 = 1 - 0.5 \cdot \frac{\sigma'_v}{q - \sigma'_v}$
C2	Facteur de correction pour le fluage, avec le temps en années; $C_2 = 1.2 - 0.2 \cdot \log(t)$
C3	Facteur de correction de forme Pour des semelles filantes, le facteur est équivalent à 1.8.
Z1	Profondeur d'influence des déformations Evalué à 2.B pour des semelles isolée Evalué à 4.B pour des semelles filantes.

Les résultats sont présentés sous la forme d'un tableau reliant la profondeur d'assise et la largeur de la fondation.

Plusieurs tableaux sont disponibles en fonction des charges appliquées à la verticale sur la fondation. Les charges varient entre 50 kN/m et 150 kN/m.

D'autres configurations sont disponibles, sur demande par mail : info@sainatech.be.

Les calculs sont réalisés avec les paramètres suivants :

Type	Filante	<i>Format de la fondation</i>
Temps	180 jours	<i>Temps pour le tassement secondaire</i>
α	2	<i>Coefficient de Sangrelat du sol</i>

7.4. Tassement selon TERZAGHI

Le calcul des tassements pour un modèle plaque peut être étudié par la loi oedométrique de Terzaghi qui lie le tassement à la charge :

Elle est présentée comme telle :

$$s = \int_0^h \varepsilon \cdot dz \quad \longrightarrow \quad s = \int_0^h \frac{1}{C} \cdot \ln \left[\frac{(\sigma'_{v0} + \Delta\sigma)}{\sigma'_{v0}} \right] \cdot dz$$

La constante de compressibilité primaire du sol peut être associée à l'indice de compressibilité C_s que l'on peut retrouver dans la littérature. La loi qui prend en considération le logarithme népérien doit être transformée en une loi décimale.

$$C = 2.3 \cdot \left(\frac{1+e}{C_s} \right) = \alpha \cdot \frac{q_c}{\sigma'_{v0}}$$

$$s = \sum_{i=0}^n \frac{dh}{C} \cdot \ln \left[\frac{(\sigma'_{v0} + \Delta\sigma)}{\sigma'_{v0}} \right]$$

Où :

s	Tassement en mm
dh	Couche considérée - 20 cm
C	Constante de compressibilité primaire
σ'_{v0}	Contrainte effective des terres au repos
$\Delta\sigma$	Surcharge appliquée au sol, étudiée avec les abaques courants. Notamment Steinbrenner, Newmark.
α	Coefficient de Sangrelat du sol - variant de 0.7 à 8 en fonction du sol.
q_c	Résistance à la pointe du cône.
e	Indice des vides
C_s	Indice de compressibilité.

De manière générale, il est recommandé de limiter les tassements à +/- 25 mm pour des semelles filantes et à 5 cm pour un radier. Il est conseillé d'effectuer des essais supplémentaires pour des valeurs semblant nuisibles à l'ouvrage (Essai préssiométrique et/oedométrique via un échantillon).

Les recommandations internationales en géotechniques pour les tassements différentiels :

$$\Delta s \leq \frac{L}{500}$$

L	Longueur entre deux points ;
Δs	Tassement différentiel

7.5. Paramètres capacité portante selon la méthode C-j

ESSAI n° 1										
Prof.	Niv.	Qc	Fs	Rf	σ'_{vo}	ϕ'	C	Nq	Nc	Ny
[m]	[m]	[MPa]	[kPa]	[%]	[kPa]	[°]				
1,34	-1,44	0,1			21,4	0	8	1,0	5,2	0,0
1,50	-1,60	0,9			24,0	18	59	5,4	13,4	2,9
1,67	-1,77	0,9			26,7	17	50	4,7	12,3	2,3
1,88	-1,98	1,4			30,1	20	72	6,4	14,8	3,9
2,10	-2,20	1,3			33,6	18	56	5,2	13,0	2,7
2,29	-2,39	1,5			36,6	18	60	5,5	13,4	3,0
2,47	-2,57	1,5			39,5	18	59	5,4	13,3	2,9
2,72	-2,82	1,7			43,5	18	58	5,3	13,1	2,8
2,88	-2,98	1,7			46,1	18	57	5,2	13,0	2,7
3,09	-3,19	1,8			49,4	18	56	5,1	12,9	2,7
3,28	-3,38	2,0			52,5	18	58	5,3	13,2	2,8
3,48	-3,58	1,9			55,7	17	52	4,9	12,5	2,4
3,67	-3,77	2,0			58,7	17	52	4,9	12,5	2,4
3,88	-3,98	3,1			62,1	20	74	6,5	15,0	4,0
4,07	-4,17	3,1			65,1	20	72	6,4	14,8	3,9
4,27	-4,37	3,0			68,3	19	65	5,9	14,0	3,4
4,47	-4,57	3,6			71,5	20	75	6,6	15,1	4,1
4,69	-4,79	3,8			75,0	20	76	6,6	15,2	4,2
4,87	-4,97	4,0			77,9	20	76	6,7	15,2	4,2
5,07	-5,17	4,4			81,1	21	82	7,1	15,8	4,7
5,27	-5,37	5,0			84,3	22	89	7,5	16,5	5,2
5,47	-5,57	4,4			87,5	20	76	6,7	15,2	4,2
5,69	-5,79	4,6			91,0	20	75	6,6	15,1	4,1
5,87	-5,97	4,9			93,9	21	79	6,8	15,5	4,4
6,08	-6,18	5,0			97,3	20	77	6,7	15,2	4,2
6,27	-6,37	4,9			100,3	20	74	6,5	15,0	4,0
6,47	-6,57	5,7			103,5	21	83	7,1	15,9	4,7
6,67	-6,77	5,2			106,7	20	73	6,4	14,9	4,0
6,87	-6,97	6,3			109,9	21	85	7,3	16,1	4,9
7,07	-7,17	6,9			113,1	22	91	7,7	16,7	5,4
7,27	-7,37	6,4			116,3	21	82	7,1	15,8	4,7
7,47	-7,57	6,4			119,5	21	80	6,9	15,6	4,5
7,68	-7,78	5,1			122,9	19	63	5,7	13,7	3,2
7,87	-7,97	5,7			125,9	19	68	6,0	14,3	3,6
8,07	-8,17	5,6			129,1	19	65	5,8	14,0	3,3
8,27	-8,37	6,0			132,3	19	68	6,1	14,4	3,6
8,47	-8,57	6,5			135,5	20	72	6,3	14,7	3,9
8,67	-8,77	7,0			138,7	20	75	6,6	15,1	4,1
8,87	-8,97	7,9			141,9	21	83	7,1	15,9	4,7
9,07	-9,17	8,3			145,1	21	86	7,4	16,2	5,0
9,27	-9,37	8,8			148,3	22	89	7,5	16,5	5,2
9,47	-9,57	9,7			151,5	22	96	8,0	17,1	5,7
9,67	-9,77	10,1			154,7	22	98	8,1	17,3	5,9
9,87	-9,97	10,5			157,9	23	100	8,3	17,5	6,1
10,07	-10,17	10,4			161,1	22	97	8,1	17,3	5,8
10,27	-10,37	11,3			164,3	23	103	8,5	17,8	6,3
10,47	-10,57	11,3			167,5	23	101	8,3	17,6	6,1
10,67	-10,77	10,8			170,7	22	95	8,0	17,1	5,7
10,87	-10,97	11,3			173,9	22	97	8,1	17,3	5,8
11,22	-11,32	6,1			179,5	17	51	4,8	12,4	2,3

ESSAI n° 2

Prof.	Niv.	Qc	Fs	Rf	σ'_{vo}	φ'	C	Nq	Nc	Ny
[m]	[m]	[MPa]	[kPa]	[%]	[kPa]	[°]				
1,16	-1,45	0,1			18,6	3	11	1,30	5,88	0,03
1,41	-1,70	1,2			22,6	21	81	6,97	15,66	4,54
1,53	-1,82	1,3			24,5	21	77	6,74	15,33	4,29
1,79	-2,08	0,6			28,6	13	31	3,14	9,59	0,96
1,92	-2,21	1,1			30,7	17	52	4,89	12,52	2,41
2,18	-2,47	1,1			34,9	16	46	4,40	11,74	1,97
2,32	-2,61	1,0			37,1	15	40	3,94	10,97	1,57
2,52	-2,81	0,7			40,3	11	26	2,74	8,85	0,68
2,77	-3,06	1,1			44,3	14	38	3,73	10,63	1,41
2,96	-3,25	1,4			47,4	16	43	4,15	11,32	1,75
3,16	-3,45	1,9			50,6	18	57	5,26	13,10	2,77
3,33	-3,62	2,3			53,3	19	64	5,75	13,86	3,26
3,55	-3,84	2,9			56,8	20	77	6,71	15,29	4,26
3,74	-4,03	3,4			59,8	21	85	7,24	16,06	4,85
3,95	-4,24	2,8			63,2	19	67	6,01	14,26	3,53
4,12	-4,41	2,8			65,9	19	64	5,75	13,87	3,26
4,32	-4,61	3,0			69,1	19	65	5,82	13,96	3,32
4,52	-4,81	3,6			72,3	20	74	6,50	14,99	4,04
4,74	-5,03	3,3			75,8	19	64	5,79	13,92	3,30
4,92	-5,21	4,3			78,7	21	82	7,09	15,84	4,68
5,12	-5,41	5,0			81,9	22	92	7,72	16,75	5,40
5,32	-5,61	4,4			85,1	21	78	6,81	15,43	4,37
5,53	-5,82	5,3			88,5	22	90	7,60	16,57	5,25
5,72	-6,01	4,7			91,5	20	77	6,69	15,26	4,24
5,92	-6,21	4,7			94,7	20	74	6,51	15,01	4,05
6,13	-6,42	4,0			98,1	19	61	5,53	13,52	3,03
6,32	-6,61	4,4			101,1	19	65	5,85	14,02	3,36
6,53	-6,82	5,5			104,5	21	78	6,81	15,43	4,37
6,73	-7,02	5,7			107,7	21	80	6,91	15,58	4,48
6,92	-7,21	6,2			110,7	21	84	7,20	15,99	4,80
7,12	-7,41	6,9			113,9	22	90	7,64	16,63	5,31
7,32	-7,61	6,4			117,1	21	82	7,04	15,77	4,62
7,53	-7,82	6,5			120,5	21	81	7,02	15,74	4,60
7,72	-8,01	6,7			123,5	21	82	7,03	15,75	4,61
7,92	-8,21	6,0			126,7	20	71	6,30	14,69	3,83
8,12	-8,41	6,5			129,9	20	75	6,56	15,07	4,10
8,32	-8,61	7,0			133,1	21	78	6,80	15,42	4,36
8,53	-8,82	7,1			136,5	21	78	6,75	15,35	4,31
8,72	-9,01	7,8			139,5	21	84	7,19	15,99	4,80
8,92	-9,21	7,5			142,7	21	78	6,81	15,43	4,37
9,12	-9,41	7,5			145,9	20	77	6,69	15,26	4,24
9,32	-9,61	7,9			149,1	21	80	6,88	15,54	4,45
9,52	-9,81	7,9			152,3	21	78	6,76	15,37	4,32
9,72	-10,01	8,3			155,5	21	80	6,95	15,64	4,53
9,93	-10,22	7,5			158,9	20	71	6,30	14,68	3,82
10,12	-10,41	7,9			161,9	20	73	6,44	14,89	3,97
10,32	-10,61	8,3			165,1	20	76	6,62	15,16	4,17
10,52	-10,81	8,3			168,3	20	74	6,52	15,01	4,06
10,72	-11,01	8,8			171,5	20	77	6,68	15,24	4,23
11,06	-11,35	5,1			177,0	16	44	4,21	11,43	1,81