
Campagne géotechnique

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

Dossier n° 22-2050

SAINATECH SRL
Tél : +32 71 49 60 40
TVA : BE0742 522 528
Mail : Info@sainatech.be
480, Route de Châtelet
6010 - Couillet

Nouvelle version - 01/2022

Intervenants :

Le client



Le maître d'œuvre

Vision Project
Route de la Bruyère, 55
5310 Eghezée
mehmet@vision-project.be

Le bureau d'études

Non communiqué

L'adresse du projet

Rue de Jodoigne
1367 Huppaye
Province : Brabant Wallon
Belgique

Le rapport a été rédigé par PAHO Thierry, Ingénieur Civil des mines et géologue

Le 03-05-22

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 Vision Project 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 22/04/22 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.

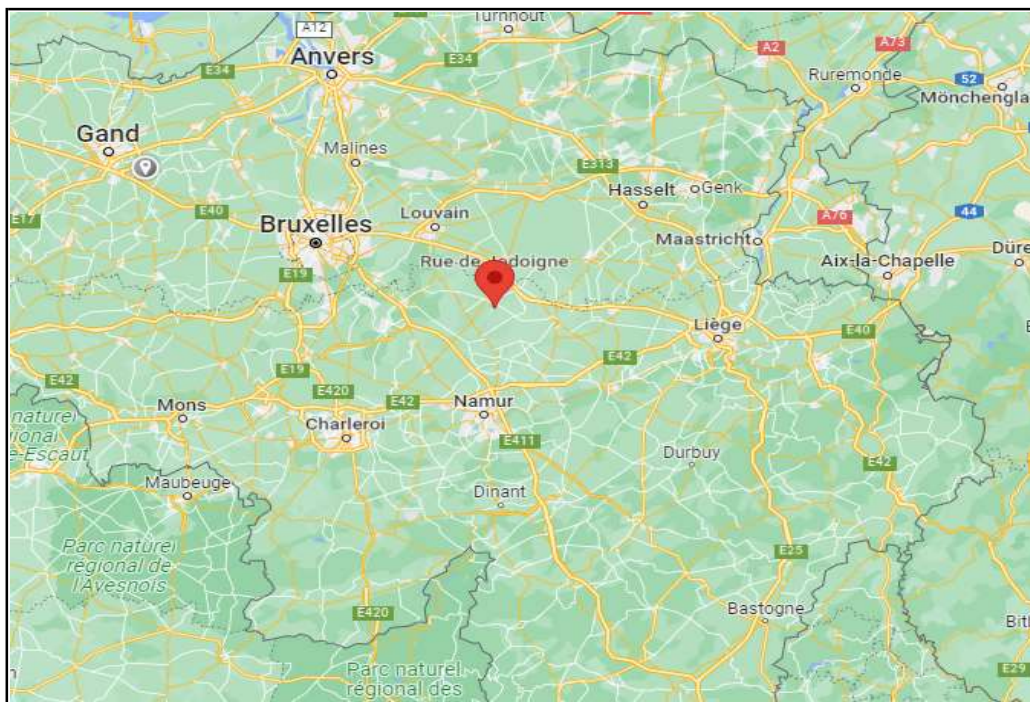
NBN EN ISO 22476-2 : 20059 - Reconnaissance et essais géotechniques - Essais en place - Partie 2 : Essai de pénétration dynamique

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.

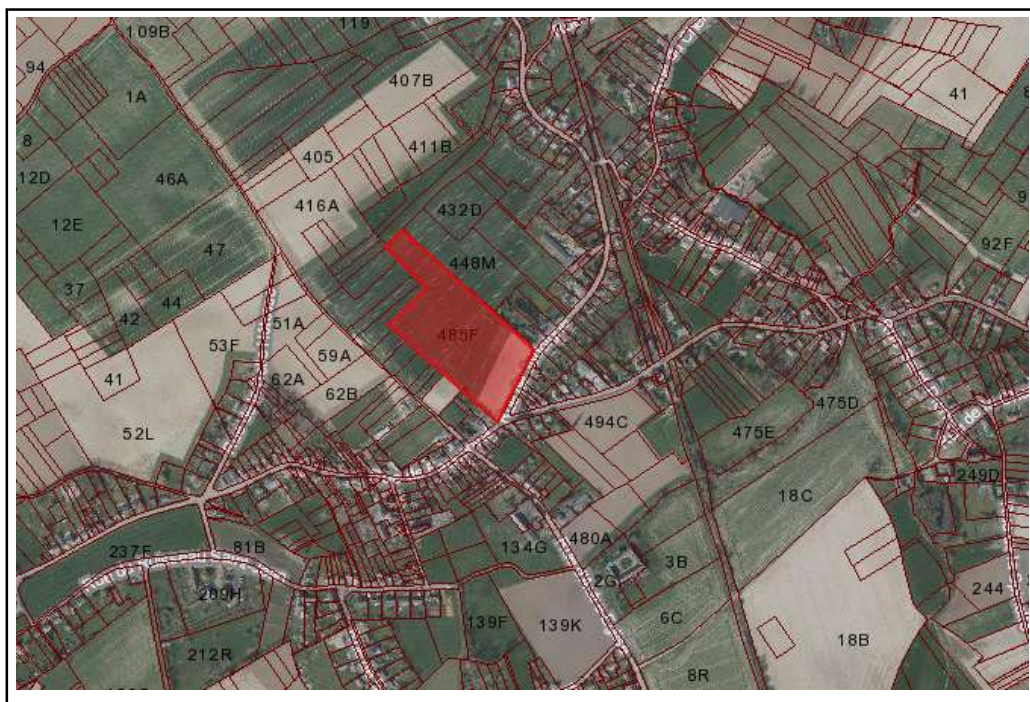
2. Contexte géographique

Le bien se situe à l'adresse suivante :

Rue de Jodoigne
1367 Huppaye
Province : Brabant Wallon
Belgique



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



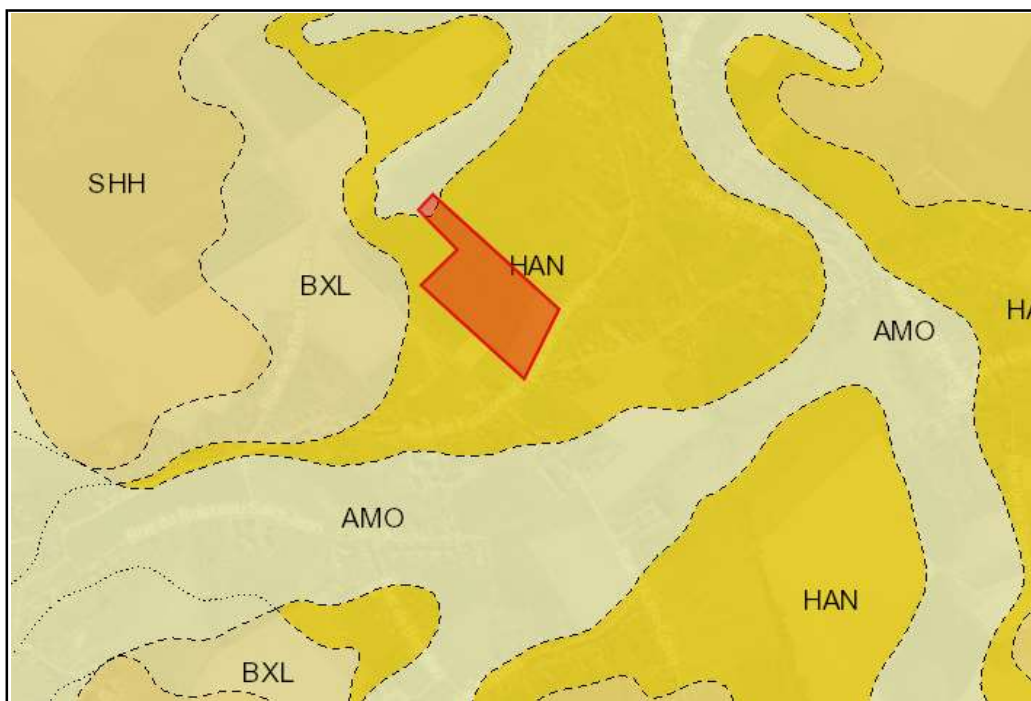
3. Contexte géologique

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: Hannut

HAN

Epaisseur : 20 à 40 m

Période : Paléocène

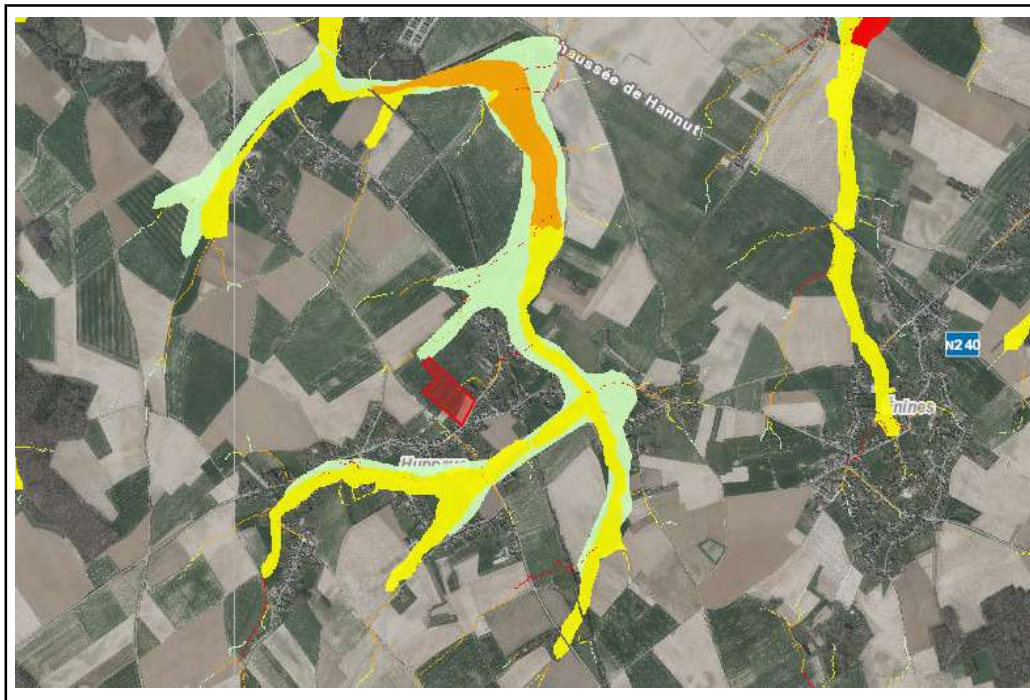
Utilisation particulière : /

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.

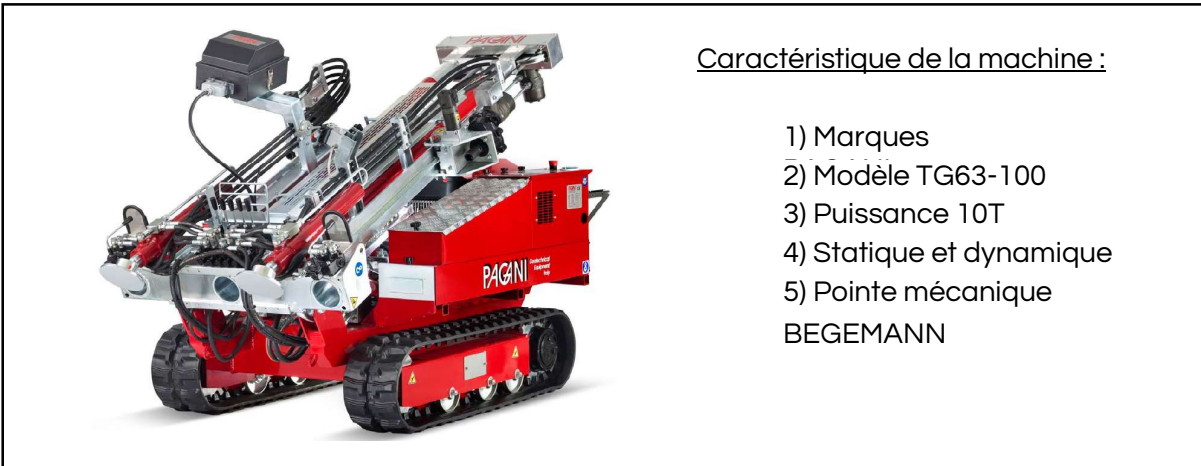


Il n'y a aucun aléas proche du terrain.

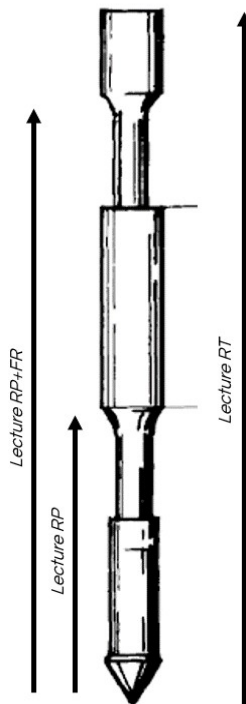
4. Les essais au pénétromètre statique

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 :

	<u>Type</u>	<u>Poids</u>	<u>Hauteur</u>	<u>Section</u>	<u>Avantage</u>
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 :

<u>Catégorie</u>	<u>Qd/Qc</u>	<u>Catégorie</u>	<u>Qd/Qc</u>
Sable	1.00	Argile	1.40
Sable Lâche	1.30	Limon ferme	1.25
Alluvions	1.50	Graves	1.00

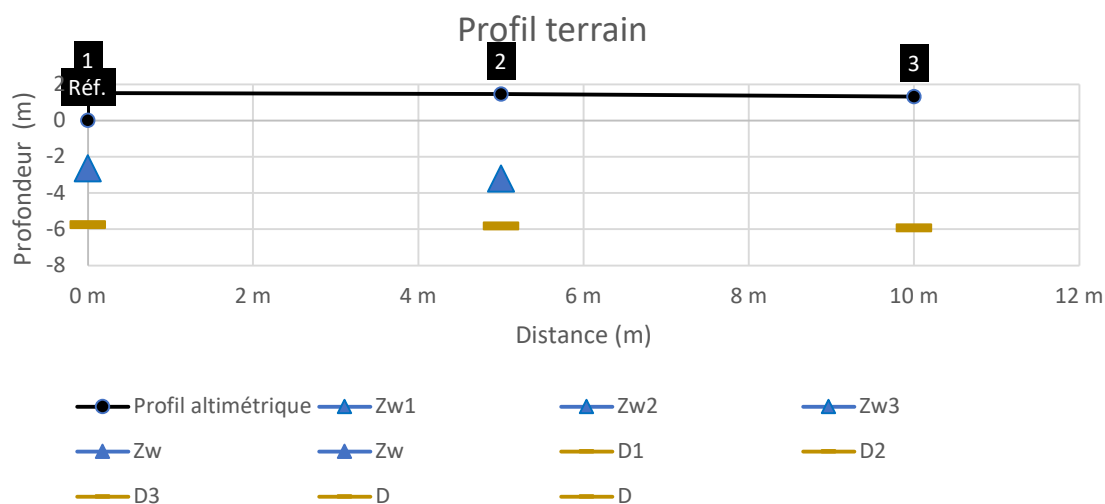
Le choix précis de ce rapport nécessite un forage descriptif. Par défaut, nous considérons un coefficient de 1,5.

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 certain 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.	Abso.	Rala.	Abso.	Rala.	Abso.	Rala.	Abso.	Rala.	Abso.	
1	1.51	4.15	-2.64	4.15	-2.64	/	/	/	7.25	-5.7	Ancrage < 10T
2	1.45	4.65	-3.20	4.65	-3.20	/	/	/	7.26	-5.8	Ancrage < 10T
3	1.32	/	/	/	/	/	2.50	-1.18	7.24	-5.9	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

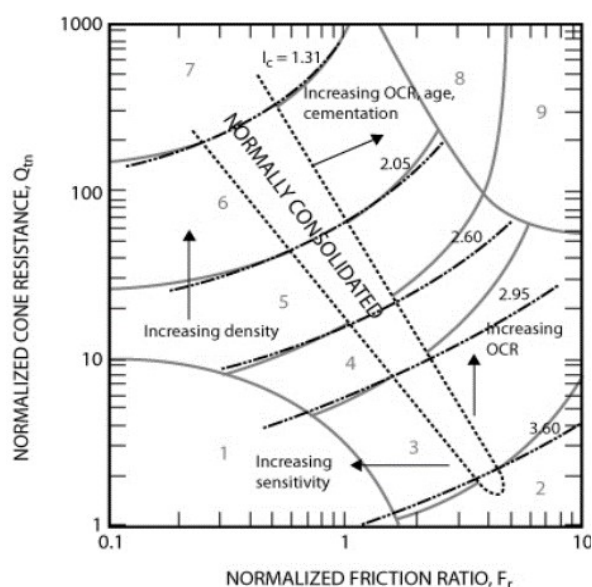
Les essais au pénétromètre statique mesurent les valeurs de la résistance par le passage du cône dans le sol. La mesure du frottement joue un rôle important pour différencier les sols grenues (sables) avec les sols fins (argiles).

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	Limoneux	Moyenne	
2	Argile	Limoneux	Moyenne	
3	Argile	Limoneux	Moyenne	

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

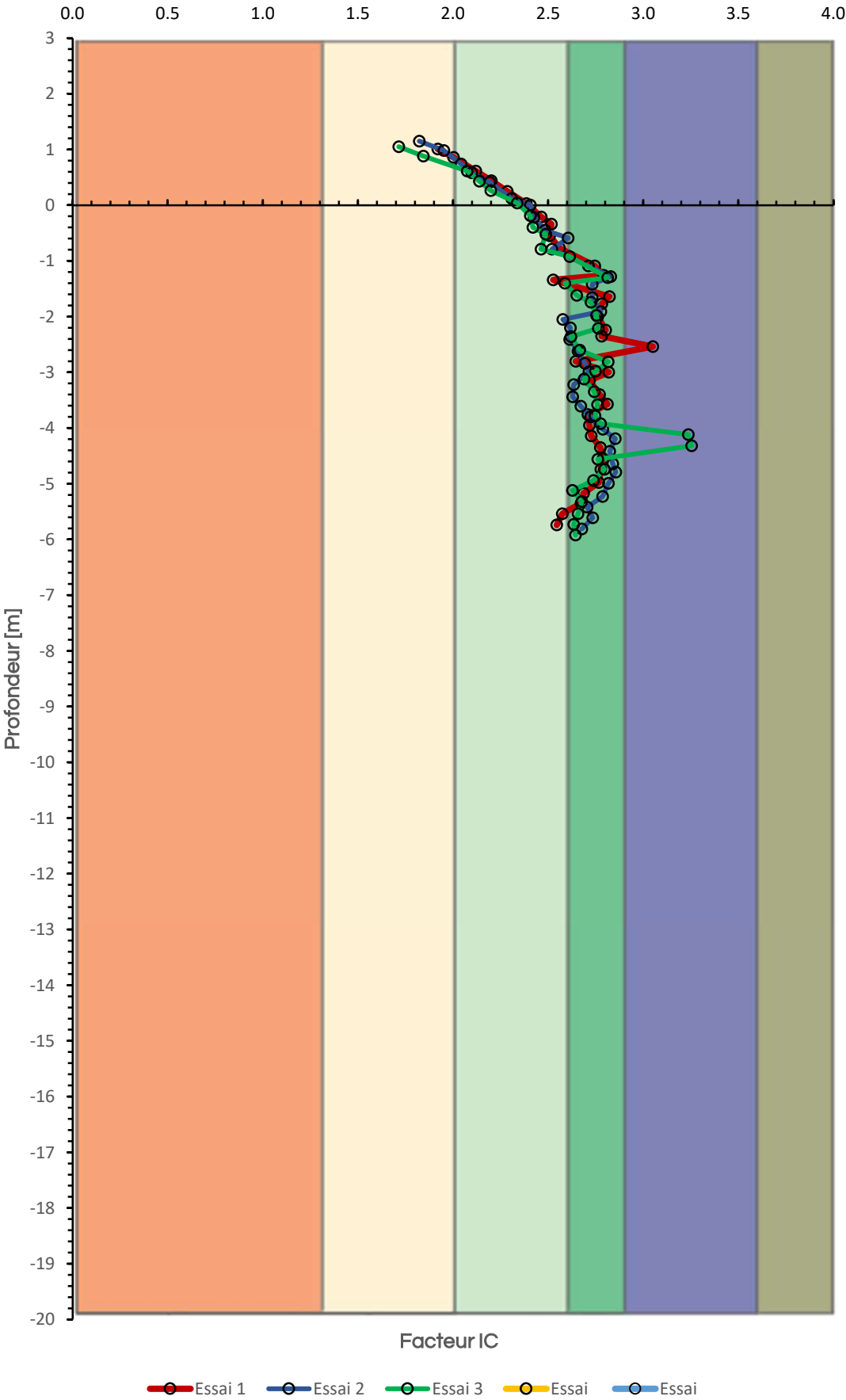


Zone	Soil Behavior Type	I_c
1	Sensitive, fine grained	N/A
2	Organic soils – clay	> 3.6
3	Clays – silty clay to clay	2.95 – 3.6
4	Silt mixtures – clayey silt to silty clay	2.60 – 2.95
5	Sand mixtures – silty sand to sandy silt	2.05 – 2.6
6	Sands – clean sand to silty sand	1.31 – 2.05
7	Gravelly sand to 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	3.24		Ancrage < 10T	Non	7.25 m
2	2.32		Ancrage < 10T	Non	7.26 m
3	2.93		Ancrage < 10T	Non	7.24 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 la construction d'une maison unifamiliale - ossature maçonnerie et béton.

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

Largeur de la semelle filante : 70 cm

N°	Profondeur	Assise Niv	Chargement appliqué	Contrainte admissible	Tassement	Avis
1	0.99 m	0.52 m	150.0 kPa	126.7 kPa	4.12 cm	Non favorable
2	0.93 m	0.52 m	150.0 kPa	133.4 kPa	3.53 cm	Non favorable
3	0.80 m	0.52 m	150.0 kPa	136.4 kPa	3.33 cm	Non favorable

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	0.71 m	150.0 kPa	131.1 kPa	4.12 cm	Non favorable
2	0.80 m	0.65 m	150.0 kPa	144.4 kPa	3.53 cm	Non favorable
3	0.80 m	0.52 m	150.0 kPa	140.7 kPa	3.33 cm	Non favorable

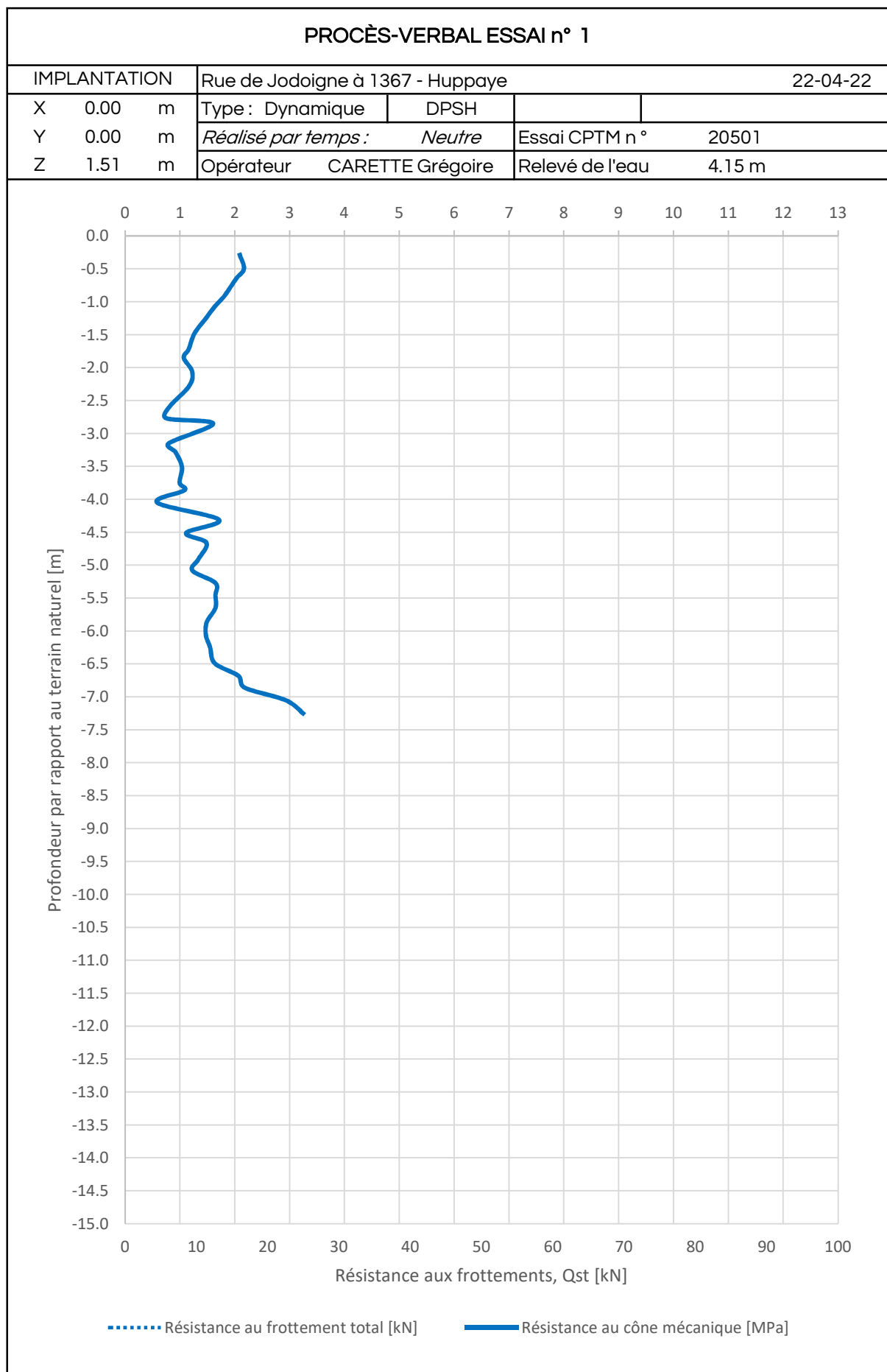
c) Mise en œuvre d'un radier à 80 cm sous le niveau le plus bas.

N°	Profondeur (Hors gel)	Assise	Chargement appliqué		Tassement	Avis
1	0.99 m	0.52 m	30.0 kPa		1.82 cm	<i>Favorable</i>
2	0.93 m	0.52 m	30.0 kPa		1.73 cm	<i>Favorable</i>
3	0.80 m	0.52 m	30.0 kPa		1.82 cm	<i>Favorable</i>

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

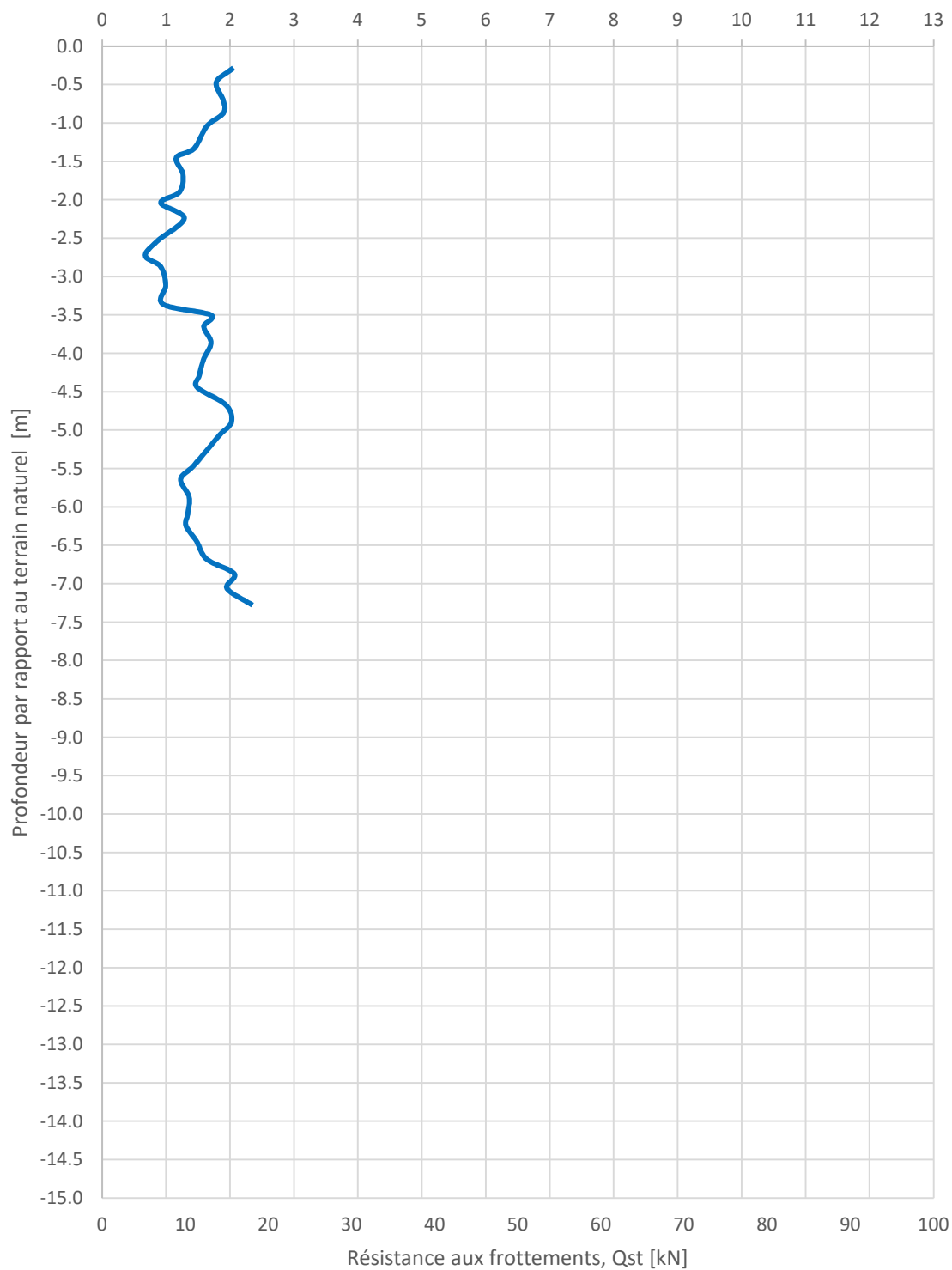
N°	Profondeur (Hors gel)	Assise	Chargement appliqué	Contrainte admissible	Tassement	Avis
1	2.50 m	-0.99 m	30.0 kPa		0.38 cm	<i>Favorable</i>
2	2.50 m	-1.05 m	30.0 kPa		0.35 cm	<i>Favorable</i>
3	2.50 m	-1.18 m	30.0 kPa		0.37 cm	<i>Favorable</i>

5.3. Résultats brut des essais.



PROCÈS-VERBAL ESSAI n° 2

IMPLANTATION		Rue de Jodoigne à 1367 - Huppaye			22-04-22
X	0.00	m	Type : Dynamique	DPSH	
Y	0.00	m	<i>Réalisé par temps :</i> Neutre		Essai CPTM n ° 20502
Z	1.45	m	Opérateur	CARETTE Grégoire	Relevé de l'eau 4.65 m

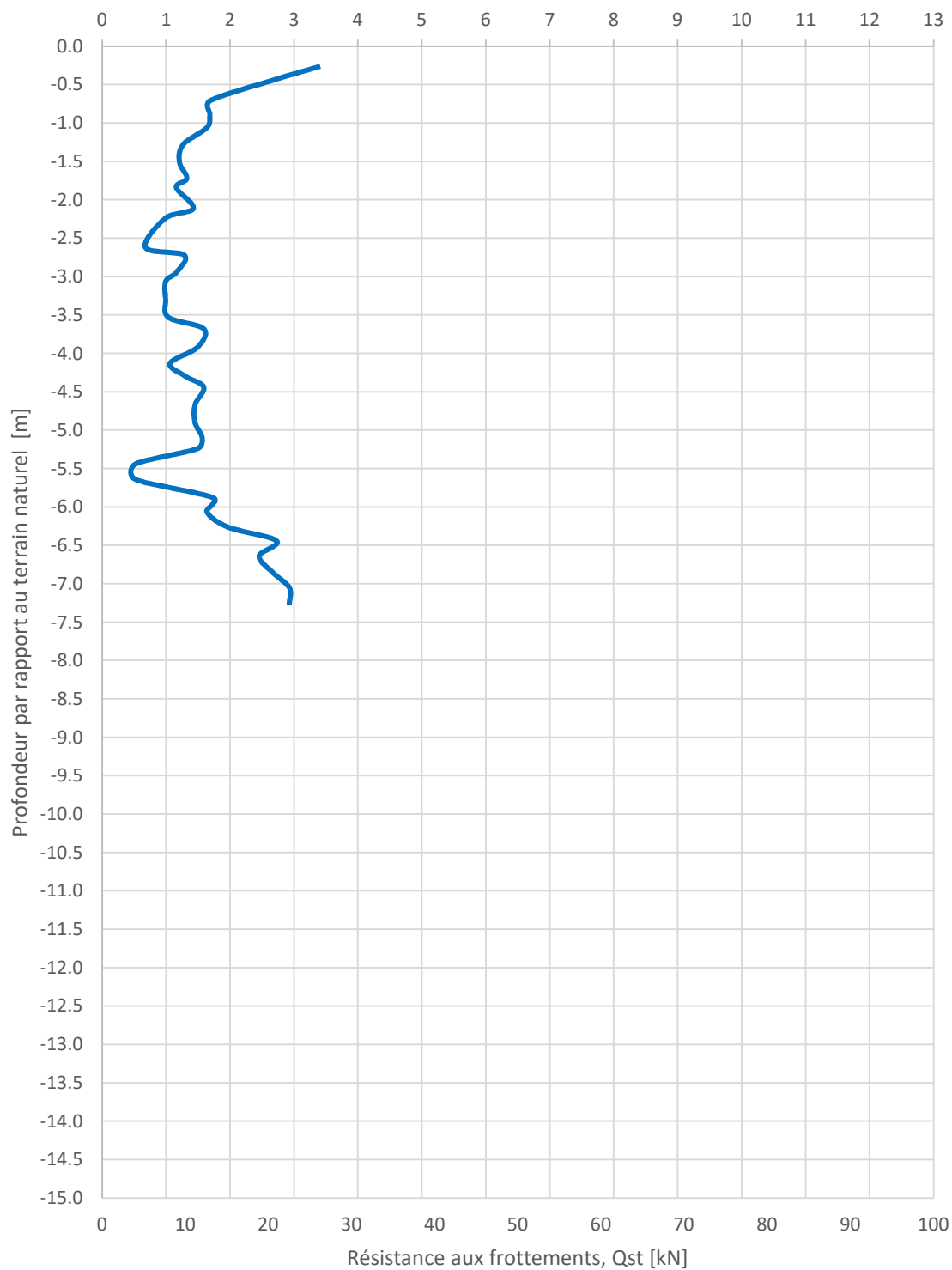


..... Résistance au frottement total [kN]

— Résistance au cône mécanique [MPa]

PROCÈS-VERBAL ESSAI n° 3

IMPLANTATION		Rue de Jodoigne à 1367 - Huppaye			22-04-22
X	0.00	m	Type : Dynamique	DPSH	
Y	0.00	m	Réalisé par temps : Neutre		Essai CPTM n ° 20503
Z	1.32	m	Opérateur	CARETTE Grégoire	Relevé de l'eau /



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

Résultats essai n° 1			
Date de l'intervention	22-04-22	Niveau terrain naturel	1.51 m
Type de pointe	DPSH	Réducteur de frottement	Non

P[m]	Niv[m]	Qc [Mpa]	Fs [kpa]	Qt [kN]	Qst [kN]
0.3	1.22	2.09			
0.5	1.01	2.17			
0.7	0.86	2.02			
0.9	0.61	1.82			
1.1	0.44	1.64			
1.3	0.25	1.46			
1.5	0.03	1.26			
1.7	-0.21	1.16			
1.9	-0.34	1.07			
2.1	-0.55	1.22			
2.3	-0.77	1.17			
2.6	-1.09	0.80			
2.8	-1.26	0.76			
2.9	-1.34	1.60			
3.2	-1.64	0.79			
3.3	-1.77	0.92			
3.5	-2.00	1.04			
3.8	-2.24	0.99			
3.9	-2.35	1.08			
4.1	-2.54	0.59			
4.3	-2.80	1.71			
4.5	-3.00	1.11			
4.7	-3.15	1.48			
4.9	-3.40	1.33			
5.1	-3.57	1.23			
5.3	-3.76	1.65			
5.5	-3.95	1.65			
5.7	-4.14	1.65			
5.9	-4.35	1.49			
6.1	-4.55	1.47			
6.3	-4.74	1.55			
6.5	-4.98	1.64			
6.7	-5.17	2.07			
6.9	-5.35	2.18			
7.1	-5.54	2.93			
7.3	-5.74	3.24			

Résultats essai n° 2			
Date de l'intervention	22-04-22	Niveau terrain naturel	1.45 m
Type de pointe	DPSH	Réducteur de frottement	Non

P[m]	Niv[m]	Qc [Mpa]	Fs [kpa]	Qt [kN]	Qst [kN]
0.3	1.15	2.02			
0.5	0.98	1.78			
0.7	0.74	1.90			
0.9	0.58	1.90			
1.0	0.41	1.64			
1.3	0.12	1.44			
1.5	0.00	1.16			
1.7	-0.22	1.26			
1.9	-0.45	1.21			
2.0	-0.59	0.92			
2.2	-0.79	1.28			
2.5	-1.09	0.86			
2.7	-1.28	0.68			
2.9	-1.42	0.92			
3.1	-1.66	0.99			
3.4	-1.91	0.95			
3.5	-2.05	1.70			
3.7	-2.20	1.59			
3.9	-2.41	1.70			
4.1	-2.62	1.59			
4.3	-2.84	1.52			
4.4	-2.99	1.48			
4.7	-3.22	1.93			
4.9	-3.44	2.02			
5.1	-3.61	1.84			
5.3	-3.80	1.65			
5.5	-4.02	1.42			
5.6	-4.19	1.23			
5.9	-4.42	1.36			
6.1	-4.64	1.34			
6.2	-4.79	1.31			
6.4	-4.99	1.47			
6.7	-5.23	1.64			
6.9	-5.42	2.07			
7.1	-5.61	1.95			
7.3	-5.81	2.32			

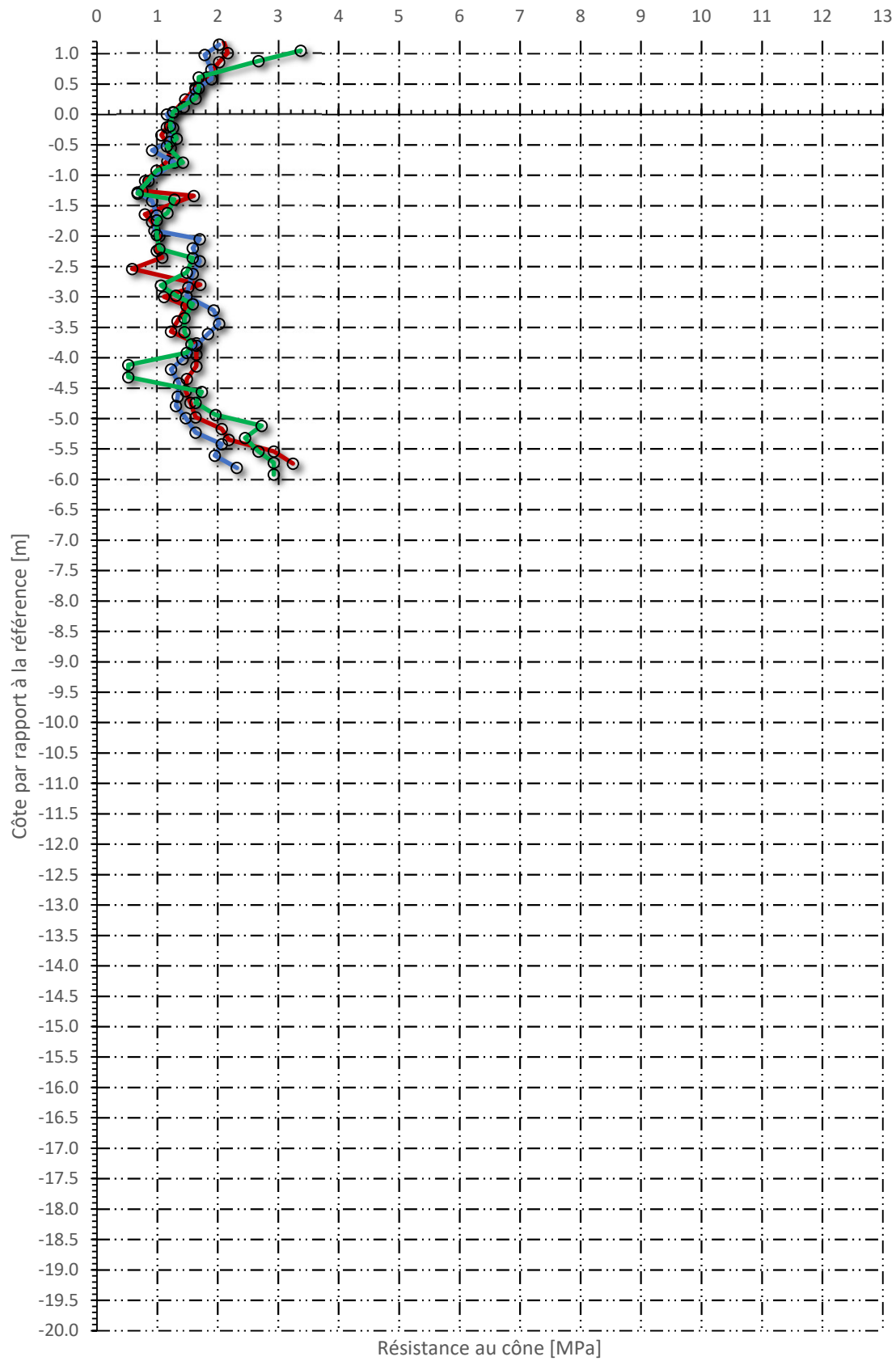
Résultats essai n° 3			
Date de l'intervention	22-04-22	Niveau terrain naturel	1.32 m
Type de pointe	DPSH	Réducteur de frottement	Non

P[m]	Niv[m]	Qc [Mpa]	Fs [kpa]	Qt [kN]	Qst [kN]
0.3	1.05	3.37			
0.4	0.88	2.68			
0.7	0.61	1.69			
0.9	0.43	1.69			
1.1	0.26	1.64			
1.3	0.04	1.26			
1.5	-0.19	1.21			
1.7	-0.40	1.32			
1.8	-0.52	1.16			
2.1	-0.79	1.43			
2.2	-0.92	0.99			
2.6	-1.30	0.68			
2.7	-1.40	1.28			
2.9	-1.62	1.17			
3.1	-1.74	0.99			
3.3	-1.98	0.99			
3.5	-2.21	1.04			
3.7	-2.36	1.59			
3.9	-2.60	1.49			
4.1	-2.81	1.06			
4.3	-2.98	1.31			
4.4	-3.12	1.59			
4.7	-3.35	1.45			
4.9	-3.58	1.45			
5.1	-3.78	1.56			
5.2	-3.92	1.49			
5.4	-4.12	0.52			
5.6	-4.32	0.52			
5.9	-4.56	1.74			
6.1	-4.74	1.64			
6.3	-4.94	1.96			
6.4	-5.12	2.73			
6.6	-5.32	2.45			
6.9	-5.54	2.68			
7.1	-5.73	2.93			
7.2	-5.92	2.93			

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 3 essais de sol au pénétromètre d'une puissance de 10T pour un projet de la construction d'une maison unifamiliale - ossature maçonnerie et béton.

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 110.8m, l'assise des fondations est estimée à 109.6m.

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 7.24 m et 7.26 m de profondeur par rapport à la surface du terrain naturel. Ce refus est essentiellement dû par la nature du sol relativement sableuse en surface ne permettant pas à la machine, un ancrage suffisant pour s'opposer à la puissance maximum de 10 T.

Lors de l'extraction de la tige, le technicien a relevé le niveau de l'eau souterraine qui semble être compris entre 4.15 m et 4.65 m par rapport à la surface du terrain naturel.

L'analyse de la capacité portante au niveau de l'assise des fondations, c'est-à-dire à 109.6 m, démontre des valeurs comprises entre 131 kPa et 144 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).

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 (K_c) 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	0.71	0.318	106	131	132	159	181	183	171	181	190
1.00	0.51	0.325	100	127	128	150	168	180	168	178	182
1.20	0.31	0.331	99	121	122	140	166	179	164	169	176
1.40	0.11	0.336	96	114	115	140	166	172	158	166	173
1.60	-0.09	0.340	90	115	116	141	161	170	156	165	173
1.80	-0.29	0.344	90	115	115	135	158	168	154	164	168
2.00	-0.49	0.347	93	111	112	133	157	167	153	163	163
2.20	-0.69	0.350	85	106	107	131	154	165	151	153	168
2.40	-0.89	0.353	87	112	112	135	160	161	148	164	175
2.60	-1.09	0.355	96	119	119	144	158	177	160	172	189
2.80	-1.29	0.357	89	115	115	128	161	174	159	176	190
3.00	-1.49	0.359	97	111	110	144	170	190	172	187	198

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	0.71	0.342	113	140	142	171	195	197	184	195	205
1.00	0.51	0.351	108	136	138	162	182	194	181	193	197
1.20	0.31	0.358	107	131	132	152	180	193	178	183	190
1.40	0.11	0.363	104	123	125	152	181	186	171	179	187
1.60	-0.09	0.368	98	125	126	153	175	184	168	178	186
1.80	-0.29	0.372	97	125	125	147	172	181	166	176	181
2.00	-0.49	0.375	100	121	121	144	171	180	164	175	175
2.20	-0.69	0.378	92	116	116	142	167	178	162	164	180
2.40	-0.89	0.381	95	121	122	147	174	174	158	175	187
2.60	-1.09	0.383	104	129	129	157	171	190	171	184	201
2.80	-1.29	0.385	97	125	124	139	175	186	169	187	202
3.00	-1.49	0.387	106	120	120	156	184	204	183	199	211

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	0.65	0.318	118	144	146	169	194	201	187	188	190
1.00	0.45	0.325	110	133	135	159	184	186	174	177	182
1.20	0.25	0.331	102	127	128	152	170	174	162	169	175
1.40	0.05	0.336	100	124	125	143	161	169	158	165	175
1.60	-0.15	0.340	98	116	117	136	158	166	155	166	181
1.80	-0.35	0.344	90	108	109	131	153	166	154	170	188
2.00	-0.55	0.347	85	106	107	130	152	171	157	175	194
2.20	-0.75	0.350	86	109	109	132	164	186	168	188	208
2.40	-0.95	0.353	80	103	103	137	172	197	176	198	215
2.60	-1.15	0.355	84	120	120	157	193	217	194	214	229
2.80	-1.35	0.357	107	145	145	183	220	238	216	232	250
3.00	-1.55	0.359	126	167	166	203	239	252	233	251	270

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	0.65	0.342	125	154	156	182	209	217	202	203	205
1.00	0.45	0.351	118	143	145	172	199	201	188	191	197
1.20	0.25	0.358	110	137	138	165	185	188	175	183	189
1.40	0.05	0.363	108	134	136	155	175	183	170	178	189
1.60	-0.15	0.368	107	126	127	147	171	180	167	178	195
1.80	-0.35	0.372	97	117	118	142	167	180	166	183	202
2.00	-0.55	0.375	92	115	116	141	165	185	169	188	208
2.20	-0.75	0.378	93	119	119	143	178	200	181	202	222
2.40	-0.95	0.381	87	112	112	149	187	212	189	211	229
2.60	-1.15	0.383	91	131	131	170	210	233	207	228	244
2.80	-1.35	0.385	117	157	157	199	239	256	230	248	266
3.00	-1.55	0.387	137	181	180	221	259	270	248	267	287

Capacité portante - méthode CPT : essai n° 3

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	0.52	0.318	114	141	142	170	197	200	187	192	201	
1.00	0.32	0.325	108	136	138	165	184	190	178	188	195	
1.20	0.12	0.331	107	134	135	154	177	189	176	184	190	
1.40	-0.08	0.336	108	128	129	151	179	188	176	182	188	
1.60	-0.28	0.340	101	123	124	152	177	185	172	179	190	
1.80	-0.48	0.344	97	125	125	150	173	182	168	180	196	
2.00	-0.68	0.347	99	127	127	150	173	182	168	185	200	
2.20	-0.88	0.350	95	118	118	141	165	185	170	187	194	
2.40	-1.08	0.353	96	119	120	144	178	197	179	188	201	
2.60	-1.28	0.355	105	129	129	164	198	207	188	202	218	
2.80	-1.48	0.357	100	136	136	171	195	210	192	210	222	
3.00	-1.68	0.359	111	147	146	171	201	220	202	217	228	

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	0.52	0.342	121	150	152	183	213	215	201	207	217	
1.00	0.32	0.351	116	147	148	178	199	206	192	203	211	
1.20	0.12	0.358	115	145	146	167	192	205	191	199	205	
1.40	-0.08	0.363	117	138	140	164	195	204	190	197	203	
1.60	-0.28	0.368	109	134	135	166	193	200	185	193	204	
1.80	-0.48	0.372	105	136	136	164	189	196	181	194	210	
2.00	-0.68	0.375	108	137	138	163	188	196	181	198	214	
2.20	-0.88	0.378	103	128	129	154	180	200	182	200	208	
2.40	-1.08	0.381	104	130	130	156	193	212	192	201	214	
2.60	-1.28	0.383	114	140	140	178	215	222	201	216	232	
2.80	-1.48	0.385	109	148	148	186	212	225	205	223	237	
3.00	-1.68	0.387	121	159	159	185	218	235	215	230	242	

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 utilisée 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	0.71	4.24	3.48	2.62	2.24	1.94
1.20	0.31	2.26	1.79	1.34	0.88	0.42
1.60	-0.09	1.36	0.75	0.13	0.00	0.00
2.00	-0.49	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00
2.80	-1.29	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	0.71	15.21	14.62	13.74	12.99	12.00
1.20	0.31	13.11	11.52	10.05	8.48	6.86
1.60	-0.09	10.16	8.19	6.04	4.98	4.23
2.00	-0.49	7.55	5.44	4.41	3.41	2.48
2.80	-1.29	2.86	1.98	1.09	0.29	0.00

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

		Largeur de la semelle en cm				
P[m]	Niv[m]	60	70	80	90	100
0.80	0.71	27.64	27.23	26.31	25.69	24.60
1.20	0.31	25.90	24.08	22.55	20.77	18.87
1.60	-0.09	22.78	20.77	18.32	15.89	13.53
2.00	-0.49	20.76	17.39	14.11	10.91	8.18
2.80	-1.29	9.16	6.38	5.14	4.12	3.17

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

		Largeur de la semelle en cm				
P[m]	Niv[m]	60	70	80	90	100
0.80	0.71	41.17	40.93	39.95	39.46	38.26
1.20	0.31	39.76	37.69	36.07	34.07	31.87
1.60	-0.09	36.42	34.39	31.61	28.85	26.17
2.00	-0.49	35.08	31.16	27.30	23.42	19.88
2.80	-1.29	18.44	15.41	12.02	8.99	7.16

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	0.65	3.63	2.92	2.17	1.78	1.51
1.20	0.25	1.90	1.49	1.08	0.68	0.32
1.60	-0.15	1.13	0.59	0.10	0.00	0.00
2.00	-0.55	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00
2.80	-1.35	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	0.65	13.03	12.26	11.35	10.34	9.32
1.20	0.25	11.00	9.60	8.06	6.59	5.20
1.60	-0.15	8.43	6.40	4.58	3.68	3.05
2.00	-0.55	5.75	4.02	3.15	2.38	1.71
2.80	-1.35	1.93	1.23	0.66	0.18	0.00

Chargement 75 kN/m

		Largeur de la semelle en cm				
P[m]	Niv[m]	60	70	80	90	100
0.80	0.65	23.68	22.84	21.73	20.44	19.10
1.20	0.25	21.73	20.08	18.07	16.14	14.30
1.60	-0.15	18.89	16.24	13.88	11.74	9.74
2.00	-0.55	15.78	12.83	10.05	7.62	5.64
2.80	-1.35	6.17	3.95	3.11	2.48	1.90

Chargement 100 kN/m

		Largeur de la semelle en cm				
P[m]	Niv[m]	60	70	80	90	100
0.80	0.65	35.28	34.33	33.00	31.39	29.70
1.20	0.25	33.36	31.43	28.91	26.47	24.14
1.60	-0.15	30.22	26.87	23.95	21.31	18.84
2.00	-0.55	26.64	22.97	19.42	16.34	13.69
2.80	-1.35	12.41	9.52	7.26	5.40	4.29

Tassement semelle filante (mm) - essai 3

Chargement 25 kN/m

		Largeur de la semelle en cm				
P[m]	Niv[m]	60	70	80	90	100
0.80	0.52	3.43	2.78	2.07	1.72	1.47
1.20	0.12	1.78	1.39	1.02	0.66	0.31
1.60	-0.28	1.05	0.56	0.10	0.00	0.00
2.00	-0.68	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00
2.80	-1.48	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	0.52	12.32	11.68	10.83	9.96	9.07
1.20	0.12	10.35	8.96	7.60	6.35	5.09
1.60	-0.28	7.88	6.08	4.42	3.60	3.07
2.00	-0.68	5.55	3.93	3.12	2.44	1.83
2.80	-1.48	2.00	1.30	0.71	0.19	0.00

Chargement : 75 kN/m

		Largeur de la semelle en cm				
P[m]	Niv[m]	60	70	80	90	100
0.80	0.52	22.38	21.75	20.73	19.69	18.60
1.20	0.12	20.44	18.72	17.04	15.56	14.00
1.60	-0.28	17.67	15.43	13.39	11.49	9.80
2.00	-0.68	15.26	12.56	9.98	7.80	6.04
2.80	-1.48	6.42	4.17	3.36	2.70	2.10

Chargement 100 kN/m

		Largeur de la semelle en cm				
P[m]	Niv[m]	60	70	80	90	100
0.80	0.52	33.33	32.69	31.47	30.23	28.92
1.20	0.12	31.37	29.29	27.25	25.52	23.63
1.60	-0.28	28.27	25.54	23.11	20.85	18.96
2.00	-0.68	25.77	22.50	19.30	16.75	14.68
2.80	-1.48	12.92	10.07	7.84	5.89	4.73

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	0.71	25.53	6.76	1.29	0.00	0.00
1.20	0.31	26.32	4.22	0.00	0.00	0.00
1.60	-0.09	25.71	2.68	0.00	0.00	0.00
2.00	-0.49	37.42	2.48	0.00	0.00	0.00
2.80	-1.29	31.07	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	0.71	109.20	38.52	19.29	8.45	2.95
1.20	0.31	114.89	37.18	14.66	4.13	0.38
1.60	-0.09	116.34	34.14	1.96	0.00	0.00
2.00	-0.49	175.86	45.81	8.22	0.00	0.00
2.80	-1.29	164.02	29.89	3.07	0.00	0.00

Chargement 200 kN

		Largeur de la semelle en cm				
P[m]	Niv[m]	50	100	150	200	300
0.80	0.71	159.72	57.00	30.56	16.37	6.48
1.20	0.31	167.71	56.23	25.87	9.30	3.10
1.60	-0.09	169.99	53.12	5.72	0.51	0.00
2.00	-0.49	257.04	73.85	19.11	3.60	0.00
2.80	-1.29	241.41	53.52	8.55	0.00	0.00

Chargement 400 kN

		Largeur de la semelle en cm				
P[m]	Niv[m]	50	100	150	200	300
0.80	0.71	403.36	142.91	82.03	52.36	32.44
1.20	0.31	419.56	143.89	76.81	43.31	22.48
1.60	-0.09	424.03	139.95	35.51	13.43	5.47
2.00	-0.49	637.97	201.21	80.60	28.76	8.27
2.80	-1.29	601.59	160.30	52.06	2.56	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	0.65	20.47	5.69	1.08	0.00	0.00
1.20	0.25	23.89	3.62	0.00	0.00	0.00
1.60	-0.15	20.71	2.30	0.00	0.00	0.00
2.00	-0.55	30.81	1.71	0.00	0.00	0.00
2.80	-1.35	18.94	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	0.65	87.42	32.44	16.14	6.55	2.21
1.20	0.25	104.60	31.87	11.96	3.12	0.27
1.60	-0.15	93.55	29.28	1.41	0.00	0.00
2.00	-0.55	144.36	31.49	5.73	0.00	0.00
2.80	-1.35	99.20	18.52	2.10	0.00	0.00

Chargement 200 kN

		Largeur de la semelle en cm				
P[m]	Niv[m]	50	100	150	200	300
0.80	0.65	127.82	48.01	25.56	12.69	4.84
1.20	0.25	152.81	48.19	21.12	7.03	2.26
1.60	-0.15	136.64	45.58	4.10	0.36	0.00
2.00	-0.55	210.82	50.70	13.30	2.55	0.00
2.80	-1.35	145.70	33.10	5.85	0.00	0.00

Chargement 400 kN

		Largeur de la semelle en cm				
P[m]	Niv[m]	50	100	150	200	300
0.80	0.65	322.57	120.39	68.62	40.57	24.24
1.20	0.25	382.97	123.34	62.70	32.72	16.37
1.60	-0.15	340.53	120.14	25.41	9.46	3.85
2.00	-0.55	522.22	137.70	55.94	20.32	5.99
2.80	-1.35	361.23	98.83	35.57	1.88	0.00

Tassement semelle isolée - carré (mm) - essai 3

Chargement 50 kN

		Largeur de la semelle en cm				
P[m]	Niv[m]	50	100	150	200	300
0.80	0.52	21.08	5.54	1.03	0.00	0.00
1.20	0.12	20.64	3.39	0.00	0.00	0.00
1.60	-0.28	19.30	2.11	0.00	0.00	0.00
2.00	-0.68	28.77	1.83	0.00	0.00	0.00
2.80	-1.48	20.67	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	0.52	90.09	31.53	15.37	6.37	2.22
1.20	0.12	90.06	29.85	11.16	3.05	0.28
1.60	-0.28	87.33	26.91	1.42	0.00	0.00
2.00	-0.68	135.17	33.81	6.39	0.00	0.00
2.80	-1.48	108.74	22.73	2.51	0.00	0.00

Chargement 200 kN

		Largeur de la semelle en cm				
P[m]	Niv[m]	50	100	150	200	300
0.80	0.52	131.75	46.65	24.35	12.34	4.86
1.20	0.12	131.44	45.13	19.70	6.88	2.34
1.60	-0.28	127.60	41.89	4.14	0.38	0.00
2.00	-0.68	197.55	54.50	14.86	2.86	0.00
2.80	-1.48	159.89	40.69	6.99	0.00	0.00

Chargement 400 kN

		Largeur de la semelle en cm				
P[m]	Niv[m]	50	100	150	200	300
0.80	0.52	332.59	116.96	65.34	39.46	24.35
1.20	0.12	328.72	115.48	58.47	32.05	17.01
1.60	-0.28	318.28	110.40	25.68	10.16	4.22
2.00	-0.68	490.21	148.40	62.66	22.87	6.73
2.80	-1.48	397.51	121.81	42.65	2.20	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						
Charge surfacique uniformément répartie [kPa]						
P[m]	Niv[m]	20	30	40	50	60
0.4	1.11	18.04	26.47	34.57	42.37	49.91
0.8	0.71	9.51	18.24	26.61	34.67	42.44
1.2	0.31	0.72	9.51	17.96	26.10	33.95
1.6	-0.09	0.00	3.77	12.12	20.17	27.95
3	-1.49	0.00	0.00	0.00	1.31	7.75

Tassement radier rectangulaire (mm) - essai 2						
<i>Charge surfacique uniformément répartie [kPa]</i>						
P[m]	Niv[m]	20	30	40	50	60
0.4	1.05	17.09	25.06	32.72	40.09	47.20
0.8	0.65	9.00	17.26	25.17	32.78	40.11
1.2	0.25	0.68	8.95	16.89	24.54	31.92
1.6	-0.15	0.00	3.54	11.36	18.91	26.20
3	-1.55	0.00	0.00	0.00	1.19	7.05

Tassement radier rectangulaire (mm) - essai 3						
<i>Charge surfacique uniformément répartie [kPa]</i>						
P[m]	Niv[m]	20	30	40	50	60
0.4	0.92	17.88	26.25	34.30	42.07	49.57
0.8	0.52	9.47	18.17	26.52	34.56	42.31
1.2	0.12	0.72	9.46	17.86	25.97	33.79
1.6	-0.28	0.00	3.74	12.01	19.99	27.71
3	-1.68	0.00	0.00	0.00	1.32	7.82

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	Essai 3
<u>Ks- BIOT</u>			
E sol [80 cm] =	9 MPa	10 MPa	10 MPa
Ks [80 cm] =	5350 kN/m ³	5662 kN/m ³	5923 kN/m ³
E sol [280 cm] =	25 MPa	26 MPa	19 MPa
Ks [280 cm] =	16208 kN/m ³	17085 kN/m ³	12180 kN/m ³

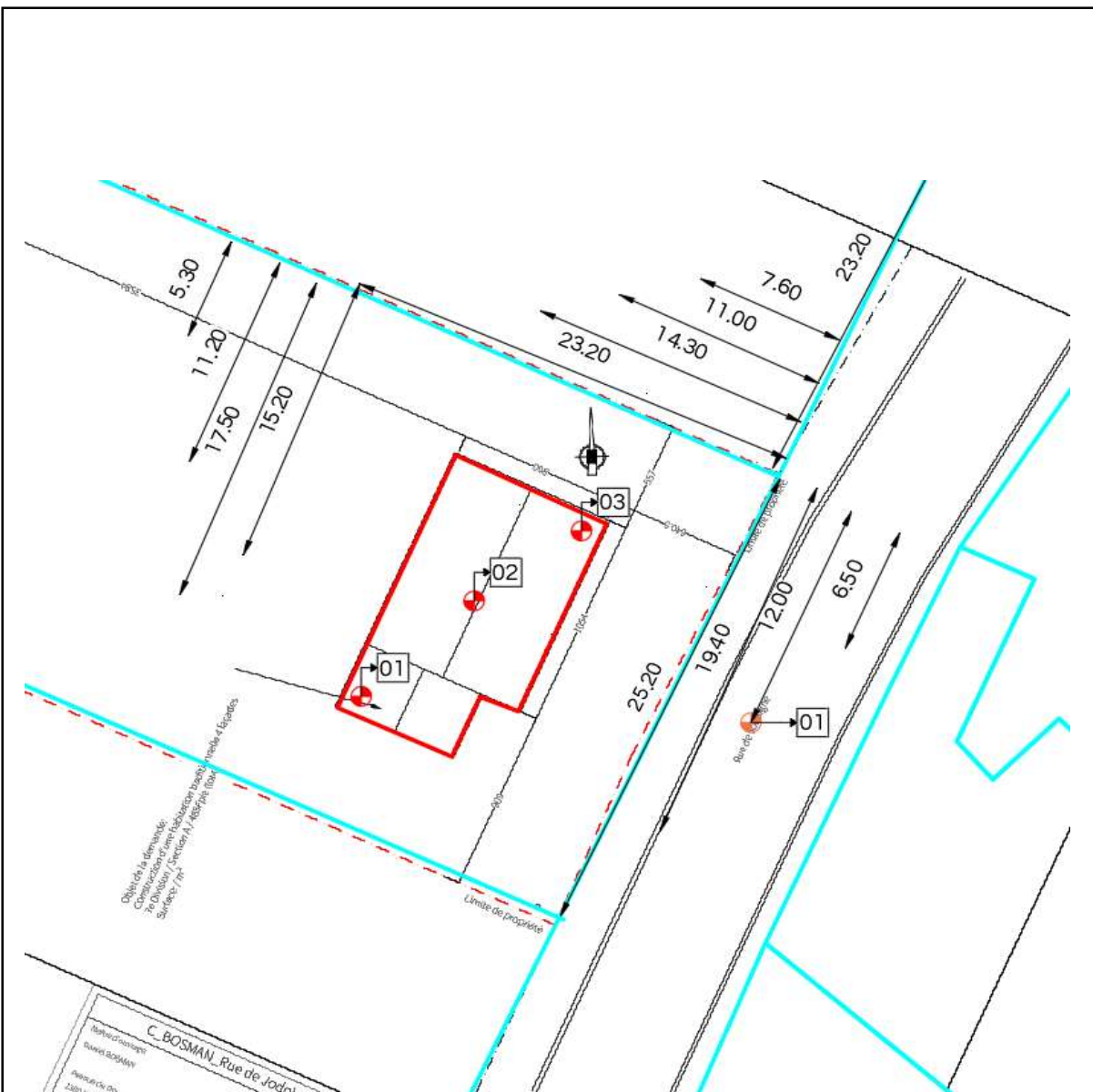
Module Ks
<u>Ks- BIOT</u>
E sol [80 cm] =
Ks [80 cm] =
E sol [280 cm] =
Ks [280 cm] =

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



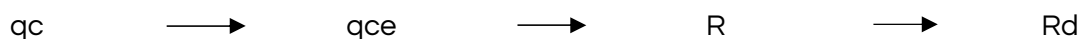
Référence rapport : Voirie

 sainatech	Projet de la construction d'une maison unifamiliale - ossature maçonnerie et béton.				<u>Relevé altimétrique</u>			
					1	1.51 m		
	Voirie	0.00 m			2	1.45 m		
					3	1.32 m		
IMPLANTATION	Rue de Jodoiane 1367 - Huppave							

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 94-061

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]

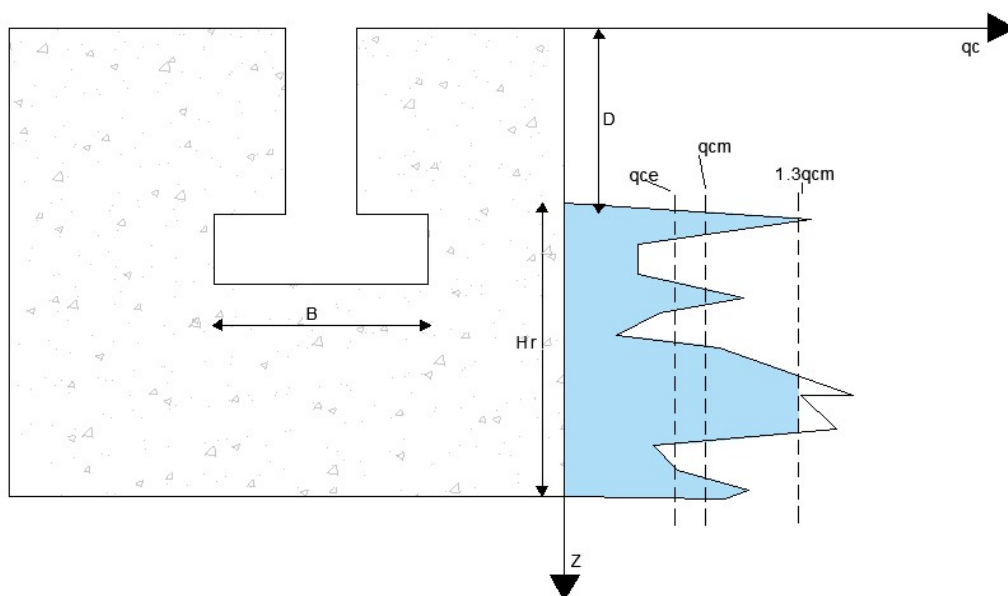
La première étape consiste à lisser la courbe de résistance apparente :

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

Où :

q_{cc}	Résistance de cône, q_c , écrétée à 1.3 q_{cm}
H_r	3 x 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 K_c varie en fonction de la nature du sol :

Argiles et limons	0.27 < K _c < 0.35	Semelle filante
Sables et graves	0.09 < K _c < 0.14	
Craies	0.11 < K _c < 0.21	
Marnes et roches altérées	0.11 < K _c < 0.21	
Argiles et limons	0.27 < K _c < 0.38	Semelle isolée
Sables et graves	0.09 < K _c < 0.16	
Craies	0.11 < K _c < 0.24	
Marnes et roches altérées	0.11 < K _c < 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 Évalué à 2.B pour des semelles isolée Évalué 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	Format de la fondation
Temps	180 jours	Temps pour le tassement secondaire
α	2	Coefficient de Sangrelat du sol

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 Sangrelet 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]	[°]				
0.29	1.22	2.1			4.6	36	676	37.5	50.4	53.0
0.50	1.01	2.2			8.0	33	406	25.3	37.8	31.2
0.65	0.86	2.0			10.4	31	292	19.5	31.4	21.8
0.90	0.61	1.8			14.4	27	190	13.9	24.7	13.3
1.07	0.44	1.6			17.1	25	143	11.1	21.3	9.6
1.26	0.25	1.5			20.2	23	109	8.9	18.3	6.8
1.48	0.03	1.3			23.7	21	80	6.9	15.6	4.5
1.72	-0.21	1.2			27.5	19	63	5.7	13.8	3.2
1.85	-0.34	1.1			29.6	18	54	5.0	12.8	2.6
2.06	-0.55	1.2			33.0	18	56	5.1	12.9	2.7
2.28	-0.77	1.2			36.5	17	48	4.6	12.0	2.1
2.60	-1.09	0.8			41.6	12	29	3.0	9.3	0.9
2.77	-1.26	0.8			44.3	11	26	2.7	8.8	0.7
2.85	-1.34	1.6			45.6	17	53	4.9	12.6	2.5
3.15	-1.64	0.8			50.4	10	24	2.5	8.5	0.6
3.28	-1.77	0.9			52.5	11	26	2.8	8.9	0.7
3.51	-2.00	1.0			56.2	12	28	2.9	9.1	0.8
3.75	-2.24	1.0			60.0	11	25	2.6	8.7	0.6
3.86	-2.35	1.1			61.8	11	26	2.8	8.9	0.7
4.05	-2.54	0.6			64.8	5	14	1.6	6.6	0.1
4.31	-2.80	1.7			68.0	14	38	3.7	10.6	1.4
4.51	-3.00	1.1			70.0	10	24	2.6	8.5	0.6
4.66	-3.15	1.5			71.5	13	31	3.2	9.7	1.0
4.91	-3.40	1.3			74.0	12	27	2.8	9.0	0.8
5.08	-3.57	1.2			75.7	11	24	2.6	8.6	0.6
5.27	-3.76	1.6			77.6	13	32	3.3	9.8	1.0
5.46	-3.95	1.6			79.5	13	31	3.2	9.7	1.0
5.65	-4.14	1.6			81.4	13	30	3.1	9.6	0.9
5.86	-4.35	1.5			83.5	11	27	2.8	9.0	0.7
6.06	-4.55	1.5			85.5	11	26	2.7	8.8	0.7
6.25	-4.74	1.5			87.4	11	27	2.8	9.0	0.7
6.49	-4.98	1.6			89.8	12	27	2.9	9.1	0.8
6.68	-5.17	2.1			91.7	13	34	3.4	10.1	1.2
6.86	-5.35	2.2			93.5	14	35	3.5	10.2	1.2
7.05	-5.54	2.9			95.4	16	46	4.4	11.7	2.0
7.25	-5.74	3.2			97.4	17	50	4.7	12.2	2.3

ESSAI n° 2

Prof.	Niv.	Qc	Fs	Rf	σ'_{vo}	φ'	C	Nq	Nc	Ny
[m]	[m]	[MPa]	[kPa]	[%]	[kPa]	[°]				
0.30	1.15	2.0			4.8	36	632	35.63	48.48	49.49
0.47	0.98	1.8			7.5	32	356	22.79	35.07	27.08
0.71	0.74	1.9			11.4	29	250	17.27	28.83	18.37
0.87	0.58	1.9			13.9	28	204	14.70	25.78	14.56
1.04	0.41	1.6			16.6	26	147	11.33	21.58	9.89
1.33	0.12	1.4			21.3	23	101	8.38	17.66	6.17
1.45	0.00	1.2			23.2	20	75	6.56	15.07	4.10
1.67	-0.22	1.3			26.7	20	71	6.27	14.65	3.80
1.90	-0.45	1.2			30.4	18	60	5.45	13.40	2.95
2.04	-0.59	0.9			32.6	15	42	4.10	11.24	1.71
2.24	-0.79	1.3			35.8	17	54	5.00	12.70	2.52
2.54	-1.09	0.9			40.6	13	32	3.23	9.75	1.02
2.73	-1.28	0.7			43.7	10	23	2.50	8.41	0.54
2.87	-1.42	0.9			45.9	12	30	3.09	9.50	0.92
3.11	-1.66	1.0			49.8	12	30	3.09	9.50	0.92
3.36	-1.91	1.0			53.8	11	27	2.80	8.97	0.73
3.50	-2.05	1.7			56.0	16	46	4.37	11.69	1.94
3.65	-2.20	1.6			58.4	15	41	3.99	11.06	1.62
3.86	-2.41	1.7			61.8	15	41	4.03	11.13	1.65
4.07	-2.62	1.6			65.1	14	37	3.65	10.48	1.34
4.29	-2.84	1.5			68.6	13	33	3.36	9.98	1.12
4.44	-2.99	1.5			71.0	13	31	3.21	9.71	1.00
4.67	-3.22	1.9			74.6	15	39	3.84	10.80	1.49
4.89	-3.44	2.0			76.8	15	40	3.89	10.88	1.53
5.06	-3.61	1.8			78.5	14	35	3.53	10.27	1.25
5.25	-3.80	1.6			80.4	13	31	3.16	9.62	0.97
5.47	-4.02	1.4			82.6	11	26	2.74	8.85	0.68
5.64	-4.19	1.2			84.3	10	22	2.38	8.17	0.47
5.87	-4.42	1.4			86.6	10	24	2.54	8.47	0.56
6.09	-4.64	1.3			88.8	10	23	2.45	8.31	0.51
6.24	-4.79	1.3			90.3	10	22	2.37	8.15	0.46
6.44	-4.99	1.5			92.3	10	24	2.57	8.53	0.58
6.68	-5.23	1.6			94.7	11	26	2.74	8.86	0.69
6.87	-5.42	2.1			96.6	13	32	3.27	9.82	1.05
7.06	-5.61	2.0			98.5	12	30	3.07	9.46	0.91
7.26	-5.81	2.3			100.5	14	35	3.48	10.19	1.21

ESSAI n° 3

Prof.	Niv.	Qc	Fs	Rf	σ'_{vo}	φ'	C	Nq	Nc	Ny
[m]	[m]	[MPa]	[kPa]	[%]	[kPa]	[°]				
0.27	1.05	3.4			4.3	39	1170	57.15	68.96	91.44
0.44	0.88	2.7			7.0	35	570	32.91	45.73	44.54
0.71	0.61	1.7			11.4	29	223	15.73	27.02	16.07
0.89	0.43	1.7			14.2	27	178	13.14	23.87	12.35
1.06	0.26	1.6			17.0	25	145	11.16	21.36	9.66
1.28	0.04	1.3			20.5	22	93	7.79	16.83	5.47
1.51	-0.19	1.2			24.2	20	75	6.57	15.08	4.11
1.72	-0.40	1.3			27.5	20	72	6.36	14.78	3.89
1.84	-0.52	1.2			29.4	18	59	5.40	13.33	2.91
2.11	-0.79	1.4			33.8	19	63	5.72	13.82	3.23
2.24	-0.92	1.0			35.8	15	41	4.03	11.13	1.65
2.62	-1.30	0.7			41.9	11	24	2.59	8.57	0.59
2.72	-1.40	1.3			43.5	16	44	4.26	11.51	1.85
2.94	-1.62	1.2			47.0	14	37	3.70	10.56	1.38
3.06	-1.74	1.0			49.0	13	30	3.13	9.57	0.95
3.30	-1.98	1.0			52.8	12	28	2.94	9.23	0.82
3.53	-2.21	1.0			56.5	12	28	2.88	9.12	0.78
3.68	-2.36	1.6			58.9	15	40	3.96	11.02	1.60
3.92	-2.60	1.5			62.7	14	36	3.57	10.34	1.28
4.13	-2.81	1.1			66.1	10	24	2.58	8.55	0.58
4.30	-2.98	1.3			68.8	12	29	2.97	9.28	0.84
4.44	-3.12	1.6			71.0	13	34	3.40	10.04	1.14
4.67	-3.35	1.5			74.7	12	29	3.02	9.37	0.87
4.90	-3.58	1.5			78.4	12	28	2.90	9.16	0.79
5.10	-3.78	1.6			81.6	12	29	2.99	9.32	0.85
5.24	-3.92	1.5			83.8	11	27	2.81	8.98	0.73
5.44	-4.12	0.5			87.0	1	9	1.14	5.49	0.01
5.64	-4.32	0.5			90.2	1	9	1.10	5.41	0.00
5.88	-4.56	1.7			94.1	12	28	2.90	9.15	0.79
6.06	-4.74	1.6			97.0	11	25	2.69	8.76	0.65
6.26	-4.94	2.0			100.2	12	29	3.05	9.42	0.89
6.44	-5.12	2.7			103.0	15	40	3.90	10.91	1.54
6.64	-5.32	2.5			106.2	14	35	3.49	10.20	1.21
6.86	-5.54	2.7			109.8	14	37	3.65	10.48	1.34
7.05	-5.73	2.9			112.8	15	39	3.84	10.80	1.49
7.24	-5.92	2.9			115.8	14	38	3.76	10.66	1.42