



INGENIEURS CIVILS
GEOTECHNIQUE
ENVIRONNEMENT

ab ingénieurs sa

David Amsler
ing.civil dipl.epfz
dr.ès.sc.tech

Piero Fonzo
ing.civil dipl.epfz

Yves Giampietro
ing.civil dipl.hes

Laetitia Vulliez
ing.géotech.jstg

Etude géotechnique principale Rapport technique

Construction de trois immeubles de logements avec parking enterré

Maître de l'ouvrage

Yellow Capital III SA – Esplanade de Pont-Rouge, 2 – 1212 Grand-Lancy (GE)

Mandant

CYDONIA SA – Esplanade de Pont-Rouge, 2 – 1212 Grand-Lancy (GE)

Architecte

CCHE Lausanne SA – Rue du Grand-Pré, 2b – 1007 Lausanne (VD)

Lieu

Parcelles n° 125, 172 et 221 – Chemin de Bochat, 17 – 1094 Paudex (VD)



Nos références

7446 / 27.05.2025



www.absa.ch

GENEVE 80 chemin de la Mousse 1226 Thônex | T +41 (0)22 349 80 88
LAUSANNE 3 place de la Bourse aux Fleurs 1022 Chavannes-Près-Renens | T +41 (0)21 614 20 00
NYON 2 allée de la Petite Prairie 1260 Nyon | T +41 (0)22 363 76 10
FRIBOURG 2 rue Hans-Fries 1700 Fribourg | T +41 (0)26 321 35 55

Partenaire engagé 2023



Construction de trois immeubles de logements avec parking enterré / Chemin de Bochat, 17 – 1094 Paudex (VD)

Document : Rapport technique

Titre : Etude géotechnique principale

Mandataire : ab ingénieurs sa

Fichier : 7446–RapportGeotechnique–250527

Diffusion : CYDONIA SA , Service Géologique Cantonal (seulement les sondages)

Suivi des modifications :

Révisions	Date	Etabli par	Nature des modifications
Provisoire	01.05.2025	TG	Version provisoire – première diffusion
Version 1	27.05.2025	TG	Mise à jour avec les données des pénétromètres et des essais de laboratoire

Rédigé par	Contrôlé par	Validé par
<i>Théo Gauthier</i> Ingénieur géotechnicien	<i>Julie Coudurier</i> Ingénieure géotechnicienne	<i>Laëtitia Vulliez</i> Direction administrative Direction opérationnelle

Préambule

ab ingénieurs sa atteste avoir exécuté son mandat avec tout le soin nécessaire. Les résultats, préconisations et conclusions du présent rapport sont basés sur l'état actuel des connaissances et sur les règles communément admises de la branche.

ab ingénieurs sa admet que le mandant ou les personnes désignées par lui ont remis toutes les informations et documents nécessaires à l'exécution du mandat, complets et à jour. Qu'il ne sera pas fait un usage partiel des données du présent rapport et qu'elles ne seront pas utilisées pour un autre objet, dans un autre but que celui convenu ou adaptées à des situations modifiées.

Si tel n'est pas le cas, ab ingénieurs sa décline toute responsabilité vis-à-vis du mandant pour tout dommage qui pourrait en résulter. Si un tiers fait usage des résultats du présent travail ou s'il prend des décisions à partir de ceux-ci, ab ingénieurs sa ne pourra être mis en cause pour les dommages directs ou indirects qui en découleraient.

Table des matières	Page
1. Introduction	5
1.1 Mandat	5
1.2 Description du projet	7
1.3 Description et topographie du site	8
2. Investigations et sondages	9
2.1 Tranchées de reconnaissance à la pelle mécanique	9
2.1.1 Essais de battage dynamique au pénétromètre lourd	9
2.1.2 Essais de pénétration statique lourd de type stato-dynamique	10
2.2 Essais de laboratoire	10
3. Stratigraphie et description des sols	11
3.1 Contexte géologique local	11
3.2 Description stratigraphique et classification des sols/roches	11
3.2.1 Terrains de couverture	11
3.2.2 Matériaux würmiens	12
3.2.3 Substratum rocheux molassique	12
3.2.4 Récapitulatif des niveaux des horizons	13
4. Conditions hydrogéologiques	14
4.1 Nappe superficielle	14
4.2 Nappe profonde	14
4.3 Potentiel d'infiltration	14
4.4 Implantation de sondes géothermiques de faible profondeur	15
5. Environnement du projet	15
5.1 Degré de sensibilité au bruit	15
5.2 Risque sismique	15
5.3 Risques d'accidents majeurs	16
5.4 Autres risques naturels	16
5.5 Pollution des sols – Sites pollués	16
5.6 Radon	16
6. Caractéristiques géotechniques et paramètres géomécaniques	17
6.1 Remarques générales	17
6.2 Caractéristiques géotechniques des sols meubles	17
6.3 Caractéristiques géotechniques des roches	18
7. Incidences des sols sur les fondations	19
7.1 Résultats des essais au pénétromètre stato-dynamique	19
7.2 Taux de travail admissibles	19
7.3 Choix du type de fondation	20
8. Recommandations pour l'excavation	20
8.1 Terrassement et excavations	20
8.2 Pente des talus provisoires	21

8.3	Enceinte de fouille	22
8.4	Drainages	22
8.5	Carrossabilité des sols	22
8.6	Réutilisation des matériaux d'excavation et remblayage	22
9.	Conclusions.....	24
9.1	Synthèses géotechniques	24
9.2	Investigations et prestations d'ingénierie complémentaires	24
ANNEXES.....	26
ANNEXE 1 :	PLANS DE SITUATION	27
ANNEXE 2 :	PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES	29
ANNEXE 3 :	EXTRAITS DU GUICHET CARTOGRAPHIQUE	31
ANNEXE 4 :	LOGS DE SYNTHESE DES TRANCHEES DE RECONNAISSANCE A LA PELLE MECANIQUE	34
ANNEXE 5 :	PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES DES TRANCHEES DE RECONNAISSANCE A LA PELLE MECANIQUE	40
ANNEXE 6 :	DIAGRAMMES DE BATTAGE	43
ANNEXE 7 :	ESSAIS DE LABORATOIRE	49
ANNEXE 8 :	COUPE GEOLOGIQUE INTERPRETATIVE.....	56
ANNEXE 9 :	CODIFICATION DES SOLS VAUDOIS.....	58
ANNEXE 10 :	DESCRIPTION DES ESSAIS.....	60
	Essai de battage au pénétromètre dynamique lourd	61
	Essai de résistance à la compression simple : pénétromètre de poche "Soiltest"	62
	Essai de résistance au cisaillement non drainé Cus : scissomètre de poche "Soiltest"	62
FIGURES ET TABLEAUX		
Figure 1 :	Plan de situation schématique du rez-de-chaussée	7
Figure 2 :	Vue aérienne schématique	8
	8	
Tableau 1 :	Caractéristiques des tranchées de reconnaissance à la pelle mécanique	9
Tableau 2 :	Caractéristiques des essais au pénétromètre dynamique lourd.....	9
Tableau 3 :	Caractéristiques des essais au pénétromètre statique	10
Tableau 4 :	Essais de laboratoire.....	10
Tableau 5 :	Toits des horizons géologiques au niveau des tranchées	13
Tableau 6 :	Toits des horizons géologiques au niveau des battages	14
Tableau 7 :	Classe du sol de fondation.....	15
Tableau 8 :	Caractéristiques géotechniques des terrains meubles	18
Tableau 9 :	Paramètres géomécaniques des roches	18
Tableau 10 :	Récapitulatif des valeurs Q_c en fonction des horizons géologiques	19
Tableau 11 :	Taux de travail du sol	19
Tableau 12 :	Relations entre consistance ou compacité et q_d	61
Tableau 13 :	Relations consistance – résistance à la compression simple.....	62
Tableau 14 :	Scissomètre Soiltest.....	62

1. Introduction

1.1 Mandat

Dans le cadre du projet de construction de trois immeubles de logements situé Chemin de Bochat, 17 – 1094 Paudex (VD), le bureau ab ingénieurs sa a été mandaté par le bureau CYDONIA SA afin de réaliser une étude géotechnique principale.

La présente étude a pour objectifs de :

- Préciser le contexte géologique et hydrogéologique (reconnaissance de la composition des terrains : terrains de couverture, dépôts glacio-lacustres, masses glissées et molasse gréseuse) ;
- Analyser l'environnement du projet en termes de faisabilité d'infiltration des eaux pluviales, d'implantation de sondes géothermiques, vis-à-vis d'une pollution éventuelle des terrains et des risques naturels ;
- Vérifier la présence d'eau dans les horizons géologiques au droit du projet ;
- Définir les caractéristiques géotechniques des sols présents ;
- Fournir le taux de travail admissible du sol ;
- Proposer des solutions adaptées au projet pour le système de fondations (hors dimensionnement) ;
- Proposer un système de drainage adapté aux caractéristiques hydrogéologiques du sol et à la construction (hors dimensionnement) ;
- Donner les pentes des talus en phase chantier et en phase définitive sur la base de notre expérience et des caractéristiques géomécaniques des sols rencontrés (hors dimensionnement) ;
- Définir l'utilité d'un ouvrage de soutènement pour la construction du projet ;
- Définir la possibilité de réutilisation des sols rencontrés sur la base de notre expérience et/ou d'essais en laboratoire ;
- Définir les risques sismiques.

Dans ce but, les investigations et essais suivants ont été mis en œuvre :

- Reconnaissances à la pelle mécanique : suivi et relevé de cinq tranchées de reconnaissance à la pelle mécanique ;
- Essais in-situ : réalisation de trois essais au pénétromètre stato-dynamique et deux essais au pénétromètre dynamique lourd ;
- Essais géotechniques en laboratoire : réalisation de teneurs en eau, masses volumiques apparentes, limites d'Alterberg, granulométries, valeurs au bleu de méthylène et Proctor.

Dans le cadre de cette étude, les documents suivants ont été mis à notre disposition et consultés :

- Plans du bureau d'architecte CCHE Lausanne SA., datés du 30.04.2025. Ils comprennent :
 - le plan du sous-sol commun des bâtiments A et B, à l'échelle 1 : 100^{ème} ;
 - le plan de toiture des bâtiments A et B à l'échelle 1 : 100^{ème} ;
 - les détails et schémas (balcon, attique etc.) des bâtiments B et C, à l'échelle 1 : 20^{ème} ;
 - les coupes des bâtiments A, B et C, à l'échelle 1 : 100^{ème} ;
 - les plans de façades des bâtiments A, B et C, à l'échelle 1 : 100^{ème} ;
 - Les plans des sous-sols, rez-de-chaussée inférieurs et supérieurs, étages, attiques et toiture des bâtiments A, B et C, à l'échelle 1 : 100^{ème}.
- Le plan géomètre du bureau Gemetris, daté du 10.04.2025, à l'échelle 1/200^{ème} ;
- Données du site du Guichet du canton de Vaud (extraits disponibles en annexe 3) :
 - Relevés de sondages existants dans le secteur ;
 - Données géologiques et hydrogéologiques ;
 - Carte des zones instables et des dangers d'inondations ;
 - Cadastre des sites pollués ;
 - Zones d'autorisation pour les sondes géothermiques ;
 - Périmètre de consultation OPAM.
- Données disponibles sur le site de la confédération Suisse (carte OFEV, géologie, ...) ;
- Rapport d'étude géotechnique, établi par notre bureau, daté du 20 février 2007 et concernant la parcelle n°515 située à environ 280 m du projet ;
- Banque de données et archives internes à notre bureau.

1.2 Description du projet

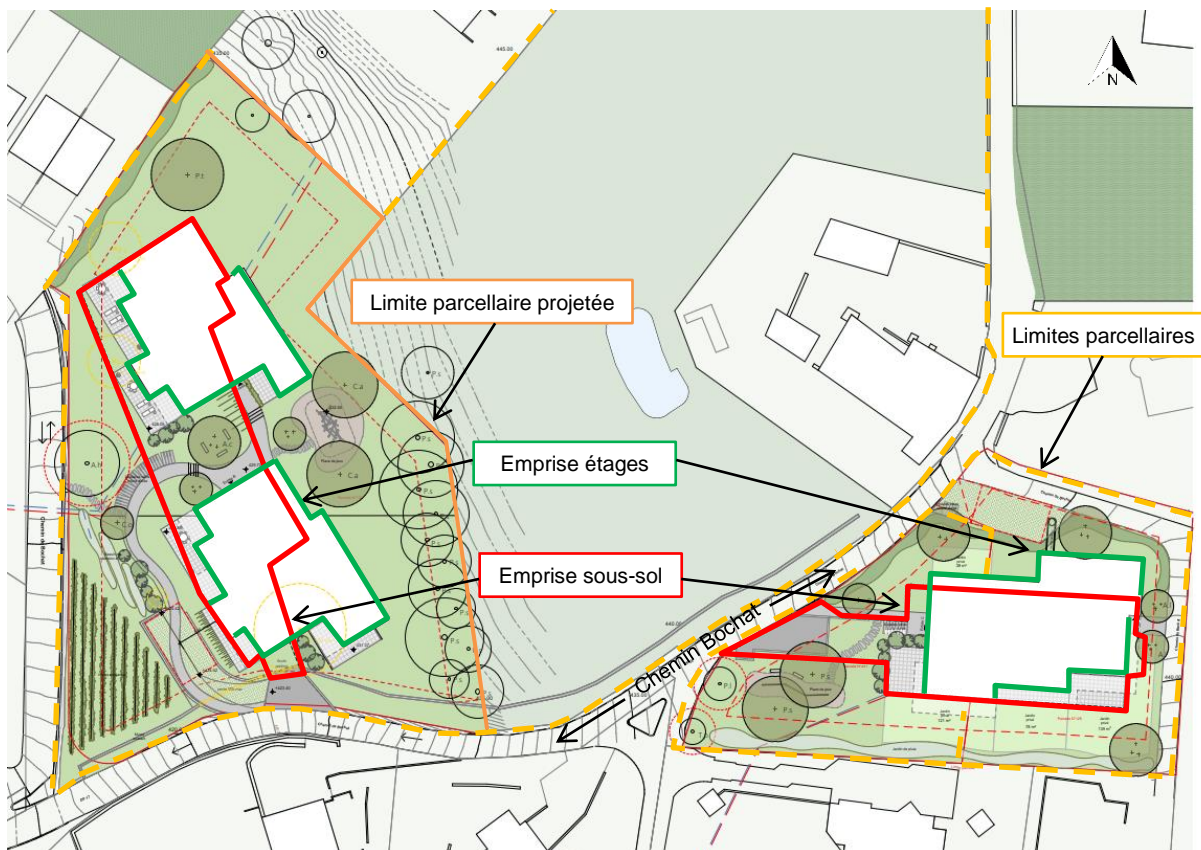
Le projet prévoit la construction de trois immeubles de logements comprenant A, B et C comprenant :

- Un niveau de sous-sol, 1 rez-de-chaussée inférieur et supérieur et 2 niveaux d'étages pour le bâtiment A sur la parcelle 172 ;
- Un niveau de sous-sol, 1 rez-de-chaussée inférieur et supérieur, 2 niveaux d'étages et un attique pour le bâtiment B sur la parcelle 172 ;

Le niveau de sous-sol, prévu pour le parking souterrain, est commun pour les deux bâtiments.

- Un niveau de sous-sol, 1 rez-de-chaussée inférieur et supérieur, 1 étage et un attique pour le bâtiment C sur les parcelles 125 et 221.

D'après les plans et coupes en notre possession, le niveau fini du sous-sol -1 des immeubles A, B et C se situera respectivement à 422.85, 423.57 et 437.60 m/mer, soit un futur fond de fouille respectivement à environ 422.10, 422.82 et 436.85 m/mer soit une hauteur de 8.40 m environ sous le niveau du terrain naturel pour le bâtiment A, 8.60 m pour le bâtiment B et 6.50 m pour le bâtiment C.



Source : plan de situation et étages type du bureau d'architectes

Figure 1 : Plan de situation schématique du rez-de-chaussée

1.3 Description et topographie du site

Le projet concerne les parcelles 125, 172 et 221. Leur superficie totale est de 16'809.00 m². Le projet couvre une surface d'environ 3'370.00 m². Le site présente une forte pente de l'ordre de 30% en direction de l'ouest / sud-ouest pour les bâtiments A et B et de 20% en direction du sud pour le bâtiment C. L'altitude du site est comprise entre 419.50 et 451.70 m/mer sur l'ensemble des parcelles.

Actuellement, plusieurs constructions sont présentes sur la parcelle 172 : un château (bâtiment 110 selon le guichet cartographique cantonal) et deux annexes (bâtiments 111 et 112 selon le guichet cartographique cantonal). Ces constructions seront préservées. Une découpe parcellaire est prévue selon la Figure 1. Aucune construction n'est présente sur les parcelles 125 et 221.

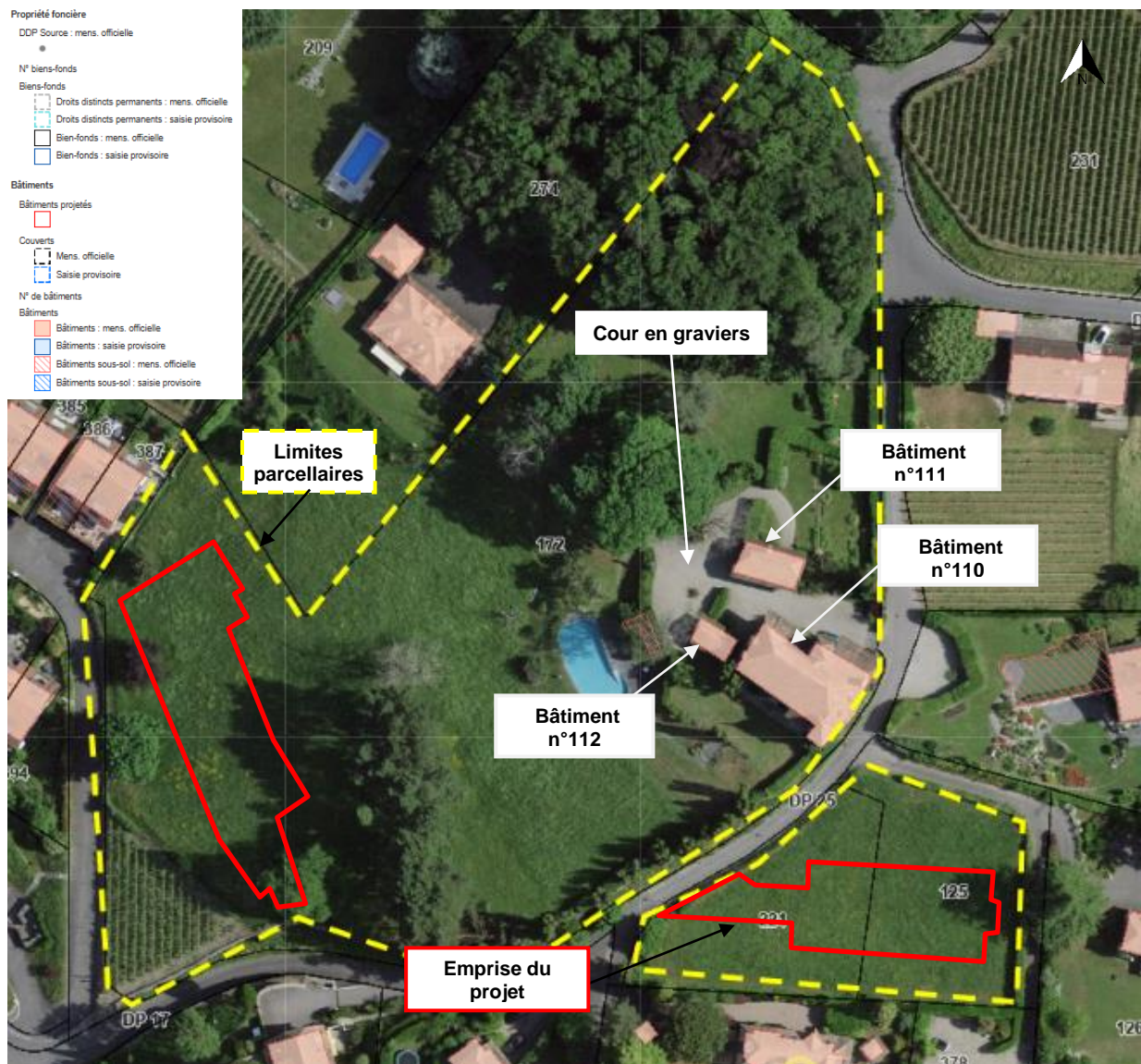


Figure 2 : Vue aérienne schématique

Source : Guichet cartographique Vaudois

2. Investigations et sondages

2.1 Tranchées de reconnaissance à la pelle mécanique

Cinq tranchées de reconnaissance à la pelle mécanique ont été réalisées par l'entreprise Perrin Frères SA. Un échantillon a été prélevé dans la tranchée T7446-05 pour la réalisation d'essais de classification en laboratoire. Leurs caractéristiques principales sont présentées dans le tableau suivant :

Désignation	Date de réalisation	Altitude du terrain naturel (m/mer)	Profondeur de la tranchée (m)	Remarques
T7446-01	24.04.25	427.15	3.80	Tenue de fouille moyenne dans les terrains de couverture, les dépôts glacio-lacustres et la masse glissée. Aucune venue d'eau.
T7446-02	24.04.25	427.35	3.80	Tenue de fouille moyenne dans les terrains de couverture, les éboulis et la masse glissée. Suintement d'eau observé à environ -2.8 m/TN
T7446-03	24.04.25	427.60	2.80	Tenue de fouille moyenne dans les terrains de couverture et la molasse altérée, rocher à -2.7 m/mer. Aucune venue d'eau
T7446-04	24.04.25	439.80	3.75	Tenue de fouille moyenne dans les terrains de couverture et la masse glissée. Aucune venue d'eau.
T7446-05	24.04.25	439.80	3.70	Tenue de fouille moyenne dans les terrains de couverture, les éluvions et la masse glissée. Aucune venue d'eau. Un prélèvement d'échantillon entre -3.00 et -3.70 m/TN, noté T7446-05/ER01.

Tableau 1 : Caractéristiques des tranchées de reconnaissance à la pelle mécanique

Les emplacements des reconnaissances à la pelle mécanique figurent sur le plan d'implantation en annexe 2. Les logs et les photos des tranchées sont donnés respectivement en annexes 4 et 5.

2.1.1 Essais de battage dynamique au pénétromètre lourd

Deux essais au pénétromètre dynamique lourd ont été effectués. Le détail de la méthode est présenté en annexe 10.

Désignation	Date de réalisation	Altitude du terrain naturel (m/mer)	Profondeur (m)	Condition d'arrêt
B7446-01	14.05.2025	427.20	3.65	Refus
B7446-02		433.00	3.00	

Tableau 2 : Caractéristiques des essais au pénétromètre dynamique lourd

Les valeurs de résistance dynamique de pointe sont indiquées dans les diagrammes de battage en annexe 6.

2.1.2 Essais de pénétration statique lourd de type stato-dynamique

Trois essais au pénétromètre stato-dynamique lourd ont été effectués.

Les valeurs de résistance de pointe sont indiquées dans les diagrammes des essais en annexe 6.

Désignation	Date de réalisation	Altitude du terrain naturel (m/mer)	Profondeur (m)	Condition d'arrêt
S7446-01	14.05.2025	430.50	5.3	Refus
S7446-02		430.30	2.0	
S7446-03		441.60	6.30	

Tableau 3 : Caractéristiques des essais au pénétromètre statique

2.2 Essais de laboratoire

L'échantillon décrit aux chapitres 2.1 et 2.2 a été acheminé dans notre laboratoire géotechnique pour être soumis à des essais de classification.

La campagne d'essais a comporté les analyses suivantes :

Désignation	Teneur en eau naturelle	Masse volumique apparente humide	Analyse granulométrique	Limites d'Atterberg : - Limite de liquidité - Limite de plasticité → Indice de plasticité	Valeur au Bleu de Méthylène (VBS)	Proctor
Symbole	w	ρ	C_u, C_c	w_L, w_p, I_p	VBS	W_{opn}
Unité	%	t.m ⁻³	-	%, %, %	-	%
T7446-05/ER01	x	x	x	x	x	x

Tableau 4 : Essais de laboratoire

Les résultats complets de ces différents essais sont présentés en annexe 7.

3. Stratigraphie et description des sols

3.1 Contexte géologique local

Les terrains reconnus au droit des sondages sont constitués par la succession des formations suivantes depuis le terrain naturel :

Code	Horizon	Âge	
A	Terre végétale	Holocène	Quaternaire
B	Sous-couche végétale		
Hs	Eboulis		
EI	Eluvions		
As d	Dépôts glacio-lacustres		
-	Masse glissée altérée		
-	Masse glissée consolidée		
-	Molasse altérée	Oligocène	Tertiaire
-	Molasse consolidée		

D'après les modèles du guichet cartographique, le toit du substratum rocheux (Oligocène, Tertiaire) se situe à environ 420 m/mer.

3.2 Description stratigraphique et classification des sols/roches

Les couleurs, la proportion de la matrice, ainsi que la forme des graviers et blocs sont déterminées à partir du « code couleur des sols de Munsell ».

3.2.1 Terrains de couverture

(A) Terre végétale – Horizon A

(B) Sous-couche végétale – Horizon B

Matrice limono-argileuse (~85-90%) avec peu à quelques graviers (\varnothing 2-80 mm), pas de bloc, peu de matières organiques (racines, radicelles). Ensemble de couleur brune, structure grumeleuse, consistance tendre, cohésion moyenne, horizon très humide.

(Hs) Eboulis

Matrice limoneuse (~40%), présence de graviers et blocs sub arrondis (Ø2-30 mm), beaucoup de blocs gréseux (~Ø300 mm), pas de matières organiques. Ensemble de couleur beige, structure poudreuse, compacité moyenne, pas de cohésion.

(E1) Eluvions

Matrice limono-argileuse (~85-90%) avec quelques graviers (Ø2-80 mm), pas de bloc, peu de matières organiques. De couleur brune, structure grumeleuse, consistance tendre, cohésion moyenne, horizon très humide.

3.2.2 Matériaux würmiens

(As d) Dépôts glacio-lacustres limono-argileux non-consolidés

Matrice limono-argileuse (~95%) avec quelques graviers et blocs sub arrondis (Ø2-60 mm), pas de déchets observés. De couleur grise/beige, structure grumeleuse, consistance molle, cohésion moyenne à forte.

Masse glissée limono-argileuse altérée

Matrice limono-argileuse (~70-75%) avec quelques graviers et blocs uniquement d'origine molassique (Ø2-200 mm). Ensemble de couleur grise/beige et traces d'oxydo-réduction. Consistance tendre à ferme, structure compacte, cohésion moyenne à forte, horizon humide à très humide.

Masse glissée limono-argileuse consolidée

Matrice limono-argileuse (~70-75%) avec quelques graviers et blocs uniquement d'origine molassique (Ø2-200 mm). Ensemble de couleur brune/beige. De consistance ferme à dure, structure compacte, cohésion moyenne, horizon humide.

3.2.3 Substratum rocheux molassique

Molasse altérée

Molasse gréseuse altérée. De couleur beige/olive. Très tendre.

Molasse saine

Molasse gréseuse saine. Tendre

Orientation des couches

D'après l'Atlas géologique GA25, le pendage de la stratification de la molasse est d'environ 30° en direction du sud-ouest.

Toit de la molasse

Une coupe est associée au toit interprétatif de la molasse pour estimer les épaisseurs des différents horizons géologiques (annexe 8). Sur cette coupe a été schématisé l'emprise des futurs bâtiments A et B avec les niveaux de sous-sols pour pouvoir estimer les volumes de terrassement dans les différents horizons géologiques.

3.2.4 Récapitulatif des niveaux des horizons

Dans les tranchées :

	T7446-01		T7446-02		T7446-03		T7446-04		T7446-05	
	m/TN	m/mer	m/TN	m/mer	m/TN	m/mer	m/TN	m/mer	m/TN	m/mer
A	0.00	427.15	0.00	427.35	0.00	427.60	0.00	439.80	0.00	439.80
B	0.20	426.95	0.20	427.15	0.30	427.30	0.30	439.50	0.25	439.55
Hs	/	/	0.60	426.75	/	/	/	/	/	/
EI	1.25	425.9	/	/	/	/	1.00	438.80	1.10	438.70
As d₂	1.70	425.45	/	/	/	/	/	/	/	/
Masse glissée altérée	2.50	424.65	1.40	425.95	/	/	2.10	437.70	2.10	437.70
Masse glissée consolidée	3.00	424.15	2.70	424.65	/	/	2.60	437.20	3.00	436.80
Molasse altérée	/	/	/	/	0.70	426.90	/	/	/	/
Molasse saine	/	/	/	/	2.70	424.90	/	/	/	/

Tableau 5 : Toits des horizons géologiques au niveau des tranchées

Dans les pénétrètres :

2 essais au pénétromètre dynamique lourd (B7446-xx) et 3 essais au pénétromètre stato-dynamique (S7446-xx) ont été réalisés :

	B7446-01		B7446-02		S7446-01		S7446-02		S7446-03	
	m/TN	m/mer	m/TN	m/mer	m/TN	m/mer	m/TN	m/mer	m/TN	m/mer
A + B	0.00	427.20	0.00	433.00	0.00	430.50	0.00	430.30	0.00	441.60
Hs	0.80	426.40	3.60	414.05	/	/	0.80	429.50	/	/
EI	/	/	/	/	1.10	429.40	/	/	0.80	440.80
As d₂	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

Masse glissée altérée	1.40	425.80	/	/	2.00	428.50	1.40	428.90	2.10	439.50
Masse glissée consolidée	2.00	425.20	1.00	432.00	3.00	427.50	/	/	3.00	438.60
Molasse altérée	/	/	2.20	430.80	4.0	426.50	/	/	5.0	436.60
Molasse saine	3.20	424.0	2.80	430.20	4.80	425.70	/	/	5.80	435.80

Tableau 6 : Toits des horizons géologiques au niveau des battages

* *En italique : Niveaux non visualisés mais supposés et extrapolés à partir des données des tranchées de reconnaissance et des forages – Plages approximatives du niveau du toit des horizons.*

4. Conditions hydrogéologiques

4.1 Nappe superficielle

D'après les informations fournies par le Guichet du canton de Vaud et le site cartographique de l'OFEV, aucune nappe caractérisée n'est présente au droit du projet. Lors de la campagne de sondage, un seul léger suintement d'eau a été observé dans la tranchée T7446-02. Le site est classé en dehors des extensions de nappes superficielles potentiellement exploitables.

Cela ne garantit en aucun cas l'absence d'eau dans les formations géologiques présentes sur la parcelle du projet. D'éventuelles venues d'eau pourraient apparaître localement au sein de sillons les plus perméables des terrains présents. La présence d'eau peut varier et fluctuer plus ou moins en fonction des saisons et de la pluviométrie. Il faudra en tenir compte lors de la réalisation des terrassements et des enceintes de fouilles.

4.2 Nappe profonde

Il n'existe pas de nappe profonde dans le secteur du projet.

Secteur de protection des eaux canton de Vaud :

D'après les informations fournies par le guichet cartographique du canton de Vaud, le projet se situe actuellement en secteur « üB » de protection des eaux souterraines. Ce secteur indique qu'aucune restriction particulière n'est à appliquer par rapport à la présence de la nappe.

4.3 Potentiel d'infiltration

Faisabilité

Sur la base des données des sondages réalisés, il apparaît que les horizons géologiques rencontrés sont vraisemblablement peu perméables. De plus le projet se situe en zone avec un aléa de glissement de terrain permanent répertorié. Il n'est donc pas recommandé de réinfiltrer les eaux pluviales. Il conviendra de capter ces eaux à l'amont du projet (tranchée drainante, drainage périphérique...) et de les connecter aux réseaux existants.

4.4 Implantation de sondes géothermiques de faible profondeur

Selon la carte indicative d'admissibilité des sondes géothermiques, le projet se situe en zone orange où la réalisation de sondes géothermiques verticales est limitée. Il conviendra donc de se rapprocher des autorités compétentes pour les demandes d'autorisation.

5. Environnement du projet

5.1 Degré de sensibilité au bruit

Le projet est principalement classé en **zone DS II** (zones n'autorisant aucune entreprise gênante, notamment dans les zones d'habitation ainsi que dans celles réservées à des constructions et installations publiques).

5.2 Risque sismique

Classe du sol de fondation

Cette classification est établie selon la norme SIA 261. L'action sismique sera prise en compte en tant qu'une action accidentelle. La classe du sol de fondation est déterminée sur la base de la description géotechnique.

Classe de sol de fondation	Description	v_s en m/s	N_{SPT} en coups/30cm	C_u en kPa
A	Rocher ou formation géologique similaire avec une couverture de terrain meuble d'au plus 5 m d'épaisseur en surface	> 800	-	-
B	Dépôts de sable et gravier très compact ou d'argile très ferme, d'une épaisseur de plus de 30 mètres	500 à 800	> 50	> 250
C	Dépôts de sable et gravier moyennement compact à compact ou d'argile ferme, d'une épaisseur de plus de 30 mètres	300 à 500	15 à 50	70 à 250
D	Dépôts de terrain meuble non cohésif lâche à moyennement compact (avec ou sans couches cohérentes tendres), ou à prédominance de terrain meuble cohésif de consistance tendre à ferme, d'une épaisseur de plus de 30 mètres	< 300	< 15	< 70
E	Couche superficielle de terrain meuble avec des valeurs de v_s correspondant à la classe C ou D et d'une épaisseur comprise entre 5 m et 30 m reposant sur une couche plus rigide des classes de sol de fondation A ou B	-	-	-
F1	Dépôts à structure sensible, organiques et très tendres (par exemple tourbe, craie lacustre, limon mou) d'une épaisseur supérieure à 10 m	-	-	-
F2	Glissement de terrain actif ou susceptible d'être activé	-	-	-

Tableau 7 : Classe du sol de fondation

Zones de séisme : Z1b

Valeur de calcul de l'accélération horizontale du sol : $A_{gd} = 0.8 \text{ m/s}^2$

La valeur de dimensionnement de l'accélération du sol A_{gd} correspond à la composante horizontale maximale de l'accélération du sol, pour la classe de terrain de fondation A, avec une période de retour de référence de 475 ans.

5.3 Risques d'accidents majeurs

D'après le guichet cartographique cantonal, le projet se situe en dehors des périmètres assujettis à l'ordonnance sur la protection contre les accidents majeurs (OPAM).

5.4 Autres risques naturels

Les actions liées aux risques naturels seront considérées comme des actions accidentelles.

Selon les cartes des risques naturels du guichet cartographique Vaudois et de l'OFEV, la totalité de l'emprise du projet est située au droit d'un glissement de terrain permanent. La zone de danger imprévisible correspond à une zone de sensibilisation et de recommandations où certaines conditions émises par les autorités seront à respecter et où des mesures de protection pour les futures constructions pourraient être à réaliser. Le projet se situe en type de glissement 1C, à savoir d'une profondeur inférieure à 10m et d'une vitesse comprise entre 0 et 2 cm/an.

Le relevé géologique a mis en évidence des terrains de surface glissées sur l'ensemble du projet

Autres risques naturels

La carte des risques naturels de la région n'indique aucune autre zone de dangers naturels au droit du projet (inondation, avalanche, chute de pierre, laves torrentielles, ...).

5.5 Pollution des sols – Sites pollués

D'après le guichet cartographique cantonal, le projet n'est pas inscrit au cadastre des sites pollués.

Aucun remblai n'a été rencontré lors de nos investigations géotechniques.

Il est très probable que des remblais soient présents à l'arrière du mur de soutènement existant. Ces remblais pourraient contenir des déchets inertes détritiques anthropiques (briques, faïence, verre, métal, ...) et/ou des matières organiques (bois, racines, racelles). Ces éléments inertes et/ou organiques devront être triés sur place avant évacuation des matériaux. Après un tri du maximum d'éléments inertes et/ou organiques, les matériaux présents sur site seront à évacuer en décharge adaptée (type A, B ou E) en fonction des résultats d'une analyse OLED en laboratoire.

5.6 Radon

Selon la carte du radon de l'Office Fédéral de la Santé Publique (OFSP), le projet se situe dans une zone où la probabilité de dépassement de la valeur de référence de 300 Bq/m^3 par an dans les bâtiments est de 3% avec un indice de confiance « moyen ». Il est à noter que seules des mesures in situ permettent de connaître la concentration de radon dans un bâtiment.

6. Caractéristiques géotechniques et paramètres géomécaniques

6.1 Remarques générales

Les caractéristiques mécaniques des sols à utiliser pour les calculs de poussée des terres, de stabilité générale et de fondation sont proposées dans le tableau ci-dessous.

Ce sont des valeurs « k » choisies de manière prudente et admises comme représentatives du sol dans son ensemble au sens de la nouvelle norme SIA 267. Les valeurs en gras sont des valeurs issues des essais in-situ ou de laboratoire ; les valeurs en italiques sont tirées de moyennes des caractéristiques des sols genevois ou de notre expérience. Lors de leur utilisation conformément aux nouvelles normes SIA et/ou de l'Eurocode 7, l'application de facteurs de sécurité partiels sur les valeurs « k » conduits aux valeurs « d » de calcul. Les essais géotechniques effectués sur les échantillons et "in situ" ont permis d'établir le tableau récapitulatif suivant.

6.2 Caractéristiques géotechniques des sols meubles

Résultats des essais en laboratoire et des essais "in situ"								
PERIODE GEOLOGIQUE			HOLOCENE		PLEISTOCENE (würmien)			Oligocène
Subdivision géologique			Eboulis	Eluvions	Dépôts glacio-lacustres	Masse glissée		Molasse
Phase et faciès			Limons à graviers et blocs	Limons-argileux à graviers	Limons argileux	Limono-argileux		Rocher gréseux
Degré de consolidation			/	/	/	Altérée	Consolidée	Altérée
Classification Vaudoise			Hs	EI	As d ₂	-	-	-
USCS			CL	CL	CL-ML	CL-ML		/
CARACTERISTIQUES DE L'ETAT DU SOL								
Teneur en eau naturelle	W	%	<i>Trop hétérogène pour pouvoir fournir des valeurs</i>	<i>Trop hétérogène pour pouvoir fournir des valeurs</i>	25.3 ± 2.7	/	20.36	/
Teneur en eau optimum proctor	W _{opt}	%			/	/	15.56	/
Masse volumique apparente humide	ρ	t.m ⁻³			2.02 ± 0.01	2.00 ± 0.01	1.87	/
Masse volumique des particules solides	ρ _s	t.m ⁻³			2.77 ± 0.01	2.75 ± 0.01	2.65	/
Masse volumique apparente sèche	ρ _d	t.m ⁻³			1.60 ± 0.03	1.60 ± 0.03	1.56	/
Degré de saturation	S _r	%			/	/	91	/
Valeur au bleu de méthylène	VBS	/			/	/	4.58	/
LIMITES D'ATTERBERG								
Limite de liquidité	w _l	%	<i>Trop hétérogène pour pouvoir fournir des valeurs</i>	<i>Trop hétérogène pour pouvoir fournir des valeurs</i>	32.2 ± 1	20 ± 3	29.5	/
Limite de plasticité	w _p	%			18.1 ± 1	14 ± 3	22.1	/
Indice de plasticité	I _p	%			14.1 ± 1	6 ± 3	7.4	/
RESISTANCE AU CISAILLEMENT								
Cohésion effective	c'	kPa	3 ± 2	3 ± 2	10 ± 2	8 ± 2	15 ± 2	10 ± 2
Angle de frottement interne effectif	Ø'	degré	28 ± 2	28 ± 2	27 ± 2	28 ± 2	30 ± 2	25 ± 2
Rés. au cisaillement (scissomètre de poche) pic	C _{us}	kPa	/	96	96	96	>120	>120
RESISTANCE A LA COMPRESSION SIMPLE								
Rés. à la comp. simple (pénétromètre de poche)	q _{up}	kPa	/	150	75	50 à 200	300 à >450	>500

PERMEABILITE								
Coefficient de perméabilité	k	m.s ⁻¹	Trop hétérogène	Trop hétérogène	10 ⁻⁶ à 10 ⁻⁸	10 ⁻⁷ à 10 ⁻⁸	10 ⁻⁷ à 10 ⁻⁸	/

Tableau 8 : Caractéristiques géotechniques des terrains meubles

6.3 Caractéristiques géotechniques des roches

ÉPOQUE GEOLOGIQUE	MIOCÈNE
ÂGE	AQUITANIEN
SUBDIVISION GÉOLOGIQUE	MOLASSE GRISES
Faciès molassique	Grès tendre
RQD moyen (%)	50
Masse volumique apparente humide ρ (t.m ⁻³)	<i>2.50 ± 0.05</i>
Masse volumique apparente sèche ρ (t.m ⁻³)	<i>2.30 ± 0.05</i>
Cohésion effective c' (kPa)	<i>100 à 150</i>
Angle de frottement interne effectif ϕ' (°)	<i>35 ± 5</i>
Résistance à la compression simple σ_c (Mpa)	<i>16 ± 4</i>

Tableau 9 : Paramètres géomécaniques des roches

Les valeurs en italique sont données à titre indicatif. Elles sont tirées de notre base de données interne intégrant de nombreux essais en laboratoire réalisés sur des roches similaires.

D'une façon générale il est rappelé qu'en rocher, les discontinuités jouent un rôle essentiel, notamment dans les problèmes de stabilité, et que leurs caractéristiques (géométrie, orientation, extension) sont difficilement appréciables à partir de sondages ponctuels. L'ingénieur devra prendre en compte ces incertitudes pour la réalisation des enceintes de fouille. Les caractéristiques de la molasse altérée (« terres molassiques ») ne sont pas données dans ce tableau, car cet horizon géologique est assimilable à un terrain meuble.

Les caractéristiques de la molasse altérée (« terres molassiques ») ne sont pas données dans ce tableau, car cet horizon géologique est assimilable à un terrain meuble (voir tableau précédent).

7. Incidences des sols sur les fondations

7.1 Résultats des essais au pénétromètre stato-dynamique

Les résultats issus des essais au pénétromètre stato-dynamique sont synthétisés dans le tableau ci-après. Les valeurs du tableau ont été calculées selon l'Eurocode 7 (méthode au pénétromètre statique). Il s'agit de valeurs caractéristiques, sans l'application des facteurs de sécurité.

Dans le cas d'un radier :

Horizons géologiques	Profondeurs rencontrées dans les CPTu	q _c moyen (MPa)
Eboulis	0.8 à 1.4 m	1 à 3
Eluvions	0.8 à 2.0 m	1 à 20
Masse glissée altérée	1.40 à 3.0 m	2 à 5
Masse glissée consolidé	3.0 à 5.0	2 à 6
Molasse altérée	5.0 à 5.8	5 à 10
Molasse saine	>5.8 m	5 à >20

Tableau 10 : Récapitulatif des valeurs Qc en fonction des horizons géologiques

7.2 Taux de travail admissibles

Sur la base des essais au pénétromètre, les valeurs moyennes suivantes peuvent être retenues pour les différents horizons géologiques décrits précédemment :

Couche	Code VD	Qd (MPa)	ELU (kPa)	ELS (kPa)
Eboulis	Hs	3 à 5	200 à 333	142 à 238
Masse glissée altérée	Mf c ₃	2 à 10	133 à 490	95 à 350
Masse glissée consolidée	Mf c ₁	5 à 25	333 à 490	238 à 350
Molasse altérée	/	7 à 10	466 à 490	333 à 350
Molasse saine	/	10 à >100	490	350

Tableau 11 : Taux de travail du sol

Ces contraintes sont valables pour une semelle de largeur 1m, enterrée de 60 cm au moins et soumise à des charges verticales et centrées.

D'après les plans et coupes en notre possession :

Le niveau fini du sous-sol -1 de l'immeuble A se situera à 422.85 m/mer, soit un futur fond de fouille du sous-sol à environ 422.10 m/mer. La base des fondations du niveau de sous-sol devrait donc essentiellement reposer sur la masse glissée consolidée.

Le niveau fini du sous-sol -1 de l'immeuble B se situera à 423.57 m/mer, soit un futur fond de fouille du sous-sol à environ 422.82 m/mer. La base des fondations du niveau de sous-sol devrait donc essentiellement reposer sur la molasse gréseuse saine.

Le niveau fini du sous-sol -1 de l'immeuble C se situera à 437.60 m/mer, soit un futur fond de fouille du sous-sol à environ 436.85 m/mer. La base des fondations du niveau de sous-sol devrait donc essentiellement reposer sur la masse glissée consolidée et sur une très légère épaisseur de la masse

glissée altérée sur la partie est. (cf. coupe géologique interprétative en annexe 6 et procès-verbaux des battages en annexe 5) :

ELS (Rd service) = 238 kPa dans la masse glissée consolidée

ELS (Rd service) = 350 kPa dans la molasse gréseuse saine

7.3 Choix du type de fondation

La masse glissée consolidée est de nature homogène avec des caractéristiques de portance moyennes à bonnes plus en profondeur.

En fonction des descentes de charges du futur bâtiment, une solution de fondation superficielle par radier général prenant assise sur la masse glissée consolidée et la molasse gréseuse est préconisée. Les fondations seront à adapter à la pente du terrain.

Pour les zones où le fond de fouille se situera dans des couches de moins bonne qualité (terrain de couverture, dépôts glacio-lacustres ou masse glissée altérée), en particulier pour les niveaux de rez des bâtiments B et C (selon les fonds de fouille actuels), il conviendra de réaliser des substitutions afin d'atteindre la masse glissée consolidée, voire la molasse saine.

Pour éviter des tassements différentiels trop importants, les fondations ne devront pas reposer sur les terrains de couverture ou sur des horizons aux caractéristiques géomécaniques trop éloignées.

Ces solutions devront tenir compte de la diminution de contraintes due à l'excavation. Il conviendra également de calculer les tassements différentiels dus à des contraintes variables.

Toutefois, dans le cas de fortes charges concentrées, une analyse précise devra être effectuée avec contrôle de la portance réelle du fond de fouille à l'endroit concerné afin d'adapter, le cas échéant, le système de fondation.

8. Recommandations pour l'excavation

8.1 Terrassement et excavations

Les excavations nécessaires à l'exécution de l'ouvrage projeté concerneront des terrains meubles (terrains de couverture et masses glissées) et ne poseront pas de difficultés particulières hormis la dureté de la masse glissée qui pourrait être un facteur diminuant le rendement des terrassements. Toutefois, la possible présence de blocs de toutes tailles doit être prise en compte. La masse glissée pourrait être localement difficilement exploitable (notamment à proximité du fond de fouille), cela devrait être pris en compte dans les soumissions. Des essais Zeindler pourraient être réalisés lors du terrassement pour définir la dureté et l'exploitabilité des terrains à la pelle mécanique. Les terrassements concerneront également la molasse saine dont la dureté sera un facteur diminuant le rendement des terrassements.

Aucune venue d'eau n'a été observée dans les horizons géologiques reconnus. Seuls de légers suintement d'eau ont été relevé à -2.80 m/TN dans la tranchée T7646-02. Cependant, il n'est pas exclu que des venues d'eau apparaissent localement lors des terrassements dans des sillons plus perméables des formations. Il conviendra alors de capter ces venues d'eau, ainsi que toutes autres venues d'eau rencontrées lors des terrassements, et de les rejeter hors de l'emprise des terrassements.

Les eaux météoriques récoltées en fond de fouille devront être captées, dirigées puis évacuées en dehors de l'emprise des terrassements, dans le réseau d'eaux claires, après contrôle du pH, de la teneur en MES et un éventuel traitement (décantation, ...).

Aucun remblai n'a été rencontré lors de nos investigations géotechniques. Cependant, il est très probable que des remblais soient présents à l'arrière du mur de soutènement existant ou proche des aménagements extérieurs. Ces remblais pourraient contenir des déchets inertes détritiques anthropiques (briques, faïence, verre, métal, ...) et/ou des matières organiques (bois, racines, radicelles). Ces éléments inertes et/ou organiques devront être triés sur place avant évacuation des matériaux. Après un tri du maximum d'éléments inertes et/ou organiques, les matériaux présents sur site seront à évacuer en décharge adaptée (type A, B ou E) en fonction des résultats d'une analyse OLEF en laboratoire.

Des vignes étant présentes au droit des terrassements, des analyses devront être faites car ces sols sont généralement pollués chimiquement par les traitements.

8.2 Pente des talus provisoires

Compte tenu de la proximité des limites de propriétés, du contexte urbain et des dimensions du projet avec des excavations pouvant atteindre 8.60 m au plus profond, les terrassements seront réalisés dans une enceinte de fouille provisoire (voir chapitre suivant) avec des éventuels pré-terrassements de 3m maximum.

Les fouilles seront réalisées dans les terrains meubles et le substratum rocheux molassique. Des talus sont possibles, mais de hauteur et de durée limitée de 3 à 3.5 m environ.

Les pentes à respecter seront les suivantes, elles dépendent essentiellement des caractéristiques géomécaniques intrinsèques des différents horizons géologiques rencontrés et des conditions météorologiques :

- **Terrains de couverture** (terre végétale, éboulis et éluvions) : la pente en phase provisoire et en l'absence d'eau sera au maximum de 2V/3H ;
- **Dépôts glacio-lacustres et la masse glissée altérée** : la pente en phase provisoire et en l'absence d'eau sera au maximum de 1V/1H ;
- **Masse glissée consolidée** : la pente des talus en phase provisoire et en l'absence d'eau sera au maximum à 1V/1H. Cette pente pourra éventuellement être augmentée à 3V/2H (cela sera à valider sur place par un géotechnicien) ;
- **Dans le substratum rocheux** : La pente en phase provisoire et en l'absence d'eau pourra être au maximum à 1V/1H (à contrôler sur site par un géotechnicien). En cas de fracturation importante, la pente sera réduite à 2V/3H. Dans les phases plus saines du rocher la pente pourra être beaucoup plus importante, jusqu'au maximum 5V/1H. La mise en place d'un voile de gunite armé et épinglé (ou cloué si fractures) assurant la tenue de la roche et évitant l'ouverture de fissures et d'éventuelles chutes de blocs est envisageable.

Par phase provisoire nous entendons une durée inférieure à 4 mois entre le terrassement des talus et le remblayage.

Un faible suintement d'eau a été observée au sein d'un sillon perméable intramorainiques. D'autres venues d'eau risquent d'apparaître dans ces formations morainiques. Il conviendra alors de rabattre localement la pente des talus ou bien de prévoir un système de confortement du talus et de capter les venues d'eau à leur source.

Des calculs de stabilité seront nécessaires, pour vérifier la tenue des talus de hauteur importante (supérieure à 3 m) ainsi que l'influence des surcharges éventuelles dont les recommandations données ci-dessus ne tiennent pas compte.

Dans tous les cas, un suivi des travaux d'excavation sera nécessaire afin d'adapter les talus aux conditions réelles rencontrées.

La surface des talus sera à protéger des eaux d'infiltration et de ruissellement avec des bâches plastiques ou des géotextiles tissés imperméables.

8.3 Enceinte de fouille

Les sols rencontrés sur le site présentent des caractéristiques mécaniques moyennes à bonnes. Toutefois, la profondeur des fouilles projetées, l'emprise disponible dans certains secteurs du projet rendront le recours à des travaux spéciaux nécessaire.

Plusieurs solutions seraient alors envisageables : paroi berlinoise, paroi clouée, etc...

D'autres solutions sont envisageables mais semblent moins adaptées techniquement et financièrement au projet (pieux sécants, paroi moulée, ...).

Si des venues d'eau sont rencontrées lors des terrassements, il conviendra de les capter et de les rejeter hors de l'enceinte de fouille.

Au vu de la profondeur d'excavation projetée, les parois de soutènement pourront nécessiter des ancrages et/ou étais en phase provisoire. Leur nombre dépendra de la rigidité des parois réalisées et de l'effort que pourra reprendre chaque ancrage ou étais. Pour la réalisation d'ancrages et dans le cas où l'emprise des ancrages déborderait sur les parcelles voisines au projet, l'autorisation des avoisinants pour occupation de tréfonds sera nécessaire.

8.4 Drainages

Les eaux météoriques et d'infiltration provenant des remblais de parafoilles devront être captées par des réseaux adaptés et des drains au niveau de la base du radier du sous-sol, puis rejetées aux réseaux d'eaux claires, après contrôle du pH, de la teneur en MES et un éventuel traitement (décantation, ...).

Compte tenu de la présence éventuelle de venues d'eau au sein de sillons perméables dans la masse glissée, la mise en place d'une couche drainante ou de béton caverneux sous le radier est recommandée sur une épaisseur de l'ordre de 20 cm. Des pentes de l'ordre de 1% devront être réalisées sur le fond de forme de façon à diriger les eaux vers des épis drainants.

8.5 Carrossabilité des sols

Par temps sec, la carrossabilité des matériaux morainiques limoneux ne pose pas de problème particulier. Toutefois, en fonction des conditions météorologiques, la carrossabilité de ce type de matériaux n'est pas assurée (sol sensible à l'eau). Des pistes de circulation en grave seront donc à prévoir si des engins doivent circuler en fond de fouille par temps de pluie.

8.6 Réutilisation des matériaux d'excavation et remblayage

Les préconisations de réutilisation seront affinées à la suite des résultats en laboratoire

Condition de réutilisation de la masse glissée dans le cas d'un sol moyennement humide :

Les plus gros blocs de la masse glissée (> 200 mm) seront soit concassés soit triés et évacués. Leur mise en œuvre dépendra de la situation météorologique (à adapter en phase chantier). Il est conseillé de réemployer ces matériaux en période sèche. Il faudra éviter d'exposer ces matériaux à la pluie qui pourrait rapidement augmenter leur teneur en eau et rendre inutilisable en l'état ces matériaux. De même, une exposition prolongée au soleil pourrait trop assécher le matériau et ainsi engendrer des difficultés lors du compactage. Les essais en laboratoire réalisés sur l'échantillon T7446-05/ER01 dans la masse glissée consolidée montrent que la teneur en eau naturelle est trop importante ($W = 20.36\%$) et est très supérieure aux valeurs de teneur en eau à l'optimum proctor ($W_{opn} = 15.56\%$). Pour une réutilisation, il sera impératif de réduire la teneur en eau de ces matériaux. Ces conditions de réutilisation sont valables pour les matériaux analysés en laboratoire. Il se peut que la masse glissée consolidée puisse présenter une granulométrie ou teneur en eau différente selon les zones de terrassement. En cas de changement significatif, des essais en laboratoire complémentaires pourraient être réalisés en phase chantier.

Deux méthodes sont envisageables pour réduire la teneur en eau de ces matériaux :

- Stabilisation à la chaux ou au ciment : adjonction de chaux ou de ciment afin de diminuer la teneur en eau et améliorer les caractéristiques géomécaniques des matériaux. Des essais en laboratoire pourraient être réalisés pour déterminer l'aptitude du sol à la stabilisation et le dosage en stabilisant (essais IPI, Proctor, ...). Ensuite, des plates-formes tests sur site pourraient être réalisées afin de contrôler l'efficacité des traitements. La méthode employée pour le traitement à la chaux ou au ciment devra garantir un malaxage homogène entre le matériau et le stabilisant. Il est important de noter que des précautions particulières seront à prendre vis-à-vis de la pollution des eaux (pH élevé) de nappe et/ou de ruissellement que cela engendrera (traitement potentiellement nécessaire).
- Séchage par aération : étaler les matériaux au soleil pendant une période sèche prolongée. Cette méthode nécessitera des surfaces importantes de stockage sur site.

Dans tous les cas, il faudra éviter d'exposer ces matériaux à la pluie qui pourrait rapidement augmenter leur teneur en eau et augmenter les difficultés pour leur traitement et leur réutilisation en remblai.

Toutefois, ces matériaux n'étant pas de bonne qualité, même après stabilisation, nous conseillons leur réutilisation principalement sous les espaces verts, ou sous les structures très légères compatibles avec une portance faible.

Pour la réutilisation de tous ces matériaux, le compacteur à utiliser sera à adapter en fonction des caractéristiques du matériau réemployé. Des contrôles de compactage et de compacité sont recommandés lors du remblayage pour s'assurer de la bonne mise en œuvre, en particulier du bon compactage, des matériaux.

Condition de réutilisation de matériaux d'origine molassique :

Il semble difficile de réutiliser les phases gréseuses de la molasse. La réutilisation de la molasse implique d'importants moyens de mise en œuvre et donc d'importants coûts. En raison du caractère évolutif et de la sensibilité à l'eau des remblais issus de matériau molassiques, il est difficile de prévoir leur évolution au cours du temps (réduction de l'indice de vide et tassement). Les conditions d'utilisation proposées devront être accompagnées d'une réflexion approfondie sur les méthodes d'extraction les plus appropriées, en particulier en vue de la fragmentation et d'essais en laboratoire.

9. Conclusions

9.1 Synthèses géotechniques

Les reconnaitances réalisées ont comporté cinq tranchées de reconnaissance à la pelle mécanique et quatre essais au pénétromètre stato-dynamique.

Les terrains rencontrés au droit du site étudié sont constitués par la succession suivante :

- (A) Terre végétale (Holocène, Quaternaire) ;
- (B) Sous couche végétale (Holocène, Quaternaire) ;
- (Hs) Eboulis (Holocène, Quaternaire) ;
- (El) Eluvions (Holocène, Quaternaire) ;
- (As d) Dépôts glacio-lacustres (Pléistocène, Quaternaire) ;
- Masse glissée limono-argileuse consolidée avec frange d'altération (Pléistocène, Quaternaire) ;
- Molasse gréseuse altérée et saine (Oligocène, Tertiaire).

D'après les modèles du guichet cartographique, le toit du substratum rocheux (Oligocène, Tertiaire) se situe à environ 420 m/mer.

Lors des sondages, un seul léger suintement d'eau a été observée. Aucun horizon perméable susceptible d'abriter une nappe n'a été rencontré. Cependant, cela ne garantit en aucun cas l'absence d'eau dans les formations géologiques présentes sur le projet. D'éventuelles venues d'eau pourraient apparaître localement au sein de sillons plus perméables des terrains présent.

En fonction des descentes de charges du futur bâtiment, une solution de fondation superficielle par radier général prenant assise sur la masse glissée consolidée et la molasse gréseuse saine est préconisée. Des substitutions pourront être à prévoir pour les niveaux supérieurs.

Compte tenu de la profondeur des fouilles projetées et la présence d'arbre à protéger dans certains secteurs du projet, le recours à des travaux spéciaux sera nécessaire. Il devrait s'agir de paroi provisoire de type berlinoise ou paroi clouée.

D'autres remblais pourraient être rencontrés (notamment au niveau des parafoilles ou sous les aménagements extérieurs existants). En fonction de la quantité de déchets et/ou d'une concentration en polluants éventuels, les filières d'évacuation en décharge pourront être variables (décharge de type A, B, ...). Des analyses selon OLED devront être réalisées afin de définir les filières de valorisation / élimination. Des analyses OSol pourront être nécessaires pour les terres de vigne (pollution au cuivre).

Nos prérogatives pour les mesures constructives sont données au chapitre précédent.

9.2 Investigations et prestations d'ingénierie complémentaires

À la suite de ce rapport géotechnique, le soutien d'un ingénieur géotechnicien est recommandé pour les prestations suivantes :

- Appui d'un ingénieur en travaux spéciaux pour définir le concept et dimensionner les ouvrages de soutènements provisoires et d'éventuelles fondations profondes ;
- Réalisation d'essai Zeindler afin d'estimer la dureté et l'exploitabilité des terrains à la pelle mécanique ;
- En cas d'évacuation de remblais, appui d'un ingénieur environnement pour la réalisation d'analyse en laboratoire selon OLED pour déterminer les filières de valorisation / évacuation ;

- Appui d'un pédologue pour la gestion des matériaux terreux (exigences de niveau 1 requis (<5000m² de décapage) selon la directive DMP 864 du canton de Vaud) ;
- Pose et suivi de capteurs de vibrations et/ou jauges de contraintes sur le bâti avoisinant afin de surveiller l'impact des travaux et de respecter la norme sur les mesures d'ébranlements ;
- Réalisation d'un suivi des travaux de terrassement et contrôle de la conformité des terrains de fondation. Pour ce suivi d'exécution, il est recommandé de réaliser des essais de contrôle des fonds de fouille de type pénétromètre dynamique ou essais de plaque. De plus, des essais au pénétromètre dynamique permettraient également de vérifier la mise en place des matériaux remblayés en parafouilles.

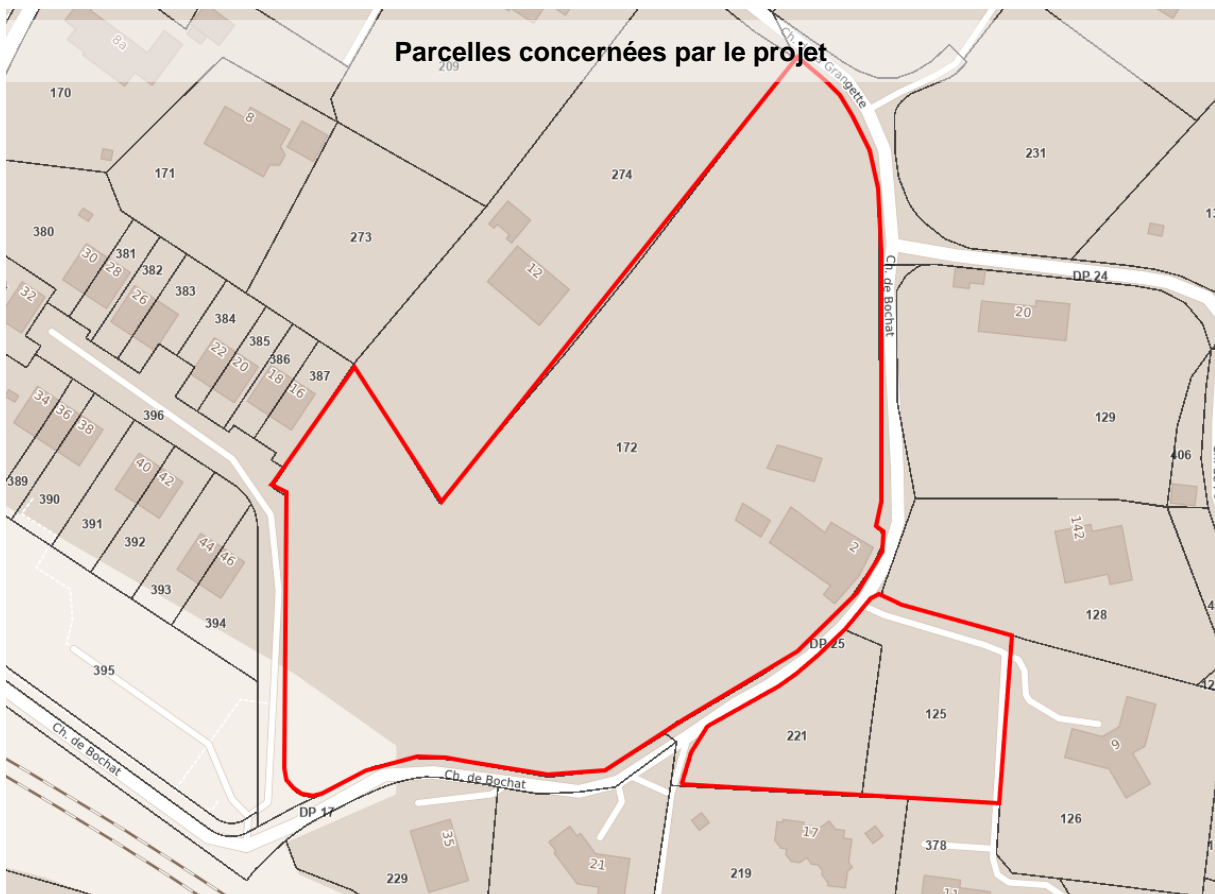
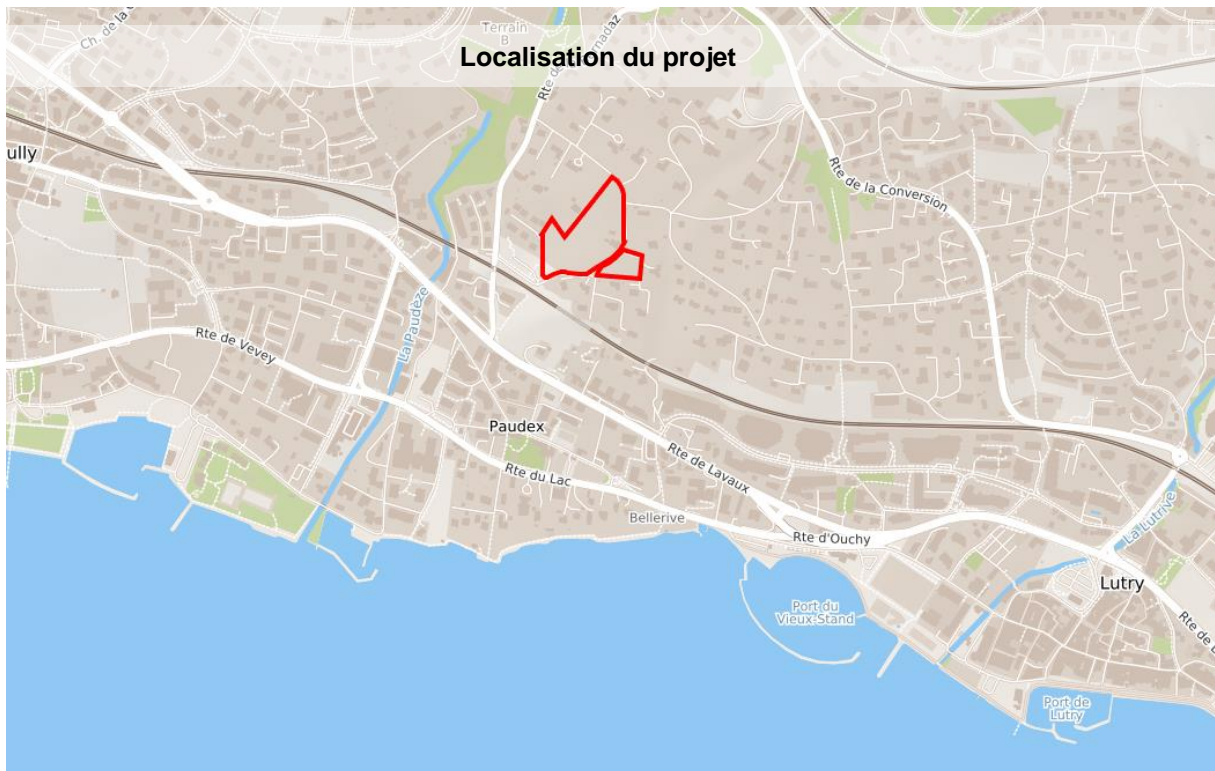
ab ingénieurs sa

ANNEXES

ANNEXE 1 : **PLANS DE SITUATION**

Adresse : Chemin de Bochat, 17 – 1094 Paudex (VD)

Parcelle(s) : 125, 172 et 221



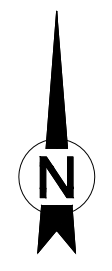
Source : Plans extraits du guichet cartographique cantonal – Sans échelle

ANNEXE 2 : PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES

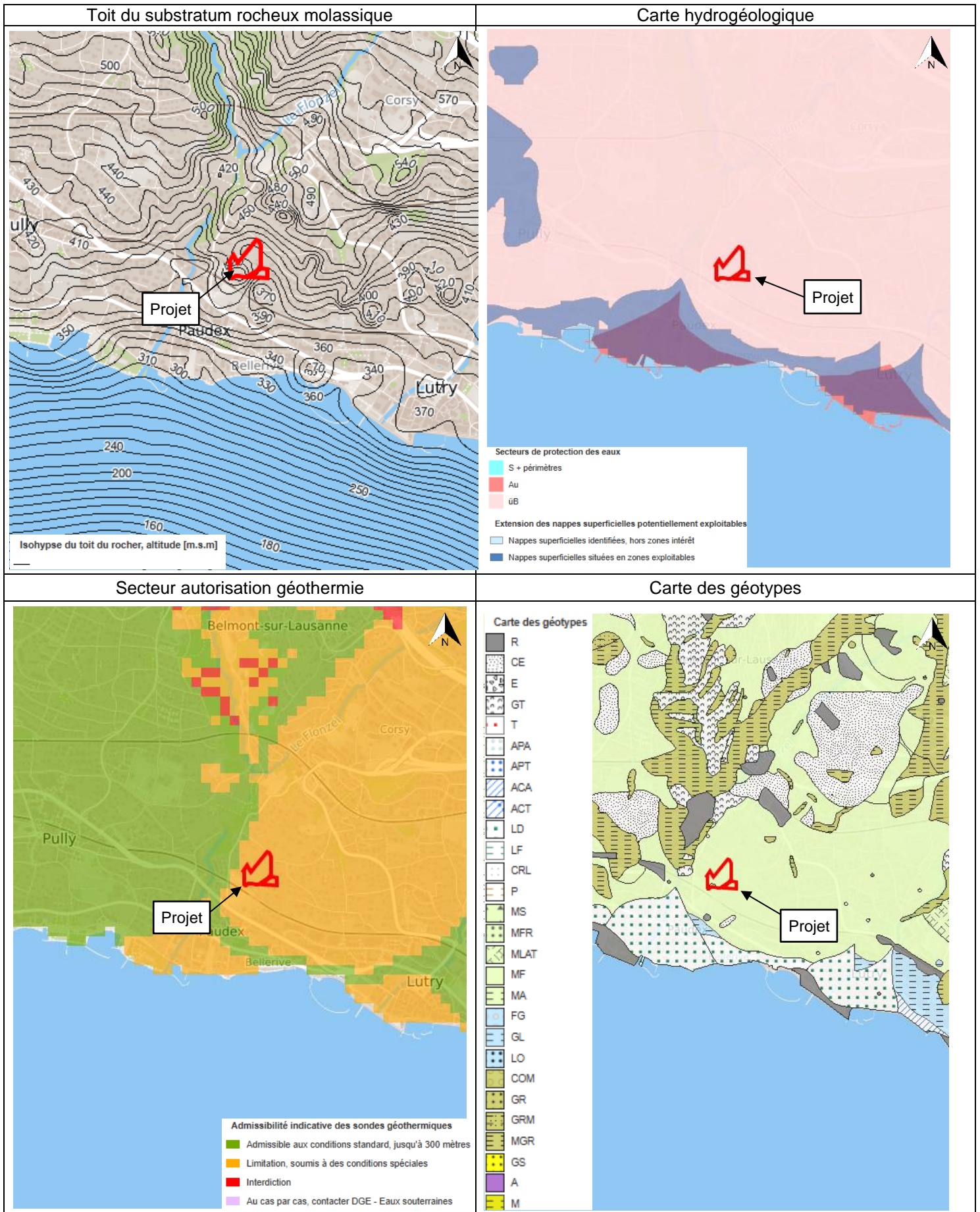


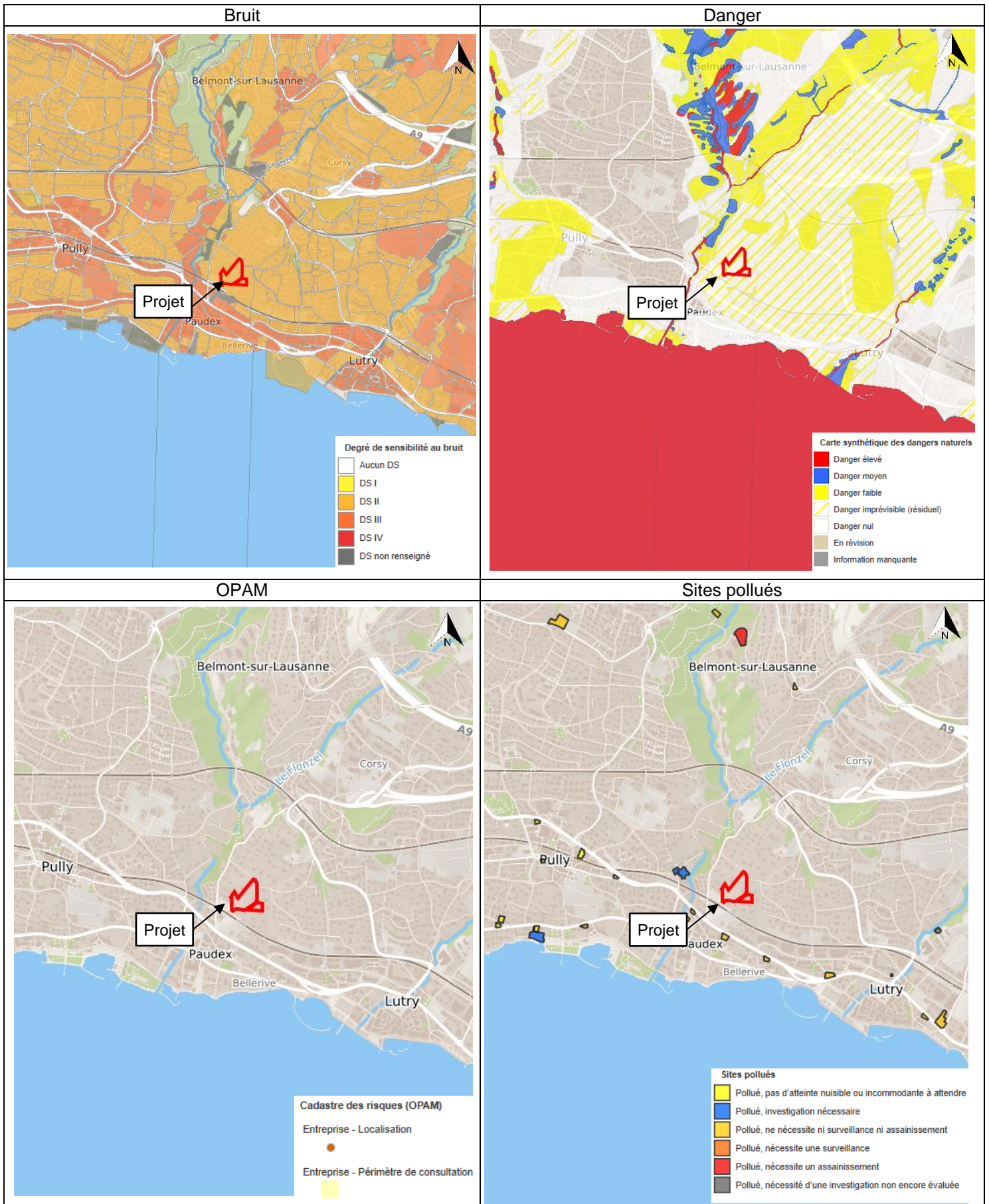
LEGENDE :

- TXXXX-XX
(Alt. m/mer) Tranchée à la pelle mécanique
- BXXXX-XX
(Alt. m/mer) Pénétromètre dynamique lourd
- B B' Coupe géologique










ANNEXE 3 : EXTRAITS DU GUICHET CARTOGRAPHIQUE





ANNEXE 4 : LOGS DE SYNTHÈSE DES TRANCHEES DE RECONNAISSANCE A LA PELLE MECANIQUE



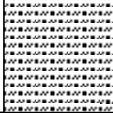

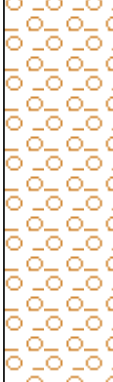
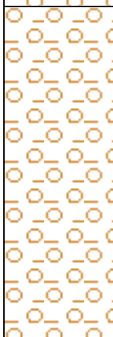
Engin de sondage	Niveau d'eau	Altitude	Profondeur	USCS	Lithologie	Unité géologique	Âge		Echantillons	
							Cus [kPa]	Qup [kPa]		
Fouille à la pelle mécanique 12t à chenille	Sec à la creuse	427.15 m								
		426.95 m	0.20 m	/	 Terre végétale - Horizon A	TV	55	125		
		426		/	 Sous-couche végétale - Horizon B : Matrice limono-argileuse (90%) avec quelques graviers (Ø2-20 mm), pas de bloc, présence de drains PVC, peu de matières organiques (racines, radicelles). De couleur brune, structure grumeleuse, consistance tendre, cohésion moyenne, horizon très humide.	HB - Sous-couche végétale	96	150		
		425.90 m	1.25 m		 Matrice limono-argileuse (90%) avec quelques graviers (Ø2-20 mm), pas de bloc, présence de drains PVC, absence de racines. De couleur brune, structure grumeleuse, consistance tendre, cohésion moyenne, horizon très humide.	Eluvions				
		425.45 m	1.70 m		 Matrice limono-argileuse (95%) avec quelques graviers et blocs sub arrondis (Ø2-60 mm), pas de déchet observé. De couleur grise/beige, structure grumeleuse, consistance molle, cohésion moyenne à forte.	Dépôts glacio-lacustres limono-argileux non-consolidés (As d2)	96	75		
		425		CL						
		424.65 m	2.50 m		 Matrice limono-argileuse (70-75%) avec débris molassique altérée (Ø2-200 mm), sans graviers polygéniques. De couleur brun/beige, structure compacte, consistance tendre à ferme, cohésion moyenne à forte, horizon humide.	Masse glissée altérée		50		
424.15 m	3.00 m		 Matrice limono-argileuse (75%) avec débris molassique altérée (Ø2-200 mm), sans gravies polygénique. Structure compacte. De couleur brune/beige, consistance ferme à dure, cohésion moyenn, horizon humide.	Masse glissée consolidée	120	300				
423.35 m	3.80 m									

 ab ingénieurs sa 80 chemin de la Mousse 1226 Thônex T +41 (0)22 349 80 88 F +41 (0)22 349 51 22	Affaire 7446	
	Construction de 3 immeuble de logements Chemin de Bochat, 17 - 1094 Paudex (VD)	
Altitude	: 427.35 m/mer	Profondeur : 0.00 - 3.80 m
Entreprise terrassement	: Perrin Frères SA	X : 2'541'266 m
Date réalisation	: 24.04.2025	Y : 1'151'085 m

1/25

Tranchée à la pelle mécanique : T7446-02

EXGTE 3.23.1/GTE

Engin de sondage	Niveau d'eau	Altitude	Profondeur	USCS	Lithologie	Unité géologique	Âge		Echantillons	
							Cus [kPa]	Qup [kPa]		
Fouille à la pelle mécanique 9t à chenille Suintement d'eau  2.80 m		427.35 m								
		427.15 m	0.20 m	/	 Terre végétale - Horizon A	TV		55	125	
		427		/	 Sous-couche végétale - Horizon B - Matrice limono-argileuse (85%) avec quelques graviers (Ø2-80 mm), pas de bloc, peu de matières organiques. De couleur brune, structure grumeleuse, consistance tendre, cohésion moyenne, horizon très humide.	HB		96	150	
		426.75 m	0.60 m							
		425.95 m	1.40 m		GM	 Matrice limoneuse (40%) avec beaucoup de graviers et blocs sub arrondis (Ø2-300 mm) à dominance gréseuse, pas de déchet observé. De couleur beige, structure poudreuse, pas de cohésion, compacité moyenne.	Eboulis (Hs)			
		425								
	424.65 m	2.70 m		CL-ML	 Matrice limono-argileuse (70-75%) avec débris molassique altérée (Ø2-200 mm), sans graviers polygéniques. De couleur brun/beige, structure compacte, consistance tendre à ferme, cohésion moyenne à forte, horizon humide.	Masse glissée altérée	HOLOCENE		50	
	424									
	423.55 m	3.80 m			 Matrice limono-argileuse (75%) avec débris molassique altérée (Ø2-200 mm), sans graviers polygénique. Structure compacte. De couleur brune/beige, consistance ferme à dure, cohésion moyenn, horizon humide.	Masse glissée consolidée		120	430 450	

**Construction de 3 immeuble de logements
 Chemin de Bochat, 17 - 1094 Paudex (VD)**

Affaire 7446


Altitude	: 427.60 m/mer	Profondeur	: 0.00 - 2.80 m
Entreprise terrassement	: PERRIN Frères SA	X	: 2'541'272 m
Date réalisation	: 24.04.2025	Y	: 1'151'064 m

1/25

Tranchée à la pelle mécanique : T7446-03

EXGTE 3.23.1/GTE




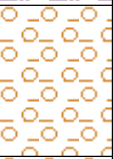

Engin de sondage	Niveau d'eau	Altitude	Profondeur	USCS	Lithologie	Unité géologique	Âge	Cus [kPa]		Qup [kPa]		Echantillons
								0	120	0	500	
Fouille à la pelle mécanique et à chenille	Sec à la creuse	427.60 m										
		427.30 m	0.30 m	/	Terre végétale - Horizon A	TV	Holocène	55		125		
		427.426.90 m	0.70 m	/	Sous-couche végétale - Horizon B : Matrice limono-argileuse (85%) avec quelques graviers (Ø2-80 mm), pas de bloc, peu de matière organique. De couleur brune, structure grumeleuse, consistance tendre, cohésion moyenne, horizon très humide.	HB	Holocène	96		150		
		426.425.424.90 m	2.70 m	/	Molasse gréseuse altérée. De couleur beige/olive. Très tendre.	Molasse gréseuse	Oligocène	120		500		
		424.80 m	2.80 m		Molasse gréseuse saine. Tendre	Mol.						


 ab ingénieurs sa 80 chemin de la Mousse 1226 Thônex T +41 (0)22 349 80 88 F +41 (0)22 349 51 22	Affaire 7446	
	Construction de 3 immeuble de logements Chemin de Bochat, 17 - 1094 Paudex (VD)	
Altitude	: 439.80 m/mer	Profondeur : 0.00 - 3.75 m
Entreprise terrassement	: Perrin Frères SA	X : 2°54'365 m
Date réalisation	: 24.04.2025	Y : 1°15'049 m

1/25

Tranchée à la pelle mécanique : T7446-04

EXGTE 3.23.1/GTE

Engin de sondage	Niveau d'eau	Altitude	Profondeur	USCS	Lithologie	Unité géologique	Âge		Echantillons	
							Cus [kPa]	Qup [kPa]		
Fouille à la pelle mécanique 9t à chenille	Sec à la creuse	439.80 m								
		439.50 m	0.30 m	/	 Terre végétale - Horizon A	TV - HA		55	125	
		439			 Matrice limono-argileuse (85%) avec quelques graviers (Ø2-80 mm), pas de bloc, peu de matières organiques (racines, radicelles). De couleur brune, structure grumeleuse, consistance tendre, cohésion moyenne, horizon très humide.	Sous-couche végétale - HB	HOLOCENE			
		438	1.00 m	/	 Matrice limono-argileuse (85%) avec quelques graviers (Ø2-80 mm), pas de bloc, sans matière organique. De couleur brune, structure grumeleuse, consistance tendre, cohésion moyenne, horizon très humide.	Eluvions (EI)		96	150	
		437.70 m	2.10 m		 Matrice limono-argileuse (70-75%) avec débris molassique altérée (Ø2-200 mm), sans graviers polygéniques. De couleur brun/beige, structure compacte, consistance tendre à ferme, cohésion moyenne à forte, horizon humide.	Masse glissée altérée		96	175	
437.20 m	2.60 m		 Matrice limono-argileuse(75%) avec débris molassique altérée (Ø2-200 mm), sans gravies polygénique. Structure compacte. De couleur brune/beige, consistance ferme à dure, cohésion moyenn, horizon humide.	Masse glissée consolidée	120	500				
436.05 m	3.75 m		CL-ML							

 ab ingénieurs sa 80 chemin de la Mousse 1226 Thônex T +41 (0)22 349 80 88 F +41 (0)22 349 51 22	Affaire 7446	
	Construction de 3 immeuble de logements Chemin de Bochat, 17 - 1094 Paudex (VD)	
Altitude	: 439.80 m/mer	Profondeur : 0.00 - 3.70 m
Entreprise terrassement	: Perrin Frères SA	X : 2°54'409 m
Date réalisation	: 24.04.2025	Y : 1°15'049 m

1/25

Tranchée à la pelle mécanique : T7446-05

EXGTE 3.23.1/GTE

Engin de sondage	Niveau d'eau	Altitude	Profondeur	USCS	Lithologie	Unité géologique	Âge		Echantillons
							Cus [kPa]	Qup [kPa]	
Fouille à la pelle mécanique 9t à chenille Sec à la creuse		439.80 m					0	120	
		439.55 m	0.25 m	/	Terre végétale - Horizon A	TV HA	55		125
		439		/	Matrice limono-argileuse (85%) avec quelques graviers (Ø2-80 mm), pas de bloc, peu de matières organiques (racines, radicelles). De couleur brune, structure grumeleuse, consistance tendre, cohésion moyenne, horizon très humide.	Sous couche végétale HB	96		150
		438.70 m	1.10 m	/		Eluvions (El)	96		150
		438		/	Matrice limono-argileuse (85%) avec quelques graviers (Ø2-80 mm), pas de bloc, pas de matière organique. De couleur brune, structure grumeleuse, consistance tendre, cohésion moyenne, horizon très humide.				
	437								
	437.70 m	2.10 m							
	436.80 m	3.00 m		GM-GC	Matrice limoneuse (70-75%) avec débris molassique altérée (Ø2-200 mm), sans graviers polygéniques. De couleur brun/beige, structure compacte, consistance tendre à ferme, cohésion moyenne à forte, horizon humide.	Masse glissée limoneuse altérée			175
	436.10 m	3.70 m			Matrice limono-sableuse (75%) avec débris molassique altérée (Ø2-200 mm), sans graviers polygénique. Structure compacte. De couleur brune/beige, consistance ferme à dure, cohésion moyenn, horizon humide.	Masse glissée limoneuse consolidée	120		500

ANNEXE 5 : PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES DES TRANCHEES DE RECONNAISSANCE A LA PELLE MECANIQUE



Tranchée de reconnaissance à la pelle mécanique T7446-01



Tranchée de reconnaissance à la pelle mécanique T7446-02



Tranchée de reconnaissance à la pelle mécanique T7446-03



Tranchée de reconnaissance à la pelle mécanique T7446-04



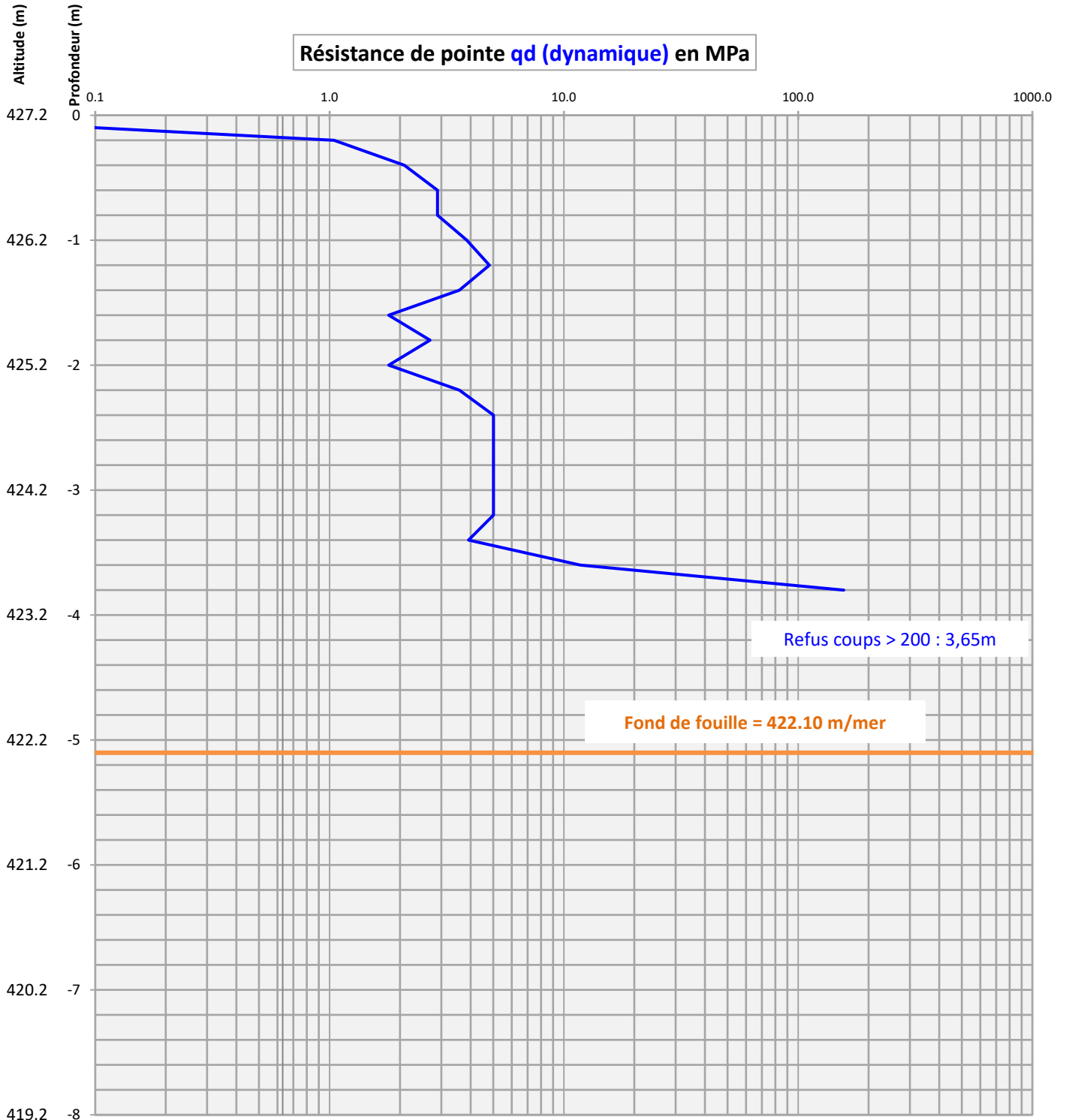
Tranchée de reconnaissance à la pelle mécanique T7446-05

ANNEXE 6 : **DIAGRAMMES DE BATTAGE**

Affaire : 7446	Date : 14.05.25
Adresse : Chemin de Bochat, 17	N° Dossier : 2025-204-LABO
Commune : Paudex (VD)	Opérateur : DA

Sondage au pénétromètre dynamique

DPSH-B (selon la norme NF EN 22476-2)

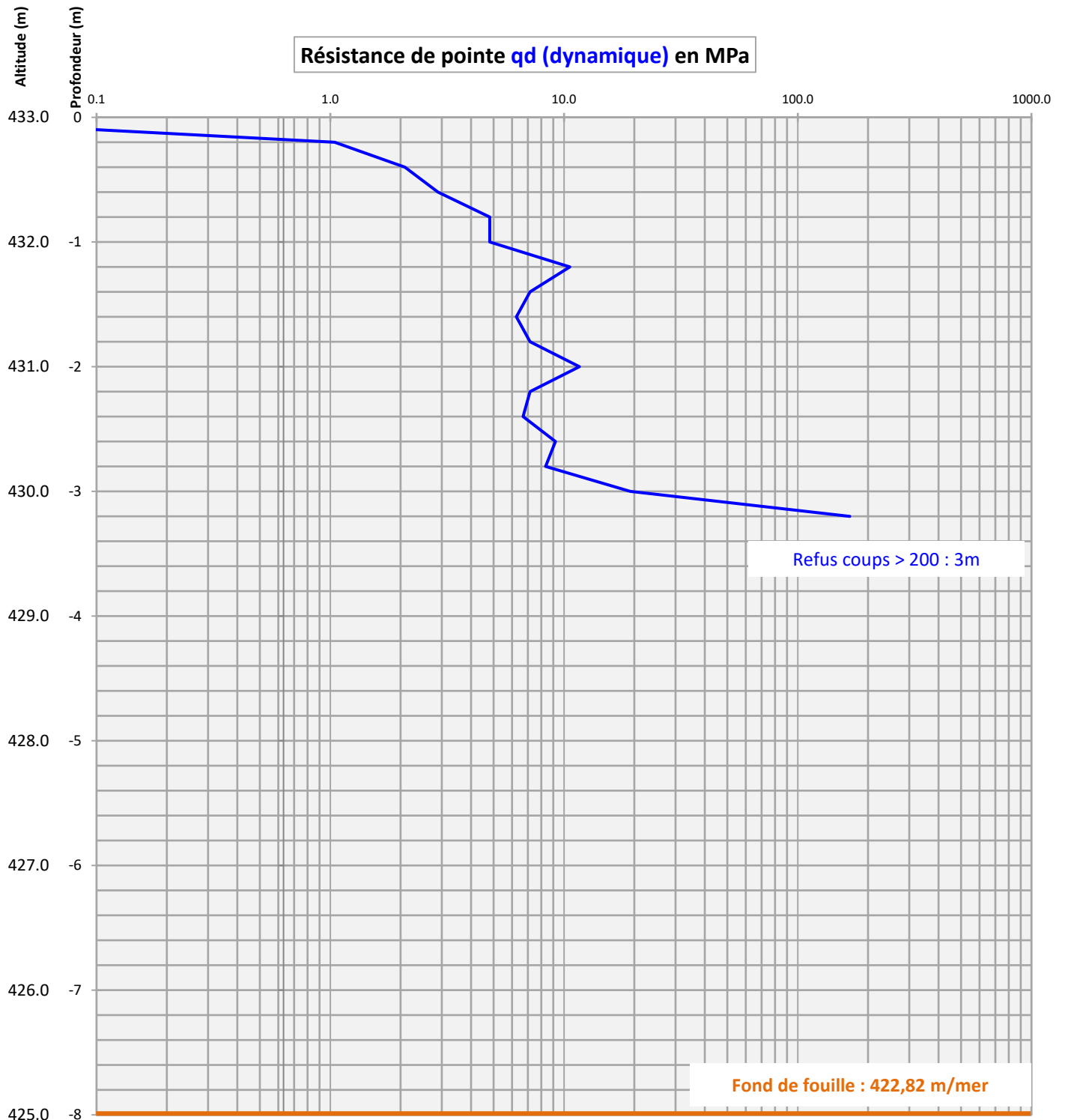


Coordonnées du sondage : X= 2541257 m Y= 1151110 m Z= 427.2 m/mer

Affaire : 7446	Date : 14.05.25
Adresse : Chemin de Bochat, 17	N° Dossier : 2025-204-LABO
Commune : Paudex (VD)	Opérateur : DA

Sondage au pénétromètre dynamique

DPSH-B (selon la norme NF EN 22476-2)



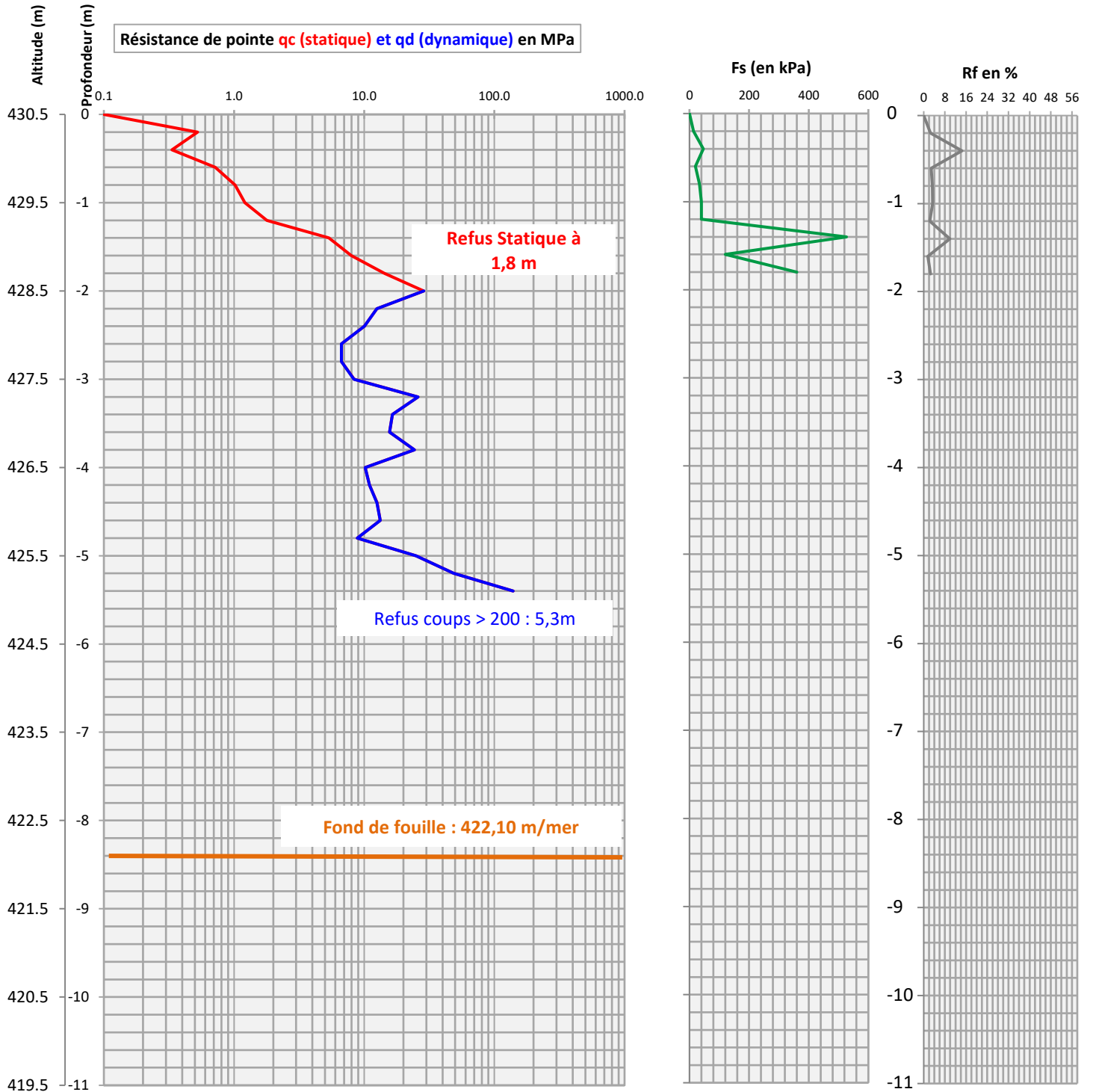
Coordonnées du sondage : X= 2541291 m Y= 1151068 m Z= 433.0 m/mer

Affaire : 7446	Date : 14.05.25
Adresse : Chemin de Bochat, 17	N° Dossier : 2025-204-LABO
Commune : Paudex (VD)	Opérateur : DA

Sondage au pénétromètre Stato-dynamique

pointe BEGEMANN 10 cm² (selon norme NF P 94-113)

DPSH-B (selon la norme NF EN 22476-2)



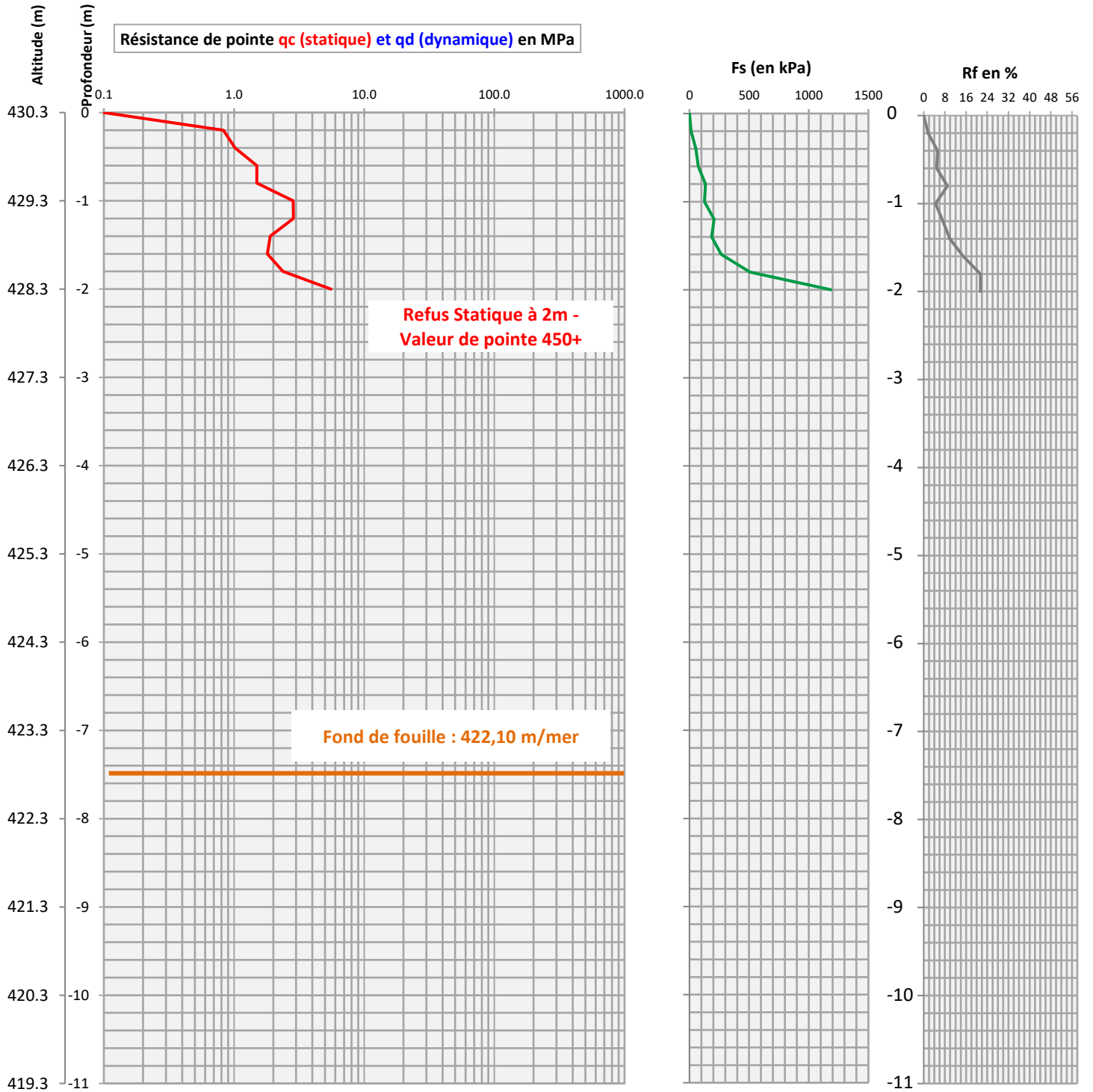
Coordonnées du sondage : X= 2541268 m Y= 1151115 m Z= 430.1 m/mer

Affaire : 7446	Date : 14.05.25
Adresse : Chemin de Bochat, 17	N° Dossier : 2025-204-LABO
Commune : Paudex (VD)	Opérateur : DA

Sondage au pénétromètre Stato-dynamique

pointe BEGEMANN 10 cm² (selon norme NF P 94-113)

DPSH-B (selon la norme NF EN 22476-2)



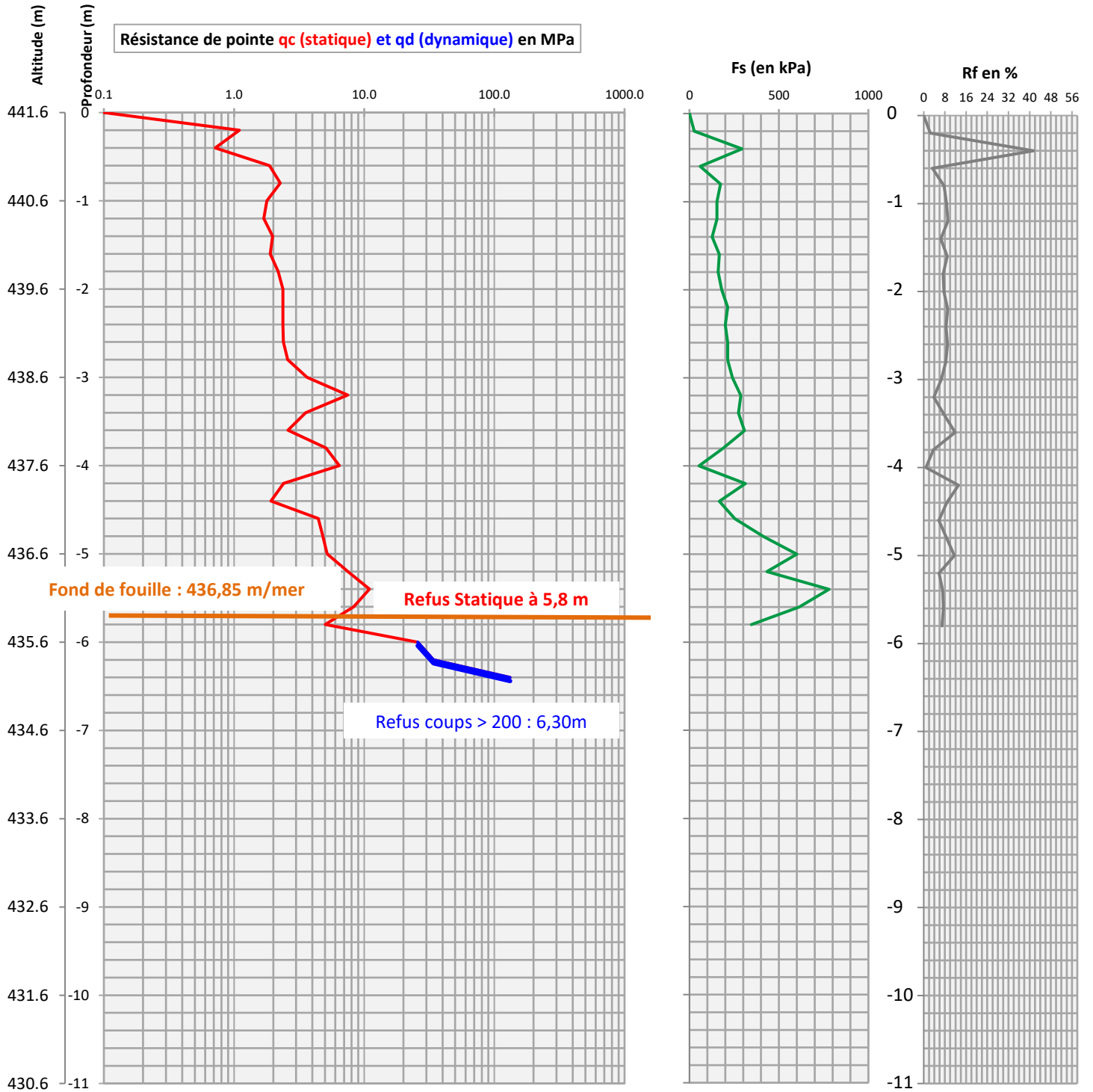
Coordonnées du sondage : X= 2541257 m Y= 1151110 m Z= 427.2 m/mer

Affaire : 7446	Date : 14.05.25
Adresse : Chemin de Bochat, 17	N° Dossier : 2025-204-LABO
Commune : Paudex (VD)	Opérateur : DA

Sondage au pénétromètre Stato-dynamique

pointe BEGEMANN 10 cm² (selon norme NF P 94-113)

DPSH-B (selon la norme NF EN 22476-2)



Coordonnées du sondage : X= 2541397 m Y= 1151058 m Z= 441.6 m/mer

ANNEXE 7 : **ESSAIS DE LABORATOIRE**



ab ingénieurs sa

PROCÈS-VERBAL D'ESSAI

DÉTERMINATION DE LA TENEUR EN EAU NATURELLE PAR ÉTUVAGE (norme SN 670 340-1)

MANDANT : CYDONIA SA

CHANTIER : Chemin de Bochat, 17

COMMUNE : Paudex (VD)

DOSSIER : 7446

ÉCHANTILLON : T7446-05/ER01

PROFONDEUR : 3.0 à 3.7 m

NATURE : Masse glissée limoneuse consolidée

MODE DE PRÉLÈVEMENT : Tranchée à la pelle mécanique

DATE DE PRÉLÈVEMENT : 24.04.2025

DATE D'ESSAI : 22.10.2024

OPÉRATEUR : SE

Teneur en eau naturelle moyenne $W\%_{\text{NAT}}$

20.36%

OBSERVATIONS



DÉTERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE (norme SN 670 335a) ET AUTRES PARAMÈTRES D'ÉTAT

MANDANT : CYDONIA SA
CHANTIER : Chemin de Bochat, 17
COMMUNE : Paudex (VD)
DOSSIER : 7446

ÉCHANTILLON : T7446-05/ER01
PROFONDEUR : 3.0 à 3.7 m
NATURE : Masse glissée limoneuse consolidée
MODE DE PRÉLÈVEMENT : Tranchée à la pelle mécanique

MÉTHODE CHOISIE Mesurage des dimensions géométriques

DATE DE PRÉLÈVEMENT : 24.04.2025
DATE D'ESSAI : 20.05.2025
OPÉRATEUR : SE / FM / LD

Masse volumique humide ρ_h (t/m ³)	1.87
Masse volumique sèche ρ_d (t/m ³)	1.56
Porosité η (%)	41.22%
Indice des vides e	0.70
Degré de saturation S_r (%)	91%
Teneur en eau de saturation $W\%_{SAT}$	26.47%
Masse spécifique humide de saturation (t/m ³)	1.97

OBSERVATIONS



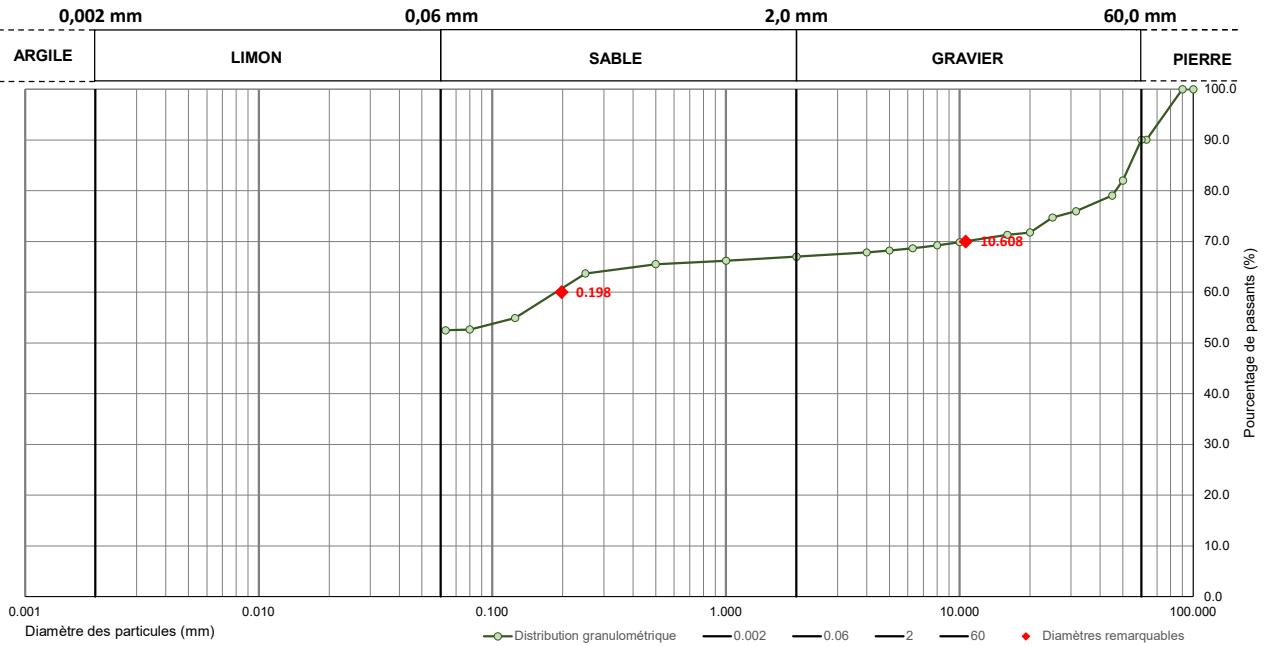
ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE PAR TAMISAGE (norme SN 670 902-1) ET SÉDIMENTOMÉTRIQUE (norme SN 670 902-1)

MANDANT : CYDONIA SA
CHANTIER : Chemin de Bochat, 17
COMMUNE : Paudex (VD)
DOSSIER : 7446

ÉCHANTILLON : T7446-05/ER01
PROFONDEUR : 3.0 à 3.7 m
NATURE : Masse glissée limoneuse consolidée
MODE DE PRÉLÈVEMENT : Tranchée à la pelle mécanique

DATE DE PRÉLÈVEMENT : 24.04.2025
DATE D'ESSAI : 20.05.2025
OPÉRATEUR : SE / FM / LD

DISTRIBUTION GRANULOMÉTRIQUE



Diamètres remarquables (mm) :
(selon pourcentage de passants)

D70%	10.608
D60%	0.198
D50%	
D30%	
D15%	
D10%	

Pourcentages remarquables :
(selon diamètre des particules)

50 mm	82.0
2.5 mm	67.2
0.08 mm	52.7

D_{max} (mm) 63

Facteur d'uniformité C _u	>6
Type de granulométrie	Étalée
Facteur de courbure C _c	>3
Type de granulométrie	Mal graduée

Classes granulométriques :

		Sable et fines	67%	Gravier	23%	Pierre	10%
--	--	----------------	-----	---------	-----	--------	-----

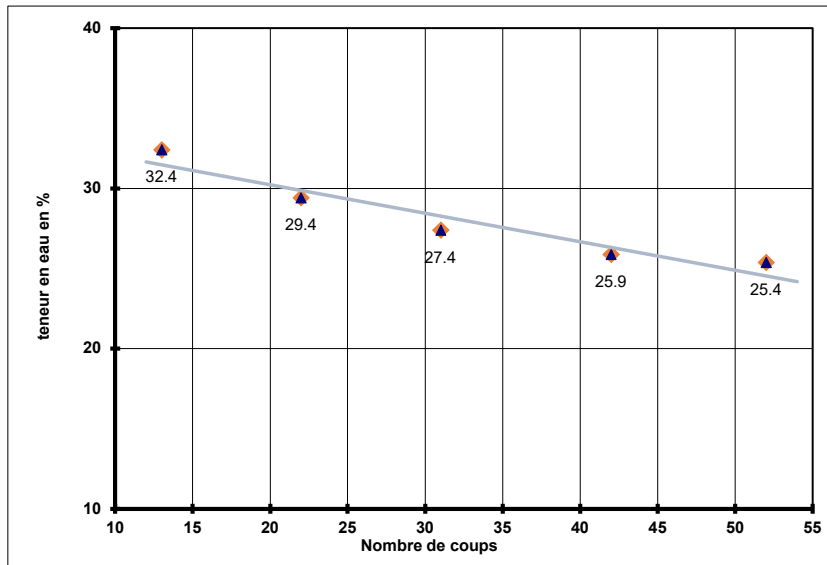
MANDANT :	CYDONIA SA
CHANTIER :	Chemin de Bochat, 17
COMMUNE :	Paudex (VD)
DOSSIER :	7446

ÉCHANTILLON :	T7446-05/ER01
PROFONDEUR :	3.0 à 3.7 m
NATURE :	Masse glissée limoneuse consolidée
MODE DE PRÉLÈVEMENT :	Tranchée à la pelle mécanique

DATE DE PRÉLÈVEMENT :	24.04.2025
DATE D'ESSAI :	20.05.2025
OPÉRATEUR :	SE / FM / LD

TENEUR EN EAU NATURELLE **W% = 20.4%**

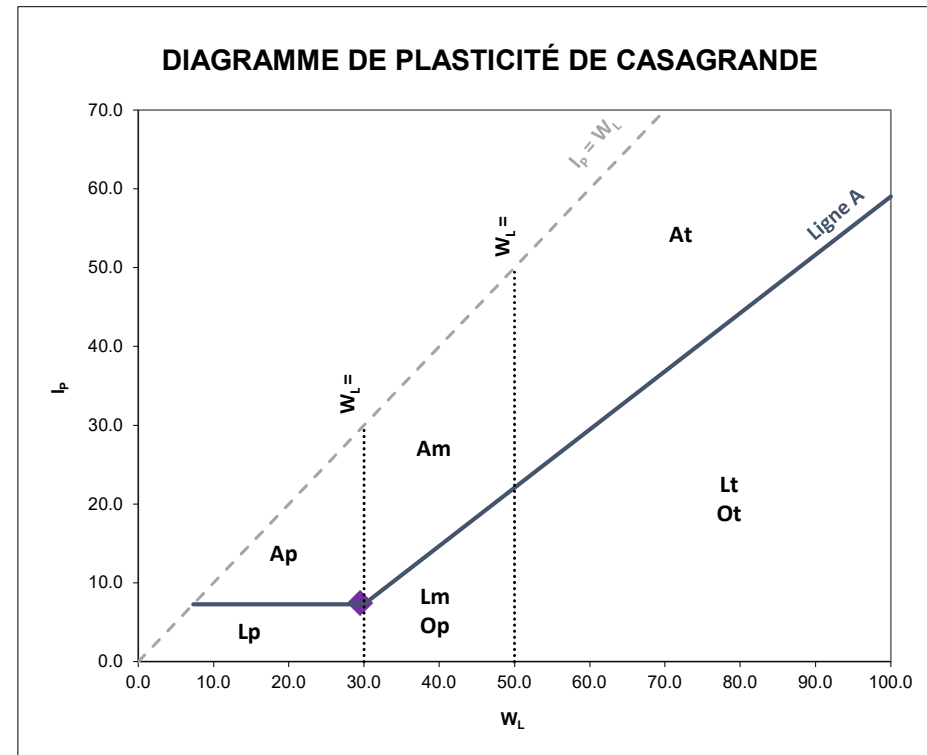
LIMITE DE LIQUIDITÉ A LA COUPELLE **W_L = 29.5**



LIMITE DE PLASTICITÉ AU ROULEAU **W_p = 22.1**

INDICE DE PLASTICITÉ **I_p = 7.4**

DIAGRAMME DE PLASTICITÉ DE CASAGRANDE



Lecture du diagramme de plasticité de Casagrande :

- | | |
|---|--|
| ◆ Positionnement de l'échantillon | Lp Limon peu plastique |
| Ap Argile peu plastique | Lm Limon moyennement plastique |
| Am Argile moyennement plastique | Lt Limon très plastique |
| At Argile très plastique | Op Matière organique peu plastique |
| | Ot Matière organique très plastique |



ab ingénieurs sa

PROCÈS-VERBAL D'ESSAI

DÉTERMINATION DE LA VALEUR AU BLEU DE MÉTHYLÈNE D'UN SOL (norme NF P94-068)

MANDANT : CYDONIA SA
CHANTIER : Chemin de Bochat, 17
COMMUNE : Paudex (VD)
DOSSIER : 7446

ÉCHANTILLON : T7446-05/ER01
PROFONDEUR : 3.0 à 3.7 m
NATURE : Masse glissée limoneuse consolidée
MODE DE PRÉLÈVEMENT : Tranchée à la pelle mécanique

Teneur en eau naturelle W% _{NAT}	20.4%
Proportion C de la fraction 0/5 mm dans la fraction 0/50 du sol sec (%)	83.2%

DATE DE PRÉLÈVEMENT : 24.04.2025
DATE D'ESSAI : 20.05.2025
OPÉRATEUR : SE / FM / LD

VALEUR AU BLEU DE METHYLENE (VBS) 4.58

ARGILOSITÉ DU MATÉRIAU Moyennement argileux

OBSERVATIONS



ESSAI PROCTOR (norme NF P94-093)

MANDANT : CYDONIA SA
CHANTIER : Chemin de Bochat, 17
COMMUNE : Paudex (VD)
DOSSIER : 7446

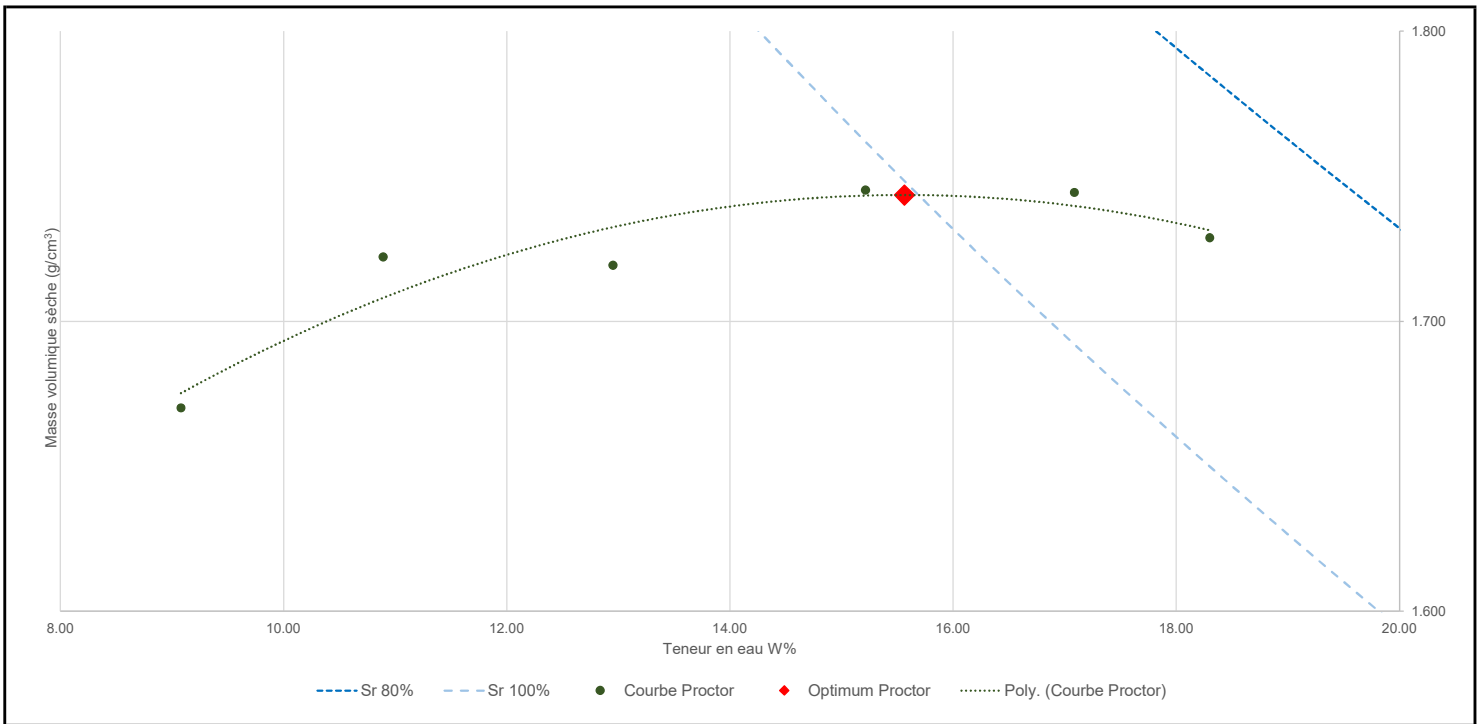
ÉCHANTILLON : T7446-05/ER01
PROFONDEUR : 3.0 à 3.7 m
NATURE : Masse glissée limoneuse consolidée
MODE DE PRÉLÈVEMENT : Tranchée à la pelle mécanique

TYPE D'ESSAI : Essai Normal
TYPE DE MOULE : Type Proctor
FRACTION > 20 mm (%): 26.20

DATE DE PRÉLÈVEMENT : 24.04.2025
DATE D'ESSAI : 20.05.2025
OPÉRATEUR : SE / FM / LD

Masse volumique conventionnelle des particules solides (t/m^3) 2.65

Teneur en eau naturelle $W\%_{nat}$ 20.36%



OPTIMUM PROCTOR

Teneur en eau optimale $W\%_{OPN}$ 15.56%

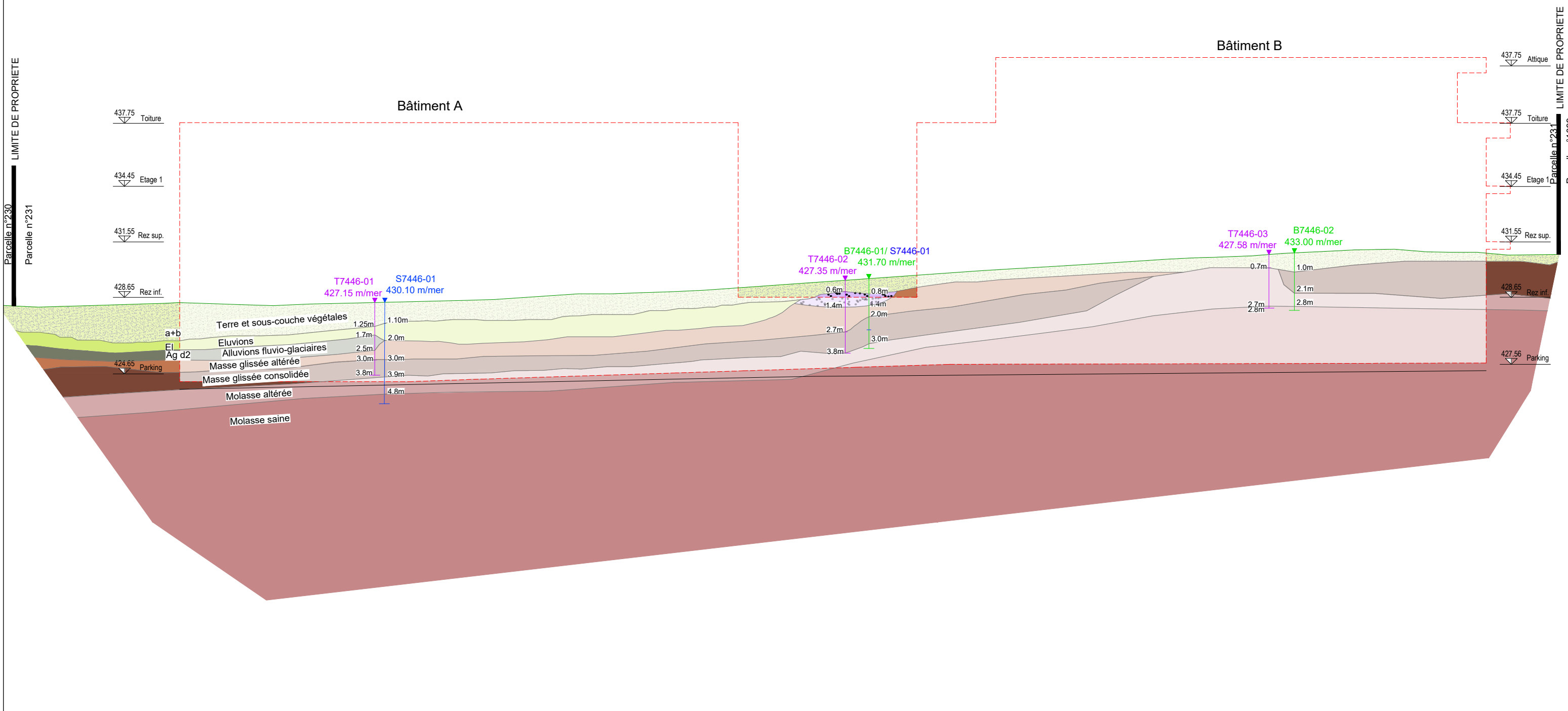
Masse volumique sèche optimale $\rho_{d(OPN)}$ (t/m^3) 1.74

OBSERVATIONS

ANNEXE 8 : **COUPE GEOLOGIQUE INTERPRETATIVE**

A

A'



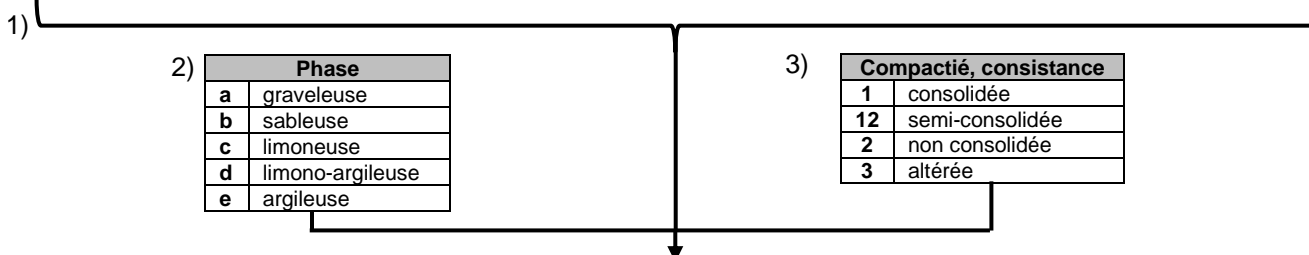
LEGENDE :

A+B)		Terre végétale et remblais		Masse glissée limono-argileuse altérée		Molasse saine		Pénétrömètre dynamique (battage)
EI)		Eluvions		Masse glissée limono-argileuse consolidée				Tranchée
Ag d2)		Alluvions fluvioglaciales limono-argileuse non-consolidées		Molasse marneuse altérée				Pénétrömètre statique (CPTu)

ANNEXE 9 : **CODIFICATION DES SOLS VAUDOIS**

Terminologie géologique des terrains meubles – Selon norme SN 670 009a – mars 2019

Symbole	Groupe	Sous-groupe	Description
Bs	Dépôts gravitaires et produits d'altération	Dépôt d'éboulement et d'éroulement	Amas de matériau d'éboulement ou d'éroulement de versants rocheux accumulés en pied de versants et de paroi avec blocs de taille décimétrique à métrique ; en général anguleux
Hs		Eboulis	Amas de débris rocheux accumulés en pied de paroi par chute d'éléments isolés ; éléments principalement de taille centimétrique à métrique croissant du haut en bas de la pente ; en général anguleux
Co		Colluvion, limon de pente	Matériau déposé par l'eau de ruissellement en surface d'un versant ; dépôt peu structuré ; dominance granulométrique des limons et sables avec une présence de matière organique diffuse fréquente
EI		Eluvion	Produit de la désagrégation des roches, en général fin et resté en place
Af	Dépôts fluviatiles	Dépôt fluviatile grossier	Matériau généralement grossier (en prédominance graviers et sables) déposé dans le lit d'une rivière ; granulats arrondis à bien arrondis
At		Dépôt torrentiel, dépôt de lave torrentielle	Matériau de granulométrie moyenne à grossière déposé par forte crue le long d'un torrent ou en forme de cône dans sa partie inférieure ; granulats sub-anguleux à arrondis
Ai		Dépôt d'inondation	Dépôts limoneux à graveleux déposés par débordement d'une rivière dans une plaine
Al	Dépôts lacustres	Sédiment lacustre de fond	Sédiments déposés au fond d'un lac ; prédominance argileuse à sable fin ; souvent varvés ; consolidation normale ; de faible compacité, respectivement de consistance très molle à ferme
Ad		Dépôt deltaïque et dépôt du littoral	Matériau granulaire, en général granoclassé de la classe granulométrique des sables et des graviers, déposé à l'embouchure d'un cours d'eau dans un lac ; ou en bordure d'un lac
K		Craie lacustre	Précipitation hydrochimique et dépôts de restes fossilisés du plancton lacustre dans des eaux riches en carbonate de calcium
M	Dépôts glaciaires et périglaciaires	Moraines (frontale, latérale ou superficielle)	Matériau déposé par un glacier au front de la langue glaciaire, latéralement ou sur place lors de son retrait ; mal gradué ; matériau de taille, de forme, de compacité et de consistance variable
Mf		Moraine de fond	Matériau trainé et broyé sous un glacier et compacté ; en général consolidé ; mal gradué ; les matériaux grossiers apparaissent souvent dans une matrice d'argile limono-sableuse ; non stratifié ; présence d'éléments striés
Ag		Alluvion fluvioglaciaire	Matériau morainique étalé et délavé par les eaux de fonte d'un glacier ; stratification lenticulaire et éléments anguleux à subarrondis
As		Sédiment glacio-lacustre, moraine aquatique	Matériau morainique déposé dans des lacs périglaciaires ou déposé directement sous l'eau par le glacier ; en général fin à sableux avec quelques graviers fins subarrondis ; souvent varvés ; d'une compacité très lâche à moyenne, respectivement de consistance très molle à ferme
R	Dépôts anthropiques	Remblai, remblayage	Dépôt d'origine anthropique non pollué ou avec peu de matériau d'origine anthropique tel que débris de tuiles, béton, gypse, métal, etc.
De		Décharge	Dépôt d'origine anthropique contenant beaucoup de déchets tels que déchets de chantier, mâchefers, ordures ménagères, etc.
A	Sols organiques	Couche supérieure (pédologie : couche A)	Couche superficielle du sol, riche en humus, de couleur sombre, généralement densément colonisé par les racines
B		Sous-couche (pédologie : couche B)	Sous-couche ou couche de transition issue de l'altération de la roche mère, structurée (en agrégats) avec des traces ostensibles d'activité biologique (racines, galeries de vers de terre)
P		Dépôt marécageux, tourbe, paléosol	Matériau généralement fin à sableux riche en matière organique décomposée ou pas décomposée (fibreuse) ; généralement de couleur foncée
L	Divers	Loess	Dépôts non stratifiés de limons et sables fins d'origine éolienne
Tk		Tuf calcaire	Précipité de carbonate de calcium au droit de venues d'eau bicarbonatée



Nomenclature utilisée : Symbole couche – phase – compacité / consistance
 Exemple : Mfd1 → Moraine de fond limono-argileuse consolidée

ANNEXE 10 : **DESCRIPTION DES ESSAIS**

Essai de battage au pénétromètre dynamique lourd

L'appareil utilisé est un pénétromètre dynamique lourd. L'essai consiste à battre dans le sol une pointe conique de 20 cm² à l'aide d'un mouton de 640 N tombant d'une hauteur de 75 cm. Le nombre de coups nécessaires pour enfoncer la pointe de 10 ou 20 cm est comptabilisé.

Le nombre (N) permet de déterminer la résistance dynamique q_d du sol à l'aide de la formule des hollandais.

$$q_d = \frac{P_d^2 \cdot h}{S \cdot A \cdot (P_d + q_1 + q_2)} \cdot N$$

où :

P_d = poids du mouton = 640 N
 h = hauteur de chute = 75 cm
 A = surface de la pointe = 20 cm²
 S = enfoncement = 10 ou 20 cm

q_1 = poids du dispositif de battage = 143 N
 q_2 = poids des tiges = 60 N/ml

} $P = q_1 + q_2$

Pour P supérieur à P_d , il faut affecter le résultat q_d d'un coefficient réducteur égal à :

$$1 - 4 (1 - P_d / (q_1 + q_2))^3$$

La résistance dynamique q_d permet à l'aide des formules empiriques (ex : Sanglerat), de déterminer le taux de travail admissible (R_d) de semelles ou radiers reposant sur le sol.

Remarque : la formule des hollandais n'est pas utilisable telle quelle dans une nappe souterraine. Les valeurs brutes doivent alors être corrigées pour tenir compte de la présence d'eau.

La résistance dynamique q_d permet en outre de définir :

- la consistance des sols argileux ;
- la compacité des sols graveleux.

Les relations communément admises entre q_d et consistance ou compacité sont les suivantes :

Sols argileux		Sols graveleux	
Consistance	q_d en [MPa]	Compacité	q_d en [MPa]
Très molle	0 à 1	Lâche	0 à 3.5
Molle	1 à 2	Moyen, semi-compact	3.5 à 10
Tendre	2 à 3.5	Compact	10 à 20
Ferme	3.5 à 6	Très compact	> 20
Dure	6 à 10		
Très dure	> 10		

Tableau 12 : Relations entre consistance ou compacité et q_d

Rappel : 1 [MPa] = 1 [N.mm-2] = 10 [kg.cm-2]

Essai de résistance à la compression simple : pénétrömètre de poche "Soiltest"

Cet essai, effectué sur les carottes sitôt après l'extraction du carottier ou sur les morceaux de sols provenant des sondages à la pelle mécanique, consiste à mesurer l'enfoncement du petit poinçon "Soiltest" donnant la résistance à la compression simple non drainée q_{up} . Théoriquement, cette dernière valeur correspond à deux fois la résistance au cisaillement non-drainée c_{us} . Cet essai ne peut être effectué que dans les sols fins, à cause des dimensions réduites du poinçon.

La valeur donnée par le pénétrömètre permet de définir la consistance des sols argileux :

Consistance	Valeur du Poinçon en $kg.cm^{-2}$	q_{up} en KPa
Très molle	< 0.25	< 25
Molle	0.25 à 0.5	25 à 50
Tendre	0.5 à 1	50 à 100
Ferme	1 à 2	100 à 200
Dure	2 à 4	200 à 400
Très dure	> 4	> 400

Tableau 13 : Relations consistance – résistance à la compression simple

Rappel: $1 [MPa] = 1 [N.mm^{-2}] = 10 [kg.cm^{-2}]$

Les résultats de cet essai figurent dans les logs des sondages.

Essai de résistance au cisaillement non drainé C_{us} : scissomètre de poche "Soiltest"

Cet essai, effectué sur les carottes sitôt après l'extraction du carottier, consiste à mesurer le couple de torsion c_{us} nécessaire pour cisailier le sol le long de la surface extérieure de la palette. Chaque essai comporte deux mesures, une première donnant la résistance maximale, dite de « pic », lors du premier cisaillement, la seconde, effectuée après deux tours complets de la palette ; donnant la résistance dite « résiduelle ». Cet essai ne peut être effectué que dans les sols fins, à cause des dimensions réduites du poinçon.

On peut définir l'indice de sensibilité d'un sol par le rapport : $S_L = c_{us \text{ pic}} / c_{us \text{ résiduelle}}$

Les résultats du scissomètre figurent dans les profils de sondages fournis en annexe.

Consistance	Valeur du $C_{us} \times 2$ en $kg.cm^{-2}$	Critère physique
Très molle	< 0.25	Se déforme sous son propre poids
Molle	0.25 à 0.5	Peut être écrasé entre le pouce et l'index
Tendre	0.5 à 1	Le pouce s'enfonce sans forcer
Ferme	1 à 2	Le pouce s'enfonce en forçant
Dure	2 à 4	Le pouce ne laisse qu'une marque faible
Très dure	> 4	Le pouce ne laisse aucune marque

Tableau 14 : Scissomètre Soiltest

Rappel : $1 [MPa] = 1 [N.mm^{-2}] = 10 [kg.cm^{-2}]$