

## Analyse du comportement géotechnique de sol le long de la rivière Lubumbashi en vue d'y construire les ouvrages portuaires (RD Congo)

### [ Analysis of the soil geotechnical behavior along the Lubumbashi River for the construction of port facilities (DR Congo) ]

Y. KIYUKENO KITWANYOKA<sup>1</sup>, G. MUKOKO KALENDA<sup>1</sup>, G. LILE AMISI<sup>1</sup>, L. KALUBI LUKENGU KALALA<sup>2</sup>, Guy David SEBAGENZI<sup>3</sup>, G. MUKENA MWABA<sup>1</sup>, and C. MUSHID MULAJ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Université de Lubumbashi, Département de Génie Civil, Unité de Recherche: Structures et Géotechnique, 1825 Lubumbashi, RD Congo

<sup>2</sup>Institut Supérieur des Techniques Appliquées de Lubumbashi, Département de Géo-mines, Lubumbashi, RD Congo

<sup>3</sup>Université de Lubumbashi, Département de Gestion des ressources naturelles renouvelables, Unité de Recherche: Biogéochimie et écologie des sols et des écosystèmes tropicaux, 1825 Lubumbashi, RD Congo

---

Copyright © 2017 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** The choice of the structure to construct according to the type of soil (lift) requires specific analyzes related to soil geotechnical behavior.

The study is carried out on the basis of tests carried out in situ by the geotechnical laboratory of the OFFICE DES ROUTES along the Lubumbashi River. This allowed us to classify the soil and to reveal the different layers that constitute it, to reveal certain physical parameters on the one hand, and to know the permissible constraint on the other hand in order to size our structures. At the end of these studies it was retained that the soil surrounding the sheet pile curtain includes three layers at different depths, namely the laterite (a filler material), silt and dense sand.

Our study is carried out in two phases, the first phase concerns the study of the soil while the second and final is concerns the choice of the structure to construct according to the type of soil (lift), since the structure did not exist yet.

**KEYWORDS:** analysis, soil geotechnical behavior, construction, port works.

**RESUME:** Le choix de l'ouvrage à construire selon le type de sol (portance), nécessite des analyses spécifiques de comportement géotechnique de sol.

L'étude est effectuée sur la base d'essais réalisés in situ par le laboratoire géotechnique de l'OFFICE DES ROUTES le long de la rivière Lubumbashi. Ce qui nous a permis de classer le sol et d'en dégager les différentes couches le constituant, pour ressortir certains paramètres physiques d'une part, et d'en connaître la contrainte admissible d'autre part afin de dimensionner nos ouvrages.

A l'issue de ces études il a été retenu que le sol environnant le rideau de palplanche est de trois couches à différentes profondeurs, dont, la latérite qui est un matériau d'apport, le limon et du sable dense.

Notre étude se déroule en 2 parties, elle débute par l'étude du sol et enfin par le choix de l'ouvrage à construire selon le type de sol (portance), étant donné que l'ouvrage n'existait pas encore.

**MOTS-CLEFS:** analyse, comportement géotechnique de sol, construire, ouvrages portuaires.

## 1 INTRODUCTION

La RD Congo possède des rivières dans presque toutes les villes et provinces qui peuvent facilement être valorisables (en canal navigable) à l'aide d'études approfondies et d'investissements adéquats [6].

Pour la ville de Lubumbashi le transport inter commune par voie routière connaît des problèmes très sérieux de mobilité suite aux embouteillages pendant les heures de pointes, cela est dû aux difficultés liées à l'état de routes, et surtout pendant la saison pluvieuse. Eu égard à ce qui précède et comme la rivière Lubumbashi traverse beaucoup de quartiers (Golf, Lido, Gécamines, Mampala, Kinka-ville) et communes de la ville de Lubumbashi (Lubumbashi, Katuba, Kenya et Annexe), d'où la nécessité d'aménager et de placer un transport inter commune sur la rivière Lubumbashi pourrait, non seulement résoudre les difficultés susmentionnées, mais aussi palier aux inondations récurrentes que connaissent les riverains.

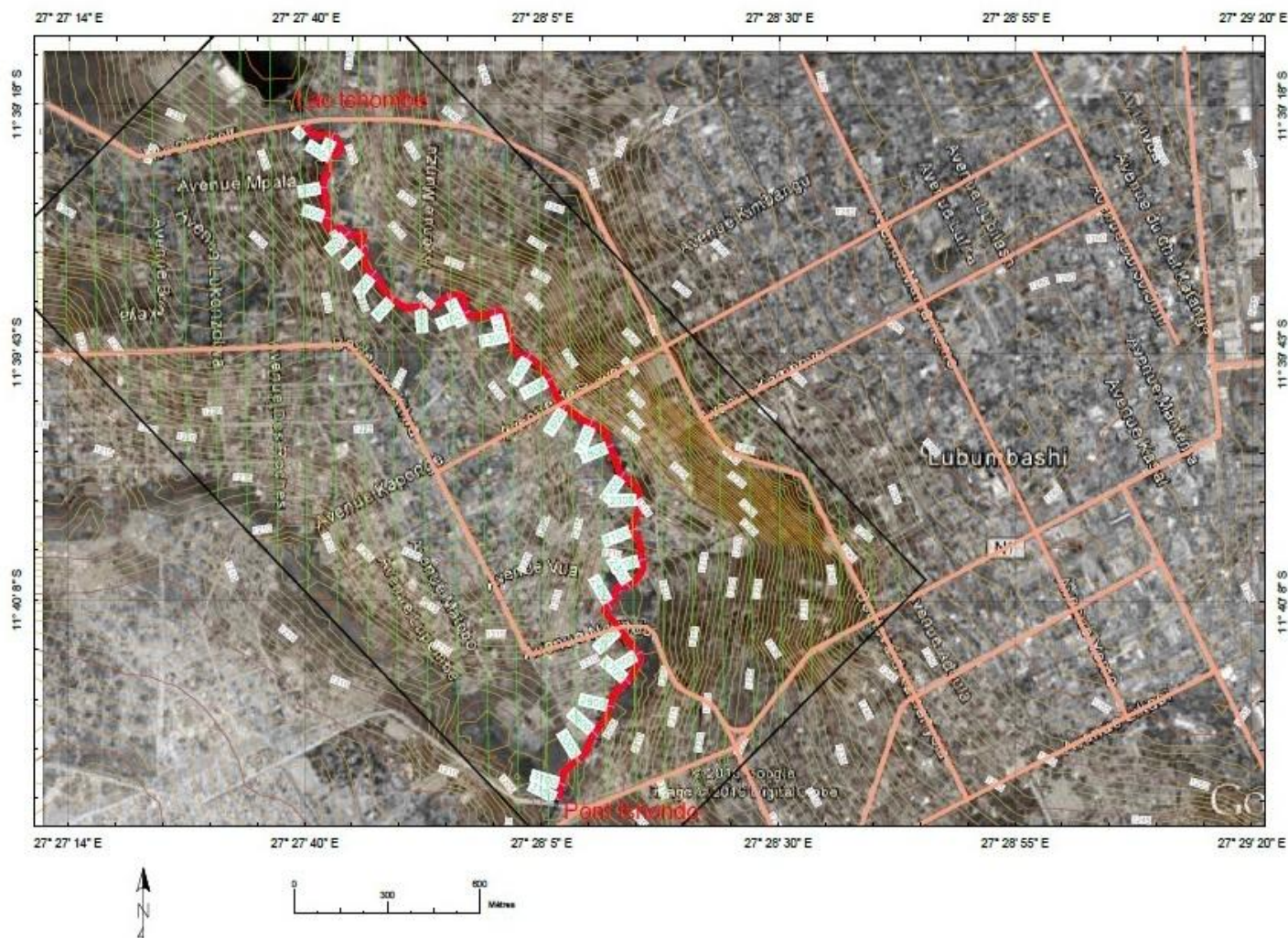
Pour notre part, nous allons étudier le comportement géotechnique du sol pour la construction des ouvrages (quais) le long du canal de la dite rivière. Et pour y arriver, nous allons mener une étude du sol le long du canal de la rivière étant donné que les ouvrages n'existent pas encore, afin de nous permettre de choisir le type d'ouvrage d'accostage et d'amarrage (quai) qui devra recevoir les petits bateaux (barques).

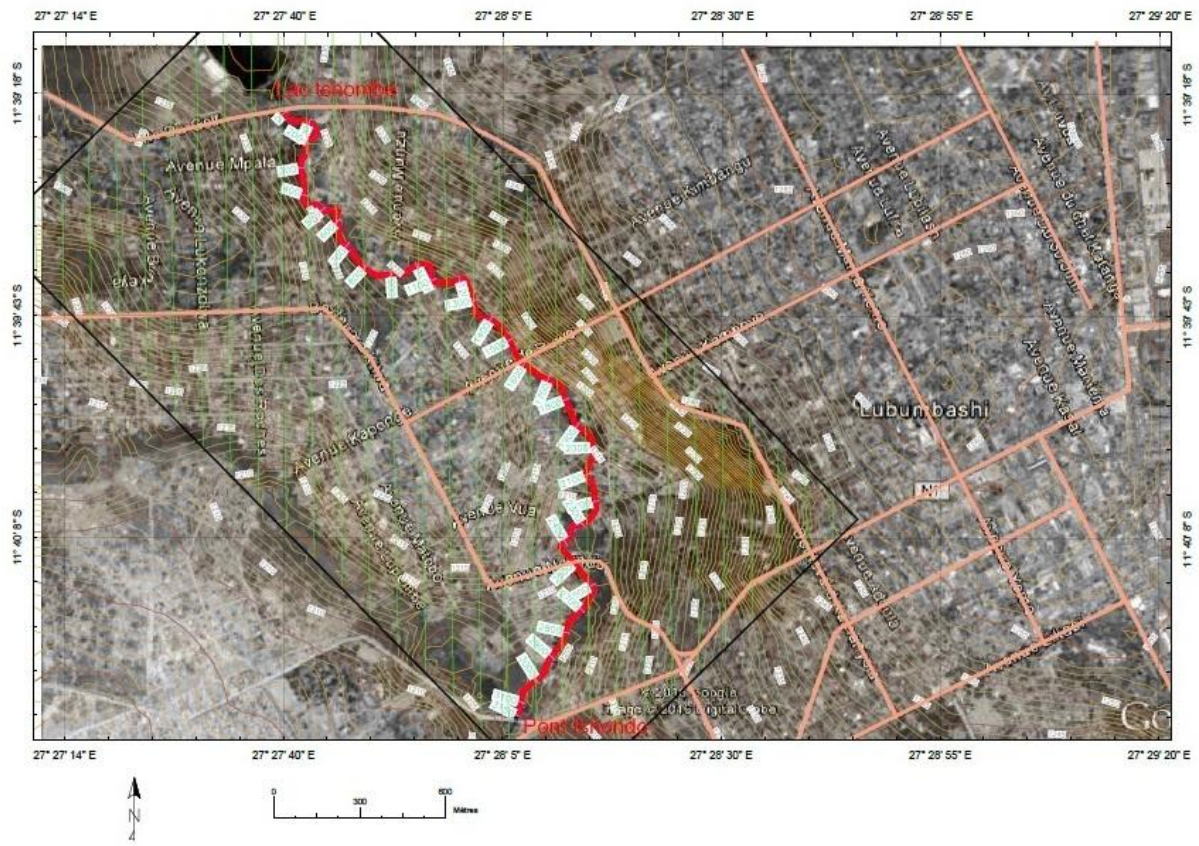
## 2 MILIEU, EQUIPEMENTS ET MATÉRIAUX UTILISÉS DANS CETTE ÉTUDE

### 2.1 DESCRIPTION DU SITE D'ÉTUDE, VILLE DE LUBUMBASHI

Chef-lieu de la province du Haut Katanga située au Sud-Est de la République Démocratique du Congo, Lubumbashi (11°41'S., 27°29'EO) a une population estimée à 5.000.000 extensions comprises [2]. Elle est la deuxième grande ville du pays après Kinshasa [1].

La ville de Lubumbashi comprend sept communes qui sont drainées par la rivière Kafubu et ses nombreux tributaires, parmi lesquels on retrouve la rivière Lubumbashi [7]. Cette rivière tire sa source tout près du village Ntumbwe. Pour le cas de notre étude nous prendrons le tronçon compris entre le pont Tshombe et le pont Tshondo, comme illustre la figure ci-bas.





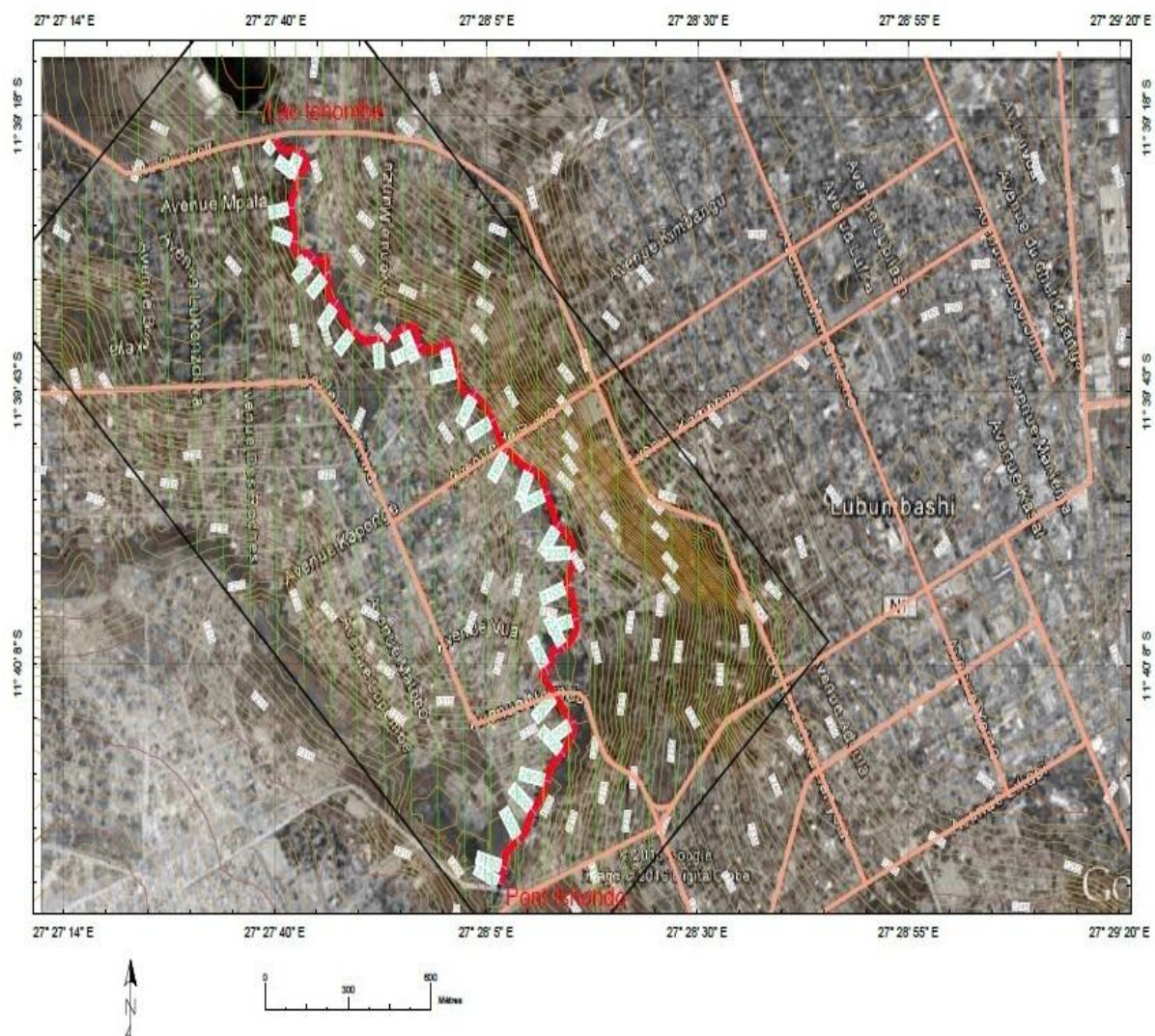


Figure 1 : Présentation du site d'étude

## 2.2 LES MATÉRIELS UTILISÉS DANS CETTE ÉTUDE: PÉNÉTRMÈTRE DYNAMIQUE

D'une manière générale, le sol de l'ex-province du Katanga fait partie du sol provenant des roches du katanguien. Les sols appartiennent aux sols ferrallitiques jaunes et rouges sur cuirasse ferrugineuse [8]. Mais cela ne suffit pas pour déterminer les ouvrages portuaires à poser sur ce sol. C'est ainsi que nous avons procédé aux identifications de ce sol par des essais de pénétration (essais in situ). Ces essais déterminent directement une résistance limite du sol.

Pour le cas de notre étude nous avons utilisé le pénétrmètre dynamique de 10 daN (Deca Newton) de l'entreprise Office des Routes (OR).

Ce sondage a consisté à enfoncer l'appareil dans le terrain jusqu'à une profondeur donnée, en général limitée par la capacité de pénétration de l'appareil lui-même. L'opérateur relève le nombre de coups nécessaires pour enfoncer l'appareil sur un pas de profondeur fixée, en général 10 cm. On a ensuite tracé le profil de résistance du sol correspondant en fonction de la profondeur atteinte par la pointe.

### 3 ANALYSE DU COMPORTEMENT GÉOTECHNIQUE DE SOL LE LONG DE LA RIVIÈRE LUBUMBASHI

Il existe deux modes de représentation d'un profil de pénétration dynamique [7] :

- ✓ soit on trace en fonction de la profondeur le nombre de coups  $N_d$  nécessaire pour obtenir un enfoncement donné, en général 10 cm ;
- ✓ soit on trace en fonction de la profondeur la résistance de pointe dynamique  $q_d$  calculée à l'aide d'une formule de battage de pieux, en général la formule des Hollandais, qui s'écrit :

$$q_d = \frac{M}{e(M + M')} \times \frac{M}{A} \quad (1)$$

Où :

- ✓ M est le poids du mouton,
- ✓ M' : le poids des parties frappées (enclume placée en tête du train de tiges et sur laquelle s'exercent les chocs, train de tiges et pointe),
- ✓ H : la hauteur de chute du mouton,
- ✓ e: l'enfoncement moyen par coup, A la section droite de la pointe et
- ✓ g : l'accélération due à la pesanteur.

Les résultats présentés ci-dessous sont issus des essais que nous avons effectués avec l'entreprise OFFICE DES ROUTES le long de la rivière Lubumbashi. Il a été réalisé des essais au pénétromètre de 10 daN (déca newton).

#### La détermination de la contrainte admissible

Elle est déduite par la formule de :

$$\sigma_a = \frac{R_d}{20} \quad (2)$$

Avec :

$R_d$  : résistance dynamique de pointe

20 : le coefficient de sécurité

Site 1 : CHANTIER/ LAC TSHOMBE

Tableau 1 : Données pénétrométriques des essais PD1 et PD2

Pénétrömètre Dynamiques N°1		CARACTERISTIQUE DE L'APPAREIL				
Type 10 Dan. Date 13/09/2012		✓	Hauteur de chute : 50 cm			
Section de la pointe en cm <sup>2</sup> : 10		✓	Poids du mouton : 10 kg			
Niveau de l'eau : 3,00 et 2,60 m Boue		✓	Poids mort au debut de l'essai : 7,700 kg			
		✓	Poids par tige supplémentaire de 1 m : 2,950 kg			
Profondeur	Nombre des coups	PD1 (+0,00 m)		Nombre des coups	PD2 (+0,70 m)	
		Rd1 (Mpa)	σ <sub>a</sub> 1 (Mpa)		Rd2 (Mpa)	σ <sub>a</sub> 2 (Mpa)
0,20	20	2,8	0,14	14	2	0,10
0,40	6	0,9	0,05	9	1,3	0,07
0,60	4	0,6	0,03	39	5,5	0,28
0,80	4	0,6	0,03	27	3,8	0,19
1,00	6	0,9	0,05	17	2,4	0,12
1,20	3	0,4	0,02	10	1,3	0,07
1,40	4	0,5	0,03	4	0,5	0,03
1,60	7	0,9	0,05	9	1,1	0,06
1,80	6	0,8	0,04	4	0,5	0,03
2,00	7	0,9	0,05	5	0,6	0,03
2,20	6	0,7	0,04	5	0,6	0,03
2,40	10	1,1	0,06	5	0,6	0,03
2,60	8	0,9	0,05	4	0,5	0,03
2,80	11	1,3	0,07	5	0,6	0,03
3,00	8	0,9	0,05	6	0,7	0,04
3,20	9	0,9	0,05	7	0,7	0,04
3,40	6	0,6	0,03	10	1	0,05
3,60	10	1	0,05	15	1,6	0,08
3,80	10	1	0,05	16	1,7	0,09
4,00	5	0,5	0,03	21	2,2	0,11
4,20	7	0,7	0,04	20	1,9	0,10
4,40	6	0,6	0,03	21	2	0,10
4,60	9	0,9	0,05	25	2,4	0,12
4,80	25	2,4	0,12	19	1,8	0,09
5,00	175	16,6	0,83	14	1,3	0,07
5,20	200	17,6	0,88	7	0,6	0,03
5,40				20	1,8	0,09
5,60				150	13,2	0,66
5,80				200	17,6	0,88

Tableau 2 : Données pénétrométriques des essais PD3 et PD4

Pénétrömètre Dynamiques N°1		CARACTERISTIQUE DE L'APPAREIL				
Type 10 Dan. Date 13/09/2012		✓	Hauteur de chute : 50 cm			
Section de la pointe en cm <sup>2</sup> : 10		✓	Poids du mouton : 10 kg			
Niveau de l'eau : 2,00 et 5,50 m Boue		✓	Poids mort au debut de l'essai : 7,700 kg			
		✓	Poids par tige supplémentaire de 1 m : 2,950 kg			
Profondeur	Nombre des coups	PD3 (+0,00 m)		Nombre des coups	PD4 (+0,70 m)	
		Rd1 (Mpa)	σ <sub>a</sub> 1 (Mpa)		Rd2 (Mpa)	σ <sub>a</sub> 2 (Mpa)
0,20	30	4,3	0,22	67	9,5	0,48
0,40	6	0,9	0,05	25	3,6	0,18
0,60	6	0,9	0,05	14	2	0,10
0,80	5	0,7	0,04	13	1,8	0,09
1,00	6	0,9	0,05	7	1	0,05
1,20	4	0,5	0,03	3	0,4	0,02
1,40	4	0,5	0,03	2	0,3	0,02
1,60	10	1,3	0,07	4	0,5	0,03
1,80	9	1,1	0,06	5	0,6	0,03
2,00	34	4,3	0,22	8	1	0,05
2,20	38	4,3	0,22	10	1,1	0,06
2,40	70	8	0,40	9	1	0,05
2,60	33	3,8	0,19	13	1,5	0,08
2,80	25	2,9	0,15	9	1	0,05
3,00	15	1,7	0,09	15	1,7	0,09
3,20	16	1,7	0,09	16	1,7	0,09
3,40	20	2,1	0,11	10	1	0,05
3,60	16	1,7	0,09	11	1,1	0,06
3,80	16	1,7	0,09	11	1,1	0,06
4,00	19	2	0,10	15	1,6	0,08
4,20	14	1,3	0,07	15	1,4	0,07
4,40	18	1,7	0,09	16	1,5	0,08
4,60	13	1,2	0,06	25	2,4	0,12
4,80	20	1,9	0,10	27	2,6	0,13
5,00	19	1,8	0,09	30	2,9	0,15
5,20	19	1,7	0,09	56	4,9	0,25
5,40	30	2,6	0,13	150	13,2	0,66
5,60	90	7,9	0,40	200	17,6	0,88
5,80	200	17,6	0,88			



Tableau 3 : Synthèse des contraintes admissibles des essais PD1, PD2, PD3 et PD4

Profondeur	PD1	PD2	PD3	PD4
	$\sigma_a$ (Mpa)	$\sigma_a$ (Mpa)	$\sigma_a$ (Mpa)	$\sigma_a$ (Mpa)
0	0	0	0	0
0,20	0,14	0,1	0,21	0,48
0,40	0,04	0,06	0,04	0,18
0,60	0,03	0,28	0,04	0,1
0,80	0,03	0,19	0,04	0,09
1,00	0,04	0,12	0,04	0,05
1,20	0,02	0,06	0,03	0,02
1,40	0,03	0,03	0,03	0,01
1,60	0,04	0,06	0,06	0,03
1,80	0,04	0,03	0,06	0,03
2,00	0,04	0,03	0,21	0,05
2,20	0,03	0,03	0,22	0,06
2,40	0,06	0,03	0,4	0,05
2,60	0,05	0,02	0,19	0,07
2,80	0,06	0,03	0,14	0,05
3,00	0,05	0,03	0,09	0,09
3,20	0,05	0,04	0,08	0,08
3,40	0,03	0,05	0,1	0,05
3,60	0,05	0,08	0,08	0,06
3,80	0,05	0,08	0,08	0,06
4,00	0,03	0,11	0,1	0,08
4,20	0,03	0,1	0,07	0,07
4,40	0,03	0,1	0,09	0,08
4,60	0,04	0,12	0,06	0,12
4,80	0,12	0,09	0,1	0,13
5,00	0,83	0,07	0,09	0,14
5,20	0,088	0,03	0,08	0,25
5,40		0,09	0,13	0,66
5,60		0,66	0,4	0,88
5,80		0,088	0,88	

Tableau 4 : Contraintes admissibles des minima

Profondeur	$\sigma_a$ (Mpa)
0	0,1
0,20	0,04
0,40	0,03
0,60	0,03
0,80	0,04
1,00	0,2
1,20	0,01
1,40	0,03
1,60	0,03
1,80	0,03
2,00	0,03
2,20	0,03
2,40	0,03
2,60	0,02
2,80	0,03
3,00	0,03
3,20	0,04
3,40	0,05
3,60	0,05
3,80	0,03
4,00	0,03
4,20	0,03
4,40	0,03
4,60	0,04
4,80	0,09
5,00	0,07
5,20	0,03
5,40	0,09
5,60	0,4
5,80	0,88

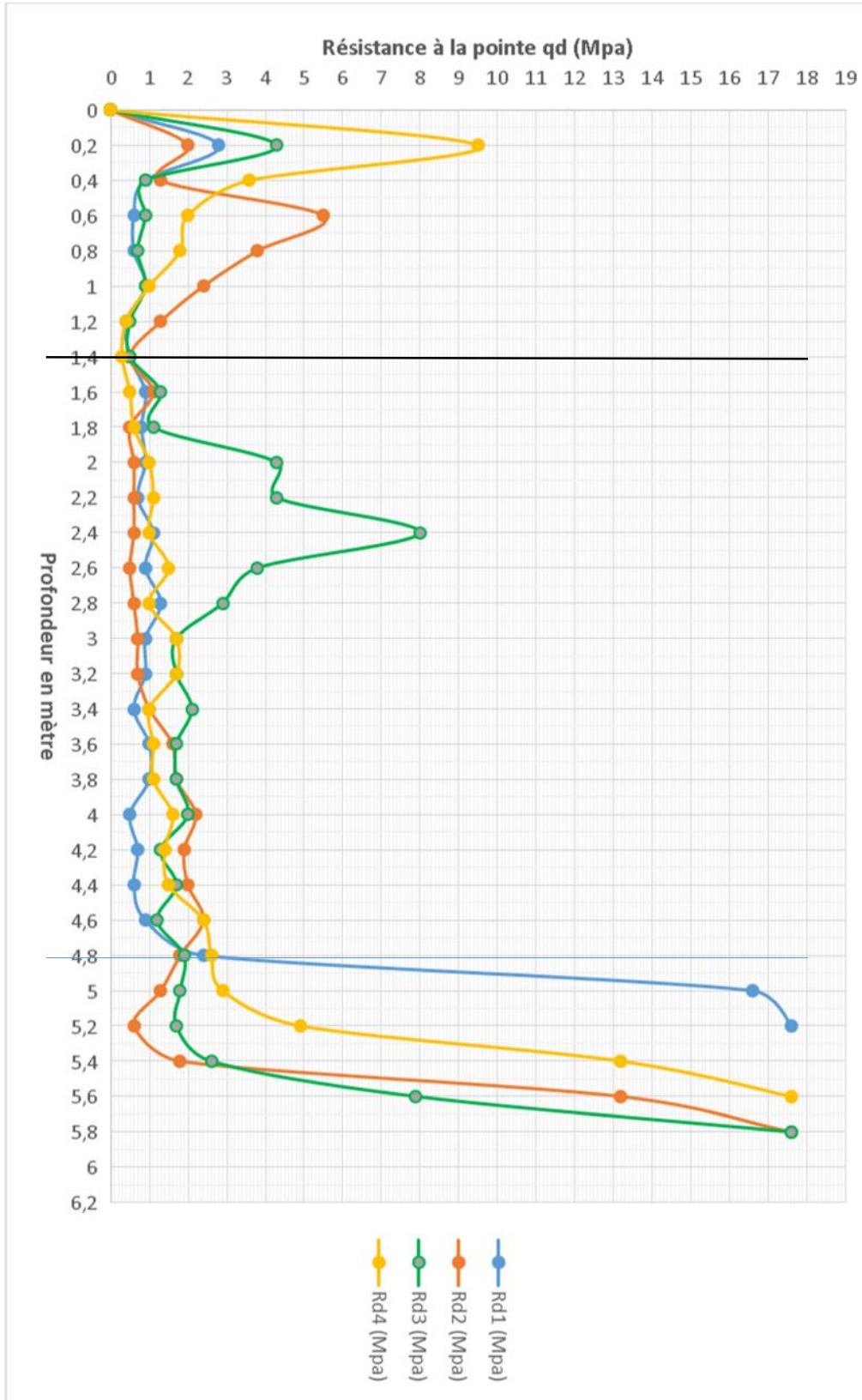


Figure 2 : Diagramme pénétrométrique des essais du site 1

## INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

La figure 2 montre d'une manière condensée le comportement ou les variations des différentes résistances de la pointe de chaque essai pénétrométrique effectué sur notre site.

De tous ces essais, nous avons pu définir des plages de résistance dynamique ( $R_d$  ou  $q_d$ ) unitaire de pointe correspondant aux différents types de sols que nous résumons dans le tableau 5 ci-dessous :

**Tableau 5 : Résistance dynamique unitaire de pointe mesurée dans différentes natures de sols [10]**

Nature du sol	$R_d$ ou $q_d$ (Mpa)
✓ Vase	0,1 - 1
✓ Limon	0,6 - 1,5
✓ Argile molle	0,1 - 1,5
✓ Argile consistante	1,5 - 3
✓ Argile raide	3 - 5
✓ Argile raide caillouteuse	3 - 7
✓ Sable lâche	0,2 - 4
✓ Sable dense	5 - 30
✓ Sable argileux	4 - 7
✓ Sable et graviers lâches	0,5 - 4
✓ Sable et graviers denses	7 - 35
✓ Craie molle	0,7 - 4
✓ Craie indurée	10 - 50
✓ Marne	6 - 15
✓ Marne raide ou indurée	20 - 100

A l'égard des diagrammes pénétrométriques, on peut noter que dans les sols homogènes  $q_d$  augmente très légèrement avec la profondeur.

Cependant, nous constatons sur notre diagramme d'ensemble des différentes pénétrations sur notre site, qu'à partir d'une certaine profondeur (à 1,4m) les diagrammes deviennent plus ou moins homogènes ; sauf une partie du diagramme  $R_{d3}$  qui présente une zone d'anomalie montrant une grande résistance dynamique par rapport à la zone restante. Cette anomalie peut être soit un fragment de roche, ou pierrailles.

L'homogénéité s'entend jusqu'à une profondeur de 4,8 m, puis commence une autre suite d'homogénéité jusqu'à une profondeur de 5,8 m.

De la profondeur 0 à 1,4 m subsiste une zone présentant plusieurs anomalies, ce qui sera difficile de pourvoir classé ce type de sol, mais du moins en géotechnique, les sols de surface sont souvent à décaper, ce derniers étant végétaux (inutiles pour le géotechnicien mais utile pour l'agronome).

En effet, nous sommes en présence de 3 couches dont les profondeurs sont :

- ✓ 1<sup>e</sup> couche : de 0 à 1,4 m
- ✓ 2<sup>e</sup> couche : de 1,4 à 4,8 m
- ✓ 3<sup>e</sup> couche : de 4,8 à 5,8 m

Classification des couches

### ✓ Première couche :

Le sol est à enlever et devra être remplacé par un sol d'apport, en l'occurrence la latérite de Kipushi qui est du type argileux, dont les caractéristiques géotechniques intrinsèques sont données dans le tableau ci-dessous :

Tableau 6 : Caractéristique intrinsèques des latérites de Kipushi [5].

Paires de cercles	$\varphi$ [°]	$\sigma_1$	$\tau_1$	$C$ [k ]
100 à 200 [k ]	31,17	162,2	111,5	11,3
100 à 300 [k ]	25,5	174,6	118,3	35
200 à 300 [k ]	16,17	372,3	231,6	119,8
Moyenne	26,6			55,4

✓ **Deuxième couche :**

Se référant au tableau 5, nous voyons que les diagrammes varient entre 0,6 et 1,5. Donc, nous sommes en présence d'une couche de Limon.

Pour le géotechnicien, le limon désigne une fraction granulométrique intermédiaire entre argile et sable, c'est-à-dire la fraction granulométrique **2 µm-20 µm** et, par extension, une famille de sol où cette fraction prédomine [9].

Pour le géologue, la classification des limons se fait suivant un critère génétique.

Il distingue :

- ✓ les limons éluviaux, résultant d'une altération sur place du substratum ;
- ✓ les limons colluviaux, formés par entraînement d'éléments par l'eau courante ou par gravité ; (ce qui est notre cas, puisque nous nous retrouvons au bord d'une rivière)
- ✓ les limons alluviaux, les plus répandus, formés par accumulation d'éléments transportés par un fluide (air ou eau) en mouvement. Ils sont essentiellement représentés par les limons éoliens, comme les "lœss" [4].

Le tableau ci-bas, donne la cohésion et l'angle de frottement interne du limon.

Tableau 7 : Caractéristiques intrinsèques des limons selon la société de conseils en construction-Solem

Sol	$C$ (kPa)	$\varphi$ (degrés)
Limon	5	26

✓ **Troisième couche :**

Dans la troisième couche selon le diagramme d'ensemble des différentes pénétrations sur notre site, on voit que l'on est dans un matériau à grande résistance à la pointe, comme une roche saine, un sable compact ; du fait que la résistance à la pointe a augmenté sensiblement pour une petite profondeur. Et c'est dans cette même couche que le refus est atteint (le refus dépend aussi du type de pénétromètre utilisé c'est-à-dire du poids de la tête de mouton).

Nous pouvons alors dire que l'on est dans un sable dense conformément au tableau 5

**CHOIX DE L'OUVRAGE**

Eu égard aux différents résultats fournis par ces essais de pénétration et se référant au tableau 4, nous pouvons dire que nous sommes dans une zone dont les portances ne sont pas suffisantes.

De ce fait, notre choix sera donc porté sur les ouvrages d'accostage sur sol de faible portance. Nous optons pour les quais en rideaux de palplanches parce que, les quais constitués par de rideau de palplanches métalliques ancré sur un rideau arrière, sont utilisés lorsque le terrain naturel offre une portance insuffisante pour supporter un ouvrage massif, mais possède des caractéristiques géotechniques permettant d'offrir une butée au pied du rideau (côté bassin) capable d'équilibrer la poussée du remblai. C'est le cas de sols sableux, de marnes ou d'argiles suffisamment compactes. Ce qui est le cas de notre site.

Site 2 : CHANTIER/ PONT KARAVIA

Tableau 8 : Synthèse des contraintes admissibles

Profondeur	PD1	PD2	PD3	PD4
	$\sigma_a$ (Mpa)	$\sigma_a$ (Mpa)	$\sigma_a$ (Mpa)	$\sigma_a$ (Mpa)
0	0,04	0,03	0,04	<b>0,03</b>
0,20	0,08	0,01	0,03	<b>0,03</b>
0,40	0,11	0,02	0,03	<b>0,01</b>
0,60	0,11	0,01	0,02	<b>0,01</b>
0,80	0,13	0,01	0,02	<b>0,04</b>
1,00	0,21	0,45	0,08	<b>0,03</b>
1,20	0,10	0,04	0,02	<b>0,02</b>
1,40	0,10	0,04	0,01	<b>0,02</b>
1,60	0,11	0,04	0,03	<b>0,04</b>
1,80	0,13	0,03	0,03	<b>0,04</b>
2,00	0,10	0,06	0,03	<b>0,04</b>
2,20	0,03	0,05	0,03	<b>0,09</b>
2,40	0,03	0,14	0,04	<b>0,13</b>
2,60	0,03	0,28	0,04	<b>0,15</b>
2,80	0,03	0,12	0,03	<b>0,17</b>
3,00	0,06	0,94	0,06	
3,20	0,04		0,06	
3,40	0,05		0,10	
3,60	0,06		0,08	
3,80	0,21		0,85	
4,00	0,15			
4,20	0,13			
4,40	0,26			
4,60	0,16			
4,80	0,77			
5,00				
5,20				
5,40				
5,60				
5,80				

Tableau 9 : Contraintes admissibles des minima

Profondeur	$\sigma_a$ (Mpa)
0	0,03
0,20	0,01
0,40	0,01
0,60	0,01
0,80	0,01
1,00	0,01
1,20	0,03
1,40	0,02
1,60	0,01
1,80	0,03
2,00	0,03
2,20	0,03
2,40	0,03
2,60	0,03
2,80	0,03
3,00	0,03
3,20	0,07
3,40	0,06
3,60	0,04
3,80	0,05
4,00	0,06
4,20	0,21
4,40	0,15
4,60	0,13
4,80	0,26
5,00	0,16
5,20	0,77
5,40	
5,60	
5,80	

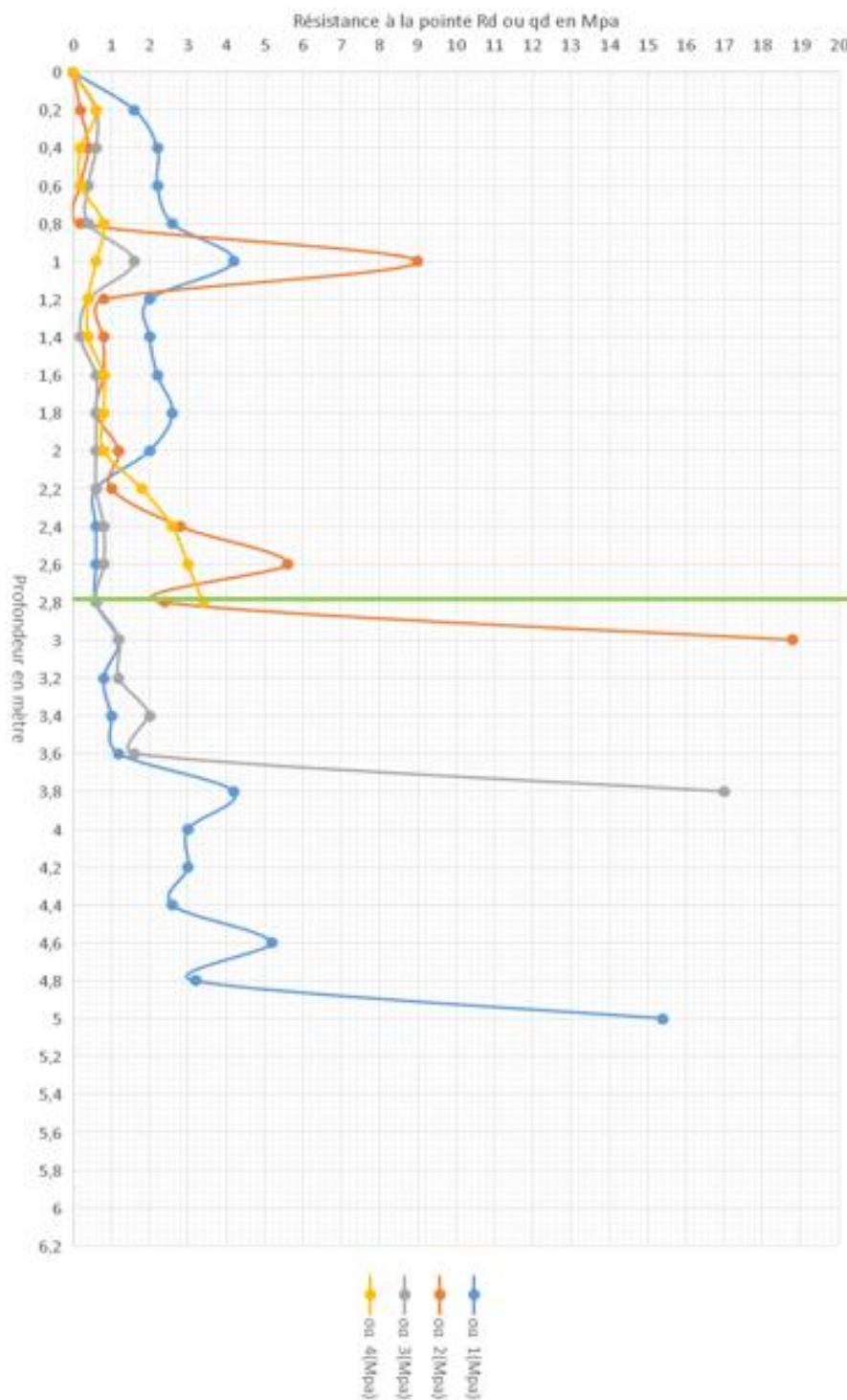


Figure 3 : Diagramme pénétrométrique des essais du site 2

#### INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Se référant à ce qui a été dit précédemment, nous avons 3 couches qui seront classifiées comme les couches précédentes, mais à des profondeurs différentes y compris celle de la terre arable qui n'est nullement utiles pour le géotechnicien.

Ainsi, l'interprétation de ce diagramme est conforme au diagramme précédent.



- ✓ 1<sup>e</sup> couche : terre arable de 0 à 20 cm
- ✓ 2<sup>e</sup> couche : limon de 0,2 à 2,8 m
- ✓ 3<sup>e</sup> couche : du sable dense de 2,8 à 5 m

#### CHOIX DE L'OUVRAGE

Il revient de signaler ici que l'ouvrage à poser sur ce sol est celui choisi pour le sol précédent, car, ce sol présente les mêmes caractéristiques que le sol précédent.

**Site 3** : CHANTIER/ DOMAINE MARIAL

*Tableau 10 : Synthèse des contraintes admissibles*

Profondeur	PD1	PD2	PD3	PD4
	$\sigma_a$ (Mpa)	$\sigma_a$ (Mpa)	$\sigma_a$ (Mpa)	$\sigma_a$ (Mpa)
0,20	1,78	0,36	0,34	<b>0,37</b>
0,40	0,22	0,64	0,41	<b>0,82</b>
0,60	0,23	1,56	0,92	<b>0,28</b>
0,80	0,12	0,53	0,69	<b>0,40</b>
1,00	0,11	0,21	0,55	<b>0,32</b>
1,20	0,18	0,42	0,38	<b>0,16</b>
1,40	0,13	0,47	0,50	<b>0,23</b>
1,60	0,14	0,16	0,32	<b>0,30</b>
1,80	0,29	0,06	0,18	<b>0,28</b>
2,00	0,21	0,04	0,33	<b>0,28</b>
2,20	0,07	0,09	0,19	<b>0,23</b>
2,40	0,22	0,04	0,05	<b>0,29</b>
2,60	0,10	0,57	0,06	<b>0,31</b>
2,80	0,28	0,40	0,03	<b>0,26</b>
3,00	0,91	0,29	0,06	<b>0,43</b>
3,20	1,30	0,10	0,03	<b>0,41</b>
3,40		0,29	0,04	<b>0,41</b>
3,60		1,30	0,03	<b>0,42</b>
3,80			0,5	<b>0,42</b>
4,00			0,5	<b>0,62</b>
4,20			0,03	<b>1,19</b>
4,40			0,36	
4,60			1,19	
4,80				
5,00				
5,20				
5,40				
5,60				
5,80				

Tableau 11 : Contraintes admissibles des minima

Profondeur	$\sigma_a$ (Mpa)
0,20	0,34
0,40	0,22
0,60	0,23
0,80	0,12
1,00	0,11
1,20	0,16
1,40	0,13
1,60	0,14
1,80	0,06
2,00	0,04
2,20	0,07
2,40	0,04
2,60	0,06
2,80	0,03
3,00	0,06
3,20	0,03
3,40	0,04
3,60	0,03
3,80	0,05
4,00	0,05
4,20	0,03
4,40	0,36
4,60	0,19
4,80	
5,00	
5,20	
5,40	
5,60	
5,80	

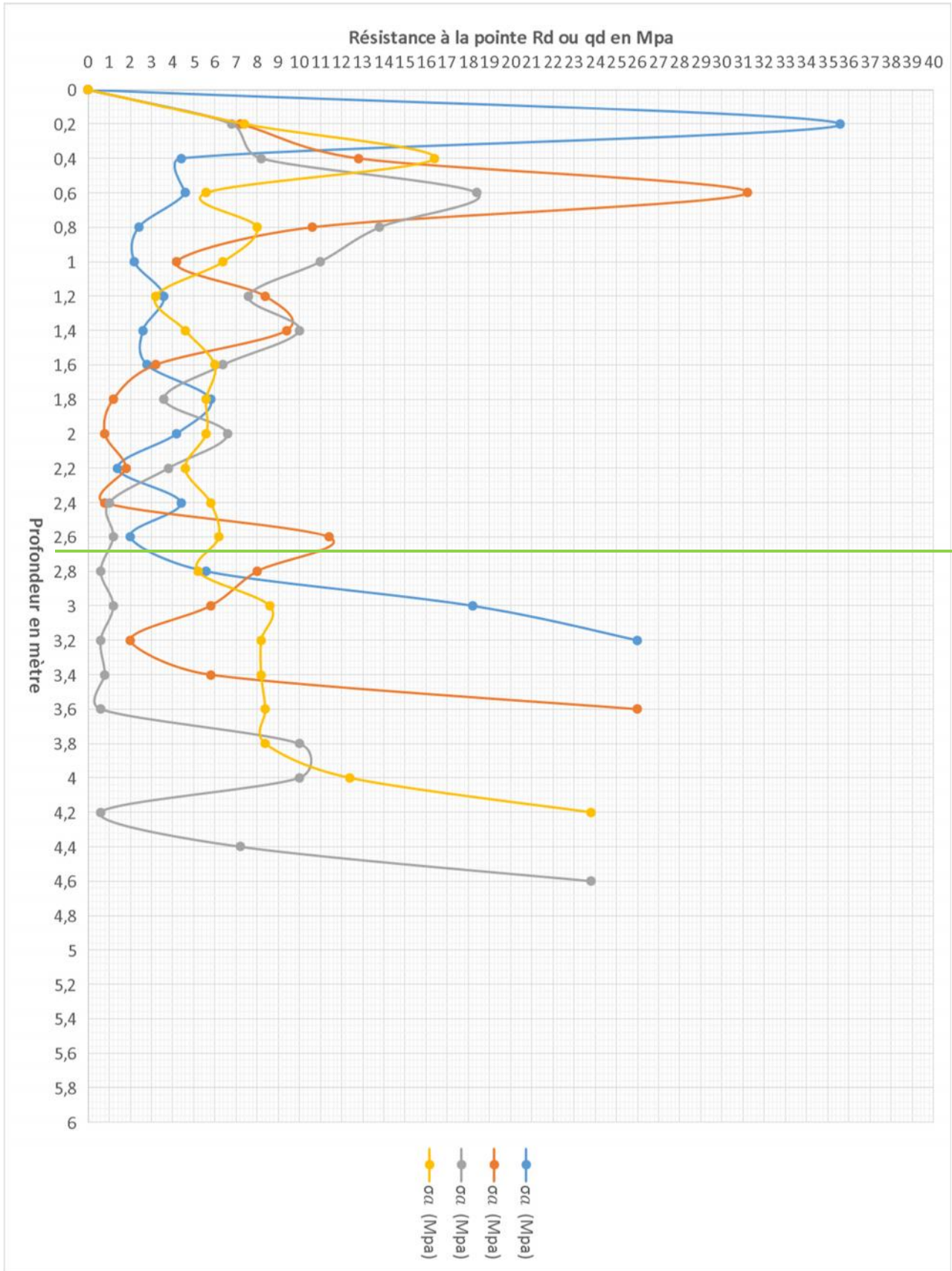


Figure 4 : Diagramme pénétrométrique des essais du site 3

## INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Pour ce profil pénétrométrique condensé des essais, on se trouve en présence de deux couches :

- ✓ 1<sup>e</sup> couche : couche à décapier parce qu'elle présente plusieurs fluctuations avec une allure décroissante, ce qui nous laisserait croire que l'on se trouve dans un sol boueux. Ceci sera remplacé par un matériau d'apport dont on connaît bien les propriétés géotechniques, de la latérite par exemple.
- ✓ 2<sup>e</sup> couche : sable dense

## CHOIX DE L'OUVRAGE

A l'égard de la portance de ce sol, nous pouvons également opté pour les quais en rideaux de palplanches, mais un mur de soutènement peut aussi être envisageable.

Site 4 : CHANTIER/ PONT LIDO

Tableau 12 : Synthèse des contraintes admissibles

Profondeur	PD1	PD2	PD3	PD4
	$\sigma_a$ (Mpa)	$\sigma_a$ (Mpa)	$\sigma_a$ (Mpa)	$\sigma_a$ (Mpa)
0,20	1,08	0,06	0,04	<b>0,07</b>
0,40	0,29	0,31	0,41	<b>0,12</b>
0,60	0,33	1,06	0,62	<b>0,28</b>
0,80	0,11	0,50	0,63	<b>0,30</b>
1,00	0,11	0,26	0,55	<b>0,36</b>
1,20	0,16	0,49	0,38	<b>0,18</b>
1,40	0,15	0,47	0,50	<b>0,23</b>
1,60	0,14	0,14	0,32	<b>0,36</b>
1,80	0,29	0,06	0,28	<b>0,28</b>
2,00	0,21	0,06	0,39	<b>0,21</b>
2,20	0,09	0,09	0,18	<b>0,29</b>
2,40	0,22	0,04	0,05	<b>0,29</b>
2,60	0,10	0,57	0,06	<b>0,31</b>
2,80	1,28	0,40	0,06	<b>0,36</b>
3,00	0,91	0,29	0,06	<b>0,43</b>
3,20	1,30	0,10	0,03	<b>0,43</b>
3,40		0,29	0,04	<b>0,43</b>
3,60				
3,80				
4,00				
4,20				
4,40				
4,60				
4,80				
5,00				
5,20				
5,40				
5,60				
5,80				

Tableau 13 : Contraintes admissibles des minima

Profondeur	$\sigma_a$ (Mpa)
0,20	0,8
0,40	0,8
0,60	0,8
0,80	0,8
1,00	0,8
1,20	0,8
1,40	0,8
1,60	0,8
1,80	0,8
2,00	0,8
2,20	1,2
2,40	0,8
2,60	1,2
2,80	1,6
3,00	1,6
3,20	1,2
3,40	20
3,60	
3,80	
4,00	
4,20	
4,40	
4,60	
4,80	
5,00	
5,20	
5,40	
5,60	
5,80	

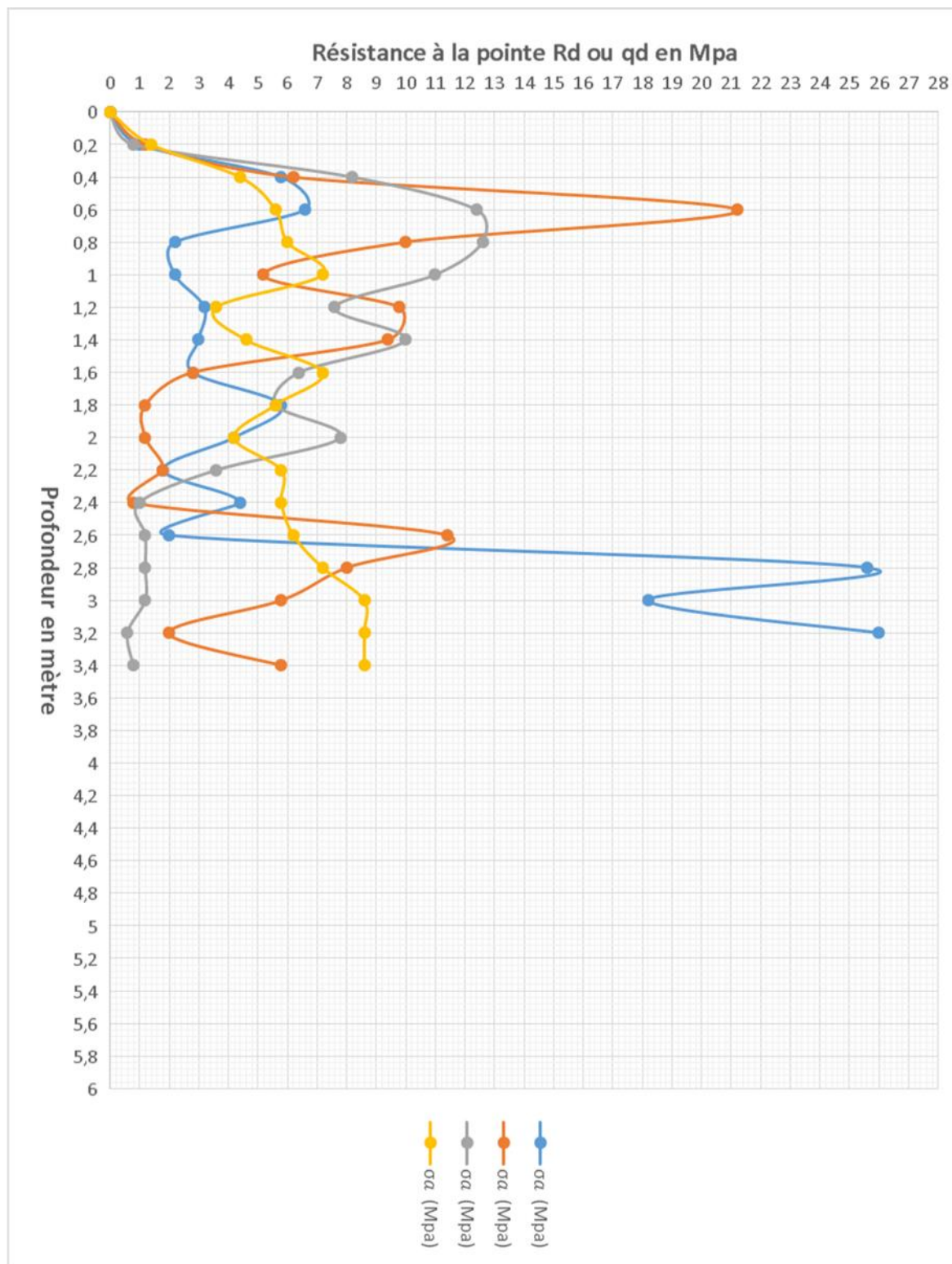


Figure 5 : Diagramme pénétrométrique des essais du site 4

#### INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Pour ce profil pénétrométrique condensé des essais, les diaggraphies de ce sol en place présentent tellement d'anomalies qu'il nous sera difficile de bien décider sur l'interprétation de ces résultats. Mais du moins les diaggraphies nous présentent

toutes une allure décroissante, ceci nous permet de dire qu'on est dans un sol boueux ou dans le sol où les propriétés géologiques ont été affectées (sol remanié) [3]. Nous constatons aussi que les essais ont été arrêtés en cours, c'est-à-dire à partir de la profondeur 3,4 m ; nous n'avons plus la présence d'un quelconque type de sol. Ce qui nous amène à conclure qu'on est en présence de l'eau.

A ce niveau, nous envisageons deux solutions :

- ✓ Soit, approfondir les études sur ce site, c'est-à-dire aller en profondeur (augmentation du nombre des tiges) pour avoir une suite géologique à cet endroit afin de pouvoir prendre une bonne décision ;
- ✓ Soit, aller un peu plus loin de la rive pour avoir plus ou moins un sol ferme ; dans ce cas on devra ramener l'ouvrage d'accostage jusqu'à cet endroit.

**Site 5 : CHANTIER/ PONT TSHONDO**

*Tableau 14 : Synthèse des contraintes admissibles*

Profondeur	PD1	PD2	PD3	PD4
	$\sigma_a$ (Mpa)	$\sigma_a$ (Mpa)	$\sigma_a$ (Mpa)	$\sigma_a$ (Mpa)
0,20	1,00	0,03	0,04	<b>0,04</b>
0,40	0,39	0,39	0,40	<b>0,16</b>
0,60	0,31	1,03	0,42	<b>0,18</b>
0,80	0,12	0,56	0,66	<b>0,30</b>
1,00	0,11	0,23	0,50	<b>0,39</b>
1,20	0,15	0,46	0,38	<b>0,16</b>
1,40	0,15	0,47	0,50	<b>0,23</b>
1,60	0,14	0,14	0,32	<b>0,36</b>
1,80	0,29	0,06	0,28	<b>0,28</b>
2,00	0,21		0,39	<b>0,21</b>
2,20			0,18	<b>0,29</b>
2,40				
2,60				
2,80				
3,00				
3,20				
3,40				
3,60				
3,80				
4,00				
4,20				
4,40				
4,60				
4,80				
5,00				
5,20				
5,40				
5,60				
5,80				

Tableau 15 : Contraintes admissibles des minima

Profondeur	$\sigma_a$ (Mpa)
0,20	1,6
0,40	1,2
0,60	0,8
0,80	0,8
1,00	0,8
1,20	0,8
1,40	1,6
1,60	1,6
1,80	1,6
2,00	4
2,20	20
2,40	
2,60	
2,80	
3,00	
3,20	
3,40	
3,60	
3,80	
4,00	
4,20	
4,40	
4,60	
4,80	
5,00	
5,20	
5,40	
5,60	
5,80	



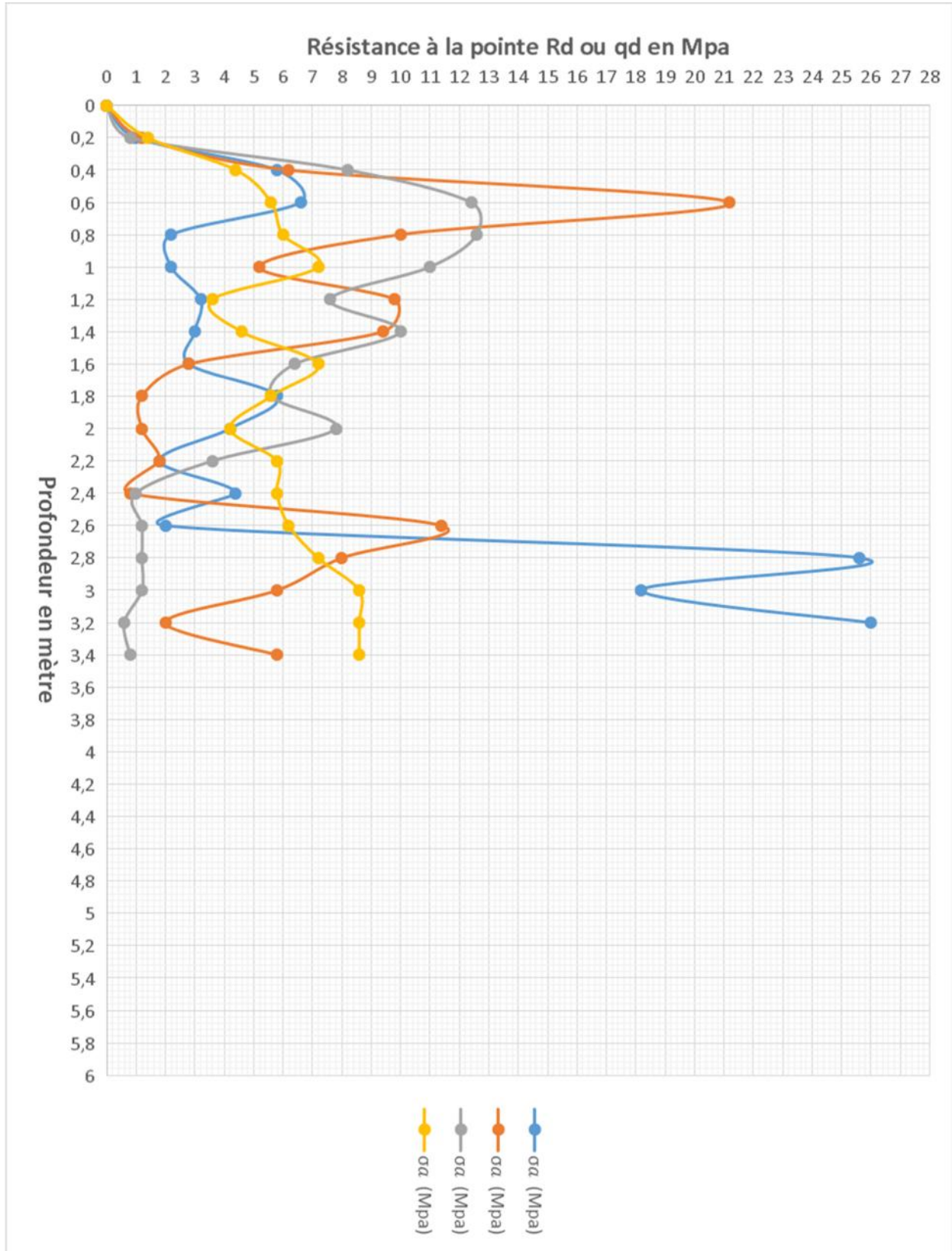


Figure 6 : Diagramme pénétrométrique des essais du site 5

## INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Pour ce profil, nous nous retrouvons dans le même cas que le diagramme précédent, toutes les décisions prises pour ce dernier seront applicables aussi à ce sol.

## 4 CONCLUSION

L'objectif de cette étude consistait à analyser le comportement géotechnique de sol le long de la rivière Lubumbashi en vue d'y la construction des ouvrages portuaires.

Cela nous a permis d'interpréter les essais effectués in situ (DPT) afin d'en ressortir le profil des couches constituant le sol en place.

Eu égard aux différents résultats fournis par ces essais de pénétration, nous pouvons dire que nous sommes dans une zone dont les portances ne sont pas suffisantes.

De ce fait, notre choix sera donc porté sur les ouvrages d'accostage sur sol de faible portance. Nous avons opté pour les quais en rideaux de palplanches parce que, les quais constitués par de rideau de palplanches métalliques ancré sur un rideau arrière, sont utilisés lorsque le terrain naturel offre une portance insuffisante pour supporter un ouvrage massif, mais possède des caractéristiques géotechniques permettant d'offrir une butée au pied du rideau (côté bassin) capable d'équilibrer la poussée du remblai. C'est le cas de sols sableux, de marnes ou d'argiles suffisamment compactes. Ce qui pour notre site.

## REFERENCES

- [1] Assani, A. A. (1998). L'état de l'environnement en République Démocratique du Congo à l'aube du troisième millénaire: Thème 2. La pollution des eaux, des sols et de l'air en République Démocratique du Congo. Res. 56, 15-20.
- [2] Bruneau J.C. (1983). Cartographie de l'environnement et aménagement urbain à Lubumbashi, dans Revue internationale d'écologie et de géographie tropicales 1(4): 19-47.
- [3] HERMIME M. (2012), Etude de l'interaction du sol de fondation avec les ouvrages portuaires utilisant les pieux, Thèse de doctorat défendue à l'université MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU.
- [4] LEPLAT J., (1965) : Limon et Loess. Laboratoire routiers de pont et chaussées, Ref 392.
- [5] Mukoko G. (2014). Comportement des sols latéritiques compactés dans les remblais et digues de retenue des rejets miniers du Katanga (R.D.C), Thèse de doctorat, Presse universitaire de Louvain, Dépôt légal D/2014/9964/30, ISBN 978-287558-314-7, Diffusion universitaire Ciaco, www.i6doc.com, Belgique.
- [6] Mukoko G., Thimus J.F.; Ngoie D., (2015). Interaction lateritic soil –concentrators' discharges: what impact(s)? In Proceedings of the 16 African Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Innovative geotechnics for Africa Tunisia 27-30 April, 2015 © ISBN: 978-9938-12-936-6.
- [7] NAWAJ T. (2011) : Caractérisation hydrogéologique du système aquifère du bassin versant de la rivière Lubumbashi, Mémoire en Géologie.
- [8] Petit P., Bukome E., Dibwe D.M. et Kalaba M., (2003). Ménages de Lubumbashi entre précarité et recomposition, l'Harmattan. p 81 à 150.
- [9] PIALY P., (2009). Étude de quelques matériaux argileux du site de Lembo (Cameroun): minéralogie, comportement au frittage et analyse des propriétés d'élasticité. Thèse, Université de Limoges.
- [10] WASCHOWSKI E. (1979). Le pénétromètre dynamique