

Étude de compressibilité des sols alluviaux le long des berges de la rivière Lubumbashi, Haut-Katanga, RD. Congo

**Yannick KIYUKENO^{1*}, Obed TSHIBWABWA³, Stanley LUSANGU¹, Jean-Marie LUNDA²
et Gustave MUKOKO¹**

¹ *Université de Lubumbashi, Ecole Supérieure des Ingénieurs, Département de Génie Civil, BP 1825, Lubumbashi, RD. Congo*

² *Université de Lubumbashi, Faculté des Sciences, Département de Géologie, BP 1825, Lubumbashi, RD. Congo*

³ *Institut Supérieur des Techniques Appliquées de Lubumbashi, Département de Génie Civil, BP 1896, Lubumbashi, RD. Congo*

(Reçu le 01 Mai 2023 ; Accepté le 10 Juin 2023)

* Correspondance, courriel : yannickitwa@yahoo.fr

Résumé

Les travaux effectués dans le cadre de cette recherche portent sur l'étude de compressibilité des sols alluviaux le long des berges de la rivière Lubumbashi sur le site du domaine Marial au sein de la ville de Lubumbashi en vue de l'aménagement des futurs ouvrages portuaires dans une perspective de rendre la rivière navigable pour le transport des biens et des personnes. Pour atteindre cet objectif, nous avons prélevé 3 échantillons (E1, E2 et E3) des sols à l'aide de la tarière manuelle sur le site concerné par notre étude. Ces échantillons des sols non remaniés ont été analysés au laboratoire de géomatériaux de la faculté polytechnique de l'Université de Lubumbashi. Les résultats des essais de base montrent que les matériaux étudiés sont constitués des sables limoneux plastiques pour les échantillons E1 et E2 et des sables limoneux moyennement plastique pour l'échantillon E3. L'essai de compressibilité œdométrique, met en évidence les sols compressibles pour E1 et E2 et peu compressible pour E3. Les essais réalisés en laboratoire sur les 3 sols ont montrés des résultats inquiétants quant à leur stabilité ; ceci nécessite une amélioration et un renforcement des sols en place lors des travaux de construction des ouvrages de génie civil.

Mots-clés : *étude géotechnique, compressibilité des sols, sols alluviaux, essais en laboratoire.*

Abstract

Compressibility study of alluvial soils along Lubumbashi river banks, Haut-Katanga, RD. Congo

The work performed within the scope of this research project concerns the investigation on the compressibility of alluvial soils along Lubumbashi river banks at the Domaine Marial site in Lubumbashi city, in order to develop future port infrastructures and make the river navigable for goods and people transportation. To accomplish this, we used a hand auger to collect three soil samples named (E1, E2, and E3) from the study site. In the geomaterials lab of the Polytechnic Faculty of the University of Lubumbashi, these undisturbed soil samples were examined. The materials tested consist of plastic silty sands for samples E1 and E2, and

somewhat plastic silty sands for sample E3, according to the results of the fundamental tests. The oedometric compressibility test found that soils in sample E1 and E2 were compressible, but the soils in sample E3 were marginally compressible. The three soils' stability tests in the lab produced unsettling results; as a result, the current soils must be strengthened and enhanced while the civil engineering projects are being built.

Keywords : *geotechnical study, soil compressibility, alluvial soils, laboratory Investigations.*

1. Introduction

La construction des ouvrages de génie civil dans un milieu donné modifie le sol porteur de l'ouvrage. Ces modifications sont souvent suivies d'une série de désagréments de toutes sortes ainsi que la détérioration du sol, pouvant mettre le public en danger lorsqu'elle menace l'intégrité d'une structure [1]. C'est ainsi que la connaissance des sols via des essais en laboratoire ou in situ s'avère indispensable. Les essais de laboratoire sont partie intégrante des reconnaissances géotechniques des sites pendant les projets de construction d'ouvrages de génie civil [2]. La reconnaissance des sols supports est une étape primordiale et fondamentale dans la réussite d'un projet de construction [3]. La bonne connaissance des sols et de son utilisation exigent la caractérisation de ses propriétés géotechniques [2, 3]. Les essais de laboratoire font partie intégrante des reconnaissances géotechniques des sites pendant les projets de construction d'ouvrages de génie civil [4]. La réalisation et l'exploitation des ouvrages portuaires font intervenir les études géotechniques qui passent par des analyses approfondies afin d'assurer leur sécurité tout en minimisant les risques d'instabilité [7]. L'aménagement de la région domaine marial pour une construction future des ouvrages portuaires nécessite une étude de compressibilité des sols environnants. Cette étude joue un rôle important dans la définition des conditions de stabilité des futurs ouvrages portuaires. Sous l'influence des contraintes imposées par les ouvrages portuaires, les sols compressibles présentent des faibles caractéristiques de résistance mécanique en subissant les tassements et les déformations [9]. Dans ce contexte l'étude de compressibilité des sols revête une importance capitale pour la durabilité et la stabilité des ouvrages portuaires [15]. Dans cette recherche, il sera question d'étudier par les essais en laboratoire la compressibilité des sols alluviaux prélevés dans la région du domaine marial le long des berges du canal de la rivière Lubumbashi. L'étude de la compressibilité de sol local constitue un préliminaire indispensable en vue de la construction future d'ouvrages d'accostage et d'amarrage. Pour répondre à l'objectif de notre recherche, nous avons opté pour une méthode de caractérisation en laboratoire via un échantillonnage de sol de notre zone d'étude, suivi d'une campagne d'essais réalisée au laboratoire de géomatériaux de la faculté polytechnique de l'Université de Lubumbashi.

2. Matériel et méthodes

2-1. Milieu d'étude

La rivière Lubumbashi traverse la ville de Lubumbashi, chef-lieu de la province du Haut Katanga. Cette province se localise au Sud-Est de la République Démocratique du Congo (RD. Congo) entre les parallèles - 11°30' et -11°50' et les méridiens 27°17' et 27°40' [8, 14]. Cette ville qui est la deuxième grande ville du pays après la ville province de Kinshasa, elle est située dans une vaste dépression limitée au Nord-est par l'anticlinal de l'Etoile (1275m d'altitude) et au Sud-ouest par l'anticlinal de Kisanga (1346m d'altitude) [13]. La ville de Lubumbashi compte sept communes qui sont drainées par la rivière Lubumbashi. La rivière Lubumbashi est l'une des grandes rivières de la ville, elle tire sa source dans le village Tumbwe au Nord-Ouest de la ville de Lubumbashi [8, 14]. Cette rivière traverse l'Ouest du territoire de Kipushi et la ville de Lubumbashi où elle passe par plusieurs communes et quartiers avant de se jeter dans la Kafubu [13, 14]. Pour le cas de notre étude nous prendrons la région du pont Tshondo (*Figure 1*).

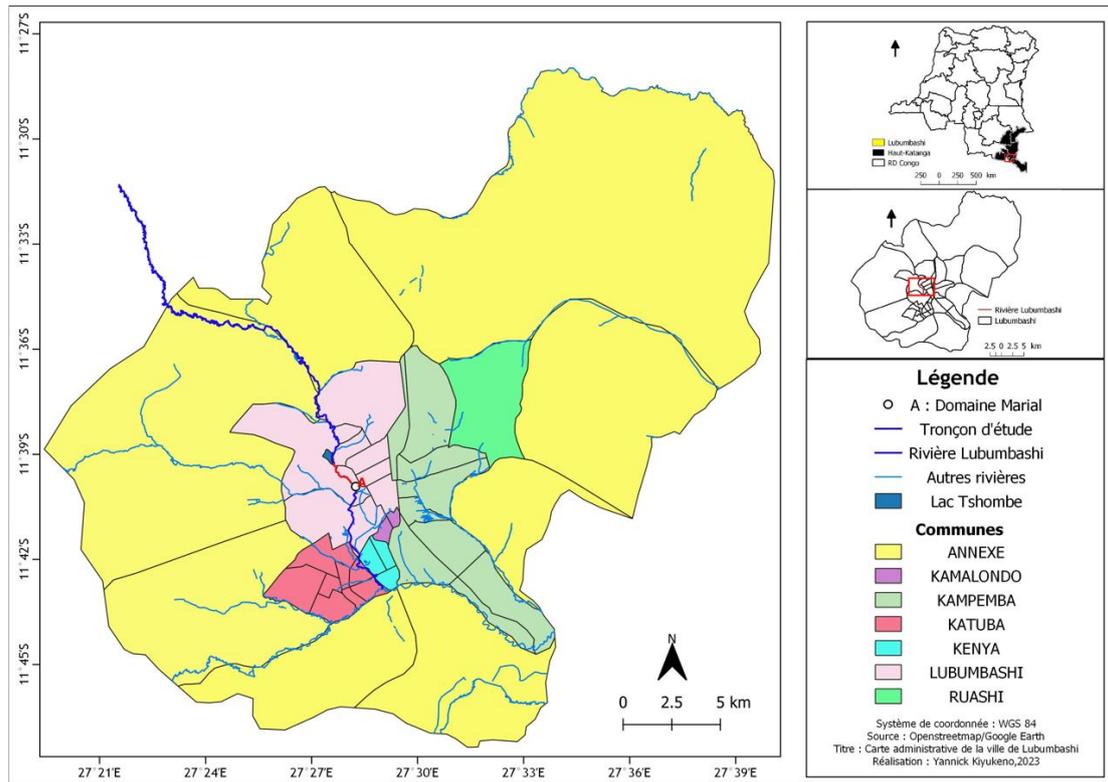


Figure 1 : Présentation de la région domaine marial

2-2. Méthodologie

La méthodologie suivie dans cette étude a consisté à extraire des échantillons intacts (non reconstitués) à l'aide de la tarière manuelle à des différentes profondeurs (**Tableau 1**) à partir de 3 sondages de notre zone d'étude. Ces échantillons ont été soumis aux essais (de base et mécanique) de laboratoire au laboratoire des Géomatériaux de la faculté polytechnique de l'Université de Lubumbashi [10]. L'analyse granulométrique s'est faite par voie sèche, elle s'est poursuivie par voie humide pour des particules inférieures à 80 µm suivant la norme NF P 94-056 [9]. Pour cela, nous avons procédé par classement des grains sur une série décroissante de tamis (6,3 mm, 5 mm, 4mm, 3.15 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,2 mm, 0,1 mm et 0,80 mm) emboîtés les uns dans les autres. L'indice de plasticité (IP) des matériaux a été déterminé par l'essai à la limite d'Atterberg à l'aide la coupelle de casagrande suivant la norme NF P 94-051 [11]. La valeur au bleu de méthylène (VBM) a été déterminée selon la norme NF P 94-068 [12]. Pour étudier la compressibilité des sols, les essais de compressibilité œdométrique ont été réalisés sur nos matériaux suivant la norme XP P 94-090-1 [6].

Tableau 1 : Description des échantillons

Points de prélèvement	Dénomination	Coordonnées géographiques	Gamme de profondeur (m)	Types d'échantillons
E1	Echantillon prélevé au point 1	-11,6660 27,4708 8710256	0.24 à 1.40	Non remanié
E2	Echantillon prélevé au point 2	-11,6653 27,4702 8710259	0.22 à 1.52	Non remanié
E2	Echantillon prélevé au point 2	-11,6653 27,4702 8710259	0.22 à 1.52	Non remanié

3. Résultats et discussion

3-1. Essais de base

3-1-1. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant un granulat dont les dimensions sont comprises entre 0,063 et 125 mm [9]. Les résultats de l'analyse granulométrique suivant la norme NF P 94-056 de nos échantillons (E1, E2 et E3) sont résumés aux **Figures 2 à 4**.

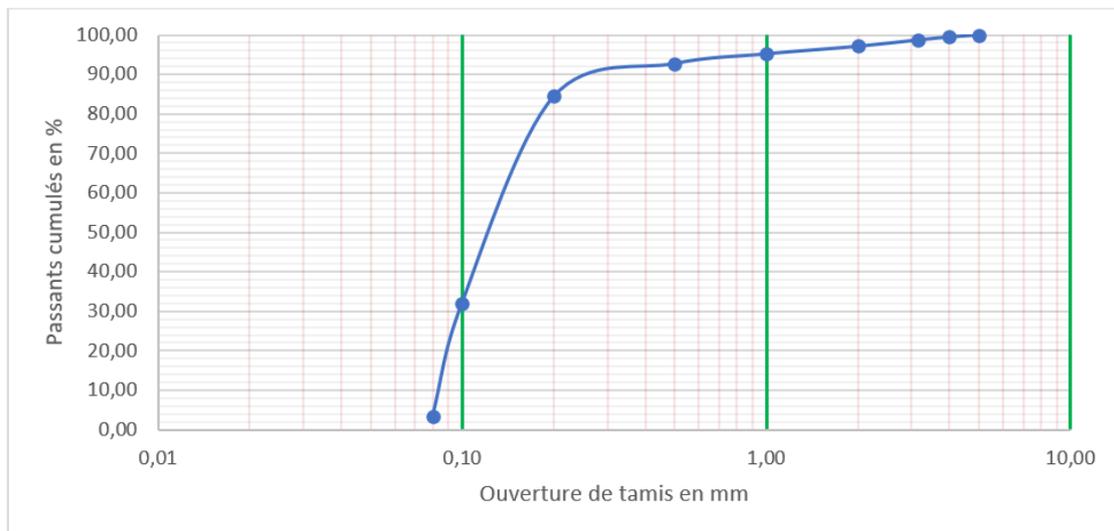


Figure 2 : Courbe de l'analyse granulométrique de E1

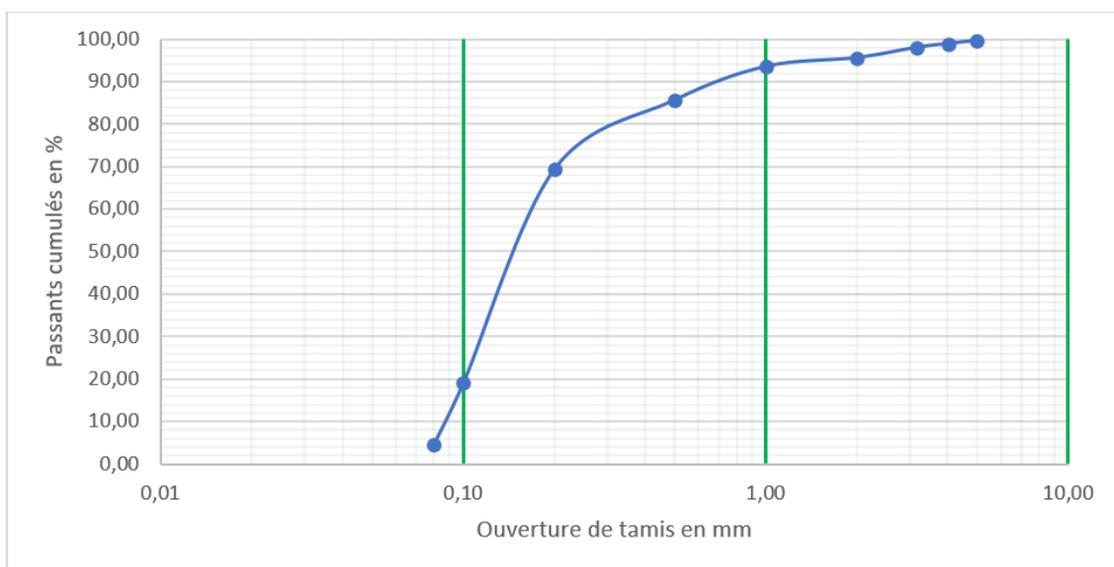


Figure 3 : Courbe de l'analyse granulométrique de E2

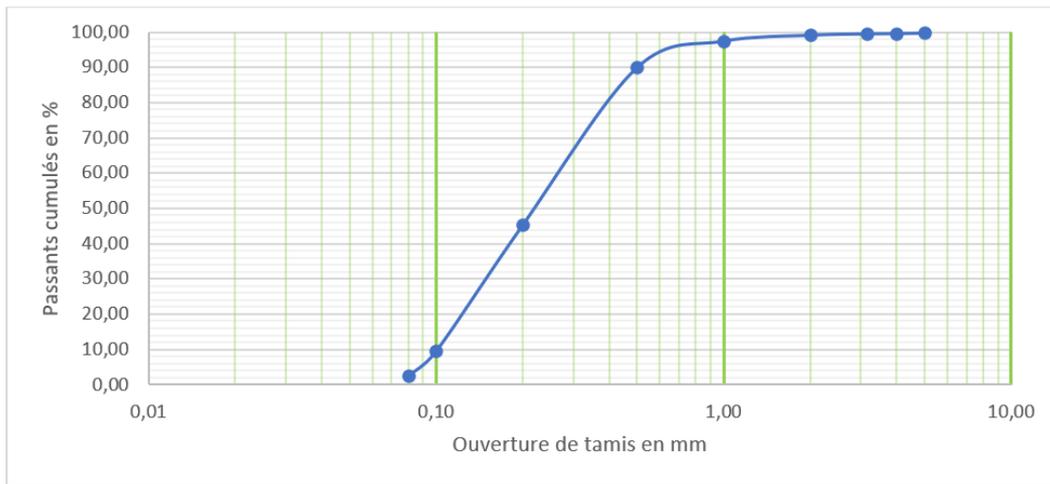


Figure 4 : Courbe de l'analyse granulométrique de E3

Il ressort de ces courbes granulométriques (**Figure 2, 3 et 4**) que le sol étudié est de type alluvionnaire. L'échantillon E1 présente une granulométrie plus fine que les échantillons E2 et E3.

3-1-2. Limites d'Atterberg

Cet essai consiste à déterminer les teneurs en eau remarquables situées à la frontière entre ces différents états en l'occurrence la limite de liquidité (WL) et la limite de plasticité (WP) dans le but de définir l'étendue du domaine plastique du sol [11]. On définit la limite de plasticité (WP) comme étant la teneur en eau d'un sol qui a perdu sa plasticité et se fissure en se déformant lorsqu'il est soumis à de faibles charges. La limite de liquidité (WL) est la teneur en eau qui sépare l'état liquide de l'état plastique. L'indice de plasticité (IP) est donné par la différence entre la limite de liquidité et la limite de plasticité. L'indice de plasticité nous permet d'avoir une indication assez précise sur la nature d'un sol fin. Un indice de plasticité élevé correspond donc à un sol argileux, dont les propriétés seront très sensibles aux variations en teneur en eau. L'indice de plasticité a été déterminée par la **Formule** suivante :

$$IP = WL - WP \tag{1}$$

Le **Tableau 2** résume les résultats de cette analyse.

Tableau 2 : Résultats des limites d'Atterberg

Échantillons	WL (%)	WP (%)	IP (%)
E1	45,6	31,0	14,5
E2	41,8	27,9	13,9
E3	31,6	24,4	7,2

Les essais de limites d'Atterbergs effectués sur nos matériaux donnent des indices de plasticité de 14,5 et 13,9 % pour E1 et E2 contrairement à E3 (2, 7) (**Tableau 2**), nous pouvons donc dire que les sols des E1 et E2 sont plus plastique que le sol de E3. Ceci déduit que les sols des E1 et E2 seront assez compressible par rapport au sol de E1, car l'indice de plasticité est un bon indicateur de la compressibilité d'un sol. Selon la norme française NF P 94-051, il ressort du **Tableau 2** que les sols testés sont classés comme étant le sable limoneux moyennement plastique.

3-1-3. Détermination de la valeur de bleu du méthylène (VBM)

Parmi les propriétés physiques des matériaux argileux figure leur capacité d'absorption, qui les distingue des autres caractéristiques physiques. Néanmoins, certains argiles n'absorbent pas les solutions chimiques, c'est pourquoi l'essai au bleu de méthyle est nécessaire pour évaluer les propriétés des matériaux en fonction de leur composition argileuse [12]. Le **Tableau 3**, illustre la valeur au bleu de méthylène.

Tableau 3 : Résultats de la valeur au bleu de méthyle

Échantillons	VBM (/100 gr)	Fraction argileuse du sol
E1	1,9	inactive
E2	1,5	Inactive
E3	1,2	inactive

Les sols testés ont montré que la valeur de l'essai au bleu de méthylène est presque similaire pour tous nos matériaux (E1, E2 et E3). Cette valeur indique que la fraction argileuse des sols est inactive. Nous avons constaté que la valeur au bleu de Méthylène varie en fonction de l'indice de plasticité.

3-2. Essais géomécaniques

3-2-1. Essai de compressibilité par palier à l'œdomètre

Cet essai a pour but de caractériser la compressibilité des sols [7]. Il permet ainsi de définir le degré de tassement d'un sol sous un certain niveau de charge verticale. L'essai œdométrique permet aussi de mesurer directement la perméabilité du sol sur l'échantillon et de suivre son évolution dans le temps. Les **Figures 5 à 7** présentent les courbes de compressibilité œdométrique en échelle semi-logarithmique de l'indice des vides en fonction des contraintes de nos matériaux testés.

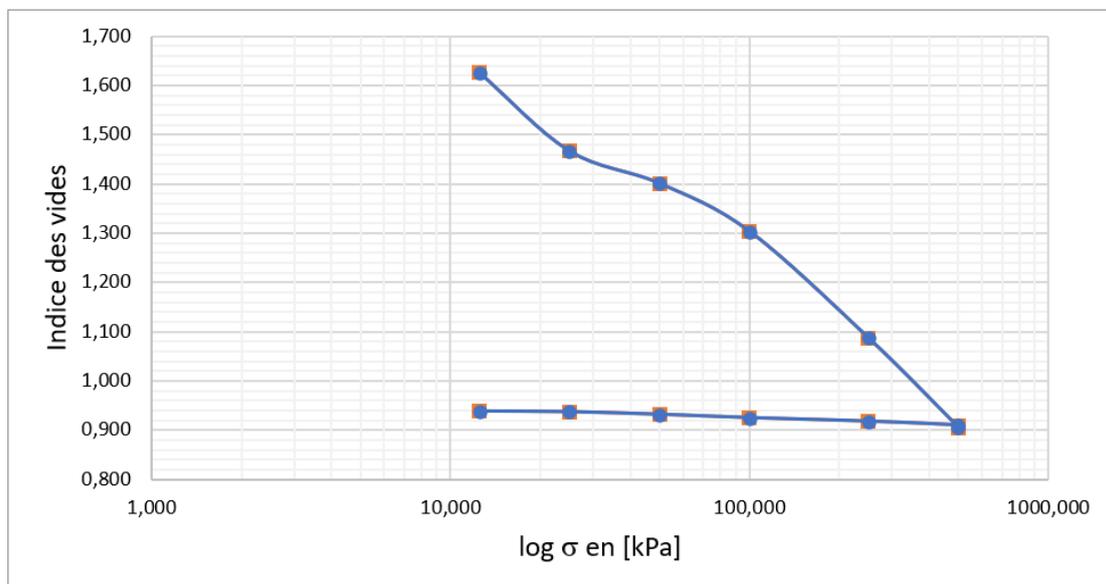


Figure 5 : Courbes de compressibilité œdométrique de l'E1

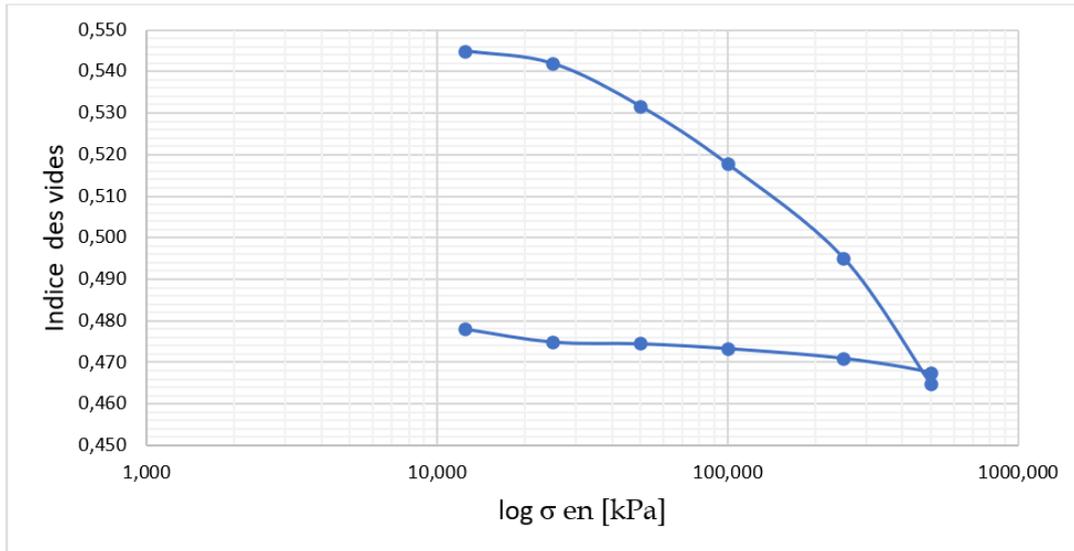


Figure 6 : Courbes de compressibilité œdométrique de l'E2

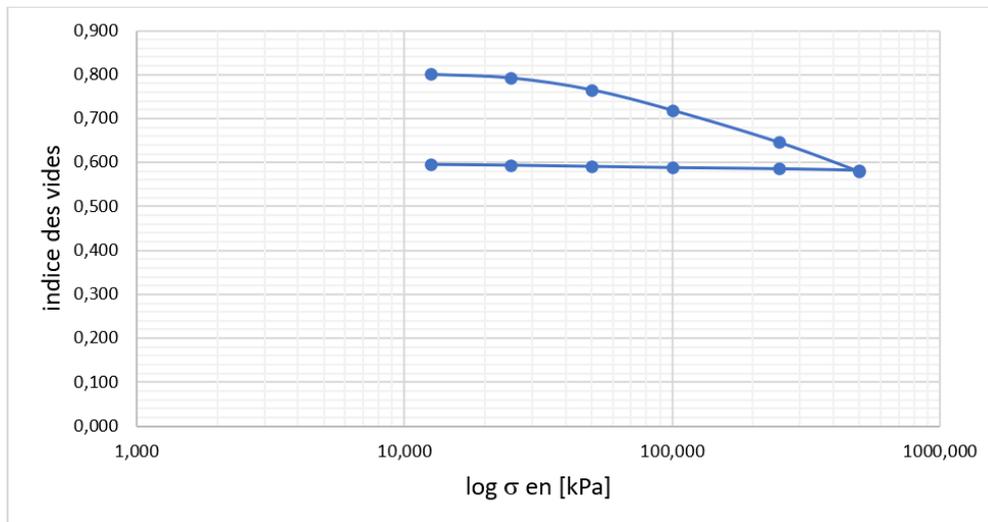


Figure 7 : Courbes de compressibilité œdométrique de l'E3

Les paramètres C_c et C_s ont été déterminés et synthétisés dans le **Tableau 4** à la lumière des courbes de compressibilité œdométrique.

Tableau 4 : Résultats des essais œdométriques

Echantillons	C_c	C_s
E1	0.4	0.05
E2	0.2	0.03
E3	0.1	0.02

Au vu des courbes œdométriques les paramètres C_c et C_s ont été déterminés. A partir du **Tableau 3**, il résulte que les sols de la région du domaine marial sont compressibles pour les échantillons E1 et E2 et moyennement compressible pour l'échantillon E3. Il résulte de ces paramètres que la compressibilité plastique augmente avec l'indice de plasticité. Donc, plus le sol est plastique plus il est compressible.

4. Conclusion

L'objectif de cette recherche à consister à étudier la compressibilité des sols alluviaux le long des berges de la rivière Lubumbashi sur le site du domaine Marial au sein de la ville de Lubumbashi en vue de l'aménagement des futurs ouvrages portuaires dans une perspective de rendre la rivière navigable pour le transport des biens et des personnes. Pour y parvenir, les essais de laboratoire ont été effectués sur des échantillons des sols prélevés dans la région d'étude. De ces essais, il ressort que le sol étudié est de nature alluvionnaire avec une dominance des sables limoneux. A la lumière de l'indice de plasticité, les matériaux en place sont plastiques pour les échantillons E1 et E2 par contre le sol de l'échantillon E3 est moyennement plastique. Les résultats de l'essais de compressibilité œdométrique ont montrés que les sols de la région domaine marial sont assez fortement compressibles pour E1 et E2 et moyennement compressible pour E3. Il ressort de ces résultats que l'indice de plasticité est un bon indicateur des propriétés géomécaniques des sols.

Références

- [1] - AEG, SAICE et SAIEG, Guidelines for soil and rock logging in South Africa. A.B.A. Brink et R.M.H. Bruin, (2011) 47 p.
- [2] - J. COSTET et G. SANGLERAT, Cours pratique de mécanique des sols, plasticité et calcul des tassements, volume Tome 1. Dunod, 2ème édition, (1975) 262 p.
- [3] - M. DAS et K. SOBHAN, Principles of geotechnical engineering. SI, viii édition, (2012) 770 p.
- [4] - P. De-CLERCK, Limites d'Atterberg, rapport d'un étalonnage croisé et d'essais complémentaires. Rapport, C.R.R, Belgique, (1977) 82 p.
- [5] - M. DYSLI, Recherche bibliographique et synthèse des corrélations entre les caractéristiques des sols. Rapport 314, Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication, Office fédéral des routes, Laboratoire de mécanique des sols de l'EPFL-Suisse, (2011) 314 p.
- [6] - G. SANGLERAT et B. C. OLIVARI, Problèmes pratiques de mécanique des sols, Généralités, plasticité, calcul des tassements, Interprétation des essais in situ, Tome 1, Dunod, (1983) 327 p.
- [7] - J. VERDEYEN, V. ROISIN et J. NUYENS, La mécanique des sols, volume Tome 2. Dunod, (1968) 508 p.
- [8] - M. P. KASONGO, K. G. MUKOKO, M. L. KIPATA et J-M. I. LUNDA, Elaboration de la carte géotechnique de la ville de Lubumbashi guide technique de sélection des sites d'implantation d'ouvrages du génie civil. *European Scientific Journal*, 14 (2018) 407 - 431. DOI: 10.19044/esj.2018.v14n36p407
- [9] - ASTM, Standard test method for measurement of soil potential (suction) using filter paper. (D. 5298-92). *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 15, (1992) 09
- [10] - M. FALL, J-P. TISOT, K. I. CISSE, Comportement Non drainé de sols graveleux latéritiques compactés du Sénégal occidental sous chargement triaxial monotone et cyclique. *Ingénierie de Géologie*, 47 (1997) 71 - 87 Elsevier
- [11] - NF 94-051, Sols : Reconnaissances et Essais. Détermination des limites d'Atterberg-limite de liquidité à la coupelle-limite de plasticité au Rouleau. ISSN 0335-3931, AFNOR, (1993)
- [12] - NF 94-068, Sols : Reconnaissances et Essais. Mesure de la capacité d'adsorption de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériaux rocheux par l'essai à la tache - ISSN 0335-3931, AFNOR, (1998)
- [13] - E. K. ATIBU et al., « Assessment of trace metal and rare earth elements contamination in rivers around abandoned and active mine areas. The case of Lubumbashi River and Tshamilemba Canal, Katanga, Democratic Republic of the Congo », *Geochemistry*, Vol. 76, N° 3 (oct. 2016) 353 - 362 p., doi : 10.1016/j.chemer.2016.08.004

- [14] - S. K. KALALA, M. S. S. CHRISTIAN, M. K. ALAIN, M. T. LAZARE, K. YANNICK et M. K. ADELIN, Impacts des rejets liquides de la Société de Terril de Lubumbashi (STL) sur la qualité des eaux de la rivière Lubumbashi : Cas du bassin versant de la Kafubu (Lubumbashi, Haut- Katanga / RD Congo), Vol. 23, N° 2 (2016)
- [15] - A. JOHARI, H. GOLKARFARD, Reliability analysis of unsaturated soil sites based on fundamental period throughout Shiraz, Iran, (2018)