

## **Etude géotechnique et contrôle de stabilité du port de Mushimbakye et de ses environs à Baraka, en territoire de Fizi, Sud-Kivu, RD Congo**

### **[ Geotechnical study and control of stability from port of MUSHIMBAKYE, and its surroundings, at Baraka, in Fizi territory, South-Kivu, DR Congo ]**

**Gloire KWETU SAMBO<sup>1</sup>, Prosper PELO ISANDA-NONDO<sup>2</sup>, Bembe M'BOWA DENIS<sup>3</sup>, King IRAGI BIRINDWA<sup>1</sup>, Ephrem KAMATE KALEGHETSO<sup>1</sup>, and Théophile BASOSHI IUBWE<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Département de Géodésie et Déformations, Observatoire Volcanologique de Goma, Nord-Kivu, RD Congo

<sup>2</sup>Sous service des Techniques et Opérations, SAESSCAM, Sud-Kivu, RD Congo

<sup>3</sup>Licencié en Exploration et Géologie Minière, Sud-Kivu, RD Congo

---

Copyright © 2016 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:** This work is a contribution to the knowledge of the geotechnical characteristics of soils of Baraka and especially at port Mushimbakye. We present the results of tests of permeability in situ, of compaction, of granulometric analysis, of Atterberg limits and of direct shear tests. All these have helped to classify the soil of Baraka silty loam, moderately plastic and hard, bad qualities but good for compaction and construction. These soils are stable and of high permeabilities. Here permeability In situ varies according to the texture and soil moisture. We also present the studies of foundation at the port of Mushimbakye and MWAMBANGU. To these sites, allowable stresses are large and the insoles squares are the only that can withstand large loads. A Mushimbakye and Mwambangu the allowable stresses are respectively for square footings 218.1KN / m<sup>2</sup> and 270.3KN / m<sup>2</sup>. These results provided the necessary data to manufacturers for treatment and soil improvement of this sector to ensure the stability of structures in general at Baraka and for Mushimbakye port in particular.

**KEYWORDS:** bearing capacity, soils (materials), stability, foundations, cohesion, and allowable stresses.

**RESUME:** Ce travail est une contribution à la connaissance des caractéristiques géotechniques de sols de Baraka et plus particulièrement au port de Mushimbakye. Nous présentons les résultats des essais de perméabilité in situ, de compactages, d'analyses granulométriques, des limites d'Atterberg et des essais de cisaillements direct. Tous ces essais ont permis de classer les sols des Baraka en des limons silteux, moyennement plastiques et durs, de mauvaises qualités mais bons pour les compactages et la construction. Ces sols sont stables et de fortes perméabilités. La perméabilité in situ varie ici en fonction de la texture et l'humidité du sol. Nous présentons aussi les études de fondations au port de MUSHIMBAKYE et à MWAMBANGU. A ces sites les contraintes admissibles sont grandes et les semelles carrées sont les seules pouvant supporter de grandes charges. A Mushimbakye et à Mwambangu les contraintes admissibles sont respectivement pour les semelles carrées de 218.1KN/m<sup>2</sup> et 270.3KN/m<sup>2</sup>. Ces résultats fournis aux constructeurs les données nécessaires pour les traitements et l'amélioration des sols de ce secteur afin d'assurer la stabilité des ouvrages à Baraka en général et au port de Mushimbakye en particulier.

**MOTS-CLEFS:** capacité portante, sols (matériaux), stabilité, fondations, cohésion, contraintes admissibles.

## **1 INTRODUCTION**

Le développement des infrastructures et des ouvrages d'arts (ports, aéroports, routes, maisons, ponts, voies rapides souterraines,...) nécessite un sol des meilleures caractéristiques. Ainsi, les ingénieurs civils étudient les sols avant toutes constructions. Les spécialistes géotechniciens comme tous les autres ingénieurs constructeurs se sont donc intéressés à l'importance des problèmes d'interaction sol-structure, aux problèmes liés à l'hydrodynamique dans les sols, à la consolidation des sols et à leurs stabilités.

La région du Kivu précisément à Baraka dans le territoire de Fizi en République Démocratique du Congo n'a connu jusque là que très peu d'études géotechniques. Or nous observons aujourd'hui l'émergence des infrastructures et la présence d'un port très important, le port de Mushimbakye. Malheureusement dans le cadre de l'aménagement et la construction des ouvrages à Baraka, aucune mesure d'amélioration de la qualité du sol et/ou étude géotechnique n'est faite pour servir de guide aux ingénieurs civils. Cette partie du pays se trouve donc ignorée des chercheurs géotechniciens, raison pour laquelle nous avons trouvé impérieux d'orienter nos investigations dans ce territoire.

Ce travail est donc une contribution à la connaissance des caractéristiques géotechniques des sols de Baraka et du port de Mushimbakye en particulier.

L'intérêt accordé à ce présent travail est la détermination de différentes caractéristiques des sols de Baraka, leurs classifications, leurs comportements mécaniques et enfin l'étude de stabilité, des fondations du port de Mushimbakye. Il faudra déterminer le type de charge que ces sols pourraient supporter pour la construction des ouvrages stables.

Ce travail fournira enfin des recommandations sur l'amélioration de la qualité des sols de ce secteur et sur leurs applicabilités en génie civil.

## **2 CONTEXTE GEOLOGIQUE ET LOCALISATION**

Notre secteur d'étude se trouve en territoire de Fizi au Sud-Est de la province du Sud-Kivu en République Démocratique du Congo. Il est situé dans le secteur de Mutambala, l'un des quatre secteurs qui composent le territoire de Fizi. Il se localise et s'étend entre 3°36min et 15° et/ou 18° de latitude Sud et entre 27°54min et 29°5° de longitude Est. Il est limité à l'Est par le lac Tanganyika, à l'Ouest par le secteur de Lulenge, au Nord par le secteur de Tanganyika et au Sud par le secteur de Ngandja [15].

On y observe une plaine côtière ou littorale plus large à plusieurs endroits, une plaine littorale tapissée de divers dépôts pluviaux lacustres, des plages terrasses anciennes et des cordons des galets.

La végétation est essentiellement dominée par la forêt de montagnes, des bambous, savanes boisées et herbeuses, des brousses ayant des arbres formant des buissons à divers endroits. Mais aujourd'hui cette végétation est déboisée par le feu de brousse et les briquetiers qui s'en servent pour cuire les briques.

D'une manière générale, le secteur de Mutambala jouit d'un climat tropical humide qui est relativement modéré et variable selon les saisons. On y rencontre deux saisons : la saison sèche de Juin à Septembre et la saison pluvieuse d'Octobre à Mai. La température moyenne varie entre 21 et 24,5°C.

La partie orientale du secteur de Mutambala est dominée par les eaux du lac Tanganyika. Dans ce secteur nous y trouvons une seule grande rivière, rivière Mutambala ; mais aussi d'autres petites rivières telles que: Lu'é, Mkela, Lwende, Mkemakye, Sange, Misha, Nemba, Asangyala, Luvu et d'autres cours d'eau notamment : Natete, Malala,...

Ce secteur se trouve dans les formations du protérozoïque inférieur (de 2000 à 1800 Ma) plus précisément dans les formations Ruziziennes (la chaîne Ruzizienne) considérées comme le prolongement septentrionale de la chaîne Ubendienne qui affleure entre le lac Tanganyika et le Malawi (**RUMVEGERI, 1987**).

Nos observations sur le terrain ont fait preuve des roches métamorphiques. Il s'agit essentiellement des quartzites, des micaschistes et aussi des conglomérats et des grès. Mais les couvertures alluvionnaires et les sables non consolidés prédominent dans toutes les espaces bordières du lac Tanganyika. Ceci nous a permis de réaliser des essais in situ et de prélèvement d'échantillons en vue d'observer, identifier et caractériser les sols de Baraka.

### 3 RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats présentés et discutés dans ce point sont issus des essais de perméabilité in situ, d'identification et de classification des sols. Pour l'échantillonnage, nous avons considéré cinq sites. Il s'agit du site de Mushimbakye (Port), Mwemezi (Pont), Matata (au nord du Piste aérodrome), Mwambango (Pont Natete) et Kalinga Sud (Antenne Vodacom). Il est à noter que notre secteur d'étude est une plaine présentant très peu d'affleurements importants.

#### III.1. ESSAIS DE PERMEABILITE IN SITU

Bien qu'il existe deux types d'essais de perméabilité (perméabilité intrinsèque et perméabilité relative), dans ce travail nous nous sommes intéressés à la perméabilité relative. Ce dernier est l'aptitude d'un terrain à se laisser traverser par l'écoulement d'infiltration. Elle a été déterminée par « Méthode de Porchet simplifiée ».

Le principe de la méthode dite de « Porchet simplifiée » consiste à creuser sur terrain un trou cylindrique de rayon « r » et de longueur quelconque, à surface basale bien horizontale où on enfoncera un tube cylindrique creux de même rayon que ce trou. On verse de l'eau à un débit « Q », au temps  $t = 0$ , la hauteur de l'eau dans le tube cylindrique est « H » et pendant un intervalle de temps « dt », on observe l'abaissement à la surface libre de l'eau dans le tube « dz » par suite d'une infiltration quasi verticale à travers le fond du tube.

Dans notre travail, nous avons utilisé un cylindre de diamètre  $D = 8\text{cm}$  et de longueur (ou hauteur  $H = 20\text{cm}$ ). Grâce à ce principe, nous avons déterminé le coefficient de perméabilité K, pour tous les essais que nous avons réalisés sur terrain en utilisant la relation :  $K = \left[ \frac{D}{2} * \ln \frac{h_1}{h_2} \right] : 2(t_2 - t_1)$  ; avec

- **K** : Coefficient de perméabilité
- **D** : Diamètre du tube PVC ;
- **h<sub>1</sub>** : le niveau de l'eau dans le tube au début de la mesure (ici  $h_1 = H$ , la hauteur du trou).
- **h<sub>2</sub>** : niveau de l'eau à la fin de la mesure (à la fin de la période considérée).
- **t<sub>1</sub> et t<sub>2</sub>** : sont respectivement les temps au début et à la fin de la mesure.

**Illustration** : considérons les données récoltées au site MARCHE MWEMEZI, où  $h_1 = 20\text{cm}$ ,  $h_2 = 3\text{cm}$ ,  $t_1 = 0\text{s}$ ,  $t_2 = 265\text{s}$ , avec  $D = 8\text{cm}$

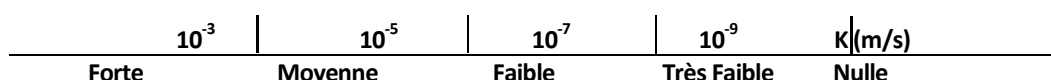
Par application de  $K = \left[ \frac{D}{2} * \ln \frac{h_1}{h_2} \right] : 2(t_2 - t_1) \rightarrow K = 19.10^{-3} \text{cm/s}$

Nous avons fait sur terrain dix-sept (17) essais de perméabilité relative sur différents sites.

Tableau1 : Tableau représentant les essais de perméabilité in situ aux différents sites

SITES	COORDONNEE GOGRAPIHQUE	K (cm/s), Texture et humidité	SITES	COORDONNEE GOGRAPIHQUE	K (cm/s), texture et humidité
MWAMBANGU	Longitude: 731028 Latitude : 9543480 Altitude : 827m	<b>2,57.10<sup>-3</sup></b> , sol fine et humide	MWEMEZI PONT	Longitude: 732298 Latitude : 9546808 Altitude : 777m	<b>2,23.10<sup>-3</sup></b> ; fine et peu humide
KALINGA SUDANTENNE VODACOM	Longitude: 731535 Latitude : 9545694 Altitude : 810m	<b>16,5510<sup>-3</sup></b> ; grenue et peu humide	AEBAZ	Longitude: 732897 Latitude : 9546089 Altitude : 783m	<b>1,59.10<sup>-3</sup></b> ; fine et humide
KALINGA SUD	Longitude:731643 Latitude: 9545511 Altitude : 799m	<b>18,06.10<sup>-3</sup></b> ; microgrenue, peu humide	PISTE AERODROME SUD	Longitude: 732131 Latitude : 9544510 Altitude : 784m	<b>3,07.10<sup>-3</sup></b> ; fine et peu humide
STADE EBONDJWA	Longitude:731611 Latitude: 9544955 Altitude : 801m	<b>9,3.10<sup>-3</sup></b> ; microgrenue et humide	MALALA : EP MUZINDA	Longitude: 732062 Latitude : 9546279 Altitude : 795m	<b>5,7.10<sup>-3</sup></b> ; fine et peu humide
MUSHIMBAKYE PORT II	Longitude:732346 Latitude: 9543005 Altitude : 765m	<b>12,3.10<sup>-3</sup></b> ; microgrenue et humide	MWEMEZI : E.P BWISEELELO	Longitude: 731870 Latitude : 9546629 Altitude : 802m	<b>13,10.10<sup>-3</sup></b> ; microgrenue et peu humide
MARCHE MWEMEZI	Longitude:733121 Latitude: 9547179 Altitude : 772m	<b>19.10<sup>-3</sup></b> ; microgrenue, peu humide	PISTE AERODROME NORD	Longitude: 732334 Latitude : 9545647 Altitude : 773m	<b>4,12.10<sup>-3</sup></b> ; microgrenue et peu humide
SOGELAC	Longitude:732673 Latitude: 9546493 Altitude : 779m	<b>7,8.10<sup>-3</sup></b> ; microgrenue, peu humide	MAJENGO RN5	Longitude:732255 Latitude: 9545856 Altitude : 785m	<b>7,65.10<sup>-4</sup></b> ; fine et peu humide
MUSHIMBAKYEPO RT III	Longitude:732152 Latitude: 9543000 Altitude : 768m	<b>2,66.10<sup>-3</sup></b> ; fine et humide	STADE MAENDELEO	Longitude:732765 Latitude: 9545630 Altitude : 773m	<b>7,02.10<sup>-4</sup></b> ; fine et humide
INSTITUT MUSHIMBAKYE	Longitude:731538 Latitude: 9543382 Altitude : 800m	<b>6,11.10<sup>-3</sup></b> ; microgrenue et humide			

Toutes ces valeurs de K ont été plotées sur l'échelle des perméabilités en fonction de K (m/s).



Nous trouvons que ces sols sont en général de **FORTE PERMEABILITE** ; seulement deux sites (Stade Maendeleo et Majengo RN5) sont inclus dans l'intervalle des moyennes perméabilités.

Tableau 2 : tableau de variation de perméabilité

SOLS FINS	SOLS MICROGRENUES	SOLS GRENUES	SOLS HUMIDES	SOLS PEU HUMIDES
$2,66.10^{-3}$	$6,11.10^{-3}$	$16,5510^{-3}$	$1,59.10^{-3}$	$7,8.10^{-3}$
$2,57.10^{-3}$	$7,8.10^{-3}$		$2,66.10^{-3}$	$16,5510^{-3}$
$5,7.10^{-3}$	$19.10^{-3}$		$2,57.10^{-3}$	$19.10^{-3}$
$2,23.10^{-3}$	$4,12.10^{-3}$		$6,11.10^{-3}$	$4,12.10^{-3}$
$1,59.10^{-3}$	$12,3.10^{-3}$		$9,3.10^{-3}$	$5,7.10^{-3}$
$7,65.10^{-4}$	$13,10.10^{-3}$		$12,3.10^{-3}$	$13,10.10^{-3}$
$7,02.10^{-4}$	$9,3.10^{-3}$		$7,02.10^{-4}$	$18,06.10^{-3}$
	$18,06.10^{-3}$			$3,07.10^{-3}$
	$3,07.10^{-3}$			$2,23.10^{-3}$
				$7,65.10^{-4}$

A la lumière de ce tableau, nous remarquons que la perméabilité in situ varie en fonction de la texture du sol. Elle est plus élevée dans les sols à texture grenue, peu élevée dans le sol microgrenue et très faible dans les sols fins. Nous constatons en plus que dans les sols à même texture, elle varie en fonction de l'humidité ; elle est faible dans le sol humide et considérable dans les sols peu humides. Au point d'alt. 732580, long. 9543230, lat. 764 les descriptions de la perméabilité in situ étaient très difficile parce que le terrain est marécageux.

### 3.1 ANALYSE DES ECHANTILLONS

Pour la classification et l'identification des sols, cinq échantillons des sols ont été prélevés dans cinq sites différents pour les analyses. Tous ces essais ont été réalisés au laboratoire géotechnique de la Faculté des Sciences Appliquées et Institut Technique Supérieur (FSA/ITS) de l'Université du Burundi (UB) à Bujumbura. Les essais permettront de comprendre les principes [1] et les domaines d'application de chaque essai.

Tableau 3 : tableau montrant la description et les coordonnées des sites d'échantillonnage

SITES	CORDONNEES GEOGRAPHIQUES	CODE DE L'ECHANTILLON ET DESCRIPTION
<b>MWEMEZI (PONT)</b>	Longitude : 732298 Latitude : 9546808 Altitude : 777m	PONT MWZ Echantillon prélevé dans l'horizon B après excavation, à 70 cm de la surface
<b>KALINGA-SUD ANTENNE VODACOM</b>	Longitude : 731535 Latitude : 9545694 Altitude : 810m	BRK ANT VOD Echantillon prélevé dans l'horizon B après excavation, à 85 cm de la surface
<b>PISTE AERODROME NORD</b>	Longitude : 732334 Latitude : 9545647 Altitude : 773m	BRK AERO N Echantillon prélevé dans l'horizon B après excavation, à 90cm de la surface
<b>MUSHIMBAKYE PORT III</b>	Longitude : 732152 Latitude : 9543000 Altitude : 768m	MSHBK Echantillon prélevé dans l'horizon B après excavation, à 58 cm de la surface
<b>MWAMBANGU</b>	Longitude : 731028 Latitude : 9543480 Altitude : 827m	BRK MWBG, Echantillon prélevé dans l'horizon B après excavation, à 75cm de la surface

#### 3.1.1 ANALYSES GRANULOMETRIQUES

Les résultats du laboratoire ont permis de déterminer les proportions de sables, argiles et limons dans chaque échantillon. Nous avons ploté ces données sur le diagramme de la "Public Roads Administration" afin de nommer chaque échantillon. Ce diagramme de présentation texturale des particules fines (c'est-à-dire : sable, limon et argile) est un diagramme tertiaire (triangulaire) dont les trois sommets correspondent aux pourcentages d'argile, limon (silt) et sable dans un échantillon.

Tableau 4 : tableau de composition texturale des échantillons

Echantillon	% Partiel	%Rendus à 100%	Particules
BRK-MWZ	0.5	0.5	Argile
	64	67.4	Limon
	30.5	32.1	Sable
BRK-ANT-VOD	0	-	Argile
	2	-	Limon
	43	-	Sable
BRK-AERO-N.	10	10.2	Argile
	67	68.4	Limon
	21	21.4	Sable
BRK-MSHBK	4	4.1	Argile
	59	60.2	Limon
	35	35.7	Sable
BRK-MWBG	0	0	Argile
	50	50	Limon
	50	50	Sable

Le diagramme tertiaire de la PRA, "Public Roads Administration"

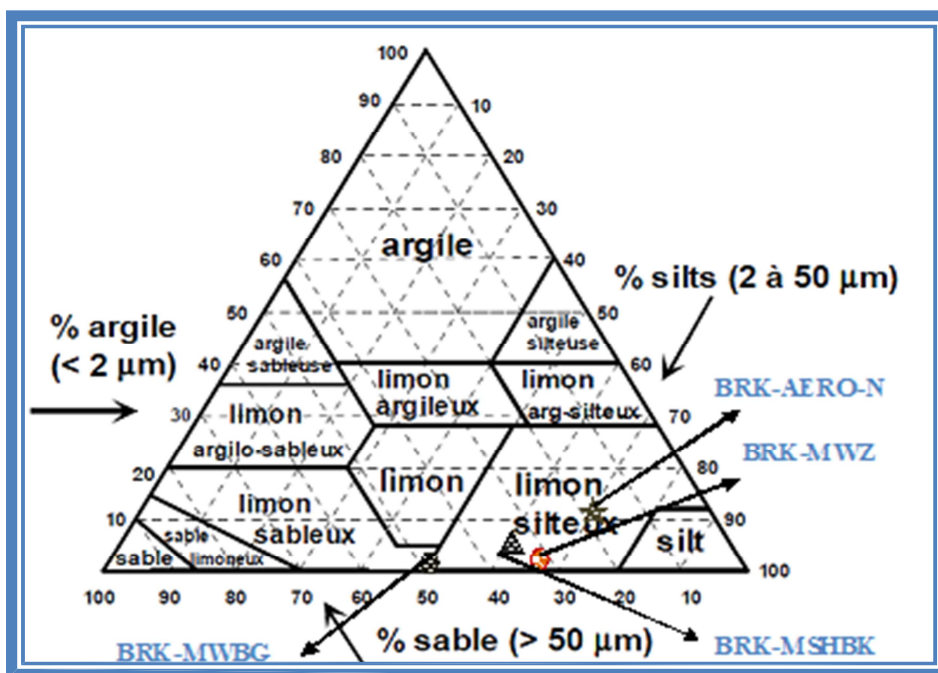


Diagramme de composition texturale des échantillons analysés.

★ : BRK-AERO-N; ○ : BRK-MWZ; ▲ : BRK-MSHBK et ⬡ : BRK-MWBG

Nous trouvons que plus de 75% des sols de Baraka sont des limons silteux alors que seulement moins de 25%, sont à la limite des limons silteux et limons sableux. Cependant, l'échantillon BRK-ANT-VOD n'a pas été présenté dans ce graphique car étant constitué d'une grande proportion des graviers fins.

### 3.1.2 LIMITES D'ATTERBERG

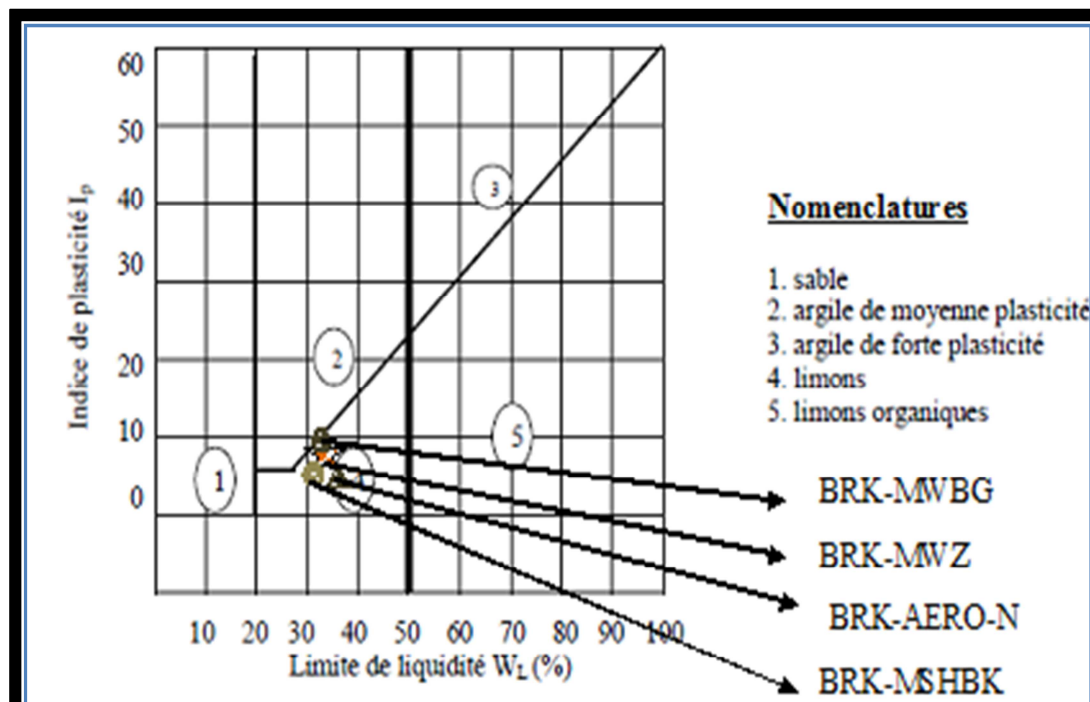
Cet essai permettra de déterminer l'état de consistance du sol qui permet de définir conventionnellement les frontières entre l'état liquide, l'état plastique et l'état solide d'un sol. Les limites à définir sont la limite de liquidité  $W_L$ , la limite de plasticité  $W_p$ . Aussi, il faudra déterminer l'indice de plasticité  $I_p$  et de consistance  $I_c$  enfin de classer le sol suivant sa consistance [1]. La consistance d'un sol varie de façon continue selon la teneur en eau : lorsque celle-ci augmente, le sol passe successivement de l'état solide à l'état plastique puis à l'état liquide. Pour le faire, nous nous sommes servis des classes démontrées par le Centre des Recherches Routières (1947) et Craterre (1985).

Tableau 5 : Présentation des indices de plasticité et limites de liquidité des sols analysés

Echantillon	Limite de liquidité (Teneur en eau) $W_L$ , Limite de Plasticité $W_p$ , Teneur en eau naturelle $W$ , Indice de Plasticité $I_p$ (%) et Interprétation	Indice de consistance $I_c$ + Interprétation
BRK-MWZ	$W_L=35,9\%$ ; $W_p=27,3\%$ , $W=12.3\%$ , $N=25$ $I_p=8.6\%$ , Sols Moyennement Plastiques	$I_c=2.74$ , sols durs
BRK-ANT-VOD	$W_L=5.9\%$ , les limites d'Atterberg n'ont pas été déterminées au laboratoire car les particules constitutives de l'échantillon de ces sols sont essentiellement des graviers fins et des sables grossiers ne permettant pas ainsi la réalisation de cet essai.	
BRK-AERO-N	$W_L=36.9\%$ ; $W_p= 30.4\%$ $I_p=6.5\%$ , Sols Moyennement Plastiques	$I_c=4$ ; sols durs
BRK-MSHBK	$W_L=35\%$ ; $W_p= 27\%$ , $W=9.2\%$ $I_p=8\%$ , Sols Moyennement Plastiques	$I_c=3.2$ ; sols durs
BRK-MWBG	$W_L=35.4\%$ ; $W_p= 26.6\%$ , $W=10.3\%$ $I_p=9\%$ , Sols Moyennement Plastiques	$I_c=2.79$ , sols durs

Selon les classes données par le Centre des Recherches Routières (1947) et Craterre (1985), nous constatons que les sols sont moyennement plastiques et durs.

#### Présentation graphique sur un diagramme binaire [ 8 ]



Plotage des résultats sur le diagramme binaire des nomenclatures basées sur  $I_p$  et  $W_L$

Nous constatons que les sols de Baraka sont généralement des limons. En se référant à l'analyse granulométrique et la limite d'Atterberg, nous constatons que ces sols étudiés sont généralement des limons précisément des limons silteux moyennement plastiques et durs.

### 3.1.3 ESSAI DE COMPACTAGES

Dans le cadre de cette étude, le seul essai de compactage réalisé est l'essai Proctor. Cet essai s'applique sur le matériau constitué des particules fines de dimension inférieure à 20mm. Cet essai se réalise dans le but de déterminer pour un compactage normalisé d'intensité donné, la teneur en eau maximale et la densité sèche maximale du matériau ; c'est-à-dire définir le comportement de ce matériau en présence d'une charge donnée. Nous allons donc déterminer les qualités du sol et son comportement vis-à-vis du compactage. Sur base de normes de Proctor, nous savons que pour une densité inférieure à 1,6 nous avons un mauvais sol ; pour une densité comprise entre 1,8 et 1,9 nous avons un sol convenable et pour une densité supérieure à 2,05 nous avons un sol excellent. Aussi une teneur en eau optimale supérieure de 20% est un indice d'un mauvais sol pour le compactage. Les résultats sont les suivants :

**Tableau 5 : tableau des résultats des essais de compactage**

ECHANTILLON	DENSITE SECHE $\rho_d$	TENEUR EN EAU OPTIMALE $W_{op}$
BRK-MWZ	$\rho_d = 1.69 \text{ g/cm}^3$	$W_{op} = 18.0\%$
BRK-ANT-VOD	$\rho_d = 1.88 \text{ g/cm}^3$	$W_{op} = 10.9\%$
BRK-AERO-N	$\rho_d = 1.62 \text{ g/cm}^3$	$W_{op} = 16.1\%$
BRK-MSHBK	$\rho_d = 1.70 \text{ g/cm}^3$	$W_{op} = 15.2\%$
BRK-MWBG	$\rho_d = 1.67 \text{ g/cm}^3$	$W_{op} = 14.1\%$

Les densités sèches varient entre  $1,62\text{g/cm}^3$  et  $1,88\text{g/cm}^3$  avec une moyenne de  $1,71\text{g/cm}^3$ . Cela montre que Baraka est constitué par des mauvais sols. Ainsi les travaux de traitements du sol sont nécessaires avant tous travaux de construction.

Les teneurs en eau optimale varient entre 10,9% et 18,0% avec une moyenne de 14,86% inférieur à 20%, qualité de bons sols pour le compactage.

### 3.1.4 ESSAIS MECANIQUE DE CISAILLEMENT

Dans de ce travail nous avons prélevé deux échantillons non remaniés pour la réalisation des essais mécaniques de cisaillement [4]. Le premier échantillon était prélevé au port de Mushimbakye et deuxième à Mwabangu site proche du port. Tout ceci pour savoir les comportements du sol au port de Mushimbakye et dans ses environs. Nous allons aussi faire l'étude de fondation à ces deux sites. Les résultats de cette étude permettront aux ingénieurs civils de connaître les types de fondation qui pourraient y être érigées.

#### Présentation des résultats et interprétations

**Tableau 6 : présentations des résultats des essais de cisaillement direct**

ECHANTILLON	COHESION C ET ANGLE DE FROTTEMENT INTERNE $\phi$	CONTRAINTES MOYENNES $\sigma$
BRK-MSHBK	$C=20\text{KN/m}^2$ ; $\phi=22.6^\circ$	$\sigma_1=50\text{KN/m}^2, \sigma_2=150\text{KN/m}^2, \sigma_3=250\text{KN/m}^2$ $\sigma = 150\text{KN/m}^2$
BRK-MWBG	$C=30\text{KN/m}^2$ ; $\phi=21.8^\circ$	$\sigma_1=50\text{KN/m}^2, \sigma_2=150\text{KN/m}^2, \sigma_3=250\text{KN/m}^2$ $\sigma = 150\text{KN/m}^2$

Nous constatons que les sols de ces deux sites sont généralement stables car les cohésions sont positives. Les ruptures sont apparues aux mêmes contraintes normales ( $\sigma_1=50\text{KN/m}^2, \sigma_2=150\text{KN/m}^2, \sigma_3=250\text{KN/m}^2$ ), ce qui signifie que ces sols présentent les mêmes caractéristiques mécaniques.



## TRAVAUX DES FONDATIONS

Toute construction que l'on désire édifier à la surface du sol ou en profondeur pose le problème de sa fondation. Cette dernière est liée à la charge exercée par l'ouvrage sur le terrain et l'aptitude qu'a celui-ci à supporter cette charge [11]. C'est ainsi que les essais de cisaillements que nous venons d'évoquer vont nous permettre de calculer la capacité portante ainsi que la contrainte admissible du sol au port de Mushimbakye et à Mwabangu, pour enfin déterminer le type de fondation favorable dans ces deux sites. Dans nos calculs, nous nous limiterons à la fondation superficielle (semelles filantes, isolées ou radiers) [3]. La fondation est dite superficielle lorsque le rapport entre l'encastrement (D) et la largeur (B) est inférieur à quatre ( $\frac{D}{B} < 4$ ) [5]. La détermination de la capacité portante Qd et de la contrainte admissible Qad seront faites à partir de différents paramètres mécaniques (cohésion du terrain C, angle de frottement interne  $\phi$ , poids volumique apparent du terrain  $\gamma$ ), aussi avec la largeur de la fondation B, l'encastrement D et du terme de surface Ny, de profondeur Nq et de cohésion Nc). Nous nous sommes servis ici de la loi de CAQUOT et KERISEL pour la détermination des valeurs des termes de surface Ny, de profondeur Nq et de cohésion Nc [3]. Nous avons considéré une fondation de 0.5m de largeur enfoui à 1m en profondeur (B=0.5m et D=1m).

### POUR LE SITE DE MWAMBANGU

$$\phi = 21.8^\circ ; \quad C = 30 \text{KN/m}^2 ; \quad ds = 1.67 \text{ g/m}^3 ; \quad \gamma = 16.7 ;$$

$$Nq = 7.82 ; \quad Nc = 16.88 ; \quad Ny = 6.73 ; \quad D = 1\text{m} ; \quad B = 0.5\text{m} ; \quad L = 0.8\text{m}$$

### Calcul de la capacité portante du sol (Qd)

a) Pour la semelle filante :  $Qd = \gamma \cdot Ny \cdot \frac{B}{2} + \gamma \cdot D \cdot Nq + C \cdot Nc$

$$Qd = 665 \text{ KN/m}^2$$

b) Semelles isolées: Semelle circulaire:  $Qd = 0,6 \cdot \gamma \cdot Ny \cdot \frac{B}{2} + \gamma \cdot D \cdot Nq + 1,3 \cdot C \cdot Nc = 805,8 \text{ KN/m}^2$

Semelle carrée :  $Qd = 0,8 \cdot \gamma \cdot Ny \cdot \frac{B}{2} + \gamma \cdot D \cdot Nq + 1,3 \cdot C \cdot Nc = 811,4 \text{ KN/m}^2$

### Calcul de la contrainte admissible (Qad)

a. Pour la semelle filante:  $Qad = \gamma \cdot D + \frac{[\gamma \cdot Ny \cdot \frac{B}{2} + \gamma \cdot D \cdot (Nq - 1) + C \cdot Nc]}{3}$   
 $Qad = 232,83 \text{ KN/m}^2$

b. Pour la semelle isolée carrée ( $\frac{B}{L} = 1$ ):  $Qad = \gamma \cdot D + \frac{[\gamma \cdot Ny \cdot \frac{B}{2} (1 - 0,2 \frac{B}{L}) + \gamma \cdot D \cdot Nq + (1 + 0,2 \frac{B}{L}) \cdot C \cdot Nc]}{3}$   
 $Qad = 270,3 \text{ KN/m}^2$

c. Semelle rectangulaire (L=0,8m) :  $Qad = \gamma \cdot D + \frac{[\gamma \cdot Ny \cdot \frac{B}{2} (1 - 0,2 \frac{B}{L}) + \gamma \cdot D \cdot Nq + (1 + 0,2 \frac{B}{L}) \cdot C \cdot Nc]}{3}$   
 $Qad = 252,8 \text{ KN/m}^2$

### SITE PORT DE MUSHIMBAKYE

$$\phi = 22.6^\circ ; \quad C = 20 \text{KN/m}^2 ; \quad ds = 1.70 \text{ g/m}^3 ; \quad \gamma = 17.0 ; \quad Nq = 8.66 ; \quad Nc = 18.05 ;$$

$$Ny = 6.73 ; \quad D = 1\text{m} ; \quad B = 0.5\text{m} ; \quad L = 0.8\text{m}$$

### Calcul de la capacité portante du sol (Qd)

a) Pour la semelle filante :  $Qd = \gamma \cdot Ny \cdot \frac{B}{2} + \gamma \cdot D \cdot Nq + C \cdot Nc$

$$Qd = 536,8 \text{ KN/m}^2$$

b) Semelles isolées: Semelle circulaire:  $Qd = 0,6 \cdot \gamma \cdot Ny \cdot \frac{B}{2} + \gamma \cdot D \cdot Nq + 1,3 \cdot C \cdot Nc$

$$Qd = 633,7 \text{ KN/m}^2$$

Semelle carrée :  $Qd = 0,8 \cdot \gamma \cdot Ny \cdot \frac{B}{2} + \gamma \cdot D \cdot Nq + 1,3 \cdot C \cdot Nc$

$$Q_d = 639.4 \text{ KN/m}^2$$

#### Calcul de la contrainte admissible ( $Q_{ad}$ )

a. Pour la semelle filante:  $Q_{ad} = \gamma \cdot D + \frac{[\gamma \cdot N \gamma \cdot \frac{B}{2} + \gamma \cdot D \cdot (Nq - 1) + C \cdot Nc]}{3}$   
 $Q_{ad} = 190.3 \text{ KN/m}^2$

b. Pour la semelle isolée carrée ( $\frac{B}{L} = 1$ ):  $Q_{ad} = \gamma \cdot D + \frac{[\gamma \cdot N \gamma \cdot \frac{B}{2} (1 - 0,2 \frac{B}{L}) + \gamma \cdot D \cdot Nq + (1 + 0,2 \frac{B}{L}) \cdot C \cdot Nc]}{3}$   
 $Q_{ad} = 218.1 \text{ KN/m}^2$

c. Semelle rectangulaire ( $L=0,8m$ ):  $Q_{ad} = \gamma \cdot D + \frac{[\gamma \cdot N \gamma \cdot \frac{B}{2} (1 - 0,2 \frac{B}{L}) + \gamma \cdot D \cdot Nq + (1 + 0,2 \frac{B}{L}) \cdot C \cdot Nc]}{3}$   
 $Q_{ad} = 209.8 \text{ KN/m}^2$

On constate qu'à MWAMBANGU, pour une fondation de 0,5 m de largeur avec un encastrement de 1 m, la charge qu'il ne faudra pas dépasser pour les semelles filantes est de 232.82 KN/m<sup>2</sup>, pour les semelles carrées, elle est de 270,3 KN/m<sup>2</sup> et 252,8 KN/m<sup>2</sup> pour les semelles rectangulaires.

On constate qu'au port de MUSHIMBAKYE, pour une fondation de 0,5 m de largeur avec un encastrement de 1 m, la charge qu'il ne faudra pas dépasser pour les semelles filantes est de 190.3 KN/m<sup>2</sup>, pour les semelles carrées, elle est de 218.1 KN/m<sup>2</sup> et 209.8 KN/m<sup>2</sup> pour les semelles rectangulaires.

Remarquons que les contraintes admissibles sur ces sols sont grandes. Ces sols peuvent donc supporter des immeubles des grandes charges, mais si et seulement si les couches profondes ont les mêmes caractéristiques que les couches superficielles. En comparant les contraintes admissibles obtenues pour chaque forme de fondation, pour les dimensionnements proposés dans les calculs, on constate que seules les semelles isolées carrées peuvent supporter les grandes charges qui peuvent aller jusqu'à 270,3 KN/m<sup>2</sup> à MWAMBANGU et 218.1 KN/m<sup>2</sup> au port de MUSHIMBAKYE. Au-delà des différentes contraintes admissibles calculées, on assistera au tassement de l'ouvrage. Remarquons également que les contraintes admissibles augmentent au fur et à mesure qu'on s'éloigne du port.

Chaque dimensionnement de fondation dépend des paramètres tels que : la largeur, la longueur et l'encastrement, c'est-à-dire que les dimensionnements des fondations font intervenir la notion de surface et de profondeur. Lorsque la surface augmente, la pression diminue proportionnellement à la charge exercée par l'ouvrage, ceci revient à dire qu'on peut augmenter la capacité portante d'un sol en augmentant la surface de la fondation. La capacité portante augmente aussi avec la profondeur c'est-à-dire plus la profondeur augmente, plus la capacité portante augmente. Lorsque l'encastrement est faible, la charge devient aussi faible et lorsque l'encastrement est grand la charge augmente aussi. Donc ces charges qu'il ne faudra pas dépasser pour les fondations superficielles, donnent une idée les types d'autres fondations.

### 3.2 DOMAINE D'APPLICATION ET AMELIORATIONS DES SOLS DE BARAKA EN GENIE CIVIL

Cette partie aborde non seulement les différents domaines d'application découlant des caractéristiques géotechniques des sols de Baraka en génie civil mais aussi, des diverses améliorations à y appliquer pour envisager les constructions d'ouvrages durables et stables.

#### 3.2.1 DOMAINES D'APPLICATIONS

Ces sols identifiés limoneux ou limons silteux, moyennement plastiques, durs et stables de part leurs propriétés mécaniques (cohésions positives), en génie civil, sont essentiellement destinés aux :

- Assises des fondations d'ouvrages d'art ;
- Assises des chaussées : premièrement ils peuvent être utilisées pour les chaussées à faible trafic (zones pavillonnaires, parkings, centres commerciaux, plates formes industrielles, ...), mais actuellement les limons traités sur place sont d'application élargie aux chaussées à trafic moyen et lourd (routes départementales, routes nationales : utilisés jusqu'aux niveaux des couches de base et de fondation des chaussées). En France de l'ouest par exemple, l'assise de la fondation de chaussée est bâtie par les limons traités à la chaux et/ou au ciment (LTCC) sur la route n°74 et compte plus de 50km à trafic fort; [8]

- Remblais des fondations et des chaussées, des digues et barrages ;
- Supports des murs de soutènement, rideaux de palplanches.

### 3.2.2 AMELIORATION DES SOLS LIMONEUX EN GENIE CIVIL

Cette partie du présent travail traite les différents mécanismes d'amélioration de l'état des sols pour lutter contre les dégâts qui guettent la stabilité des ouvrages en génie civil. Pour le cas de notre secteur d'étude, nous avons pu identifier essentiellement deux phénomènes susceptibles d'entraîner l'instabilité des ouvrages d'art. Il s'agit particulièrement de l'affaissement des édifices et la liquéfaction des sols. A ces principaux phénomènes ils peuvent s'ajouter la fissuration des édifices. Face à ces dangers, nous proposons aux distingués usagers de ces sols, dans les différents domaines d'application précités, les traitements préalables des sols qui consistent à améliorer leur capacité portante et à minimiser l'indice des vides afin d'augmenter les caractéristiques mécaniques (cohésion et angle de frottement interne) et de diminuer les déplacements sous les surcharges apportées par les ouvrages. Citons quelques mécanismes d'amélioration de ces sols :

- Le domaine d'amélioration par compactage qui permet d'améliorer la portance des sols par application d'une énergie mécanique.
- Les compactages statiques des solides consistant à introduire à l'aide d'une pompe à haute pression un mortier très visqueux afin d'améliorer en profondeur un sol lâche.
- Le domaine de traitement par consolidation.
- Le domaine de traitement par injection des liants : Cette technique de traitement chimique est utilisée surtout pour colmater les vides épingleés dans le massif sur lequel on veut ériger un édifice permettant de rendre imperméables les limons.
- Les traitements à la chaux et au ciment.

## 4 CONCLUSION

Ce travail présente les pistes de solution sur la connaissance des caractéristiques physiques et mécaniques des sols de Baraka en général et du port de MUSHIMBAKYE en particulier. Ce secteur est classé dans les terrains Ruziziens constitué en général des grès, quartzites, des conglomérats et d'abondants dépôts des sables très récents et d'argiles.

Les résultats des essais de perméabilité, de classification géomécanique, d'identification des sols (l'analyse granulométrique et les limites d'Atterberg), de compactage (l'essai Proctor) et des essais mécaniques (les essais de cisaillement simple) révèlent que les sols de ce secteur sont des limons silteux qui affichent de très fortes perméabilités. Il s'agit des matériaux cohérents moyennement plastiques, durs, de mauvaises qualités mais bons pour les compactages et la construction. La densité sèche varie entre  $1,62\text{g/cm}^3$  et  $1,88\text{g/cm}^3$ , avec une teneur en eau moyenne de 14,86% ; la cohésion est positive, l'angle de frottement interne moyen est de  $22,2^\circ$  (à MUSHIMBAKYE  $C=20\text{KN}$ ,  $\phi=22.6^\circ$  et à MWAMBANGU  $C=30\text{KN/m}^2$ ,  $\phi=21.8^\circ$ ) avec une contrainte moyen de  $150\text{KN/m}^2$ .

Les capacités portantes et les contraintes admissibles ont été établies en fonction de différents types de fondation. Ainsi les terrains de Baraka aux sites étudiés présentent une bonne capacité portante et contrainte admissible.

A MWAMBANGU, pour une fondation de 0.5m de largeur, enfoui à 1m de profondeur et  $L=0.8\text{m}$ , les contraintes admissibles est de  $232.83\text{ KN/m}^2$  pour les semelles filantes,  $270.3\text{ KN/m}^2$  pour les semelles carrées et  $252,8\text{ KN/m}^2$  pour les semelles rectangulaires. A MUSHIMBAKYE, pour les même types de fondations, les contraintes admissibles est de  $190.3\text{ KN/m}^2$  pour les semelles filantes,  $218.1\text{ KN/m}^2$  pour les semelles carrées et  $209.8\text{ KN/m}^2$  pour les semelles rectangulaires. Les semelles isolées carrées peuvent donc supporter les grandes charges. Au-delà ces différentes contraintes admissibles, on assistera au tassement de l'ouvrage. Ce secteur est donc relativement stable pour les ouvrages conçus au respect des normes de portance et contraintes admissibles des sols en place.

Les traitements par compactage, par consolidation, par injection des liants, les traitements à la chaux et au ciment seraient les moyens d'amélioration et traitement de ces sols pour leur applicabilité saine et stable en génie civil.

La perméabilité in situ dans ce secteur varie en fonction de la texture du sol. Elle est plus élevée dans les sols à texture grenue, peu élevée dans le sol microgrenu et très faible dans les sols fins. Elle varie aussi pour les sols à même textures en fonction de l'humidité du sol; elle est faible dans le sol humide et considérable dans les sols peu humides.

Le port de Mushimbake étant parmi nos sites d'investigation, nous avons trouvé que ce site est stable. Les paramètres développés ci-dessus sont à ne pas ignorer lorsqu'on veut y ériger les édifices ou ouvrages stables.

## REFERENCES

- [1] COLLAS, J. et HAVARD, M, *Guide de Géotechnique-Lexiques et essais*, Eyrolles, Paris, 1983, 135p
- [2] Costet J. Guy Sanglerat, *Cours pratique des mécaniques des sols, calculs des ouvrages*, 2<sup>e</sup> ed. Dunod. tomesII, 1975- 351 pages.
- [3] Costet J., G. Sanglerat, *Cours pratique de mécanique des sols Tomes 2*, calcul des ouvrages, 3<sup>e</sup> Ed. Dunod, 1983
- [4] Lérau, J., *Cours de géotechniques I (en ligne)*, Institut National des Science Appliquées(INSA) Toulouse, *Département de sciences et Technologie pour ingénieur*, 3<sup>ème</sup> année Ingénierie de construction, année universitaire 2005-2006
- [5] KOGNONSA, C.B., *Méthodologie de dimensionnement des fondations d'ouvrages d'art en béton armé : application aux ponts-routes sur micro-pieux*, Université Cheik Anta Diop de Dakar – Ecole Supérieure Polytechnique, Dpt de Génie civil, TFE en ligne, Juillet 2004.
- [6] COLLOQUE DE SAINT-MAXIMIN, *Propriétés mécaniques des sols : fondations superficielles, méthodes numérique*, Paris : L.C.P.C., 1978. - 196p
- [7] T. Martinenghi et F. Oboni, *Problème de consolidations primaires*, Laboratoire de Mécanique des Sols de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- [8] SETRA/Laboratoire central des Ponts et chaussées (LCPC), *guide technique des traitements des sols à la chaud et/ou aux liants hydrauliques*, Paris, Décembre 2000.
- [9] MAURICE CASSAN, *les essais de perméabilité sur site dans la connaissance des sols. PARIS* ; presses de l'école nationales des ponts et chaussées, 2005-568p.
- [10] PORTET,F., *aide-mémoire de la mécanique des sols*, ENTE Aix, Bordeaux, 2003.
- [11] Pierre HABIB, *précis de géotechnique des sols et des roches*, Ed. Dunod. Bordas, Paris, 1982, 145p
- [12] Jacques BEAUCHAMP 2003, *mécaniques des sols et des roches*, Université de Picardi, inédit
- [13] Khaled MEFTAM, 2008, *livre de mécanique des sols, université de tunis*, 120p
- [14] LUONGA KIZET, G., *rapport sur la dégradation de l'environnement dans le Territoire de FIZI*, Fondation ITOMBWE, 2011
- [15] Bureau Sectoriel, *rapport administratif du 2ème trimestre du Secteur de MUTAMBALA en Territoire de FIZI*, 2010.