



UNIVERSITE  
JEAN LOROUGNON GUEDE

**UFR ENVIRONNEMENT**

REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur et  
de la Recherche Scientifique

ANNEE ACADEMIQUE :  
2019-2020

N° D'ORDRE : 0455 /2021

N° CARTE D'ETUDIANT :  
CI0415009223

LABORATOIRE :  
LABORATOIRE DES  
SCIENCES ET  
TECHNOLOGIES DE  
L'ENVIRONNEMENT  
(LSTE)

## MASTER

### Géologie Appliquée

Option :

### Géotechnique et Géomatériaux

THEME :

**ETUDE GEOTECHNIQUE POUR LA POSE DES CONDUITES EN  
POLYESTER RENFORCÉ DE FIBRES DE VERRE (PRV) DANS  
LE CADRE D'UN SYSTEME D'APPROVISIONNEMENT EN EAU  
POTABLE : CAS DE LA VILLE DE BOUAKE (CENTRE DE LA  
COTE D'IVOIRE)**

Présenté par :

**OULAÏ Mahopeu Océane Monkoué**

JURY

Président : M. KOUADIO Zilé Alex, Maître de Conférences,  
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Directeur : M. DIBI Brou, Maître de Conférences  
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Encadreur : M. Niangoran Kouadio Charles, Maître de Conférences,  
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Examineur : M. BIE Goha René, Maître de Conférences,  
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Soutenu publiquement

le : 13/10/2021



UNIVERSITE  
JEAN LOROUGNON GUEDE

**UFR ENVIRONNEMENT**

REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur et  
de la Recherche Scientifique

ANNEE ACADEMIQUE :  
2019-2020

N° D'ORDRE : 0455 /2021

N° CARTE D'ETUDIANT :  
CI0415009223

LABORATOIRE :  
LABORATOIRE DES  
SCIENCES ET  
TECHNOLOGIES DE  
L'ENVIRONNEMENT  
(LSTE)

## MASTER

### Géologie Appliquée

Option :

### Géotechnique et Géomatériaux

THEME :

**ETUDE GEOTECHNIQUE POUR LA POSE DES CONDUITES EN  
POLYESTER RENFORCÉ DE FIBRES DE VERRE (PRV) DANS  
LE CADRE D'UN SYSTEME D'APPROVISIONNEMENT EN EAU  
POTABLE : CAS DE LA VILLE DE BOUAKE (CENTRE DE LA  
COTE D'IVOIRE)**

Présenté par :

**OULAÏ Mahopeu Océane Monkoué**

JURY

Président : M. KOUADIO Zilé Alex, Maître de Conférences,  
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Directeur : M. DIBI Brou, Maître de Conférences  
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Encadreur : M. Niangoran Kouadio Charles, Maître de Conférences,  
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Examineur : M. BIE Goha René, Maître de Conférences,  
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Soutenu publiquement

le : 13/10/2021

## **DEDICACE**

Je dédie ce mémoire à mes parents, en particulier à mon père OULAÏ Troh Théophile et ma mère KOYA Oundo Simone épouse OULAÏ pour tous leurs conseils et leur amour à mon égard.

## REMERCIEMENTS

Ce travail est le résultat d'une fructueuse collaboration entre deux institutions : l'Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG) et l'entreprise FRANZETTI. Ce mémoire s'intègre dans le projet de renforcement de l'alimentation en eau potable de la ville de Bouaké à partir du lac de Kossou. Ce projet est l'œuvre du gouvernement Ivoirien à travers le Ministère de l'hydraulique et financé par la Société Générale Côte d'Ivoire (SGCI).

Cette étude n'aurait pas été possible sans la bienveillance et les conseils de nombreuses personnes que je voudrais remercier ici.

Je voudrais d'abord adresser mes vifs remerciements aux autorités de l'Université Jean Lorougnon Guédé avec à leur tête la Présidente, Professeur TIDOU Abiba Sanogo Epse KONE, pour m'avoir offert l'opportunité de faire cette formation.

- ✓ Mes remerciements vont aussi à l'endroit du Directeur de l'UFR Environnement Professeur KOUASSI Kouakou Lazare, pour toutes les initiatives prises pour le développement de l'UFR.
- ✓ Mes remerciements vont également à l'endroit de Docteur DIBI Brou, Directeur scientifique de ce mémoire et Directeur du laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement, qui a bien voulu accepter de diriger ce mémoire de fin de cycle.
- ✓ J'aimerais remercier aussi l'ex Chef de département et encadreur de ce travail Docteur NIANGORAN Kouadio Charles, pour tous les efforts fournis pour la bonne marche du département et l'encadrement de ce mémoire.
- ✓ Je remercie également le responsable du parcours Docteur SOMBO Abé Parfait pour tous les conseils et la formation procurés au cours de notre parcours.
- ✓ J'adresse mes vifs remerciements aux différents enseignants de l'université Jean Lorougnon Guédé pour tous les encouragements et conseils en l'occurrence Docteur BIE Goha René pour tous ses conseils et encouragements, surtout pour sa contribution à l'obtention de ce stage et à l'écriture de ce mémoire ; Docteur GBANGBOT, Docteur DJOMO, Docteur N'DRI Brou, Docteur KOUADIO Zilé Alex et tous les autres enseignants que je n'ai pas cité.

J'exprime aussi toute ma gratitude envers le Directeur de l'entreprise FRANZETTI Côte d'Ivoire, Monsieur Laurent ROUGET pour m'avoir permis de faire ce stage dans sa structure.

- ✓ Je remercie tout particulièrement les responsables des entreprises PFO et FRANZETTI en particulier, Monsieur. TANOH Faustin et Monsieur STOEFFLER Ludovic pour leur aide à l'obtention de ce stage et sa confiance,
- ✓ M. Michel BOUISSOU, Chef de projet du chantier où s'est déroulé ce stage pour m'avoir fait confiance et permis d'intégrer l'équipe de travail de FRANZETTI

- ✓ M. Hugo WIGT, Chef de projet adjoint et maître de ce stage pour sa gentillesse, son aimabilité et sa volonté de m'apprendre.
- ✓ M. BROU Séraphin, Chef topo du chantier et tous les amis et collègues que je n'ai pas cité pour leur bonne collaboration, leur gentillesse et leur aide lors de ce stage.
- ✓ Enfin, je ne peux omettre d'adresser ma profonde gratitude à ma famille et à mes amis, plus particulièrement à Monsieur OULAI Troh Théophile, mon père, Madame OULAI Simone, ma mère, à mes sœurs, Mesdemoiselles TOPKA Stephy, OULAÏ Tiphaine, OULAÏ Fernande, OULAÏ D'avila, OULAÏ Thérèza, mon neveu, TOPKA Samuel, Monsieur YAPO Assemian Sylvestre qui a toujours été là pour moi, Monsieur OULAI Maroine, mon ami, à mes amies, Mesdemoiselles MEMEL Essy Marie Danielle et N'GUESSAN Melissa Reine Andréa Adjoua et à ma communauté religieuse, spécifiquement au groupe SOKA pour le soutien moral qu'ils n'ont cessé de m'apporter.

# TABLE DES MATIERES

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS .....	vii
LISTE DES TABLEAUX .....	viii
INTRODUCTION .....	1
GENERALITES .....	3
1.1.    Présentation de la zone d'étude .....	3
1.1.1.    Situation géographique de la zone d'étude .....	3
1.1.2.    Climat .....	3
1.1.3.    Relief.....	4
1.1.4.    Hydrographie .....	5
1.1.5.    Végétation.....	6
1.1.6.    Géologie et pédologie .....	6
1.1.7.    Démographie.....	8
1.1.8.    Activités socio-économiques .....	8
1.2.    Généralités sur les conduites utilisées en AEP .....	8
1.2.1.    Conduite en Polyester Renforcé de fibre de Verre (PRV).....	8
1.2.1.1.    Caractéristiques et Avantages des tuyaux en PRV .....	9
1.2.2.    Conduite en fonte ductile .....	10
1.2.3.    Conduite en plastique .....	11
1.2.3.1.    Conduite en Polyéthylène Haute Densité (PeHD).....	11
1.2.3.2.    Conduite en Polychlorure de Vinyle (PVC) .....	12
1.2.4.    Avantage et inconvénient de chaque conduite.....	12

1.3	Généralités sur le projet .....	13
1.3.1	Objectif du projet .....	13
1.3.2.	Acteurs concernés par le projet.....	13
1.3.3.	Consistances des travaux .....	14
1.4	Généralités sur la classification géotechnique des sols .....	14
1.5.	Généralité sur le compactage.....	15
MATERIEL ET METHODES .....		17
2.1.	Matériel.....	17
2.1.1.	Matériel de sondage .....	17
2.1.1.1.	Sondage au pénétromètre.....	17
2.1.1.2.	Sondage à la tarière manuelle .....	18
2.1.2.	Matériel des essais d'identification du sol.....	18
2.1.2.1.	Matériel de l'analyse granulométrique .....	18
2.1.2.2.	Matériel de l'essai des limites d'Atterberg.....	19
2.1.3.	Matériel de l'essai Proctor .....	19
2.1.4.	Matériel de vérification du compactage .....	20
2.1.5.	Matériel informatique .....	21
2.2.	Méthodes.....	21
2.2.1.	Détermination de la lithologie et de la résistance de pointe par couche	21
2.2.1.1.	Détermination de la résistance de pointe .....	22
2.2.1.2.	Détermination de la nature et de l'épaisseur des couches de sol traversées .....	22

2.2.2.	Evaluation de la qualité de compactage des matériaux .....	22
2.2.2.1.	Identification des sols .....	22
2.2.2.1.1.	Analyse granulométrique.....	23
2.2.2.1.2.	Détermination des limites d'Atterberg .....	23
2.2.2.1.3.	Détermination de la classe du sol .....	24
2.2.2.2.	Détermination des caractéristiques de compactage des matériaux (Essai Proctor) .....	25
2.2.2.3.	Méthodologie de vérification du compactage.....	25
	RESULTATS ET DISCUSSION .....	27
3.1.1.	Caractérisation des sols en place .....	27
3.1.1.1.	Nature et épaisseur des couches de sol traversés.....	27
3.1.1.2.	Résistance de pointe $R_p$ .....	28
3.1.2.	Résultat de l'évaluation de la qualité de compactage .....	28
3.1.2.1.	Résultat de l'identification des sols .....	28
3.1.2.2.	Caractéristiques de compactage.....	32
3.1.2.3.	Contrôle de compactage .....	33
3.2.	Discussion.....	35
	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....	37
	REFERENCES .....	38



## **LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS**

AEP	: Adduction en Eau Potable
BTP	: Bâtiment Travaux Public
CCTG	: Cahier des Clauses Techniques Générales
CCTP	: Cahier des Clauses Techniques Particulières
Dmax	: Diamètre maximal
DN	: Diamètre Nominal
FAO :	: Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
GLG	: Graveleux Latéritique Grisâtre
GLM	: Graveleux Latéritique Marron
GLR	: Graveleux Latéritique Rougâtre
GPS	: Global Positioning System
Ip	: Indice de Plasticité
ONEP	: Office Nationale de l'Eau Potable
PANDA	: Pénétrromètre Automatique Numérique Dynamique Autonome
PeHD	: Polyéthylène Haute Densité
PFO :	: Pierre Fakhoury Operato
PRV :	: Polyester Renforcé de fibres de Verre
PVC	: Polychlorure de Vinyle
QGIS	: Quantum GIS
Rp	: Résistance de pointe
SGCI	: Société Générale Côte d'Ivoire
SODECI :	: Société de Distribution d'eau de Côte d'Ivoire
UJLoG	: Université Jean Lorougnon Guédé
WL	: Limites de liquidité
Wp	: Limites de plasticité

## **LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau I.</b> Avantages et inconvénients des conduites	13
<b>Tableau II.</b> Acteur du projet	14
<b>Tableau III.</b> Caractéristiques du pénétromètre dynamique lourd	17
<b>Tableau IV.</b> Pourcentage de passant on fonction de la taille du tamis	29
<b>Tableau V.</b> Contrôle de compactage	34

## LISTES DES FIGURES

<b>Figure 1.</b> Carte de la zone d'étude	3
<b>Figure 2.</b> Régime pluviométrique de la ville de Bouaké (1974 à 2015).	4
<b>Figure 3.</b> Relief de la région du Gbêkê	5
<b>Figure 4.</b> Réseau hydrographique de la région du Gbêkê	5
<b>Figure 5.</b> Végétation de la région du Gbêkê	6
<b>Figure 6.</b> Carte géologique de la région du Gbêkê.	7
<b>Figure 7.</b> Pédologie de la zone	7
<b>Figure 8.</b> Structure des tuyaux PRV (Amiblu, 2018)	9
<b>Figure 9.</b> Conduite en PRV	10
<b>Figure 10.</b> Conduite en fonte	11
<b>Figure 11.</b> Conduite en PeHD	11
<b>Figure 12.</b> Conduite en PVC	12
<b>Figure 13.</b> Croquis du remblai en tranché pour la pose de canalisation	15
<b>Figure 14.</b> Pénétrromètre dynamique lourd	17
<b>Figure 15.</b> Tarière manuelle	18
<b>Figure 16.</b> Matériel d'analyse granulométrique	18
<b>Figure 17.</b> Matériel pour la détermination des limites d'Atterberg	19
<b>Figure 18.</b> Matériel essai Proctor	20
<b>Figure 19.</b> Matériel PANDA	20
<b>Figure 20.</b> Points de sondage	21
<b>Figure 21.</b> Coupe géologique du linéaire de sondage	27
<b>Figure 22.</b> Résistance de pointe par couche	28
<b>Figure 23.</b> Courbe d'analyse granulométrique	30
<b>Figure 24.</b> Répartition des matériaux en fonction du pourcentage de fine	30
<b>Figure 25.</b> Répartition des matériaux en fonction des passants au tamis 2 mm	31
<b>Figure 26.</b> Courbe représentative de l'indice de plasticité des matériaux	32
<b>Figure 27.</b> Courbes Proctor des matériaux	33

# **INTRODUCTION**

L'accès à l'eau potable demeure un enjeu majeur à travers le monde en général et particulièrement en Côte d'Ivoire où les villes en pleine extension font face à un réel défi d'alimentation en eau. Bouaké n'est pas en marge de cette situation. En effet, la population actuelle de la ville de Bouaké n'est que partiellement connectée au système d'alimentation en eau potable. Ce système est insuffisant en réseau de distribution, en production et encore plus en ressources (Ministère de l'hydraulique, 2020). Car elle a connu, en 2018, un grave problème d'alimentation en eau potable dû à l'assèchement du lac de la Loka, la ressource principale d'alimentation en eau potable de la ville. L'approvisionnement durable en eau potable des populations, constituant un des axes prioritaires d'intervention du gouvernement dans sa politique de réduction de la pauvreté (Awomon *et al.*, 2018), l'Etat de Côte d'Ivoire a réorienté sa politique de gestion en eau potable par la création du ministère de l'hydraulique.

Le gouvernement a mobilisé de gros investissements pour développer des ressources locales. D'après des études, il a été acté que la sécurisation des ressources en eau de la ville de Bouaké nécessitait la mise en œuvre d'une solution pérenne, en occurrence la prise d'eau brute sur le lac de Kossou qui est le plus grand lac de la Côte d'Ivoire. Ainsi, le projet de renforcement de l'alimentation en eau potable de la ville de Bouaké à partir du lac de Kossou a été initié en vue d'améliorer les conditions d'accès à l'eau potable des populations de la ville de Bouaké. Il vise à mettre en œuvre les aménagements et les solutions techniques pour le renforcement de l'alimentation en eau potable de la ville de Bouaké et des localités environnantes à partir de la retenue d'eau de Kossou (Ministère de l'hydraulique, 2020). Comme tout ouvrage en bâtiment et travaux publics (BTP), la mise en œuvre de ce projet nécessite des études géotechniques. En effet, la géotechnique étant l'étude des paramètres physico-mécaniques du sol, son étude dans la mise en œuvre de tout ouvrage est d'une importance capitale en ce sens qu'elle permet d'appréhender les risques naturels liés à sa mise en œuvre, de déterminer la nature du matériau rencontré donc le type de fondation nécessaire et de garantir une sécurité et une pérennité de l'ouvrage. Dans le cadre d'un système d'Alimentation en Eau Potable (AEP) précisément dans la pose de canalisation, les études géotechniques sont aussi primordiales.

L'utilisation des conduites en PRV (Polyester Renforcé de fibre de Verre) dans un système d'alimentation en eau potable est une innovation en Côte d'Ivoire et ce type de conduite comme toute conduite enterrée a un comportement mécanique avec le sol (Benali, 2016). En effet, sous l'effet de charges surjacentes, les conduites flexibles comme le PRV ont tendances à s'ovaliser en répartissant les charges sur le sol alentour (Amiblu, 2018). Le sol en retour exerce une force sur la conduite ce qui permet de la maintenir en équilibre (Beringue 1990). De ce fait, le sol

réceptif de la conduite doit être à mesure de supporter les charges et garantir une certaine protection et stabilité de la conduite. Quelles sont donc les études géotechniques à mener pour soutenir les conduites en PRV posées en tranchée dans un système d'alimentation en eau potable (AEP) ?

Ainsi pour répondre à cette question, une étude qui a pour thème « **Etude géotechnique pour la pose des conduites en polyester renforcée de fibre de verre (PRV) dans le cadre d'un système d'approvisionnement en eau potable : cas de la ville de Bouaké (Centre de la Côte d'Ivoire)** » a été initiée. L'objectif général de cette étude est d'évaluer la résistance des sols destinés à soutenir la pose des conduites PRV. Il s'agit spécifiquement de :

- Caractériser les sols rencontrés dans la zone d'étude;
- Evaluer la qualité du compactage des matériaux

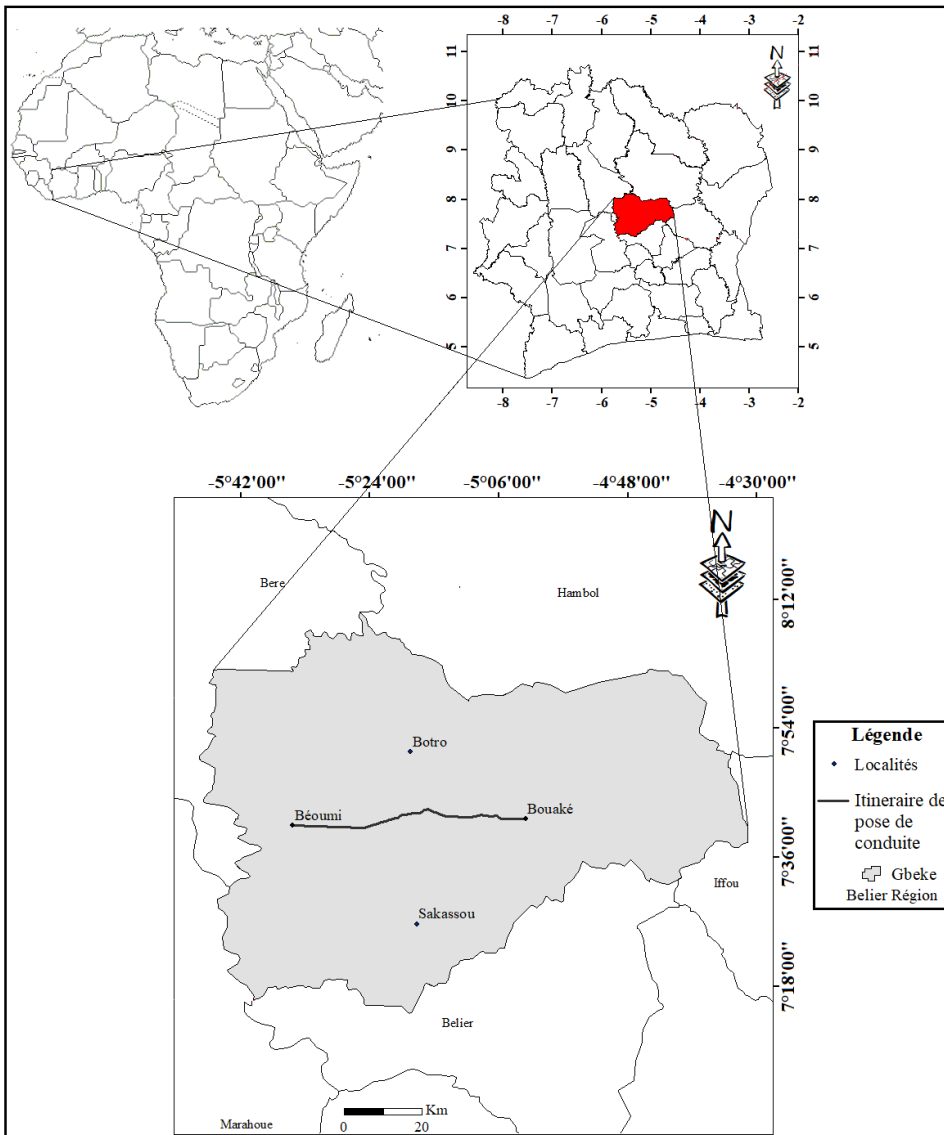
Ce mémoire est structuré en trois parties. La première partie présente le cadre physique de la zone d'étude et les généralités sur les conduites utilisées en AEP, le projet et les études géotechniques. La seconde partie est consacrée à la présentation du matériel et des méthodes utilisés. La troisième partie, rend compte des résultats obtenus et de la discussion de ces résultats. Une conclusion générale assortie de perspectives termine le document.

# **GENERALITES**

## 1.1. Présentation de la zone d'étude

### 1.1.1. Situation géographique de la zone d'étude

Cette étude s'est déroulée entre les villes de Béoumi et Bouaké dans la région du Gbèkè, située au centre de la Côte d'Ivoire. Géographiquement la zone d'étude est située entre 7°18'00'' et 8°12'00'' de Latitude Nord et entre 4°30'00'' et 5,42'00° de Longitude Ouest (Figure 1). Cette zone représente la deuxième plus grande ville de la Côte d'Ivoire (Yao, 2018). Elle a une superficie de 97 km<sup>2</sup> et un périmètre de 86 km.



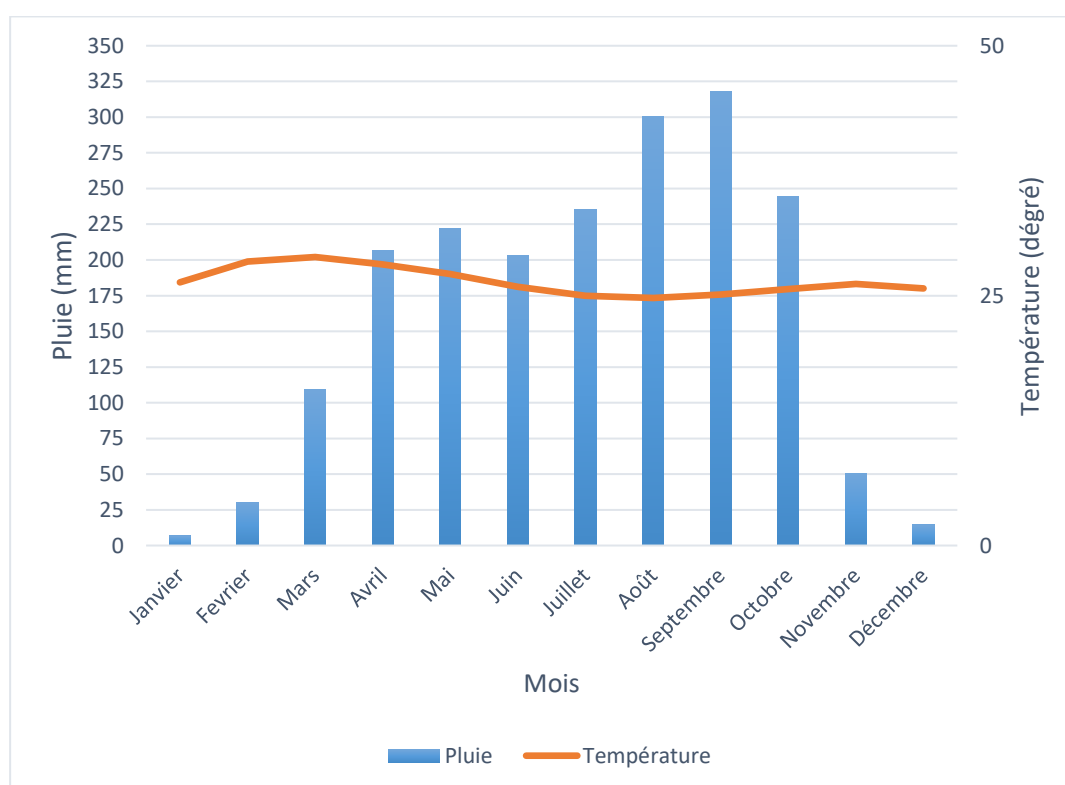
### 1.1.2. Climat

La zone de Bouaké appartient au régime de transition équatorial atténué (Climat Baouléen). Ce



Le régime est caractérisé par quatre saisons avec un régime pluviométrique bimodal comprenant deux saisons de pluie (la grande saison de pluie et la petite saison de pluie) intercalées de deux saisons sèches (la grande saison sèche et la petite saison sèche) comme indiqué dans la figure 2 (Effo *et al.*, 2020). La grande saison de pluie s'étend de mi-mars à mi-juillet et la petite saison entre mi-août à fin octobre. La grande saison sèche est observée de novembre à février et la petite saison de juillet à août. La température moyenne varie entre 28 °C (mois de février, mars et avril) et 24 °C en août.

Les précipitations sont parfois abondantes en fonction des périodes avec des hauteurs moyennes de pluies supérieures à 1200 mm/an. Les données issues de la station pluviométrique de Bouaké, renseignent que la pluie annuelle de la zone du projet variait de 727 à 1423 mm avec une moyenne interannuelle de 1076 mm.



**Figure 2.** Régime pluviométrique de la ville de Bouaké (1974 à 2015).

### 1.1.3. Relief

Le département de Bouaké présente un relief de plateau légèrement incliné vers l'Est avec une altitude moyenne qui varie entre 240 et 390 m (Soro & Koné, 2019). Le plateau est formé de collines peu élevées avec des sommets tabulaires et des pentes faibles comprises majoritairement entre 1 et 16 % (Figure 3).

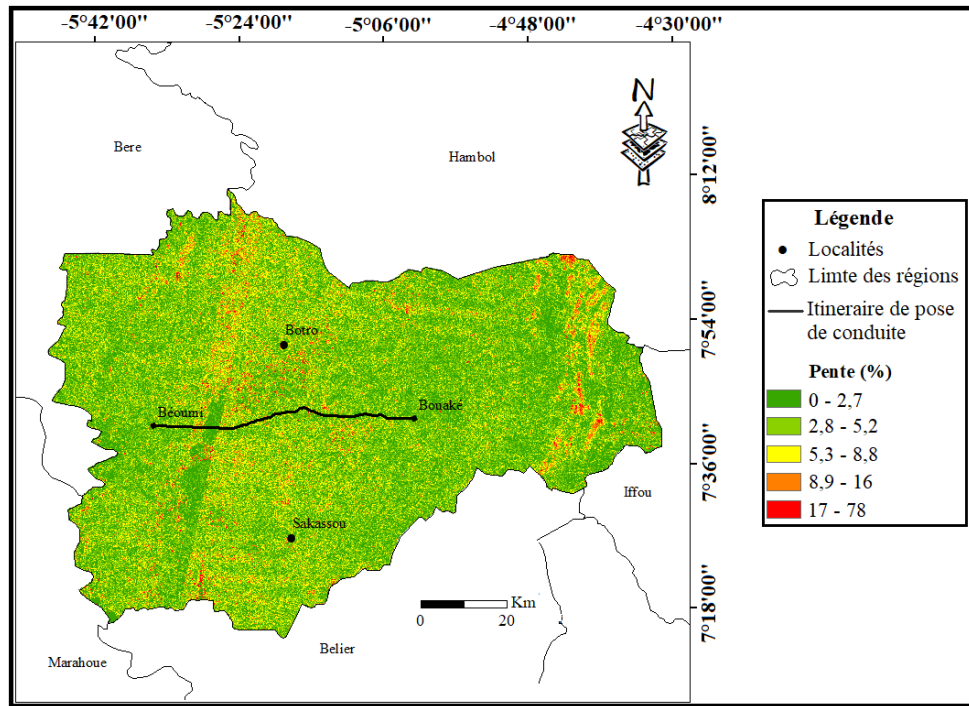


Figure 3. Relief de la région du Gbêkê

#### 1.1.4. Hydrographie

Le réseau hydrographique de la région représenté à la figure 4 est relativement dense. Il est drainé par le Bandama Blanc et ses affluents que sont la Loka, le Kan et le N'zi ainsi que des marigots (Maillard, 2019). Ils constituent un plan d'eau susceptible de jouer un rôle important dans le développement des activités agro-pastorales du Département.

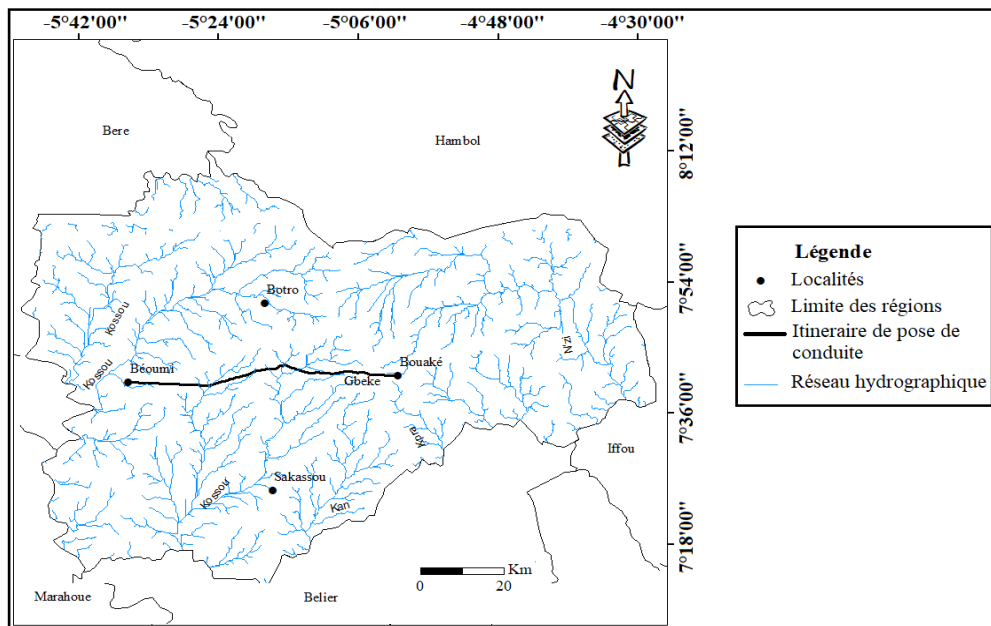


Figure 4. Réseau hydrographique de la région du Gbêkê

### 1.1.5. Végétation

La région est située dans la zone de transition forêt-savane appelée zone préforestière, caractérisée par une végétation de savane parsemée d'îlots de forêt dense sèche. Elle est constituée de savane arborée et des forêts semi décidues. Quelques zones boisées d'assez forte densité se trouvent aussi sur les hauts versants et d'importantes galeries forestières sont localisées le long des cours d'eau et dans les bas-fonds (Kouassi, 2014). Sous l'action conjuguée de l'urbanisation galopante et des cultures vivrières développées de manière extensive sur brûlis, cette végétation a subi de nombreuses transformations (Figure 5).

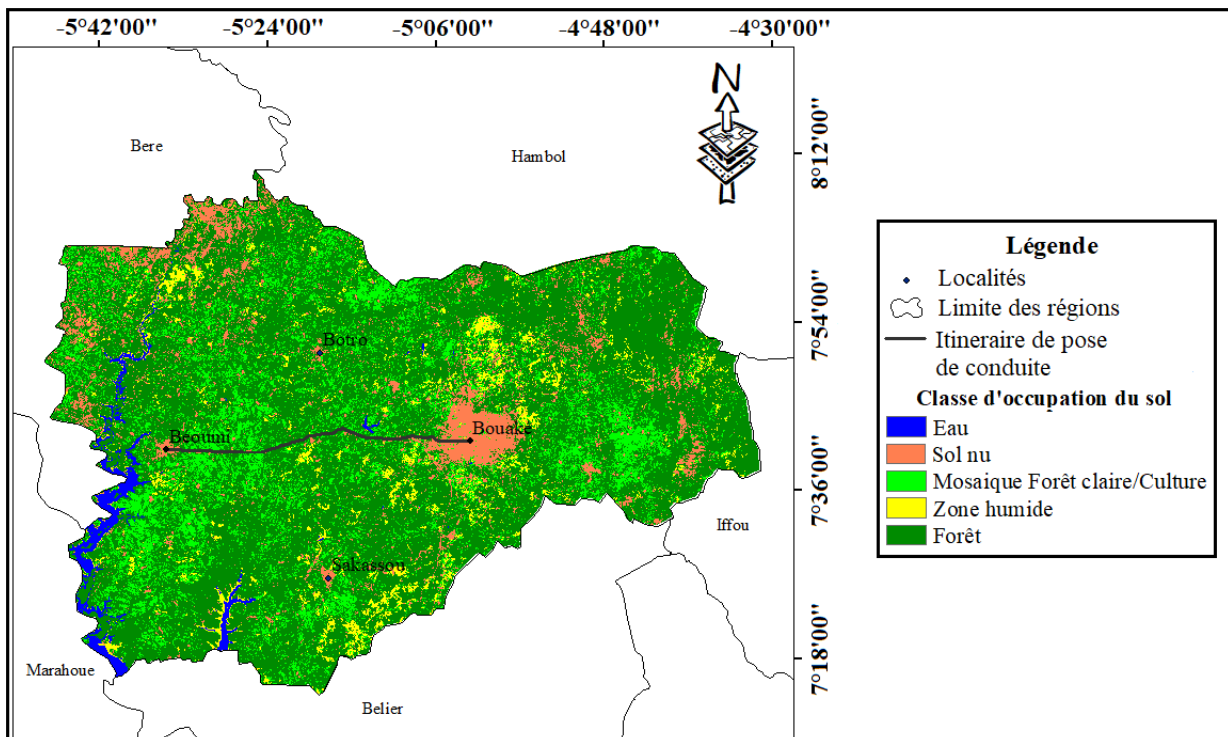


Figure 5. Végétation de la région du Gbêkê

### 1.1.6. Géologie et pédologie

Le substrat géologique de la région est constitué de trois (3) groupes de roches (Douagui *et al.*, 2018). Le premier groupe est composé de roches du complexe granitoïde baoulé (granitoïdes à biotite et subalcalins à deux (02) micas), les deuxième et troisième groupe appartiennent respectivement aux complexes plutoniques abronien et au birrimen. Le complexe plutonique abronien est composé de granitoïdes concordants (granodiorites, granites) et de granitoïdes discordants. Quant aux roches du complexe birrimien, ils sont constitués de conglomérats, de grès, de métasédiments (schiste, quartzites, roches à manganèse), de rhyolites (roche métavulcanites quartziques) et de balsates et andésites (roche métavulcanites non quartziques) (Figure 6).

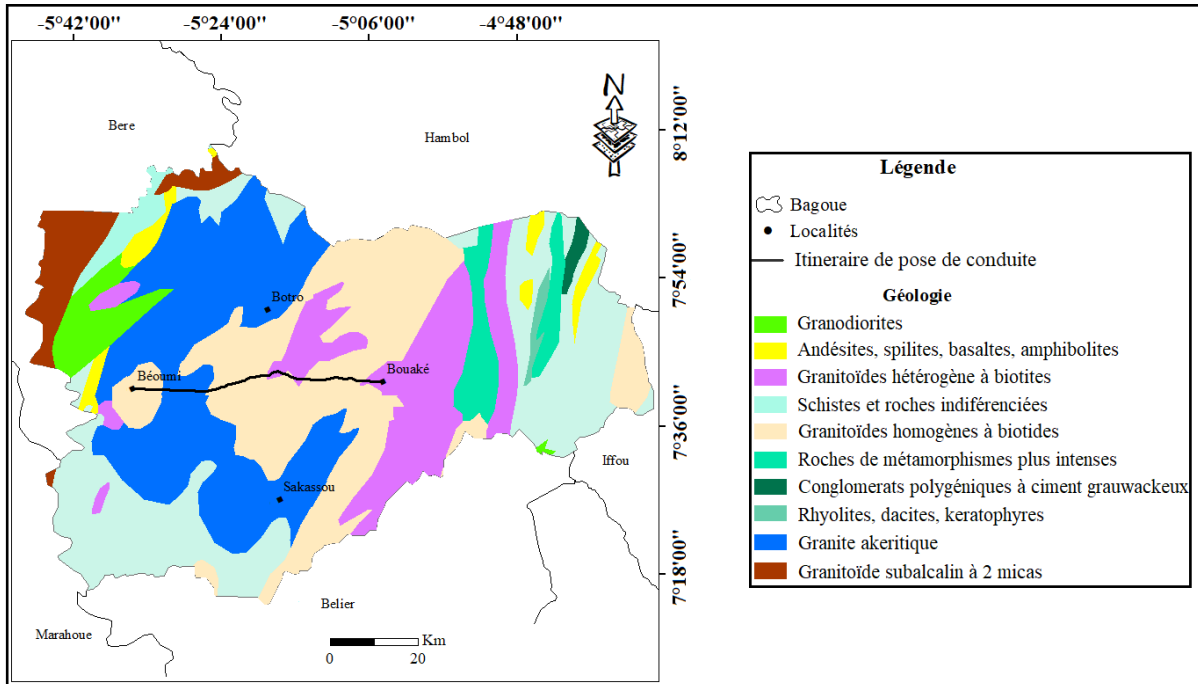


Figure 6. Carte géologique de la région du Gbêkê.

Au niveau des sols, le département possède à la fois des sols ferrallitiques de la forêt et les sols ferrugineux tropicaux des savanes comme décrit à la figure 7. On distingue principalement 3 types de sols selon la nomenclature de la FAO : les acrisols, les luvisols et les cambisols.

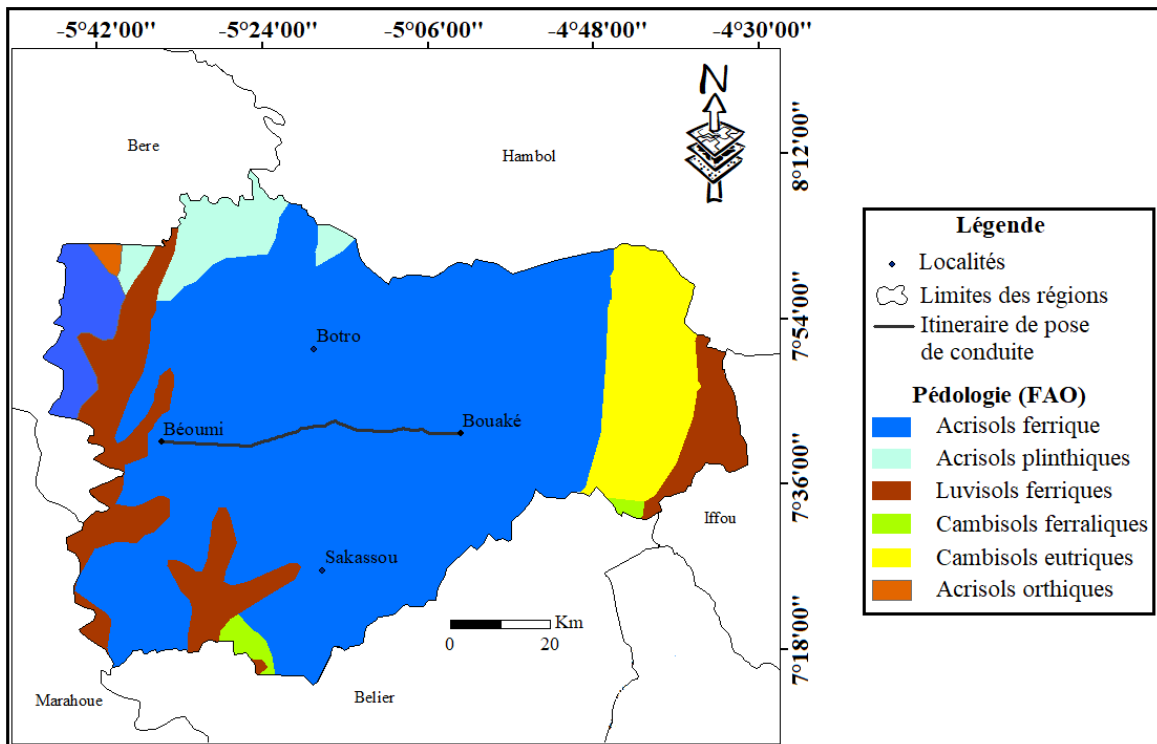


Figure 7. Pédologie de la zone

### 1.1.7. Démographie

Du fait de sa situation géographique qui fait d'elle un carrefour migratoire, Bouaké accueille toute une mosaïque d'ethnies venant des autres régions du pays et aussi de l'Afrique de l'Ouest.

Modeste village au début du siècle, Bouaké est devenue en moins d'un demi-siècle, l'une des plus importantes villes de l'Afrique de l'Ouest. Partie avec une population de 3 500 habitants en 1900, la ville a atteint en 1960, à l'Indépendance, 55 000 habitants. Depuis elle n'a cessé de croître exponentiellement : 1965 : 84 846 habitants ; 1975 : 173 246 habitants ; 1988 : 322 999 habitants ; 1998 : 461 618 habitants. Selon le recensement général de la population et de l'habitat de 2014, la population de Bouaké était de 680 694 habitants (soit un taux d'accroissement de 1,37%.) dont 536 719 habitants pour la commune (Tiemoko, 2008).

Cette population est quasi égale en termes de sexe avec 342 574 hommes et 338 120 femmes.

### 1.1.8. Activités socio-économiques

L'agriculture est l'activité principale des populations originaires de Bouaké (Babo, 2006). C'est une agriculture non mécanisée et extensive caractérisée par une faible utilisation des intrants, l'absence de mécanisation agricole et une main d'œuvre essentiellement familiale. Elle se subdivise en cultures de rente et en cultures vivrières. Les principales cultures de rente sont l'anacarde, le coton et le tabac.

En plus de l'agriculture, les populations pratiquent aussi l'élevage, l'artisanat, le commerce, l'industrie, le transport, le tourisme et l'hôtellerie.

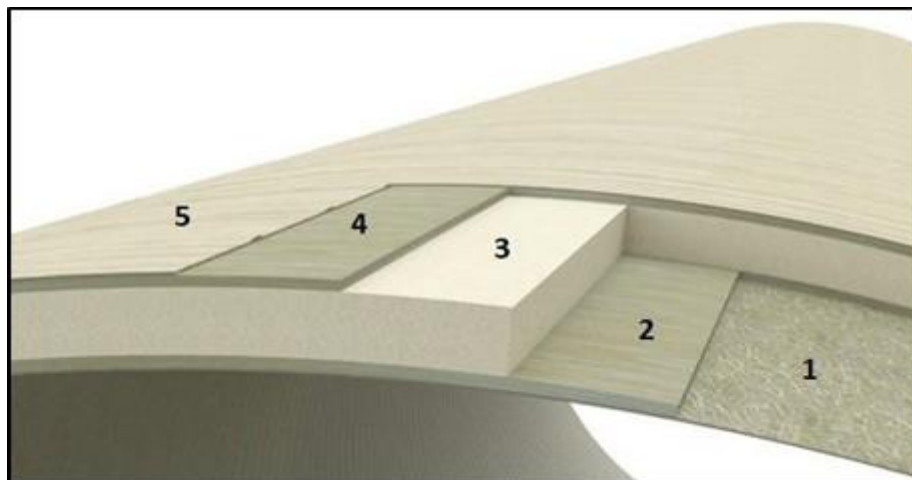
## 1.2. Généralités sur les conduites utilisées en AEP

Plusieurs types de conduite sont utilisés en AEP, mais les caractéristiques diffèrent d'une conduite à l'autre. Selon Zougrana (2003), une conduite est désignée par trois (03) éléments : la nature, le diamètre nominal (DN) et la pression de service ou pression admissible. Toujours selon le même auteur, le choix des conduites se base sur trois critères à savoir les paramètres physico chimiques de l'eau transportée, la nature des terrains traversés et la fonction de la conduite dans le système AEP. À ces critères, Dahmoune & Benguesmia (2018) ajoutent la pression supportée par la conduite et l'ordre économique (coût et disponibilité sur le marché) Nous avons notamment les tuyaux en fonte, en PVC, PeHD, en acier, en béton armé et en PRV. Le type de conduite utilisé dans le cadre de cette étude est le PRV.

### 1.2.1. Conduite en Polyester Renforcé de fibre de Verre (PRV)

L'utilisation du PRV en AEP est une innovation en Côte d'Ivoire. Les PRV sont des conduites

plastiques thermodurcissables fabriqués par enroulement filamentaire à base de résine, de fibre de verre et de sable siliceux. Ils sont constitués de couches successives qui leur confèrent diverses propriétés et ont une durée de vie supérieure à 50 ans. Leur structure est représentée à la figure 8.



**Figure 8.** Structure des tuyaux PRV (Amiblu, 2018)

1= Ligne Interne d'épaisseur 0,6 mm minimum. Il est constitué de résine renforcée d'un voile de fibres de verre. Cette première couche assure la protection chimique du tube et l'étanchéité totale de la paroi du tube.

2= Couche structurelle Interne composée essentiellement de fibres de verre enroulées et coupées. Cette couche associée à la couche structurelle externe donne les propriétés mécaniques du tube et en particulier la résistance à la pression.

3= Ame du Tube constitué essentiellement d'un mélange de sable et fibres de verre enroulées, coupées et imprégnées de résine. Cette âme contribue à fournir aux tubes des propriétés spécifiques augmentant l'inertie et donc la rigidité des tubes.

4= Couche structurelle Externe composée essentiellement de fibres de verre enroulées et coupées. Cette couche associée à la couche structurelle Interne donne les propriétés mécaniques du tube et en particulier la résistance à la pression.

5= Ligne Externe très riche en résine et renforcé de fibres de verre

### **1.2.1.1. Caractéristiques et Avantages des tuyaux en PRV**

Le PRV illustré à la figure 9 présente plusieurs caractéristiques correspondantes à des avantages particuliers que sont :

- une bonne résistance chimique à la corrosion ce qui fait qu'ils n'ont pas besoin de revêtement, d'enduit, de protection cathodique, d'enveloppe ou d'autres formes de protection

supplémentaire contre la corrosion ;

- une installation possible dans tout type de sols avec nappes salines ou saumâtres ;
- un faible coût de maintenance et bonne résistance à l'abrasion ;
- un faible poids environ 1/10 du poids du béton ce qui induit un faible coût de transport (possibilité de télescopage) et ne nécessite pas d'équipements de manutention coûteux ;
- de grandes longueurs standards disponibles ;
- des caractéristiques hydrauliques supérieures ;
- intérieur extrêmement lisse ce qui favorise une accumulation moindre de boues donc des coûts de nettoyage plus faibles.



**Figure 9.** Conduite en PRV

A= PRV posé en tranchée

B= PRV bardé près d'une zone de pose

### 1.2.2. Conduite en fonte ductile

La fonte ductile (figure 10) est un acier doux composé de fer contenant 2,2 à 4% de carbone (Zougrana, 2013). Elle a trois (3) qualités remarquables que sont :

- La résistance à la traction et aux chocs ;
- L'élongation importante ;
- La haute limite élastique.

Son revêtement intérieur est à base de ciment centrifugé. Les conduites en fonte ductile sont produites en éléments de 6 m de longueur. L'assemblage des conduites en fonte ductile se fait de trois manières :

- joint mécanique ou joint express standard verrouillé ou auto buté ;

- joint à brides ;
- joint élastomère ou joint automatique standard ou à bride emboîtement.



**Figure 10.** Conduite en fonte

### 1.2.3. Conduite en plastique

#### 1.2.3.1. Conduite en Polyéthylène Haute Densité (PeHD)

Les conduites en polyéthylène haute densité (PeHD) sont des conduites flexibles dont l'usage s'est répandu pour les petits diamètres, notamment les branchements. Elles ont pratiquement les mêmes caractéristiques que les conduites PVC. Leur conditionnement se fait en rouleaux de 25, 50 ou 100 m. L'assemblage est fait par soudure miroir ou manchonnage. A diamètre égal, la conduite posée revient plus chère que le PVC. Elles concurrencent aujourd'hui la fonte pour des diamètres inférieurs à 450 mm (figure 11).



**Figure 11.** Conduite en PeHD



### 1.2.3.2. Conduite en Polychlorure de Vinyle (PVC)

L'utilisation des conduites en polychlorure de vinyle (PVC) s'est largement répandue au cours des années 80 en Afrique. Elles sont constituées de plastique rigidifié par extrusion à haute température. Elles sont très sensibles aux chocs qui les rompent, aux charges trop lourdes qui les ovalisent ou les écrasent, enfin à l'insolation qui leur fait perdre leur résistance aux pressions (intérieure et ou extérieure). Elles sont fournies en des éléments de longueur courante de 6 m pour des raisons de transport et quelquefois 12 m. Les épaisseurs varient en fonction de la pression nominale. L'assemblage se fait par joint automatique rapide ou par collage (figure 12)



**Figure 12.** Conduite en PVC

### 1.2.4. Avantage et inconvénient de chaque conduite

Les avantages et inconvénients liés à chaque conduite sont consignés dans le tableau I.

**Tableau I.** Avantages et inconvénients des conduites

Type de conduite	Avantages	Inconvénients
FONTE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bonne résistance à la corrosion</li> <li>- très rigide et solide</li> <li>- bonne résistance aux forces internes</li> <li>- facilité de pose</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- très lourde</li> <li>- cout important pour transport</li> </ul>
PEHD	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bonne élasticité</li> <li>- Coefficient de rugosité faible</li> <li>- bonne résistance à la corrosion</li> <li>- facilité de pose</li> <li>- disponible sur le marché</li> <li>- bonne résistance aux hautes températures (90°)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- coût de pose cher que le PVC</li> <li>- durée de pose longue pour des gros diamètres</li> </ul>
PVC	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bonne résistante à la corrosion</li> <li>- disponible sur le marché</li> <li>- une pose facile</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sensible aux chocs et à l'insolation</li> <li>- sensible en zone marécageuse</li> <li>- mauvaise résistance à l'écrasement au cours du vieillissement</li> </ul>
PRV	<ul style="list-style-type: none"> <li>- résistante à la corrosion</li> <li>- faible coût de maintenance et de transport</li> <li>- perte de charge plus faible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pièces non disponibles sur le marché</li> <li>- coût élevé de fourniture</li> <li>- difficulté de pose et manipulation</li> </ul>

### **1.3 Généralités sur le projet**

#### **1.3.1 Objectif du projet**

Le projet d'un coût global d'environ 169,3 milliard se situe dans le cadre du renforcement de l'alimentation en eau potable de la ville Bouaké et des localités environnantes.

Il vise à résoudre durablement (jusqu'à 2045) les problèmes d'eau de cette population dont le besoin en 2020 est estimé à 55 000 m<sup>3</sup>/jour. Il permettra à l'horizon 2030 d'augmenter la capacité de production en eau de la ville de Bouaké à 112 439 m<sup>3</sup>/jour pour un besoin estimé à 111 650 m<sup>3</sup>/jour. A l'horizon 2040, cette capacité de production d'eau sera portée à l'horizon 2040 à 172 439 m<sup>3</sup>/jour pour un besoin estimé à 165 212 m<sup>3</sup>/jour.

#### **1.3.2. Acteurs concernés par le projet**

Les cadres institutionnelles du projet sont présentées dans le tableau II

**Tableau II.** Acteur du projet

MINISTERE DE L'HYDRAULIQUE	Maitre d'ouvrage
ONEP	Maître d'ouvrage délégué
TERRABO	Assistant Technique au Maître d'ouvrage (Mission de contrôle)
PFO	Titulaire du marché
VEOLIA SEURECA	Contrôle interne à PFO
FRANZETTI	Chargé des travaux de pose de canalisation

### 1.3.3. Consistances des travaux

La mise en œuvre du projet confié au groupe PFO consiste en la réalisation de plusieurs ouvrages, notamment une plateforme flottante de prise d'eau brute sur le lac Kossou, une station d'exhaure d'une capacité de 4000 m<sup>3</sup>/jour, la pose de conduite DN 1200 sur 49 km pour le transfert de l'eau brute de l'exhaure jusqu'à la station de traitement, une unité de traitement d'eau de surface d'une capacité de 5000 m<sup>3</sup>/h à la station de traitement de la Loka avec la construction de bâtiments annexes.

Les travaux consisteront aussi à la réalisation d'une bache de stockage d'eau traitée d'une capacité de 10 000 m<sup>3</sup> sur le site de la Loka, une station de reprise accolée à la bache de stockage pour le refoulement de l'eau traitée vers le château de Bouaké, un nouveau château d'eau d'une capacité de 5000 m<sup>3</sup> sur une tour de 30m sur le site de Sinko et la pose de conduite DN 1000 sur 14,5 km pour le transfert d'eau traitée de la station de reprise vers le nouveau château.

La présente étude est relative à la pose des canalisations DN 1200 sur 49 km pour le transfert d'eau brute de l'exhaure à la station de potabilisation et DN 1000 sur 14,5 km pour le transfert d'eaux traitées de la station de refoulement au nouveau château.

### 1.4 Généralités sur la classification géotechnique des sols

Le sol qui est la partie supérieure de l'écorce terrestre est un matériau naturel qui peut se définir

comme un ensemble de grain meuble, poreux et hétérogène constitué de phase solide, liquide et gazeuse (Léreau, 2006). Les sols sont de nature géologique diverse et sont composés de particules grossières et de particules fines. Leur classification est fonction de la taille des grains et du comportement plastique des fines qui les constituent. Selon la norme française NF P11-300 on distingue quatre (4) classes de matériaux : A, B, C et D :

Classe A : Sols fins

Classe B : Sol sableux et graveleux avec fines

Classe C : Sol comportant des fines et des gros éléments Classe D : Sol insensible à l'eau

### 1.5. Généralité sur le compactage

Le compactage est l'ensemble des procédés mécanique (charges, vibration, chocs), qui mènent à la diminution du volume et à l'amélioration de la densité d'un sol. La texture du sol ainsi resserrée élève la compacité du sol, améliore sa capacité portante et limite les déformations et tassements (Oudni, 2018). En pose de canalisation, le compactage permet de garantir une stabilité de la conduite et assure sa protection contre les charges surjacentes et est effectué sur plusieurs couches de remblai. Le remblai est un apport de terre que l'on fait pour combler une cavité ou pour élever un niveau de terrain. La nature des matériaux utilisés pour le remblai est fonction des spécifications du marché. Selon le fascicule 70 du Cahier des Clauses Technique Générales (CCTG), le remblai en tranché pour la pose de canalisation est constitué de deux (2) grandes parties : la zone d'enrobage et le remblai proprement dit (figure 13).

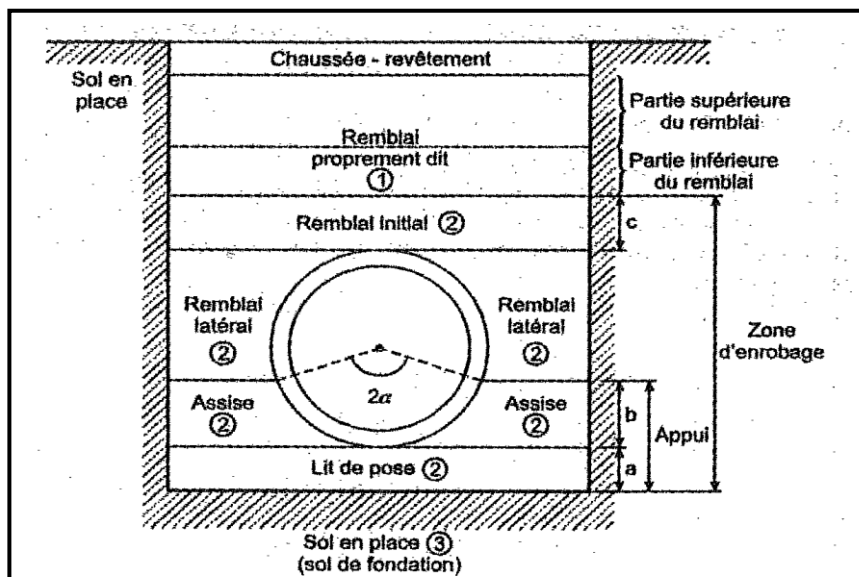


Figure 13. Croquis du remblai en tranché pour la pose de canalisation

a= épaisseur lit de pose ; b= épaisseur couche d'assise ; c= épaisseur remblai initial

# **MATERIEL ET METHODES**

## 2.1. Matériel

Le matériel qui a servi à la réalisation de cette étude se compose de matériel de sondage (matériel de sondage pénétrométrique et matériel de sondage à la tarière manuelle), de matériel d'essai d'identification du sol, de matériel de vérification de compactage et de matériel informatique.

### 2.1.1. Matériel de sondage

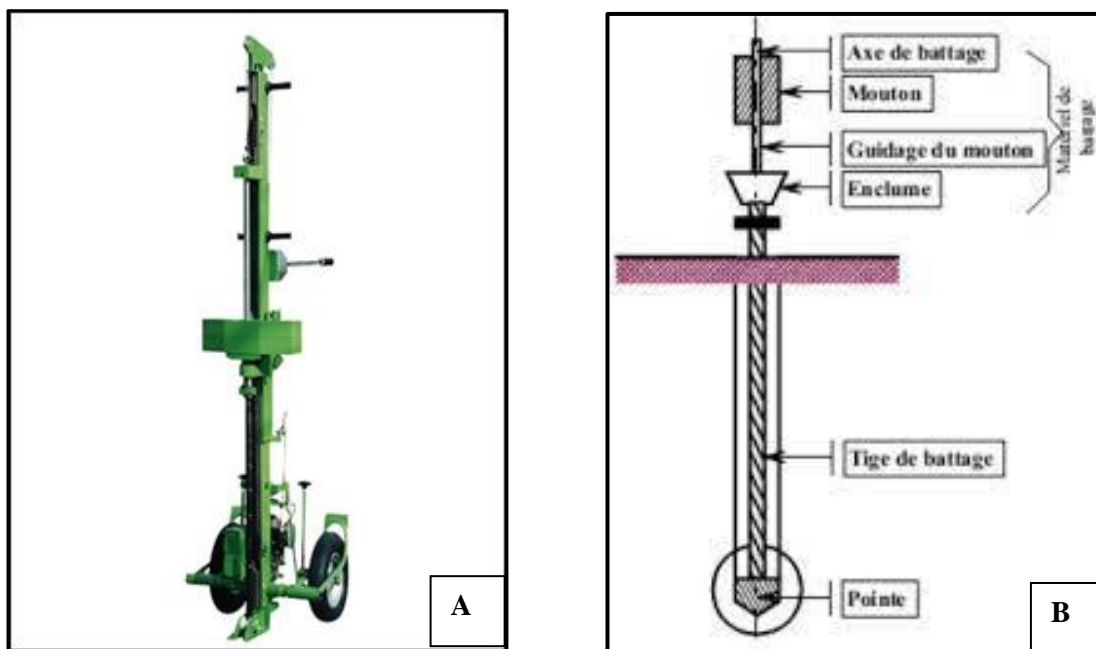
Le matériel de sondage qui a permis de faire la reconnaissance du site se compose de pénétromètre et de tarière manuelle.

#### 2.1.1.1. Sondage au pénétromètre

Le matériel qui a servi à l'essai pénétrométrique est un pénétromètre dynamique lourd (Figure 14). Il a permis de déterminer la résistance des couches de sol traversées lors du sondage. Ses caractéristiques sont consignées dans le tableau III.

**Tableau III.** Caractéristiques du pénétromètre dynamique lourd

Masse du mouton (M)	63,5 kg
Hauteur de chute (H)	0,75m
Section de la pointe	20 cm <sup>2</sup>



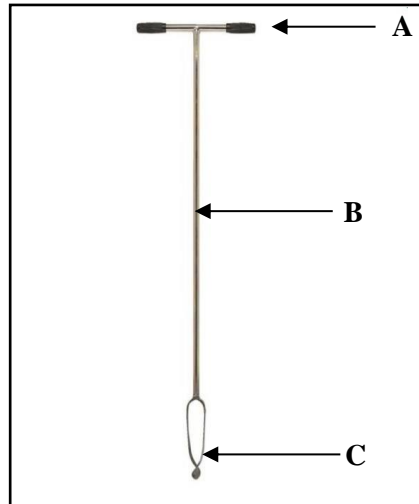
**Figure 14.** Pénétromètre dynamique lourd

A= photo de pénétromètre dynamique lourd

B= schéma simplifié du pénétromètre

### 2.1.1.2. Sondage à la tarière manuelle

Le sondage est réalisé à l'aide d'une tarière manuelle de 100 mm de diamètre composé d'une rallonge et d'une poignée en T (Figure 15). Il a permis de faire une reconnaissance des couches de sol en présence (nature et épaisseur) et de déterminer le niveau de la nappe.



**Figure 15.** Tarière manuelle

A= poigné

B= rallonge

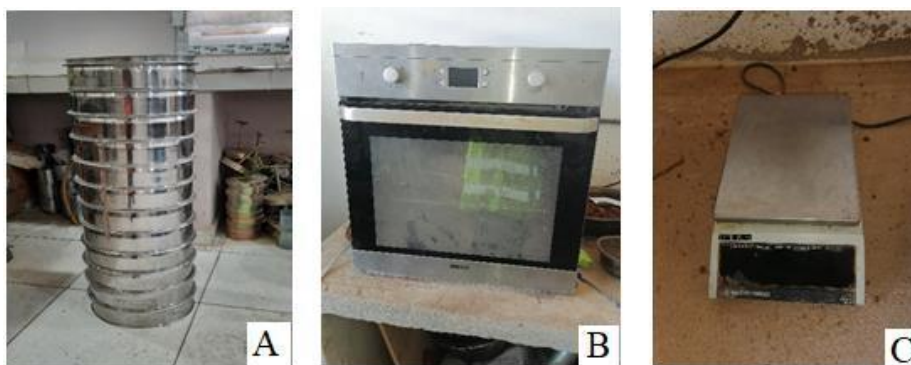
C= tarière

### 2.1.2. Matériel des essais d'identification du sol

L'identification des sols est le résultat de deux (02) essais combinés que sont l'analyse granulométrique et la détermination de l'indice de plasticité (limites d'Atterberg).

#### 2.1.2.1. Matériel de l'analyse granulométrique

Ce matériel se compose d'un ensemble de quinze (15) tamis de diamètre compris en 80 mm et 0,063 mm (Figure 16A), d'une balance (Figure 16C) pour peser la masse du sol, d'une étuve (Figure 16B) pour sécher le matériau et d'un vibreur. Il a permis de classer le matériau en fonction de la répartition pondérale des grains (Figure 16).



**Figure 16.** Matériel d'analyse granulométrique

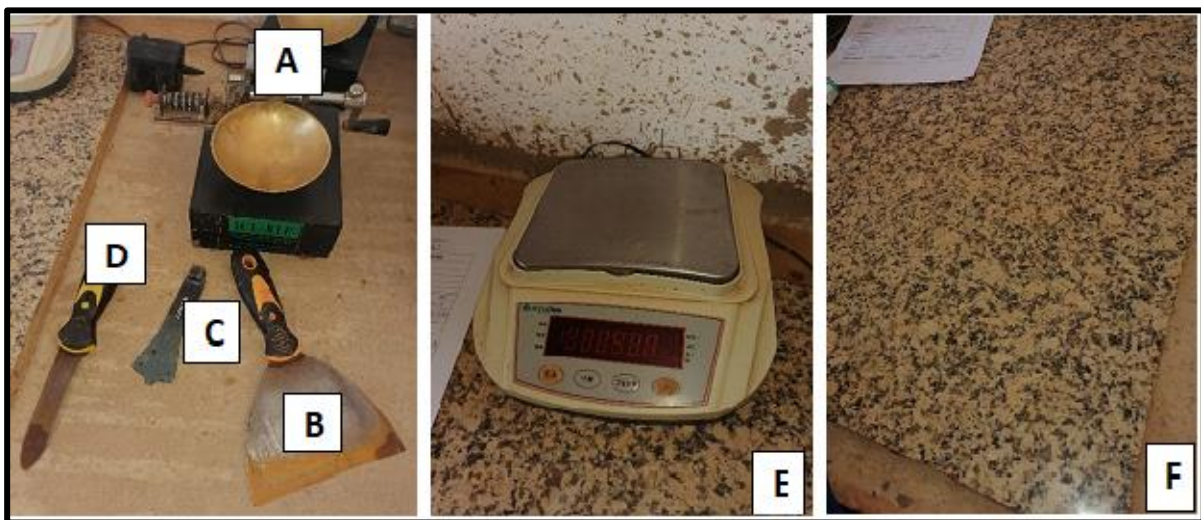
A= colonne de tamis

B= étuve

C= balance électronique

### 2.1.2.2. Matériel de l'essai des limites d'Atterberg

La détermination des limites d'Atterberg s'est faite par utilisation d'une étuve, une balance (Figure 17E), des spatules pour malaxer et prélever le matériau (Figures 17C et 17D), une pissette pour humidifier le sol. Spécifiquement pour la limite de liquidité, un appareil de Casagrande (Figure 17A) et un outil à rainurer (Figure 17C) ont été utilisés. Pour la limite de plasticité, une plaque de marbre (Figure 17F), une règle graduée permettant d'apprécier le diamètre des rouleaux de sols sont utilisés. Il permet de déterminer les seuils de liquidité et de plasticité du matériau (Figure 17).



**Figure 17.** Matériel pour la détermination des limites d'Atterberg

A= appareil de Casagrande ; B= spatule ; C= outil à rainurer ; D= langue de chat ;  
E=balance électronique ; F= plaque en marbre.

### 2.1.3. Matériel de l'essai Proctor

Le matériel utilisé pour la détermination des caractéristiques de compactage se compose principalement d'un moule Proctor, d'une dame Proctor. Cet essai permet de déterminer la teneur en eau optimum pour laquelle le compactage conduit à une masse volumique sèche maximale (Figure 18).



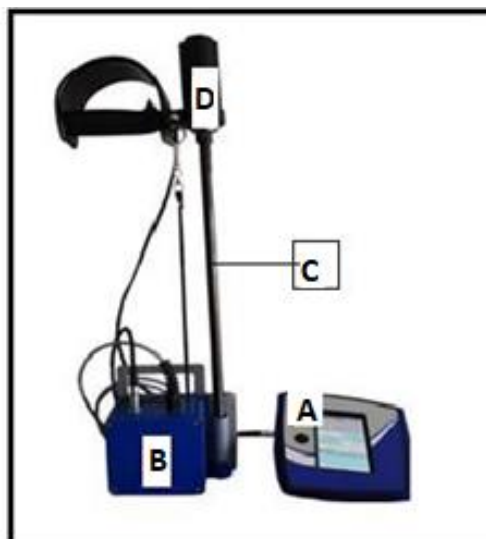


**Figure 18.** Matériel essai Proctor

A= moule Proctor ; B= dame Proctor

#### 2.1.4. Matériel de vérification du compactage

La vérification du compactage a été faite à l'aide d'un pénétromètre dynamique léger à énergie variable, le PANDA. Il est constitué d'un enregistreur (Figure 19A), d'un marteau et d'une enclume (Figure 19D), d'un train de tige (Figure 19C) et d'un capteur (Figure 19B). Il a permis de vérifier l'état de compactage du matériau par rapport aux objectifs de densification (Figure 19).



**Figure 19.** Matériel PANDA

A= enregistreur PANDA ; B= capteur permettant de calculer l'enfoncement par nombre de coup;

C= train de tige ; D= enclume

### 2.1.5. Matériel informatique

Le logiciel Statistica 7.1 a été utilisé pour le traitement statistique des données de sondage ainsi que la réalisation des graphiques.

Les logiciels Quantum GIS (QGIS) version 2.18 et Surfer version 15 sont utilisés pour la réalisation des cartes de sondage et la coupe géologique du sol.

## 2.2. Méthodes

### 2.2.1. Détermination de la lithologie et de la résistance de pointe par couche

La détermination des différentes couches du sol et la résistance de pointe par couche a été fait par sondages sur tout le linéaire prévu pour la pose de conduite (Figure 20) selon les coordonnées GPS du tracé. Au total 74 points numérotés de PD1/T1 à PD74/T74 ont été sondés entre Béoumi et Bouaké.

- 74 points ont été sondés à la tarière manuelle à 3 m de profondeur ;
- 74 points ont été sondés au pénétromètre dynamique à 5 m de profondeur.

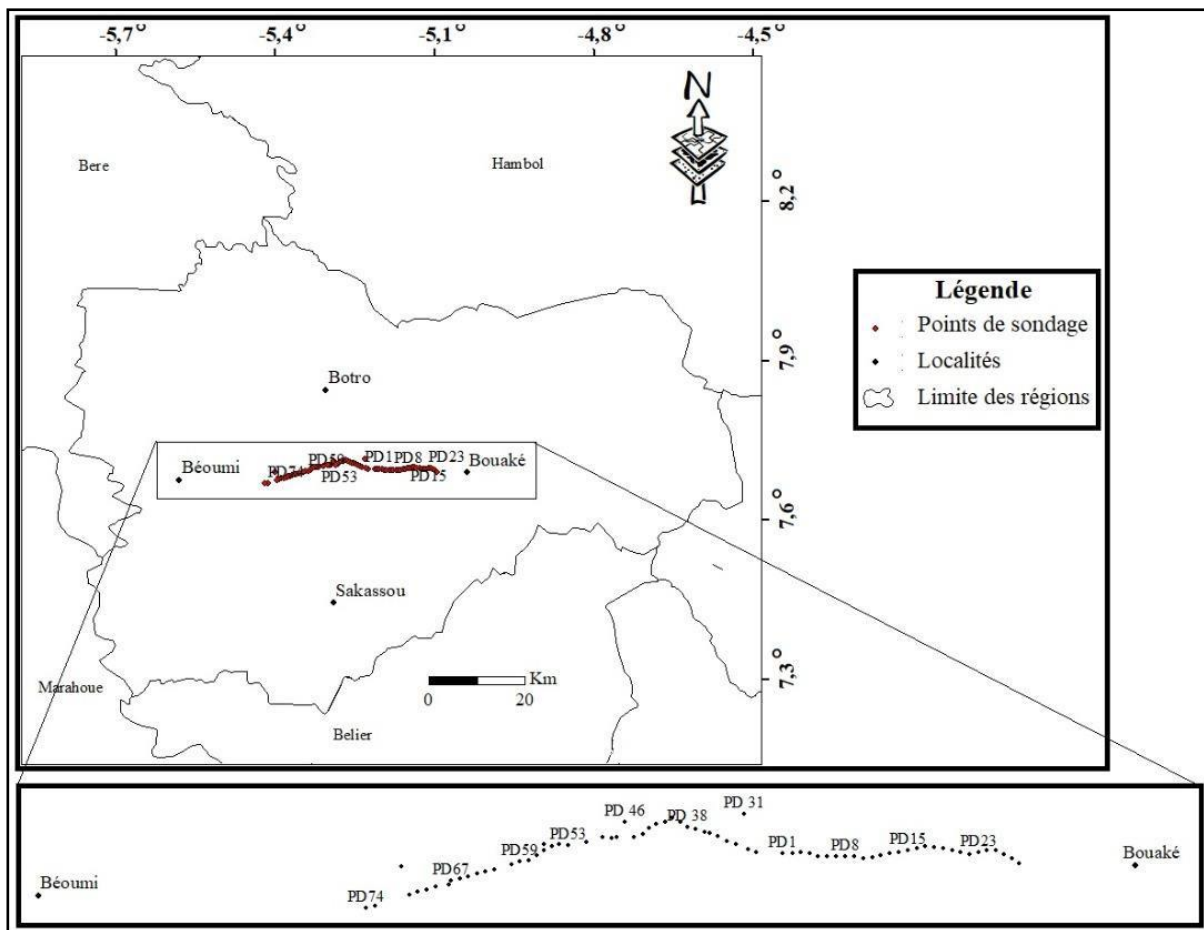


Figure 20. Points de sondage

### 2.2.1.1. Détermination de la résistance de pointe

Le sondage a consisté à enfoncer dans le sol, par battage, un train de tiges muni d'une pointe métallique dans le but de compter le nombre de coups nécessaires pour l'enfoncement de 20 cm de train de tige sous un mouton qui tombe en chute libre à 75 cm de hauteur. On en déduit la pénétration moyenne par coup ( $e$  en cm). La résistance dynamique est calculée à partir de la formule des Hollandais (Equation 1). Elle permet de déterminer le sol support pour la pose des canalisations.

$$Rp = \frac{M^2 \cdot H \cdot g}{A \cdot e \cdot (M + P)} \quad (\text{Equation 1})$$

M : Masse du mouton H : Hauteur de chute

g : Accélération de la pesanteur (m/s)

A : Section de la pointe

e : Enfoncement moyen par coup

P : masse frappée + masse du mouton ( $P = M' + M$ ).

### 2.2.1.2. Détermination de la nature et de l'épaisseur des couches de sol traversées

Le sondage à la tarière est réalisé manuellement. Il s'agit de forer à la main avec une tarière continue de 100 mm de diamètre par un mouvement de rotation dans le sens des aiguilles d'une montre. Une fois la tarière enfoncée sur toute sa longueur, elle est retirée du sol et l'échantillon recueilli est mesuré afin de déterminer l'épaisseur des différentes couches traversées. La coupe géologique et le niveau d'eau sont déterminés à partir des données de la tarière manuelle. Ces données recueillies sont traitées dans le logiciel Statistica puis reportées dans le logiciel Surfer. Ainsi, les données sont traitées et la carte de la coupe géologique est établie

## 2.2.2. Evaluation de la qualité de compactage des matériaux

La qualité du compactage est évaluée à partir d'un essai in situ au pénétromètre dynamique léger et est fonction de la classe du matériau, de sa densité sèche maximale, de l'objectif de compactage et de l'état hydrique du matériau lors de l'essai.

### 2.2.2.1. Identification des sols

Un échantillon de sol est prélevé sur site en moyenne chaque 150 m ou lors du changement de terrain, à une profondeur minimum de 1,50 m. Cet échantillon conservé dans un sac et étiqueté en fonction du profil, de la date de prélèvement et de la nature du matériau, est acheminé au

laboratoire de sorte à ne pas détériorer le matériau (Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du Québec, 2008). Au total, dix(10) matériaux numérotés de M1 à M10 ont été prélevés. La classification est faite pour un échantillon donné à partir de la synthèse des données de l'analyse granulométrique et des limites d'Atterberg. Selon la norme française NF P 11-300.

### 2.2.2.1.1. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique a pour but de connaître la répartition quantitative pour chaque classe dimensionnelle des particules élémentaires constituant l'échantillon. Elle est faite conformément à la norme française NF P 94-056.

L'échantillon de sol prélevé (2500g) est séché à l'étuve à une température maximale de 105°C pendant 24h. Le matériau est ensuite imbibé dans l'eau pendant 5 minutes puis lavé à l'aide des tamis de diamètre 31,5 mm et 0,1 mm pour éliminer les fractions argileuses et fillers contenu dans le matériau. Le matériau est séché une seconde fois à l'étuve à 105°C pendant 24h puis pesé et passé à la colonne de tamis disposé du haut vers le bas par ordre de diamètre décroissant (80 – 63 – 50 – 40 – 31,5 – 20 – 16 – 10 – 5 – 2 – 1 – 0,5 – 0,2 – 0,08 – 0,063). Le tout posé sur un vibreur qui actionne le tamisage est recouvert d'une couverture pour empêcher la perte du matériau et terminé par un fond étanche qui recueille toutes les particules fines du matériau. On détermine alors le pourcentage de passant (tamisât) et de refus (matériau resté sur le tamis) de chaque tamis par rapport à la masse totale. Les pourcentages de passant aux tamis de diamètre 0,08 mm et 2 mm ainsi le diamètre maximal vont permettre de déterminer la classe des grains selon la classification du guide de terrassement routier et la norme française NF P11-300.

### 2.2.2.1.2. Détermination des limites d'Atterberg

Les limites d'Atterberg sont les limites de liquidité ( $W_L$ ) et de plasticité ( $W_p$ ) des matériaux. Ce sont les seuils de teneur en eau respectif entre l'état liquide et l'état plastique et entre l'état plastique et l'état solide (Djoudi *et al.*, 2015). Elles permettent de calculer l'indice de plasticité  $I_p$  qui est la teneur en eau du sol dans son état plastique (Equation 2). Les résultats sont exprimés en pourcentage (%).

$$I_p = W_L - W_p \quad (\text{Equation 2})$$

La détermination des limites d'Atterberg s'est faite conformément à la norme française NF P94-051. L'échantillon de sol est lavé au tamis 0,4 mm puis séché à l'étuve à 50°C pendant 24h.

Le matériau est ensuite prélevé à l'aide d'une tare et pesé sur une balance.

Pour la limite de liquidité, le matériau est malaxé à une teneur en eau considéré à l'aide de spatule puis étaler sur les  $\frac{3}{4}$  de la coupelle de l'appareil de Cassangrande. On fait alors une rainure au milieu du matériau dans la coupelle à l'aide de l'appareil à rainurer. On compte le nombre de coup nécessaire pour que les lèvres de la rainure puissent se refermer sur 1 cm. On prélève de part et d'autre de la fermeture un échantillon du matériau, puis on refait l'essai (4 à 5 fois) à une teneur en eau différente. A l'issue des résultats obtenus, une courbe est tracée en fonction de la teneur en eau et du nombre de coup. On détermine alors la limite de liquidité qui est la teneur en eau du matériau pour une fermeture sur 1 cm des lèvres de la rainure après 25 chocs.

Pour la limite de liquidité, on forme une boulette avec le matériau qu'on fait rouler sur une plaque de marbre lisse jusqu'à ce que la boulette se fissure en soulevant à 1,5 cm du marbre précisément à 3 mm de diamètre. Cette même procédure est refaite avec différente teneur en eau. La limite de liquidité est obtenue en faisant une moyenne entre les différents teneurs en eau auxquelles le rouleau de matériau s'est fissuré à 3 mm de diamètre.

### 2.2.2.1.3. Détermination de la classe du sol

La classification se fait en deux (2) étapes selon la norme française NF P11-300. La première étape tient compte du :

- Diamètre maximal des grains ( $D_{max}$ ). Le seuil retenu est 50 mm, il permet de distinguer les sols fins, sableux et graveleux ( $\leq 50$  mm) des sols grossiers ( $> 50$  mm)
- Tamisât à 0,08 mm. Les seuils retenus sont 35% (seuil au-dessus duquel les matériaux ont un comportement admissible à leur fraction fine) et 12% (seuil qui permet de distinguer les matériaux sableux et graveleux pauvres ou riches en fine).

Selon ces premiers critères on distingue 4 classes de sol

❖ Sol dont  $D_{max} \leq 50$  mm : pour ces sols, le seuil de tamisât à 0,08mm est de 35%  
**Classe A** : Sols fins correspond au matériau dont  $D_{max} \leq 50$  mm et tamisât à 0,08 mm  $> 35\%$ .  
**Classe B** : Sol sableux et graveleux avec fines correspond au matériau dont  $D_{max} \leq 50$  mm et tamisât à 0,08 mm  $\leq 35\%$ .

❖ Sol dont  $D_{max} > 50$  mm : pour ces sols, le seuil de tamisât à 0,08mm est de 12%  
**Classe C** : Sol comportant des fines et des gros éléments correspond au matériau dont  $D_{max} > 50$  mm et tamisât à 0,08 mm  $> 12\%$ .

**Classe D** : Sol insensible à l'eau correspond au matériau dont la valeur au bleu de méthylène du sol  $VBS \leq 0,1$  et tamisât à  $0,08\text{mm} \leq 12\%$ .

Le deuxième niveau de classification est basé sur le:

- Tamisât à 2mm. Le seuil retenu est 70%. Il permet de distinguer les sols sableux ( $>70\%$ ) des sols graveleux ( $\leq 70\%$ )
- Le tamisât à 0,08 mm avec pour seuil 12% et 35% (pour les sols de classe A et B)
- L'indice de plasticité ( $I_p$ ). Les seuils retenus sont 12% (limite supérieure des sols faiblement argileux) ; 25% (limite supérieure des sols moyennement argileux) ; 40% (limite entre les sols argileux et très argileux)

Selon ces critères, on distingue plusieurs sous-classes en fonction de la classe du matériau.

### 2.2.2.2. Détermination des caractéristiques de compactage des matériaux (Essai Proctor)

L'essai consiste à déterminer les caractéristiques de compactage d'un sol, c'est-à-dire la teneur en eau optimum à laquelle le compactage conduit à une densité sèche maximale. L'obtention de la densité sèche est fonction de la teneur en eau de compactage, du sol compacté et de l'énergie de compactage. Pour ce faire un échantillon de sol de granulométrie inférieure à 20 mm est compacté dans un moule Proctor en cinq couches (5) avec une dame Proctor à une teneur en eau bien déterminée, à raison de 56 coups par couche (Proctor modifié). On détermine ensuite la densité sèche de ce matériau pour cette teneur en eau (Equation 3). Cet essai est répété cinq (5) fois pour différentes teneurs en eau. A l'issue de ces essais on établit une courbe Proctor qui est la variation de cette masse volumique en fonction de la teneur en eau. Cette courbe présente une valeur maximale de la densité sèche pour une teneur en eau donnée.

$$\gamma_d = (\gamma_h / (100 + W\%)) * 100 \quad (\text{Equation 3})$$

$\gamma_d$  : Densité sèche

$\gamma_h$  : Densité humide ( $\gamma_h = P_h / V$  ;  $P_h$  : Poids humide ;  $V$  : Volume du matériau)

$W$  : Teneur en eau du matériau (en pourcentage)

### 2.2.2.3. Méthodologie de vérification du compactage

Pour la vérification du compactage, il s'agissait de relever à partir de l'enregistreur du pénétromètre dynamique léger à énergie variable PANDA (Pénétromètre Automatique

Numérique Dynamique Autonome) le pénétrogramme de la résistance de pointe en fonction de la profondeur des couches de remblai conformément à la norme française NF P 94 -105 (fonction B). Cette fonction B permet de vérifier que l'objectif de densification visé est atteint et que l'acceptabilité de l'essai est conforme aux recommandations du fascicule 70 du CCTG (Cahier des clauses techniques générales). La vérification est faite à chaque 50 m ou à chaque profil (un profil représentant 50 m) de la zone d'enrobage jusqu'au remblai inférieur avec le même procédé que le sondage pénétrométrique. Après l'essai sur le terrain, le pénétrogramme obtenue est inséré dans un logiciel appelé Géosprint avec les données du type de matériau, la densité sèche maximale et de l'objectif de densification. Le logiciel va permettre de tracer deux(2) droites de références auxquelles la position du pénétrogramme est comparée, ainsi le type d'anomalie sera détecté.

Selon le CCTP l'objectif de densification à atteindre est de qualité Q5 qui représente 90% de la densité sèche optimum. Et les types d'anomalie acceptable pour la zone d'essai selon le fascicule 70 sont les anomalies de type 1 et 2.

# **RESULTATS ET DISCUSSION**



### 3.1. Résultats

#### 3.1.1. Caractérisation des sols en place

##### 3.1.1.1. Nature et épaisseur des couches de sol traversés

Les sondages à la tarière manuelle ont permis de montrer que le sol dans l'ensemble est constitué de trois (3) couches de sol graveleux plus ou moins sableux de couleurs variées (Figure 21) disposé de façon gravitaire comme suit :

- Gravelleux latéritique grisâtre GLG dont l'épaisseur varie de 0,10 m à 0,30 m.
- Gravelleux latéritique marron GLM dont l'épaisseur varie entre 0,40 m et 1,7 m.
- Gravelleux latéritique rougeâtre GLR dont l'épaisseur varie entre 0,20 m et 2 m.

Le niveau de la nappe a été identifié au niveau de cinq (5) points de sondages notamment dans les basfonds où les types de sol rencontrés sont essentiellement des sables fins et grossiers plus ou moins argileux à des profondeurs variantes entre 0,40 m et 2,40 m.

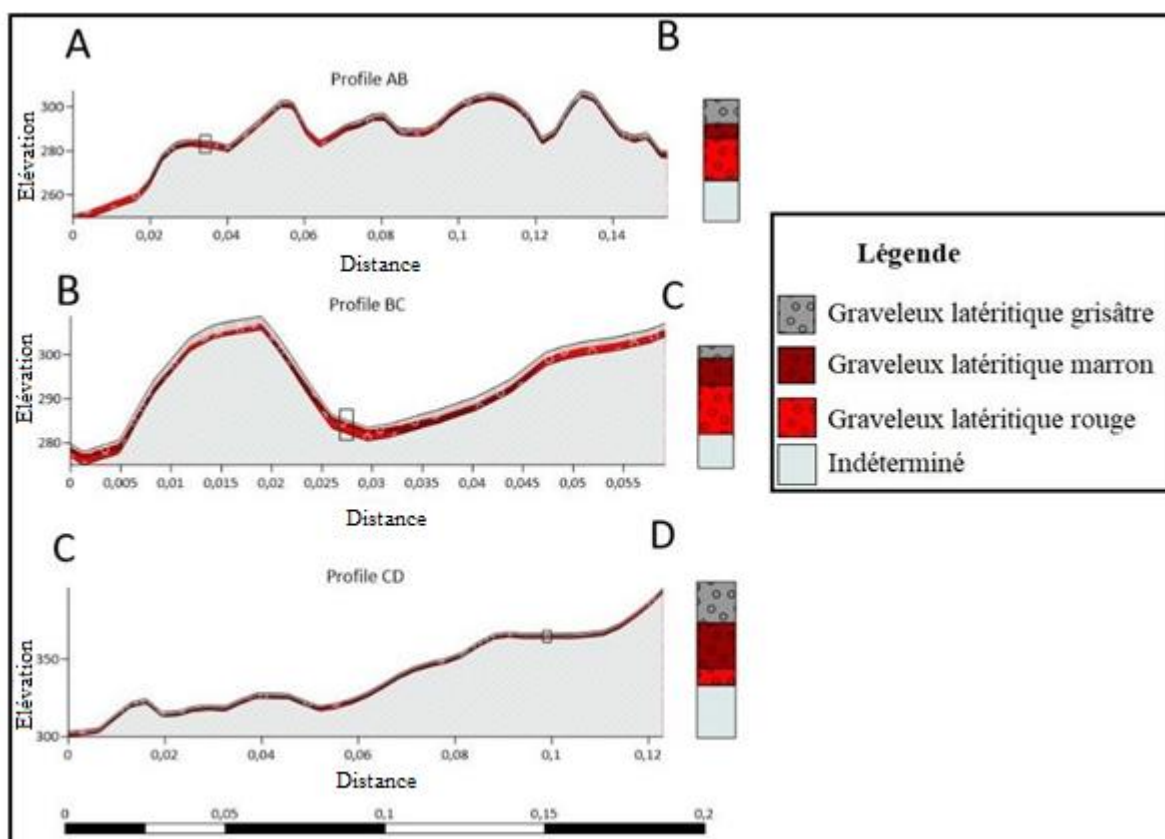
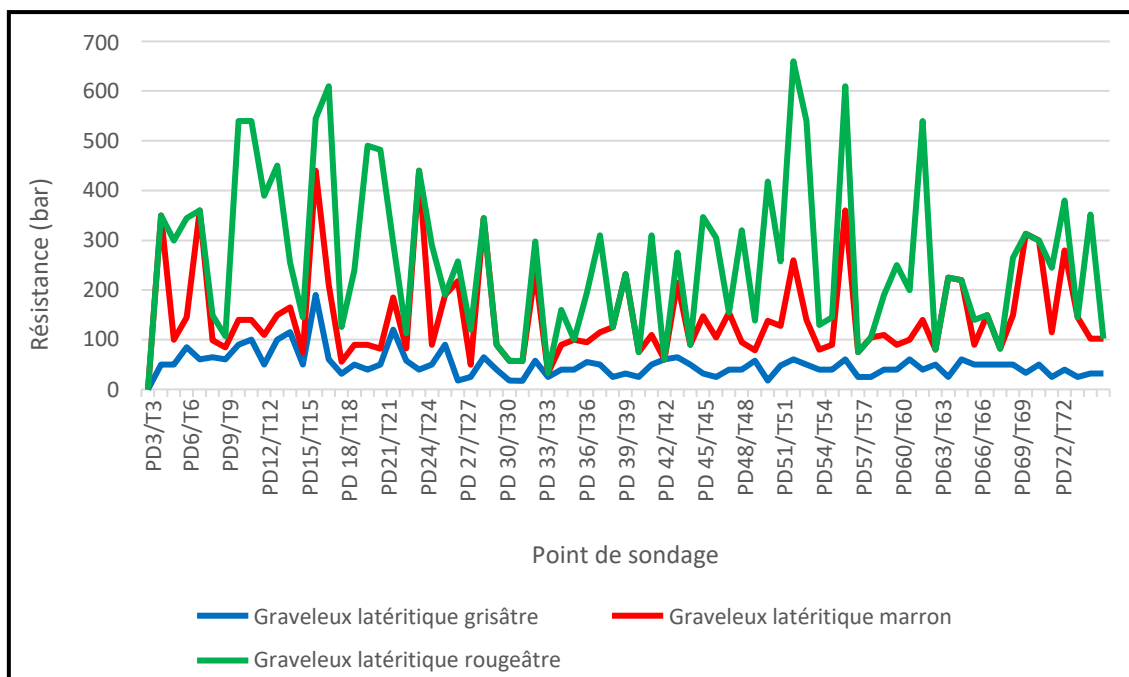


Figure 21. Coupe géologique du linéaire de sondage

### 3.1.1.2. Résistance de pointe Rp

Les résistances de pointes par couche sont représentées à la figure 22.



**Figure 22.** Résistance de pointe par couche

Les résultats montrent que les résistances augmentent avec la profondeur. Les résistances les moins élevées sont au niveau de la première couche (Gravelleux Latéritique Grisâtre) variant de 17bar à 190bar et les résistances les plus élevées sont au niveau de la troisième couche (Gravelleux Latéritique Rougeâtre) avec des variations allant de 22bar à 650bar.

### 3.1.2. Résultat de l'évaluation de la qualité de compactage

#### 3.1.2.1. Résultat de l'identification des sols

Le sol a été classé à partir des résultats combinés de l'analyse granulométrique et des limites d'Atterberg selon la norme française NF P 11-300.

Les résultats de l'analyse granulométrique qui font état du pourcentage de passant ou tamisât de dix matériaux notés de M1 à M10 en fonction du diamètre des tamis, sont présentés dans le tableau IV.

Les annotations M1 à M0 correspondent respectivement à :

M1 = Matériau 1 ; M2 = Matériau 2 ; M3 = Matériau 3 ; M4 = Matériau 4 ; M5 = Matériau 5 ;  
M6 = Matériau 6 ; M7 = Matériau 7 ; M8 = Matériau 8 ; M9 = Matériau 9 ; M10= Matériau  
10

**Tableau IV.** Pourcentage de passant on fonction de la taille du tamis

PASSANT OU TAMISÂT EN %										
MATERIAUX										
Tamis (Diamètre en mm)	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
63	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
40	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
31,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
20	100	100	100	100	100	100	97,12	100	99,58	99,62
16	100	100	100	100	100	100	95,55	100	98,7	99,25
10	100	100	100	100	100	99,84	92,87	100	93,37	96,92
5	82,86	90,39	92,82	77,96	73,5	98,92	86,17	93,13	68,26	81,57
2	60,32	73,48	86,24	57	56,8	97,21	64,61	85,46	50,22	58,64
1	47,94	65,2	81,74	47,4	47,38	91,62	51,82	80,37	41,74	47,86
0,5	28,67	50,14	72,16	27,98	27,08	65,05	30,49	65,6	23,74	29,43
0,2	24,29	46,24	69,44	23,23	22,4	62,38	26,9	55,62	19,02	25,6
0,08	19,78	42,2	66,6	18,36	17,6	59,57	23,18	45,53	14,19	21,64
0,063	19,78	42,2	66,6	18,36	17,6	59,57	23,18	45,53	14,19	21,64

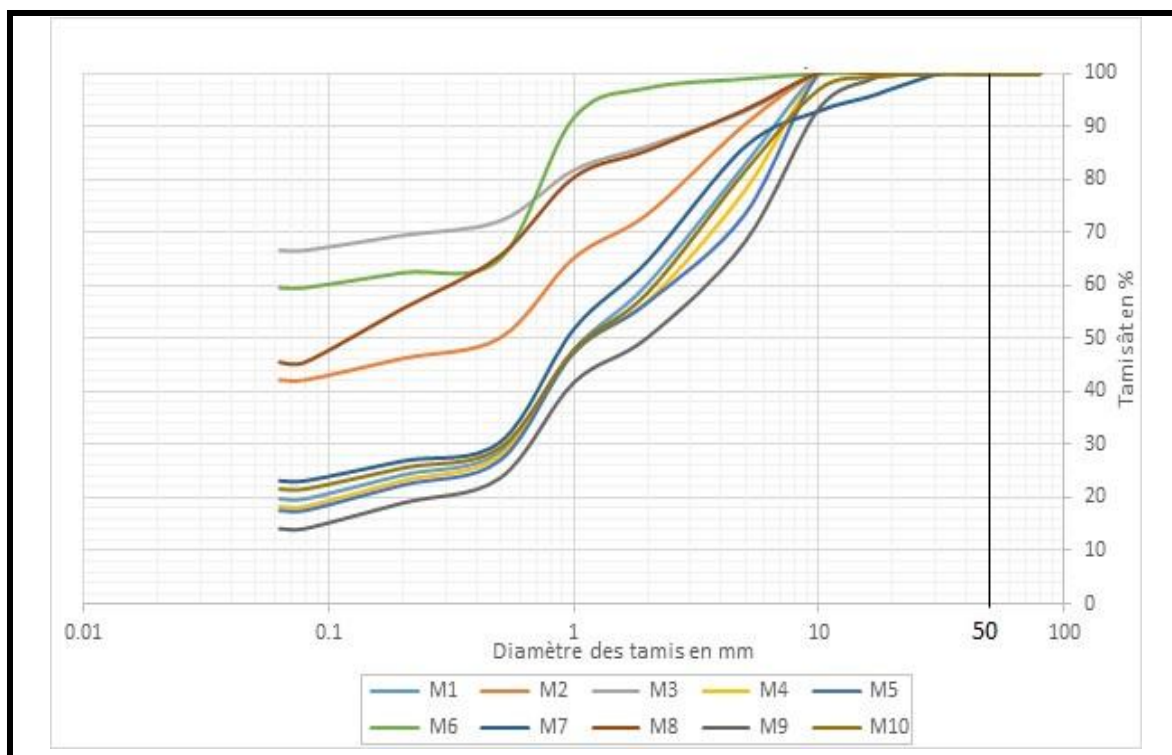
La courbe d'analyse granulométrique du tamisât en fonction de la taille du tamis est représentée à la figure 23.

- **Premier niveau de classification**

- ❖ **Diamètre maximal des grains (Dmax)**

Les résultats de l'analyse granulométrique montrent que tous les matériaux ont un Dmax inférieur à 50 mm. La taille maximale des grains est comprise en 20 mm et 5 mm. En effet 60% des matériaux ont un diamètre maximal (Dmax) inférieur ou égal à 5 mm, 30% ont un Dmax inférieur ou égale à 20 mm et 10% ont un Dmax inférieur ou égal à 10 mm.

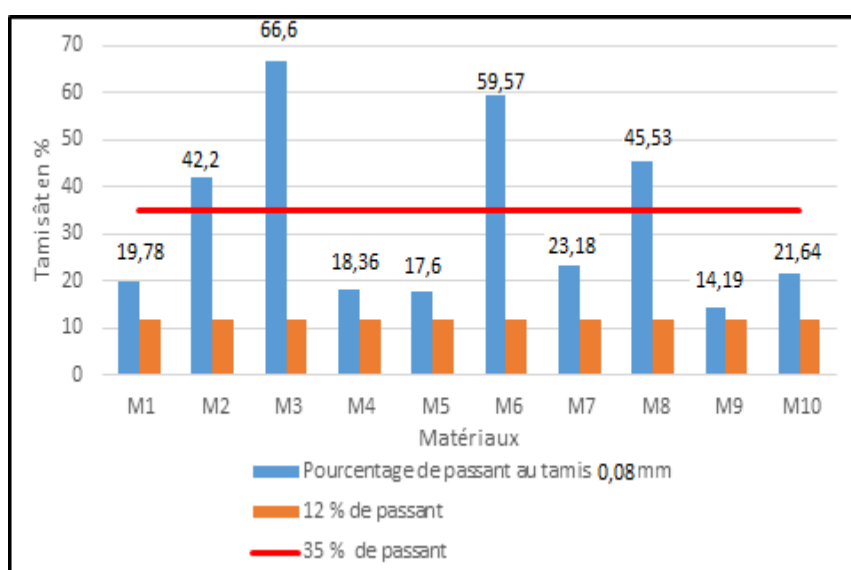
Le Dmax des matériaux qui est inférieur ou égal à 50 mm montre que nous sommes en présence de sols fins, sableux et graveleux.



**Figure 23.** Courbe d'analyse granulométrique

### ❖ Tamisât à 0,08 mm (Proportion des fines)

Le tamisât à 0,08 mm montre que les matériaux M2, M3, M6 et M8 sont riches en fraction fine. En effet, leurs pourcentages de fine varient entre 42,2 % et 66,6 % donc supérieur au seuil de 35%. Alors que les matériaux M1, M4, M5, M7, M9, M10 qui ont un pourcentage de fine compris entre 14,19 % et 23,18 % donc inférieur au seuil de 35% sont moyennement riches en fraction fine (Figure 24).



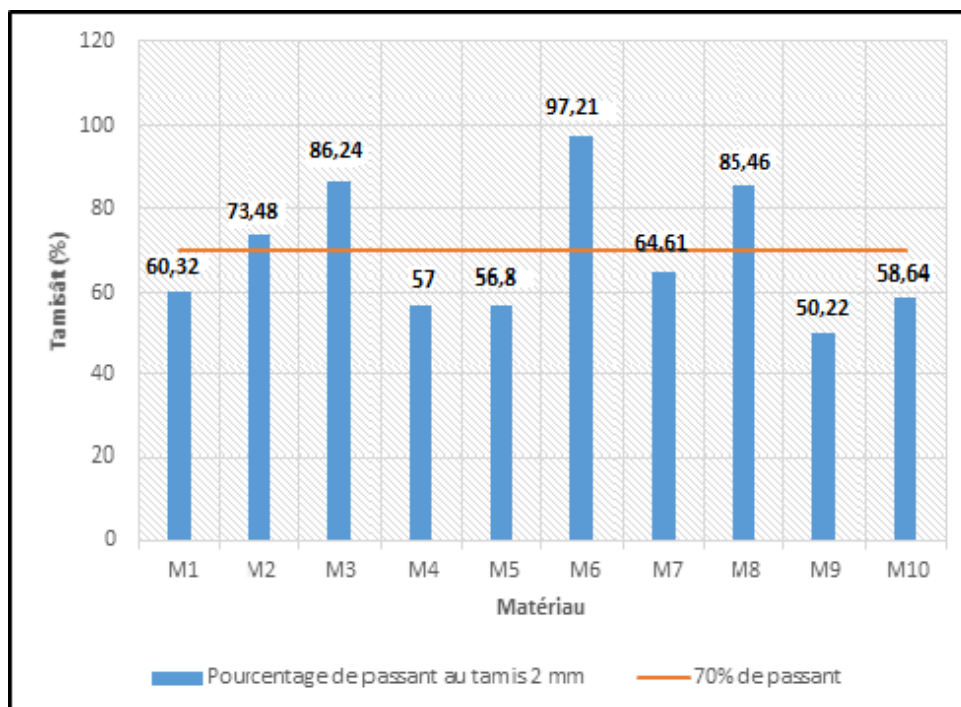
**Figure 24.** Répartition des matériaux en fonction du pourcentage de fine

Le premier niveau de classification selon la norme NF P11-300 montre que les matériaux M2, M3, M6 et M8 qui ont un  $D_{max} < 50$  mm et un tamisât à 0,08 mm  $> 35\%$  sont de classe A (sols fins) et les matériaux M1, M4, M5, M7, M9 et M10 qui ont un  $D_{max} < 50$  mm et un tamisât à 0,08 mm  $< 35\%$  sont de classe B (sols sableux et graveleux avec fine).

- **Deuxième niveau de classification**

- ❖ **Tamisât à 2 mm**

Ce critère est spécifique aux sols sableux et graveleux avec fine (classe B) donc aux matériaux M1, M4, M5, M7, M9 et M10. Le tamisât à 2 mm (figure 25) indique que ces matériaux ont un pourcentage de passant compris entre 50,22 % et 64,61 % donc inférieur au seuil 70%. Ces matériaux sont à tendance graveleuses.



**Figure 25.** Répartition des matériaux en fonction des passants au tamis 2 mm

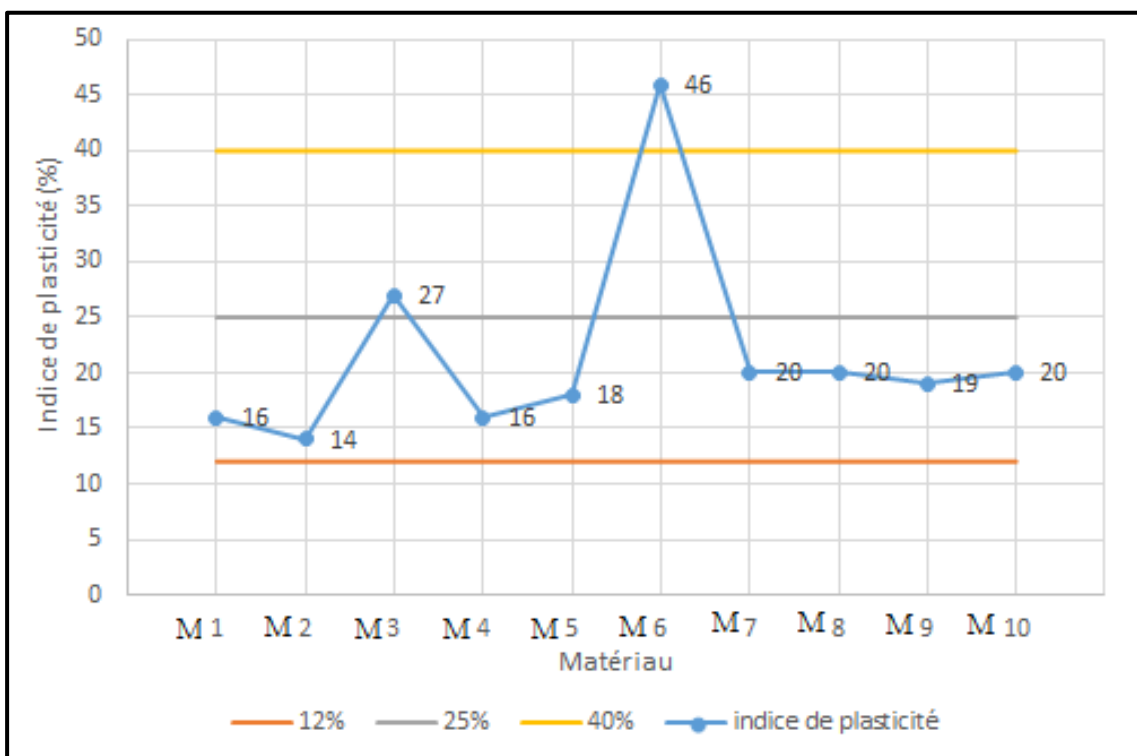
- ❖ **Tamisât à 0,08 mm**

Dans le deuxième niveau de classification, ce critère est aussi spécifique aux sols de classe B. Le tamisât à 0,08 mm indique que les matériaux de cette classe ont un pourcentage de fine compris entre 12% et 35%.

- ❖ **Indice de plasticité**

Les résultats de l'indice de plasticité sont représentés à la figure 26. Cette Courbe montre que tous les matériaux ont un indice de plasticité compris entre 12% et 25% avec des variations allant de 14% à 20 %. Ces sols sont donc moyennement argileux à l'exception des matériaux

M3 et M6. En effet, M3 a un indice de plasticité compris entre 25% et 40% (27%) c'est donc un sol argileux et M4 qui a un indice de plasticité supérieur à 40% (46%) c'est un sol très argileux.

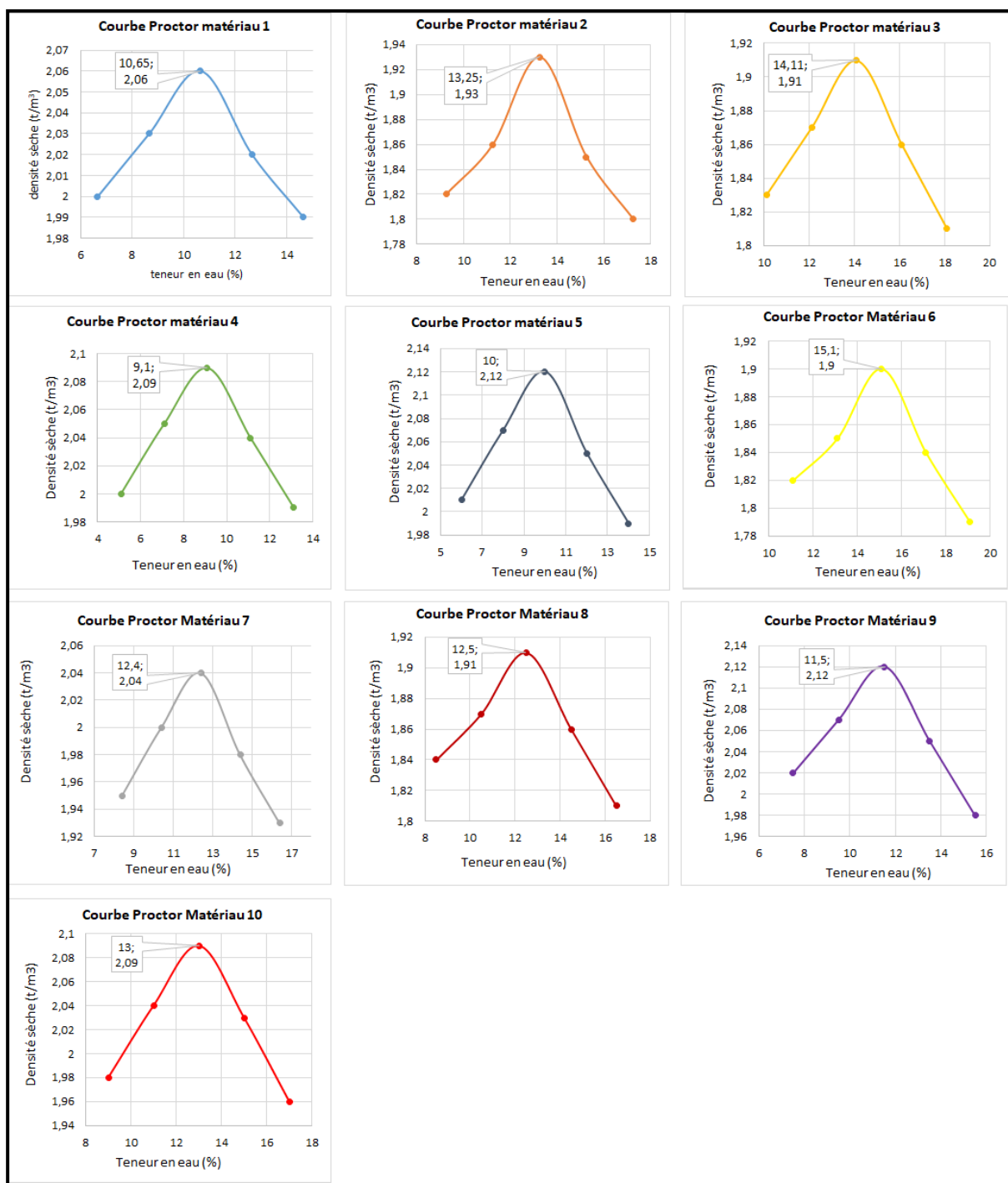


**Figure 26.** Courbe représentative de l'indice de plasticité des matériaux

Le deuxième niveau de classification selon la norme NF P11-300 montre que tous les matériaux de classe B (M1, M4, M5, M7, M9 et M10) sont de sous classes B6 (sable et grave argileux à très argileux) car leur indice de plasticité est supérieur à 12% et leur tamisât à 0,08 mm est compris entre 12% et 35%. Les matériaux M2 et M8 sont de sous classes A2 (sable fin argileux peu plastique) car leur indice de plasticité est compris entre 12% et 25%, M3 est de sous classe A3 (argile et argile marneuses, limon très plastique) car son  $I_p$  est compris entre 25% et 40% et M6 est de sous classe A4 (argiles et argile marneuses très plastiques) car son  $I_p$  est supérieur à 40%.

### 3.1.2.2. Caractéristiques de compactage

Les caractéristiques de compactage des matériaux sont représentées par les courbes à la figure 27.



**Figure 27.** Courbes Proctor des matériaux

Les courbes Proctor montrent que les matériaux ont une densité sèche maximale comprise entre 1,9 t/m<sup>3</sup> (M6) et 2,12 t/m<sup>3</sup> (M9) pour des teneurs en eau comprises entre 9,1% et 15,1%.

### 3.1.2.3. Contrôle de compactage

Les résultats du contrôle de compactage sont fonction du type de matériau, de l'objectif de compactage et des caractéristiques Proctor de chaque matériau (Tableau V).

## Résultats et discussion

**Tableau V. Contrôle de compactage**

N° MATERIAU	N° DU PROFIL	TYPE DE MATERIAU	ETAT HYDRIQUE	RESULTAT PROCTOR	QUALITE DE COMPACTAGE RECOMMANDÉ PAR LE CCTP	ANOMALIE DETECTÉE	ACCEPTABILITE SELON LE FASCICULE 70 DU CCTG
M1	960	B6	Humide	$\rho d_{OPM} = 2,06$ $W_{OPM} = 10,65$	Q5	Anomalie type 2	Acceptable
	961	B6	Humide		Q5	Aucune anomalie	Acceptable
M2	932	A2	Humide	$\rho d_{OPM} = 1,93$ $W_{OPM} = 13,25$	Q5	Aucune anomalie	Acceptable
	933	A2	Humide		Q5	Anomalie type 2	Acceptable
M3	1163	A3	Humide	$\rho d_{OPM} = 1,91$ $W_{OPM} = 14,11$	Q5	Aucune anomalie	Acceptable
	1164	A3	Humide		Q5	Anomalie type 2	Acceptable
M4	1090	B6	Humide	$\rho d_{OPM} = 2,09$ $W_{OPM} = 9,1$	Q5	Anomalie type 2	Acceptable
	1092	B6	Humide		Q5	Anomalie type 2	Acceptable
M5	155	B6	Moyen	$\rho d_{OPM} = 2,12$ $W_{OPM} = 10$	Q5	Anomalie type 3	Non Acceptable
	156	B6	Moyen		Q5	Anomalie type 2	Acceptable
M6	1170	A4	Humide	$\rho d_{OPM} = 1,9$ $W_{OPM} = 15,1$	Q5	Aucune anomalie	Acceptable
	1171	A4	Humide		Q5	Anomalie type 2	Acceptable
M7	279	B6	Humide	$\rho d_{OPM} = 2,04$ $W_{OPM} = 12,4$	Q5	Anomalie type 2	Acceptable
	280	B6	Humide		Q5	Aucune anomalie	Acceptable
M8	209	A2	Humide	$\rho d_{OPM} = 1,91$ $W_{OPM} = 12,5$	Q5	Anomalie type 2	Acceptable
	210	A2	Humide		Q5	Anomalie type 2	Acceptable
M9	991	B6	Humide	$\rho d_{OPM} = 2,12$ $W_{OPM} = 11,5$	Q5	Anomalie type 2	Acceptable
	993	B6	Humide		Q5	Anomalie type 2	Acceptable
M10	995	B6	Humide	$\rho d_{OPM} = 2,09$ $W_{OPM} = 13$	Q5	Anomalie type 2	Acceptable
	996	B6	Humide		Q5	Anomalie type 2	Acceptable

Le tableau V montre que le compactage est acceptable dans l'ensemble et conforme aux recommandations du CCTP et au fascicule 70 à l'exclusion du profil 155 ou le type



d'anomalie détecté est de type 3, donc non conforme au CCTP.

### 3.2. Discussion

Les sondages réalisés à la tarière manuelle et au pénétromètre dynamique ont permis de distinguer trois couches d'épaisseur variable : sol latéritique grisâtre (épaisseur variant de 0,10 m à 0,30 m), le sol graveleux latéritique marron (l'épaisseur variant entre 0,40 m et 1,70 m) et le sol graveleux latéritique rougeâtre (épaisseur variante entre 0,20 m et 2 m.) et d'identifier le niveau de la nappe phréatique. Les résistances observées varient d'une couche à l'autre. En effet les résistances augmentent avec la profondeur du sol. Les résistances les plus élevées ont été enregistrées au niveau de la troisième couche avec une variation allant de 22 bar à 650 bar. Vu les caractéristiques des sols en place, le diamètre des conduites (1200 mm et 1000 mm) et la recommandation du CCTP qui exige un minimum de couverture de 1 m au-dessus de la génératrice supérieure de la conduite, le sol qui constitue le sol support des conduites est la couche de Graveleux Latéritique Rougeâtre (GLR). Les résultats obtenus sont similaires aux travaux de Harouna *et al* (2019) à Tillabéry au Niger où les résistances des sols augmentent avec la profondeur. En effet pour trois points de sondages S1, S2 et S3 effectués au pénétromètre dynamique léger, les résistances dynamiques varient pour une profondeur de 0,5 m entre 27 bar et 74 bar, pour 1,5 m entre 54 bar et 103 bar et pour 2 m entre 56 bar et 124 bar. Selon (Bouassida, 2015) les zones de grandes résistances peuvent être définies comme des supports idéals pouvant supporter de grandes charges.

L'analyse granulométrique est une méthode consistant à étudier la répartition des différents grains d'un échantillon. La taille des échantillons de cette étude est comprise en 20 mm et 5 mm. Les classes des matériaux sont composées de sable et grave argileux à très argileux (Classe B6) avec des tamisât 0,08 mm compris entre 14,19 % et 23,18 % pour un indice de plasticité allant de 16 % à 20 % et de sols fin (Classe A). Les sols fins sont des matériaux qui ont un comportement admissible à leur fraction fine. Plus leur indice de plasticité est élevé, plus ils sont sensibles aux variations de teneur en eau donc plus ils sont plastiques. Les matériaux M2 et M8 qui ont un  $I_p$  compris entre 12% et 25% sont des sols fins argileux peu plastiques (Classe A2), le Matériau M3 qui a un  $I_p$  compris entre 25% et 40% est un sol argileux plastique (Classe A3) et M6 qui a l'indice de plasticité le plus élevé ( $I_p > 40\%$ ) est un sol argileux très plastique (Classe A4). Les résultats obtenus sont conformes aux recommandations d'Amiblu (2018) qui stipule que la granulométrie maximale pour la zone d'enrobage des conduites PRV de diamètre compris entre 900 mm et 1200 mm est fixée à 60 mm. Ces valeurs sont corroborées par le Service d'Etude Technique des Routes et Autoroutes (SETRA) (2007). Selon ce service, les

matériaux obtenus peuvent être réutilisés en remblai pour un compactage de qualité Q5 sauf dans les zones en présence de nappe phréatique.

Les caractéristiques de compactage des matériaux montrent que les matériaux de classe B6 présentent de meilleures caractéristiques de compactage que les sols de classe A. En effet pour de faibles teneurs en eau à l'optimum Proctor variant de 9,1% (M4) à 13% (M10) les matériaux de classe B6 présentent les meilleures densités sèches maximales variant entre 2,04 t/m<sup>3</sup> et 2,12 t/m<sup>3</sup>. Alors que les matériaux de classe A ont des densités sèches moins élevées allant de 1,9 t/m<sup>3</sup> (M6) à 1,93 t/m<sup>3</sup> (M2) pour des teneurs en eau plus fortes intermédiaires entre 12,5 % et 15,1 %. Les sols fins présentant une argilosité très élevée sont difficilement compactables. De ce fait ces sols requièrent une attention particulière lors du compactage c'est-à-dire une vérification constante de la teneur en eau. L'essai Proctor utilisé dans cette étude est l'essai Proctor modifié qui demande une énergie de compactage plus élevée donc permet d'avoir une densité aussi élevée. Le compactage permet de rendre le sol plus porteur en réduisant les vides qui le contiennent. Son utilité dans la pose de canalisation est qu'il permet de reprendre les efforts exercés par la conduite sur le sol en lui permettant (la conduite) de se maintenir en équilibre et de garantir sa protection contre les charges surjacentes.

La vérification du compactage à l'aide du pénétromètre dynamique léger de type PANDA a permis de mettre en évidence le compactage de chaque matériau. Il relève de cette étude que tous les matériaux ont été compactés selon l'objectif de densification à savoir la qualité Q5 qui représente 90% de la densité sèche maximale sauf le matériau M5 au profil 155. En effet les résultats sont acceptables dans l'ensemble car aucune anomalie n'a été détectée ou l'anomalie observée est de type 2 alors que pour le profil 155, l'anomalie observée est de type 3 donc non acceptable selon le fascicule 70 du CCTG. Cette anomalie non acceptable est due soit au non-respect des épaisseurs de couche de remblai (30 cm par couche selon le CCPT) soit à une mauvaise qualité de compactage (objectif de densification pas atteint).

# **CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS**

Cette étude réalisée dans la cadre du projet d'alimentation en eau potable de la ville de Bouaké a suivi plusieurs investigations notamment des essais in situ et au laboratoire. Ces investigations ont permis de montrer que les couches de sol sont homogènes sur tout l'itinéraire de pose sauf à certains endroits précisément au niveau de la découverte des nappes phréatiques où les sols en place sont constitués de sable fin et de sable argileux. La couche de graveleux latéritique rougeâtre qui enregistre les résistances de pointe les plus élevées constitue le sol support pour la pose de conduite

Les types de sols varient entre les sables et graves argileux (B6), les sables fins argileux (A2) et les argiles marneuses peu plastiques et très plastiques (A3 et A4).

Au niveau du compactage, les caractéristiques de compactage ont permis de faire la vérification de la qualité compactage. Dans l'ensemble l'objectif de densification (Q5) a été atteint conformément aux recommandations du CCTP sauf pour un seul profil (profil 155).

Comme recommandations nous proposons à l'entreprise de :

- Installer un laboratoire sur le chantier pour mieux suivre les essais géotechniques au laboratoire
- Mettre à jour le CCTP
- Veiller au respect des épaisseurs des couches de remblai.
- Responsabiliser une personne sur chaque front du chantier afin de superviser les travaux de réalisation de remblai et de compactage.

## **REFERENCES**

- Amiblu (2018). Systèmes de canalisation FLOWTITE. Fiche technique, Østre Kullerød (Norvège), 32 p.
- Awomon A.D.F., Coulibaly M., Niamke G.M. & Santos D.S. (2018). La problématique de l'approvisionnement en eau potable et le développement des maladies à transmission hydrique dans les quartiers d'extension Orly de la ville de Daloa (Côte d'Ivoire). *Revue Espace, Territoires, Sociétés et Santé*, 1(2) : 91- 108.
- Babo A. (2006). Opportunités sociales et économiques et développement du vivrier marchand à Bouaké (Côte d'Ivoire). *Cahiers Agricultures*, 15(3) : 279-283.
- Benali S. (2016). Contribution à l'étude du comportement mécanique des conduites enterrées. Mémoire de master en hydraulique, Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique, (Guerouaou, Algérie), 69 p.
- Beringue J.J. (1990). La pose des canalisations pour l'adduction et la distribution de l'eau potable. Rapport du centre international de référence pour l'approvisionnement en eau et l'assainissement communautaire, Limoges (France), 72 p.
- Bouassida W. (2015). Conception des fondations superficielles reposant sur des sols granulaires en utilisant la vitesse des ondes de cisaillement. Mémoire de maîtrise en Génie Civil, Université de Sherbrooke, (Sherbrooke, Canada), 140 p.
- Dahmoune A. & Benguesmia A. (2018). Etude de schéma directeur du réseau d'AEP d'Oued Z'HORD centre Wilaya- Skikda. Mémoire de Master en Hydraulique urbaine, Université Mohamed Boudiaf, (M'sila, Algérie), 104 p.
- Djoubi A., Krim N. & Raouf A. (2015). Stabilisation des sols Gonflants. Mémoire de Master en Géotechnique, Université Mohamed Cherif Messaidia, (Souk Ahras, Algérie), 45 p.
- Douagui G.A., Kouassi K.A., Kouame K.B. & Kouadio A.K.S. (2018). Contribution des anomalies géoélectriques pour la localisation des aquifères en milieu rural cristallin dans la Région du Gbêkê (Centre de la Côte d'Ivoire). *Environmental and Water Sciences, Public Health & Territorial Intelligence Journal*, 2(4) : 69-82.
- Effo K.G., Adaye A.A. & Koffié-Bikpo C.Y. (2020). Variabilité climatique et production vivrière dans la Région de Gbêkê (Centre de la Côte d'Ivoire). *La revue de Géographie de l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa*, 2 : 152-167.
- Harouna S., Boureima O. & Frédéric C. (2019). Evaluation des sols de fondation de l'évacuateur de crue du petit Barrage de Youmban (Tillabéry, Niger). *European Scientific Journal*, 15 : 434-455.

- Kouassi Y.D. (2014). La cartographie du réseau hydrographique de la région de Gbêkê. Mémoire de master en géographie, Université Alassane Ouattara, (Bouaké, Côte d'Ivoire), 98 p.
- Léreau J. (2006). Géotechnique 1 : chapitre 1. Support de cours, Institut national des sciences appliquées de Toulouse, Sciences et Technologies, Toulouse, France, 22 p.
- Maillard T. (2019). La ressource en eau dans la région de Gbêkê (Centre de la Côte d'Ivoire). Rapport de recherche du projet ETUPO (Étude de l'accès à l'eau potable et à l'assainissement dans la vallée du Bandama), Normandie (France), 14 p.
- Ministère de l'hydraulique (2020). Projet de renforcement de l'alimentation en eau potable de la ville de Bouaké à partir du lac de Kossou. Fiche projet, 3 p.
- Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du Québec (2008). Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales (Cahier 5 – Échantillonnage des sols). Rapport du centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 59 p.
- Oudni S. (2018). Effet du traitement des sols limoneux par la chaux sur les caractéristiques de compactage. Mémoire de Master en Géotechnique, Université Labri Ben M'hidi (Oum El Bouaghi, Algérie), 47 p.
- Oumar F., Ahoussi K.E. & Koffi A.S. (2017). Cartographie et identification des activités sources de nuisances et de pollutions dans le bassin versant du barrage du kan de Bouake (Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal*, 13(5) : 303-316.
- Service d'étude technique des routes et autoroutes (2007). Remblayage des tranchées et réfections des chaussées. Guide technique, Normandie (France), 10 p.
- Soro N. & Kone A. A. (2019). Caractéristiques du relief et répartition de l'habitat dans la ville de Bouaké, *La revue de Géographie de l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa*, 1 : 150-165
- Tiemoko O. (2008). Conception et implémentation d'une base de données à la référence spatiale dans le cadre de la gestion post-crise des infrastructures et équipement de la ville de Bouaké. Mémoire de Master en Gestion des infrastructures et équipement communaux, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, (Ouagadougou, Burkina Faso), 50 p.
- Yao S. S. (2018). Réponses des anticorps anti-plasmodiaux dirigées contre un panel d'antigènes et leur effet à l'issue du traitement contre le paludisme simple en Côte d'Ivoire, Thèse

de doctorat, Biologie fonctionnelle et moléculaire, Université Félix HOUPHOUËT-BOIGNY, Côte d'Ivoire, 165 p.

Zougrana D. (2013). Cours d'approvisionnement en eau potable. Ecole Inter - Etats Ingénieurs de l'Équipement Rural, Ouagadougou (Burkina Faso), 143 p.



## Résumé

Cette étude s'inscrit dans le cadre du projet d'alimentation de la ville de Bouaké à partir du lac Kossou. La réalisation de ce projet requiert au préalable des études géotechniques. L'objectif de cette étude est de déterminer les différentes études géotechniques à mener pour la pose de canalisation. La reconnaissance du sol effectuée à l'aide de la tarière manuelle et pénétromètre dynamique lourd, l'analyse granulométrique et le calcul des limites de liquidité et de plasticité ainsi que la vérification du compactage au moyen du PANDA ont permis de réaliser l'étude. Les données recueillies ont fait ressortir trois couches de sol de résistance différente variant de 17 bar à 650 bar le diamètre maximal des échantillons varie entre 5 mm et 20 mm, l'indice de plasticité des matériaux est majoritairement compris entre 12% et 25%, qui correspond aux limites inférieure et supérieure de sols moyennement argileux, et la densité sèche varie entre 1,9 t/m<sup>3</sup> et 2,12 t/m<sup>3</sup>, les plus grandes valeurs correspondent généralement aux matériaux de type B6.

Mots clés : Sondage, Essai Proctor, Pose de canalisation, Compactage, Région du Gbêkê (Côte d'Ivoire)

## Abstract

This study is part of the project to feed the town of Bouaké from Lake Kossou. This project requires prior geotechnical studies. The objective of this study is to determine the various geotechnical studies to be carried out for the laying of pipelines. The study was carried out using the manual auger and heavy dynamic penetrometer, particle size analysis and the calculation of liquidity limits and the verification of compaction using PANDA. The data collected showed three layers of soil with different resistance ranging from 17 bar to 650 bar, the maximum diameter of the samples varies between 5 mm and 20 mm, the plasticity index of the materials is mainly between 12% and 25%, which corresponds to the lower and upper limits of medium clay soils, and the dry density varies between 1.9 t/m<sup>3</sup> and 2.12 t/m<sup>3</sup>, the largest values generally correspond to type B6 materials.

Key words : Probing, Proctor test, Pipe installation, Compaction, Gbêkê Region (Côte d'Ivoire)