



# **CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE DES DIGUES EN TERRE LATERITIQUE DES PETITS BARRAGES AU BURKINA FASO**

-----

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2iE AVEC GRADE DE  
MASTER EN GENIE CIVIL

**SPECIALITE : BATIMENT ET TRAVAUX PUBLICS (GC-BTP)**

-----

Présenté et soutenu publiquement le 30 Janvier 2023 par :

**Daroche Gilclaud SAH NGOUDIMAMBA (20160204)**

**Directeur de mémoire : Abdou LAWANE GANA, Maitre de conférences, 2iE,**

**Encadrants :**

- **Ousmane Roland YONABA, Maitre-assistant, 2iE**
- **P. Mamadou Junior KABORE, Doctorant**

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : **Pr. Daniel YAMEGUEU NGUEWO**

Membres et correcteurs : **Dr. Seick Omar SORE**

**M. Hassane SEINI MOUSSA**

**Promotion [2022/2023]**

## **DEDICACES**

Je dédie ce modeste travail à :

- L'âme de ma grand-mère, celle qui a été mon étoile sur terre, que Dieu l'accueille dans son paradis ;
- Mon père, qui nous a quitté très tôt. Que son âme repose en paix.
- Ma mère, ma sœur ainsi qu'à toute ma famille, pour leurs sacrifices et leur soutien moral et matériel dont ils ont fait preuve pour que je réussisse tout le long de ma vie et mes études ;
- Toute la famille de ZiE

## **CITATIONS**

« En faisant scintiller notre lumière, nous offrons aux autres la possibilité d'en faire autant. »

— *Nelson Mandela*

« L'eau n'est pas nécessaire à la vie, elle est la vie. »

— *Antoine de Saint-Exupéry*

« Une construction devient une architecture quand elle témoigne d'une culture, d'une aspiration et du pouvoir d'une génération. »

— *Jean-Paul Ndong*

## **REMERCIEMENTS**

Mes vifs remerciements vont à l'endroit de :

- **Pr Abdou LAWANE GANA**, pour vos interventions éclaircissantes tout au long de nos travaux. Vous vous êtes acharnés pour qu'on trouve le goût de la recherche.
- **Dr. Roland YONABA**, mon encadreur pour son suivi le suivi de bout en bout de ce mémoire, merci pour votre disponibilité
- **Pr Adamah MESSAN**, de nous avoir accueilli dans le laboratoire LEMHaD
- **Dr. HEMA Césaire**, Chef de département Génie Civil
- **Le Doctorant Junior KABORE**, pour le suivi tout au long des travaux de ce mémoire.
- **Mme Marie Thérèse MBENGUE / GOMIS**, ses précieux conseils, interventions, suggestions, commentaires
- **Dr. Philbert NSHIMIYIMANA**, pour les nombreux conseils et votre disponibilité.
- De tous les doctorants du laboratoire LEMHaD.
- **Mr Salifou KABORE**, pour votre partage d'expérience sur les essais géotechniques qui étaient d'une importance capitale dans le cadre de ces travaux.
- L'ensemble du corps enseignant de 2iE pour les connaissances transmises tout au long de mon cursus universitaire,
- A nos Co-stagiaires du LEMhaD, vous m'avez apporté vos soutiens indéfectibles tout au long de notre période de stage.
- Nos amis et camarades de classe pour leur franche collaboration.
- L'administration de 2IE pour leur disponibilité.

Je tiens à remercier du fond du cœur toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'obtention de ce diplôme. Mes pensées vont à :

- Ma famille, et particulièrement à ma mère, Mme Claudine NGANDZION, ma principale source de motivation.
- La Fondation Perspectives d'Avenir, d'avoir financé mes études.
- Tous mes amis et connaissances

## **RESUME**

Ce présent mémoire a pour but de présenter les différents résultats issus de l'étude des dégradations sur les petits barrages en terre de Koala, Tansobentinga et Rawangomdé, barrages situés respectivement dans la commune de Saaba et Koubri, au Burkina Faso. L'objectif étant de faire un état des lieux de ces trois barrages pour répertorier l'ensemble des dégradations qui les affectent et d'en chercher les causes probables à travers quelques essais d'identification et de caractérisation, il était question d'effectuer une inspection visuelle sur l'ensemble des sites concerner avant d'effectuer des prélèvements en vue de caractériser les matériaux constitutifs de ces digues. La revue littéraire a ainsi permis de faire un état des lieux de l'ensemble des travaux antérieurs à ce sujet afin de connaître les avancés et les limites sur la question des dégradations. La caractérisation qui avait pour but de déterminer la nature ainsi que les paramètres des matériaux utiliser nous a également permis de faire ressortir que tous les points de prélèvement sont reconnus comme des sols fins ; Certains sont considérés comme des sols de sous classe **A1** (Limons peu plastiques) et d'autres sont considérés comme de sous classe **A2** (sols fins argileux, limons, argiles peu plastiques), selon la classification GTR.

Cependant, les matériaux qui composent ces ouvrages en terre sont des matériaux qui évoluent dans le temps, pouvant ainsi causés des dégradations de ces ouvrages dans le temps. La variabilité dans le temps des caractéristiques physiques et mécaniques ne sont pas les seuls facteurs à prendre en compte. À la nature des composants s'ajoutent la localisation géographique de l'ouvrage ainsi que la qualité initiale de réalisation pouvant être à l'origine de ces dégradations.

---

### **Mots clés :**

1. Digue
2. Latérite
3. Diagnostic
4. Petits barrages
5. Pathologies

## **ABSTRACT**

The purpose of this paper is to present the different results of the study of degradations on the small earthen dams of Koala, Tansobentinga and Rawangomdé, dams located respectively in the town of Saaba and Koubri, in Burkina Faso. The objective being to make an inventory of these three dams to list all the degradations which affect them and to seek the probable causes through some identification and characterization tests, it was a question of carrying out a visual inspection on the whole of the sites concerned before carrying out samples in order to characterize the materials constituting these dams. The literary review thus made it possible to make an inventory of the whole of the preceding work on this subject in order to know the advances and the limits on the question of degradations. The characterization, which aimed to determine the nature and parameters of the materials used, also allowed us to highlight that all the sampling points are recognized as fine soils; some are considered as sub-class A1 soils (low plasticity silts) and others are considered as sub-class A2 (fine clay soils, silts, low plasticity clays), according to the GTR classification.

However, the materials that make up these earthen structures are materials that evolve over time, which can cause degradation of these structures over time. The variability in time of the physical and mechanical characteristics are not the only factors to take into account. In addition to the nature of the components, the geographical location of the structure as well as the initial quality of realization can be at the origin of these degradations.

---

### **Keywords:**

1. Diagnostic
2. Dyke
3. Small dams
4. Laterite
5. Pathology

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

<b>2iE</b>	: Institut International de l'Ingénierie de l'Eau et de l'environnement
<b>AASHTO</b>	: American Association State Highway and Transportation Official
<b>AFES</b>	: Association Française de l'Etude des Sols
<b>BF</b>	: Burkina Faso
<b>CEBTP</b>	: Centre Expérimental de Recherches et d'Etudes du Bâtiment et des Travaux Publics
<b>f</b>	: Pourcentage en particules fines d'un matériau donné
<b>GLR ou GL</b>	: Gonflement linéaire relatif
<b>GTR</b>	: Guide de terrassement routier
<b>Ig</b>	: Indice de groupe
<b>ICBR</b>	: Indice CBR
<b>IP</b>	: Indice de plasticité
<b>Ph</b>	: Masse du sol humide
<b>Ps</b>	: Masse du sol sec
<b>LCPC</b>	: Laboratoire central des ponts et chaussées
<b>LEMHaD</b>	: Laboratoire Eco-Matériaux et habitat Durable
<b>OS</b>	: Objectif spécifique
<b><math>\rho_s</math></b>	: Masse volumique sèche d'un sol
<b><math>\sigma</math></b>	: La contrainte normale
<b><math>\tau</math></b>	: La contrainte tangentielle
<b><math>\gamma_{da}</math></b>	: densité sèche d'un sol
<b><math>\gamma_{d\ opt}</math></b>	: la densité sèche optimale d'un sol
<b><math>\gamma_h</math></b>	: la densité sèche optimale d'un sol
<b><math>\gamma_s</math></b>	: La densité humide

## **LISTE DES SYMBOLES**

Acb	Activité argileuse d'un sol
C (0/5)	Coefficient pondérale fraction des grains de 0 à 5mm
Cc	Coefficient de courbure de l'Analyse granulométrique
Cc	Indice de Compression de l'essai Œdométrique
Cr	Indice de ré-compression
Cu	Coefficient d'uniformité granulométrique
Di	Diamètre intérieur
Dmax	Diamètre maximal des grains
Dn	Diamètre correspondant à n% de passant
e	Indice des vides
Gs	Densité des grains solides
ho	Hauteur initiale de l'éprouvette
Hr	Profondeur effective (essai par sédimentométrie)
hs	hauteur des grains solides d'un sol
hvo	hauteur des vides d'un sol
IP	Indice de Plasticité
Ki	Coefficient d'ionisation de la latérite
Ks	Coefficient de Perméabilité d'un sol
L	Hauteur entre les orifices d'entrée et de sortie de la perméamétrie
WL	Limite de Liquidité
WP	Limite de Plasticité
$\mu_f$	Produit de finesse
Mdg	Module des grains
t	Temps
T°	Température
Tc	Temps cumulé de lecture
VBS	Valeur Bleue d'un Sol
Vs	Volume du sol
Vv0	Volume des vides
ph	Masse volumique humide d'un sol

*CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE DES DIGUES EN TERRE LATERITIQUE DES PETITS  
BARRAGES AU BURKINA FASO*

---

$\Phi$	le diamètre des grains
$\omega$	Teneur en eau
$\omega_i$	Teneur en eau initial
$\omega_{opt}$	Teneur en eau optimal

## **SOMMAIRE**

<i>Dédicaces</i> .....	<i>i</i>
<i>Citations</i> .....	<i>ii</i>
<i>Remerciements</i> .....	<i>iii</i>
<i>Résumé</i> .....	<i>iv</i>
<i>Abstract</i> .....	<i>v</i>
<i>Liste des abréviations</i> .....	<i>vi</i>
<b>LISTE DES SYMBOLES</b> .....	<b>vii</b>
<i>Liste des tableaux</i> .....	<i>xi</i>
<i>Liste des figures</i> .....	<i>xiii</i>
<b>I. Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>I. I. Objectifs et hypothèses d'étude</b> .....	<b>2</b>
I.1. Objectif général .....	2
I.2. Objectifs spécifiques .....	2
I.3. Hypothèses d'étude .....	2
I.4. Plan de l'étude .....	2
<b>CHAPITRE I : Revue de la littérature</b> .....	<b>4</b>
I.1.1. Généralités sur les barrages .....	4
I.1.2. Catégories de barrage en remblai.....	5
I.1.3. Définition des concepts et terminologies des petits barrages en terre .....	6
Quelques images bibliographiques .....	13
<b>CHAPITRE II : Matériels et méthodes</b> .....	<b>17</b>
1. La présentation de la zone d'étude du projet.....	17
2. Méthodologie .....	18

**CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE DES DIGUES EN TERRE LATERITIQUE DES PETITS  
BARRAGES AU BURKINA FASO**

---

3. Méthodes expérimentales .....	18
a) La teneur en eau initiale .....	18
b) L'Analyse granulométrique (NF P94-057) .....	19
c) Limites d'Atterberg (NF P 94-051).....	19
d) Essai densitomètre à membrane (NF 94 061/2) .....	20
e) Le poids spécifique (NF P94-054) .....	20
f) La valeur bleue d'un sol .....	20
4. Procédure de prélèvement .....	21
<b>CHAPITRE III : Résultats et discussion.....</b>	<b>22</b>
1. Pathologies dégagées lors de la visite d'inspection et leur causes probables.....	22
2. Echantillonnage.....	25
<b>III.1. Caractéristiques des paramètres d'état et de nature .....</b>	<b>27</b>
1. La teneur en eau initiale .....	27
2. L'Analyse granulométrique.....	28
3. Limites d'Atterberg .....	31
4. Essai densitomètre à membrane .....	35
5. Le poids spécifique.....	38
6. La valeur bleue d'un sol .....	40
<b>IV. Conclusion et perspectives .....</b>	<b>48</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>50</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>53</b>
ANNEXE 1 : IMAGES ILLUSTRATIFS DU PROCESSUS EXPERIMENTAL .....	54
ANNEXE 2: TABLEAUX DES RESULTATS.....	55
ANNEXE 3 : COURBES DES ESSAIS PROCTOR .....	80

**LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1 : types de dégradations pouvant se développer dans une digue et défauts caractéristiques de chacun de ces mécanismes (Yasmina Boussafir et al. 2019) .....	11
Tableau 2 : Dégradations et causes des digues en terre latéritiques au Burkina Faso .....	15
Tableau 3 : caractéristiques de la digue du barrage de Koala .....	22
Tableau 4 : caractéristique de la digue du barrage Tansobentinga .....	23
Tableau 5 : caractéristique de la digue du barrage Rawangomde .....	24
Tableau 6 : Distance de prélèvement dans la cuvette.....	27
Tableau 7 : Résultats du tamisage par voie sèche du point 2 de la cuvette Koala .....	55
Tableau 8 : : Résultats du tamisage par voie sèche du point 1 de la cuvette Koala .....	55
Tableau 10 : Résultats du tamisage par voie sèche du point 3 sur la digue Koala.....	56
Tableau 9 : Résultats du tamisage par voie sèche du point 4 sur la digue Koala.....	56
Tableau 11 : Résultats du tamisage par voie sèche du point 5 sur la digue Koala.....	57
Tableau 12 : Résultats du tamisage par voie sèche du point 3 de la cuvette Tansobentinga ...	58
Tableau 13 : Résultats du tamisage par voie sèche du point 2 de la cuvette Tansobentinga ...	58
Tableau 14 : Résultats du tamisage par voie sèche du point PK1M_droit de Tansobentinga	59
Tableau 15 : Résultats du tamisage par voie sèche du point PK5B_gauche de Tansobentinga .....	60
Tableau 16: Résultats du tamisage par voie sèche du point PK5B_droit de Tansobentinga .	60
Tableau 17 : Résultats du tamisage par voie sèche du point PK5M_gauche de Tansobentinga .....	61
Tableau 18 : Résultats du tamisage par voie sèche du point PK5H_gauche de Tansobentinga .....	61
Tableau 19 : Résultats du tamisage par voie sèche du point 2 de la cuvette Rawangomdé...	62
Tableau 20 : Résultats du tamisage par voie sèche du point 1 de la cuvette Rawangomdé.....	62
Tableau 21 : Résultats du tamisage par voie sèche du point 4 sur la digue Rawangomdé .....	63
Tableau 22 : Résultats du tamisage par voie sèche du point 3 sur la digue Rawangomdé .....	63
Tableau 23 : Résultats du tamisage par voie sèche du point 5 sur la digue Rawangomdé .....	64
Tableau 24 : Feuille de calcul des résultats des limites point 2 de la cuvette Koala.....	65
Tableau 25 : Feuille de calcul des résultats des limites point 1 de la cuvette Koala.....	65
Tableau 26 : Feuille de calcul des résultats des limites point 4 de la crête Koala .....	65

**CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE DES DIGUES EN TERRE LATERITIQUE DES PETITS  
BARRAGES AU BURKINA FASO**

---

Tableau 27 : Feuille de calcul des résultats des limites point 3 de la crête Koala .....	65
Tableau 28 : Feuille de calcul des résultats des limites PK1M_droi tde Tansobentinga .....	66
Tableau 29 : Feuille de calcul des résultats des limites point 3 de la cuvette Tansobentinga.	66
Tableau 30 : Feuille de calcul des résultats des limites point 2 de la cuvette Tansobentinga.	66
Tableau 31 : Feuille de calcul des résultats des limites point 5 de la crête Koala .....	66
Tableau 32 : Feuille de calcul des résultats des limites PK5H_gauche de Tansobentinga .....	67
Tableau 33 : Feuille de calcul des résultats des limites PK5B_gauche de Tansobentinga ....	67
Tableau 34 : Feuille de calcul des résultats des limites PK4H_droi tde Tansobentinga.....	67
Tableau 35: Feuille de calcul des résultats des limites PK5B_droit de Tansobentinga.....	67
Tableau 36 : Feuille de calcul des résultats des limites point 1 de la cuvette Rawangomdé ..	68
Tableau 37 : Feuille de calcul des résultats des limites PK5M_gauche de Tansobentinga ....	68
Tableau 38 : Feuille de calcul des résultats des limites point 2 de la cuvette Rawangomdé ..	68
Tableau 39 : Recueil des résultats poids spécifique Koala .....	69
Tableau 40 : Recueil des résultats poids spécifique Tansobentinga .....	69
Tableau 41 : Recueil des résultats poi .....	69
Tableau 42 : Résultats de l'essai densimètre à membrane.....	70
Tableau 43: Recueil des résultats valeur du bleu .....	71
Tableau 44 : Résultats de l'essai Proctor Normal de P2 cuvette de la digue Koala .....	72
Tableau 45 : Résultats de l'essai Proctor Normal de P3 de la digue Koala.....	72
Tableau 46: Résultats de l'essai Proctor Normal de P4 de la digue Koala.....	73
Tableau 47 : Résultats de l'essai Proctor Normal de P2 de la cuvette Tansobentinga .....	74
Tableau 48 ; Résultats de l'essai Proctor Normal de P5 de la digue Koala.....	74
Tableau 49: Résultats de l'essai Proctor Normal de P3 de la cuvette Tansobentinga .....	75
Tableau 50: Résultats de l'essai Proctor Normal de PK1M_droit de la digue Tansobentinga	75
Tableau 51 : Résultats de l'essai Proctor Normal de PK4H_droit de la digue Tansobentinga .....	76
Tableau 52 : Résultats de l'essai Proctor Normal de PK5B_droit de la digue Tansobentinga	76
Tableau 53 : Résultats de l'essai Proctor Normal de P1 de la cuvette Rawangomde.....	77
Tableau 54 : Résultats de l'essai Proctor Normal de P2 de la cuvette Rawangomde.....	77
Tableau 55 : Résultats de l'essai Proctor Normal de P3 de la digue Rawangomde .....	78
Tableau 56 : Résultats de l'essai Proctor Normal de P4 de la digue Rawangomde .....	78

Tableau 57 : Résultats de l'essai Proctor Normal de P3 de la digue Rawangomde ..... 79

## **LISTE DES FIGURES**

Figure 1: Catégories des barrages en remblai ( AMARA Fatma, 2018)..... 6

Figure 2 : Digue en terre homogène..... 7

Figure 3 : Répartition des Barrages du Burkina (Données de la Direction Générale des Ressources en Eau, 2018)..... 8

Figure 4 : Répartition des petits et moyens Barrages du Burkina (Données de la Direction Générale des Ressources en Eau, 2015)..... 9

Figure 5 : a) Batillage au voisinage du deversoir du barrage de LAUNAC(1998) b) Talus enherbé marqué par le batillage au niveau de la retenue normale (Lautrin, 2002) ..... 13

Figure 6 : a) Renard dans un barrage (Lautrin, 2002) et b) Glissement coté aval en crue (Damien Serre, 2013) ..... 13

Figure 7 : Localisation géographique des ouvrages étudiés..... 17

Figure 8 : Etats de consistance (ROBITAILLE & TREMBLAY, 1997)..... 20

Figure 9 : a) Erosion de la crête et b) présence de la végétation sur le talus aval..... 23

Figure 10 : a) La digue envahit par la végétation et b) la rupture de la digue ..... 24

Figure 11 : a) Dispersion des perrés secs en amont et b) Désorganisation des moellons en amont ..... 25

Figure 12 : Puits d'au moins 1m dans la cuvette ..... 26

Figure 13: Teneur en naturelle de Koala..... 27

Figure 14 : Teneur en eau naturelle de Rawangomde..... 27

Figure 15 : Teneur en eau naturelle de Tansobentinga ..... 28

Figure 16: : Courbes granulométriques par voie sèche des points de Koala..... 29

Figure 17 : Courbes granulométriques par voie sèche des points du barrage de Tansobentinga ..... 30

Figure 18 : Courbes granulométriques par voie sèche des points du barrage de Rawangomde ..... 31

Figure 19 : Valeurs des limites d'Atterberg du Koala ..... 32

Figure 20 : Valeurs des limites de la cuvette du Tansobentinga ..... 33

Figure 21 : valeurs des limites du profil de rupture de la digue du Tansobetinga .....	33
Figure 22 : Valeurs des limites du Rawangomde.....	34
Figure 23 : Résultats densitomètre à membrane Koala.....	36
Figure 24 : Résultats densitomètre à membrane Tansobetinga.....	36
Figure 25: Résultats densitomètre à membrane Rawangomde .....	37
Figure 26: Valeurs poids spécifiques de la digue Koala .....	38
Figure 27 : Valeurs poids spécifiques de la cuvette Koala .....	38
Figure 28 : Valeurs poids spécifiques de la cuvette Tansobetinga .....	39
Figure 29 : Valeurs poids spécifiques du point de rupture de la digue Tansobetinga.....	39
Figure 30 : Valeurs poids spécifiques de la cuvette Rawangomde .....	40
Figure 31 : Valeurs poids spécifiques de la digue Rawangomde.....	40
Figure 32 : Activité argileuse des points du Koala .....	41
Figure 33 : Activité argileuse des points de la cuvette du Tansobetinga .....	42
Figure 34 : Activité argileuse des points de rupture de la digue du Tansobetinga .....	42
Figure 35 : Activité argileuse des points de rupture de la digue du Rawangomde .....	42
Figure 36 : Récapitulatif des résultats OPN de la cuvette Koala .....	44
Figure 37 : Récapitulatif des résultats OPN de la digue Koala .....	45
Figure 38: Récapitulatif des résultats OPN de la cuvette Tansobetinga .....	46
Figure 39 : Récapitulatif des résultats OPN du profil de rupture Tansobetinga .....	46
Figure 40 : Récapitulatif des résultats OPN de la cuvette du Rawangomde.....	47
Figure 41 : Récapitulatif des résultats OPN de la digue du Rawangomde .....	47

## INTRODUCTION

Le Burkina Faso est un pays en voie de développement, avec environ 36,2% de sa population vivant en dessous du seuil de pauvreté. Avec un taux d'accroissement de 2,9%, et majoritairement rurale à 73,7%, la population burkinabè dépend fortement des productions agro-sylvo-pastorales (pêche, maraîchage, irrigation, élevage) et de l'exploitation des ressources naturelles. On assiste sur le terrain à une demande de plus en plus croissante et une pression accrue de ces ressources naturelles. Cela entraîne sensiblement leur diminution et leur dégradation à grande échelle. L'Etat burkinabè et ses partenaires au développement ont, depuis les indépendances, fait de la mobilisation et de la valorisation des ressources en eau leur cheval de bataille. Cela s'est traduit sur le terrain par la réalisation des barrages, surtout suite aux sécheresses des années 1970 (Ministère de l'eau et de l'assainissement, 2021).

Des efforts sont certes consentis par l'Etat à travers la construction de ces retenues d'eau, mais le problème de la mobilisation des eaux de surface demeure. L'estimation du rapport entre les quantités d'eau utilisables et les besoins du pays établi dans l'« Etat des lieux des ressources en eau du Burkina Faso et de leur cadre de gestion (2001) » montre que le pays se trouve dans un état permanent de stress hydrique (DRABO KEPLAN, 2016).

En effet, certains de ces ouvrages ont connu dans le passé jusqu'aujourd'hui diverses dégradations ou dégâts affectants leurs digues au cours de leur fonctionnement ; ou suite à la mauvaise conception et construction ne respectant pas les règles de l'art actuelles.

Certains de ces digues servent le plus souvent d'ouvrage de franchissement, par conséquent, supportent un trafic routier plus ou moins important. C'est le cas des petits barrages de KOALA, TANSONBENTINGA de la commune de SAABA et le petit barrage de RAMANGOMDE de la commune de KOU BRI dans la province de KADIOGO.

C'est dans ce contexte que s'inscrit le présent travail intitulé « **Caractérisation physico-mécanique des digues en terre latéritique des petits barrages au Burkina Faso.** », afin d'effectuer un inventaire assez détaillé des dégradations des petits barrages ainsi que leurs causes dans les zones d'études.

## **I. Objectifs et hypothèses d'étude**

---

### I.1. Objectif général

Comme objectif général, notre étude a pour but d'effectuer la caractérisation physico-mécanique des dégradations observées sur les digues des petits barrages en terre latéritique au Burkina Faso en vue de dégager les causes probables de ces dernières.

### I.2. Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques (OS) qui découlent ainsi de notre objectif général sont ainsi définis comme suit :

1. (OS1) Réaliser un répertoire des dégradations présentes sur les digues en terre latéritiques au Burkina Faso ;
2. (OS2) Caractériser les propriétés physico-mécaniques des matériaux utilisés pour le corps de remblai des digues latéritiques sur la base de prélèvements ;

### I.3. Hypothèses d'étude

Les hypothèses sous-jacentes liées à ces objectifs peuvent être ainsi définies :

1. Hypothèse n°1 : il existe une typologie des dégradations observées sur les digues en terre latéritique. Cette hypothèse sous-tend l'OS1.
2. Hypothèse n°2 : Les propriétés physico-mécaniques des matériaux utilisés pour la mise en œuvre des digues en terre latéritique interviennent dans la formation des dégradations observées sur ces mêmes digues. Cette hypothèse sous-tend l'OS2.

### I.4. Plan de l'étude

A travers ce document, nous décrirons dans un premier temps l'ensemble des travaux en passant notamment de l'inspection et du prélèvement des échantillons sur les différents sites aux essais en laboratoire pour l'obtention des résultats. Ainsi, il suivra dans sa description l'architecture suivante :

- Le chapitre I qui traitera des connaissances actuelles sur le sujet, plus précisément un état de l'art des petits barrages en terre latéritique.

- Le chapitre II qui exposera les différentes méthodes de travail et essais réalisés sur le matériau.
- Le chapitre III qui ressortira les différents résultats obtenus et les différentes interprétations de ces derniers.
- Et enfin terminer par la conclusion et les recommandations dans l'objectif de mieux entrouvrir cette étude.

## **CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTERATURE**

### **I.1.1. Généralités sur les barrages**

Les barrages sont des constructions particulières d'un point de vue technique et économique. Cela justifie certainement les hautes exigences imposées en ce qui concerne leurs études de projet en passant de la conception à leurs exploitations. En phase étude le choix du type de barrage nécessite la prise en compte de plusieurs facteurs, citant la forme de la vallée (morphologie), la géologie, les conditions climatiques, la sismicité et la disponibilité des matériaux de construction, en vue de choisir la variante la plus économique tout en garantissant le plus haut degré de sécurité, et en minimisant les impacts causés par l'ouvrage.

Les barrages jouent deux rôles principaux. D'une part ils jouent un rôle de stockage des apports d'eau afin de répondre à leurs besoins vitaux et économiques (eau potable, irrigation, fourniture d'énergie, navigation) des populations, et d'autre part un rôle de protection contre des effets destructeurs de l'eau (maîtrise des crues, rétention de sédiments, protection contre les avalanches).

Selon Venot et Cecchi (2011), les barrages atténuent des conséquences d'une forte variabilité climatique en stockant les eaux de pluies. Ils assurent la régulation des apports ; la création d'une retenue ; la surélévation du plan d'eau d'une rivière ; la création d'un plan d'eau. (Anto et al., 2011)

Il existe deux grandes familles de barrages, ceux construits en béton et ceux construits en remblai (terre ou enrochement).

Les barrages en béton sont des ouvrages dont les principales fonctions sont la rétention d'eau et la création d'électricité.

Les barrages en remblais sont constitués de matériaux locaux meubles qui peuvent être fins (argiles) ou très grossiers. Cette famille regroupe cependant plusieurs catégories. Les différences proviennent des types de matériaux utilisés, et de dispositif d'étanchéité (AMARA Fatma, 2018).

Notre étude portant sur les barrages en terre nous nous attarderons dans nos lignes ci-dessous sur ces derniers.

**a) Petits barrages en terre**

Il n'existe pas de définition unanimement reconnue de l'expression petit barrage.

De son côté, la commission Internationale des Grands Barrages considère comme grands barrages, les ouvrages de hauteur supérieure à 15m, ou bien même dans certains cas compris entre 10 et 15m.

Le Cemagref (1997) pense en fait, qu'il n'est pas très important de définir avec précision la limite entre les deux. Pour sa part, un barrage de 20m sera pour l'un le plus petit des grands barrages et pour l'autre le plus grands des petits barrages.

Au regard de ce qui précède, nous proposons pour fixer les idées, de retenir petit celui dont la hauteur est inférieure à 15m et moyens de ceux dont la hauteur est comprise entre 15m et 20m (hauteur mesurée au-dessus du point le plus bas de la fondation) (Gérard DEGOUTTE, 2002). Il faut reconnaître que cette définition ne prétend pas être universelle et réglementaire.

**I.1.2. Catégories de barrage en remblai**

On distingue deux catégories de barrage en remblai :

- Les barrages en terre, réalisé, à partir de sols naturels meubles prélevés à proximité du site de l'ouvrage.
- Les barrages en enrochement, dont la majeure partie est constituée de matériau de carrières concassé.

La Figure 1 représente les sous types de barrage, pour les deux catégories de barrages en remblai en fonction du matériau de construction, et du dispositif d'étanchéité.

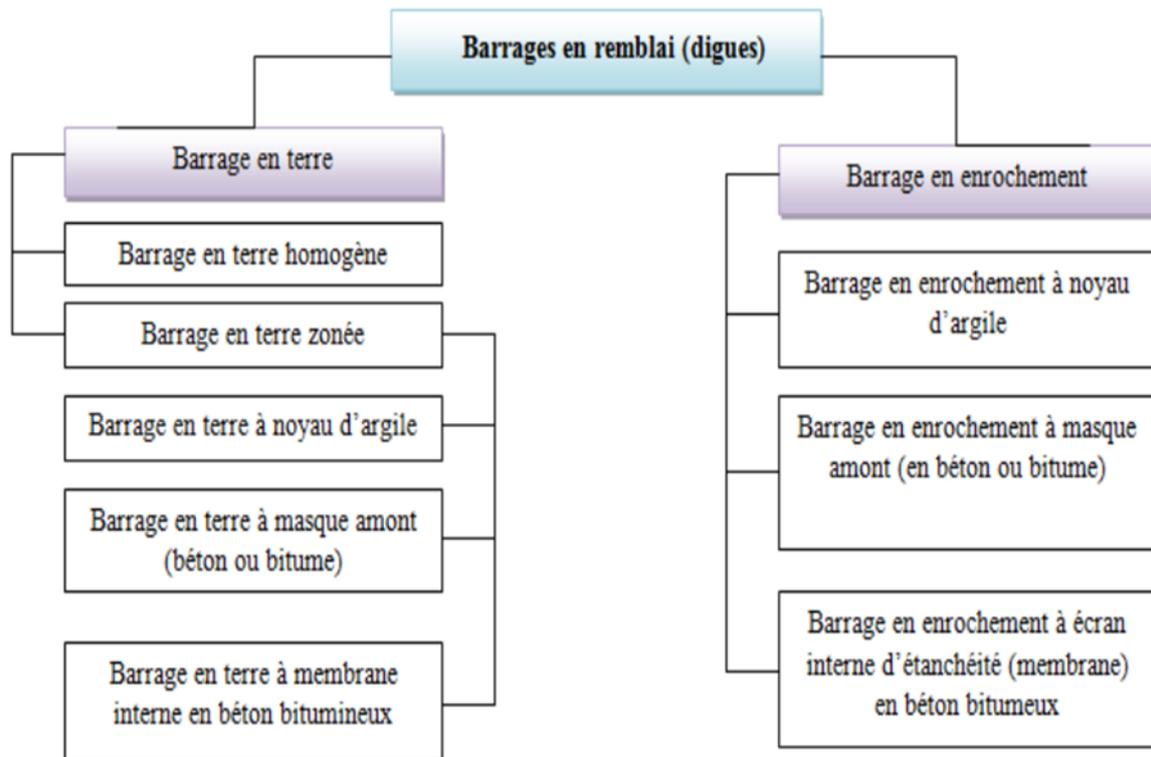


Figure 1: Catégories des barrages en remblai ( AMARA Fatma, 2018)

### I.1.3. Définition des concepts et terminologies des petits barrages en terre

#### ❑ La Digue :

Les digues sont définies comme des structures surélevées, principalement en terre (parfois appelées remblais ou digues de défense contre les inondations) dont l'objectif principal est de fournir une protection contre les inondations fluviales et côtières le long des côtes, des rivières et des voies navigables artificielles (Jonathan Simm et al. 2012).



Figure 2 : Digue en terre homogène

❑ **La Dégradation :**

Elle représente la diminution de la performance d'une fonction restant néanmoins supérieure au seuil fonctionnel ou à l'état limite (état ou phénomène que l'on souhaite éviter). (Cremona, 2002)

❑ **Vieillessement :**

Il représente toute dégradation du remblai ou des ouvrages annexes en fonction du climat, des conditions d'exploitation, d'événements particuliers, ou d'un défaut introduit dès le stade de la conception ou de la construction qui tend à diminuer l'aptitude de l'ouvrage à bien remplir ses fonctions, ou qui tend à diminuer sa sécurité. (Lautrin, 2002)

❑ **La Défaillance :**

Elle se présente comme étant une altération ou cession de l'aptitude d'un système à accomplir sa ou (ses) fonction(s) requise(s) avec les performances définies dans les spécifications techniques (norme NF X60-010). Dans ce cas, une au moins des performances est supérieure au seuil fonctionnel.

❑ **Le Diagnostic :**

C'est l'identification de la cause probable de la (ou des) défaillance(s) à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test (AFNOR 2001). On recherche dans le passé de l'ouvrage sur lequel on produit le diagnostic les mécanismes de dégradations qui ont conduit à son état actuel au

moment de l'évaluation.

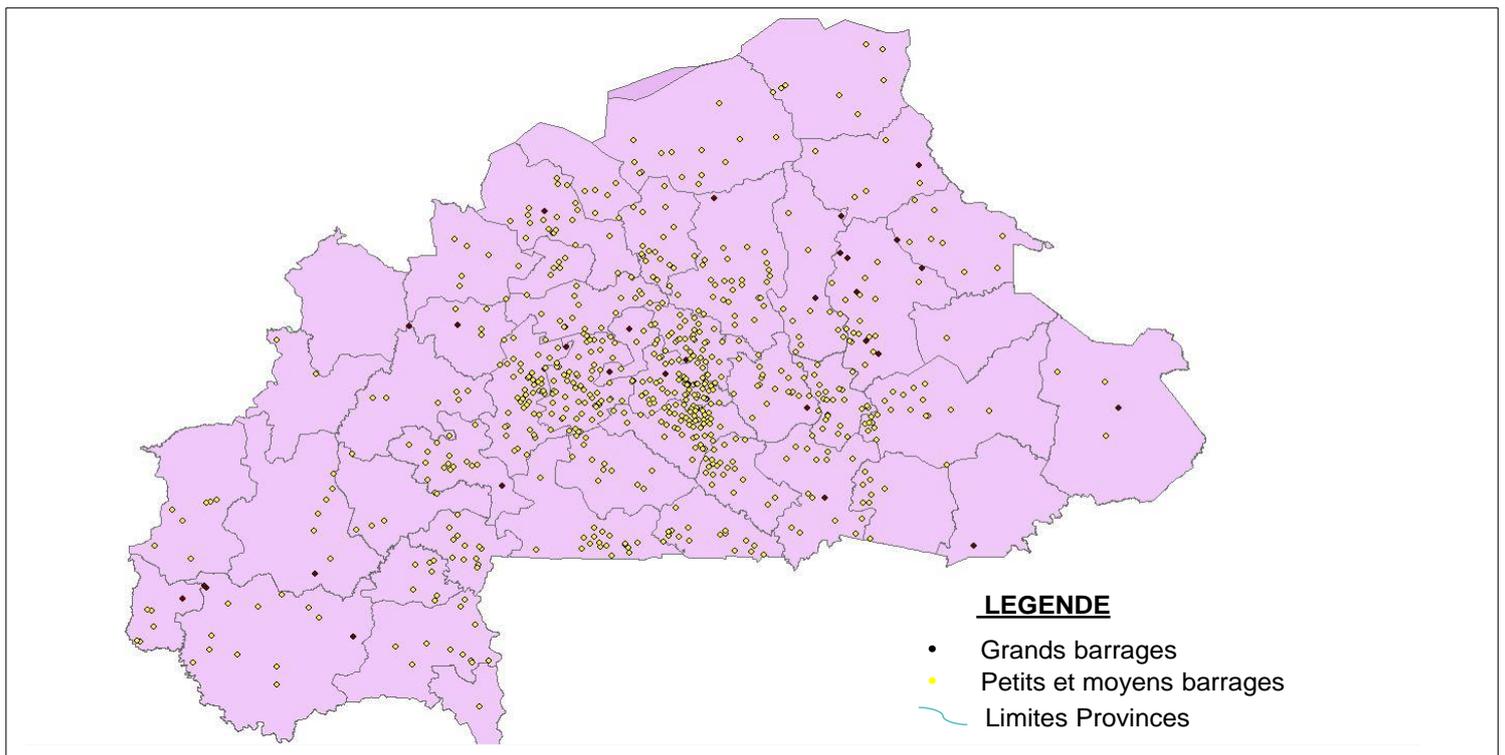
□ **La durabilité :**

Elle correspond à l'aptitude à demeurer en état d'accomplir ses fonctions, dans des conditions données d'utilisation et de maintenance, jusqu'à ce qu'un état limite soit atteint.

### **I.1.4. Dégradations des petits barrages en terre et leurs causes**

#### **a) Répartition et évolution des barrages au Burkina Faso**

Les petits barrages représentent désormais une composante incontournable des paysages ruraux des pays sahélo-soudaniens d'Afrique de l'Ouest. Il en existe des centaines en Afrique subsaharienne, le Burkina Faso a l'apanage du plus grand nombre de ses infrastructures. La Figure 3 présente la répartition spatiale des barrages du Burkina Faso, cette carte a été réalisée à partir des données de la Direction Générale des Ressources en Eau.



*Figure 3 : Répartition des Barrages du Burkina (Données de la Direction Générale des Ressources en Eau, 2018)*

Nous avons un effectif total de 715 barrages, après cette présentation des barrages du Burkina Faso, la Figure 4 nous montre une cartographie des petits et moyens barrages du Burkina Faso

qui font l'objet de notre étude. L'effectif total est de 686 petits et moyens barrages.

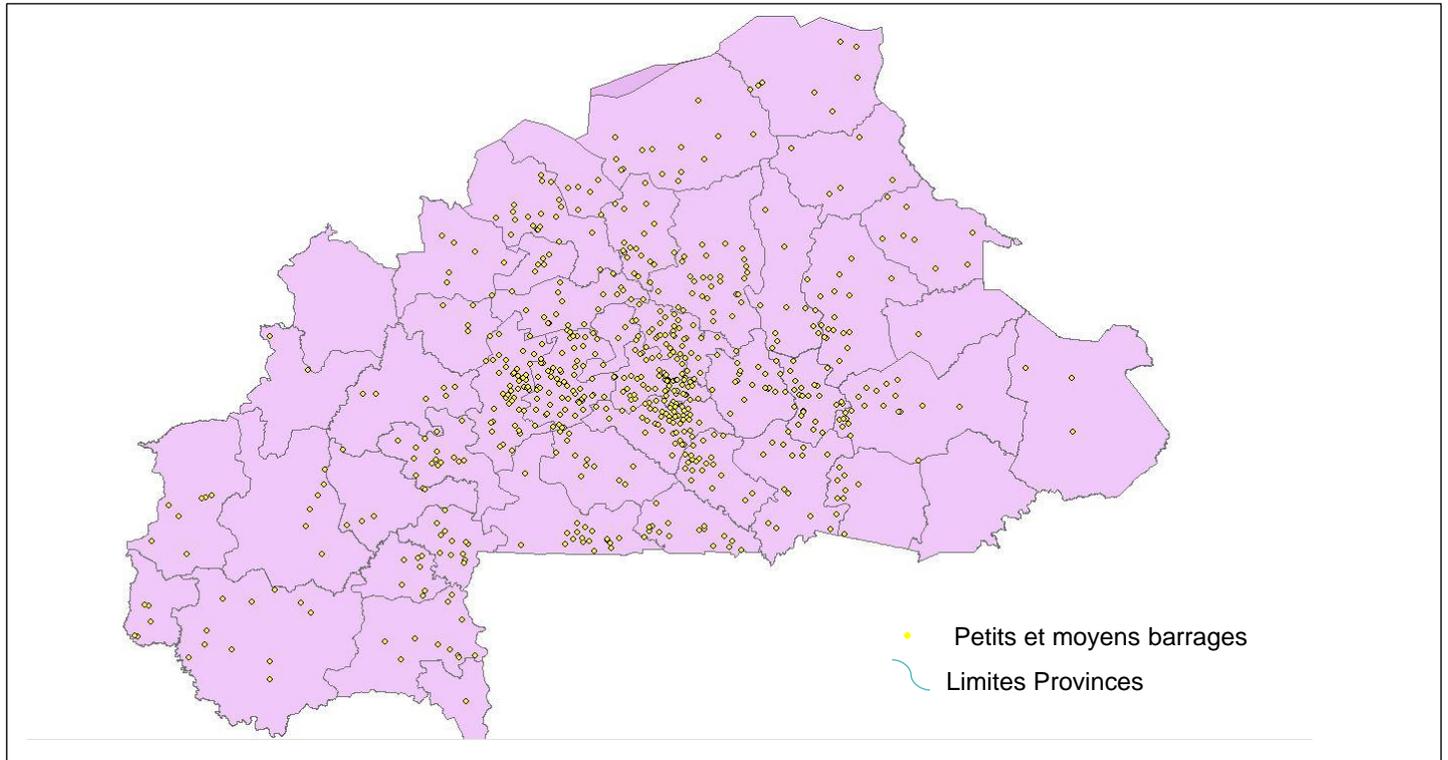


Figure 4 : Répartition des petits et moyens Barrages du Burkina (Données de la Direction Générale des Ressources en Eau, 2018)

### **b) Dégradations et causes des petits barrages dans le monde**

En 1996, une enquête a été menée en France dans le département de Gers sur 90 barrages choisis de manière aléatoire.

En effet, cette enquête basée sur l'inspection visuelle relève l'existence de deux types de dégradations : les dégradations externes et les dégradations internes.

Selon Lautrin (2002). Les dégradations présentes sur ces ouvrages sont entre autres : la fissuration et ravinement des remblais, l'effet de battillage et la végétation, qui sont les dégradations de surface. A cela s'ajoute le tassement de remblais, l'érosion interne et la perte de la résistance des matériaux.

Allant dans le même sens, un état des lieux du parc des barrages a été fait. L'enquête a concerné tous les départements métropolitains, y compris la Corse et s'est déroulée sur 4 ans (1990-1994). Il ressort de cette enquête que le climat, les conditions d'exploitations, le manque

d'entretien, des défauts de conception, de la construction sont les causes des désordres (Royer et al. 1995).

Il y a déjà plus de 25 ans, Terzaghi a justement constaté que « les ruptures réellement catastrophiques sont celles dues aux érosions internes par infiltration ou renards, du fait qu'elles se produisent sans avertissement, le réservoir étant plein et parfois plusieurs années après le premier remplissage. » (ICOLD, 2017). Ces infiltrations dangereuses, qui finissent par produire une érosion interne du barrage ou des fondations, peuvent avoir des origines très diverses :

- ✓ Fissuration due à des tassements différentiels. C'est le cas par exemple des barrages de Wister aux U.S.A (1949) et de East Branch aux U.S.A. (1957) (AMARA Fatma, 2018).
- ✓ Cependant, de nombreux petits barrages homogènes pourtant construits suivant les règles de l'art se sont rompus par renard ou plutôt par érosion du remblai constitué d'argile ayant des propriétés dispersives. Cela a notamment été mis en évidence en Australie par Aitchison (1965) et en Israël par Kassif (1967).

### **c) Répertoire des dégradations des petits barrage en terre**

Avant de parler du contexte du Burkina Faso, nous faisons d'abord un bref aperçu sur les dégradations à travers le monde. Ainsi le Tableau 1 montre un répertoire de l'état des réflexions actuelles sur l'identification des mécanismes de dégradation des petits barrages en terre, les sous-divisions possibles ainsi que les défauts se manifestant en lien avec le mécanisme de dégradation. Nous y retrouvons les mêmes causes que celles soulever par l'enquête de Royer en 1995, bien qu'il s'agisse des environnements différents.

*Tableau 1 : types de dégradations pouvant se développer dans une digue et défauts caractéristiques de chacun de ces mécanismes (Yasmina Boussafir et al. 2019)*

<b>Causes de dégradations</b>		<b>Mécanisme de dégradation proposé/associé</b>	<b>Défauts (observables ou non)</b>
Effets de la météorologie	Dégradation liée à la dessiccation	Sécheresse	Fissures, modification de l'arrangement des particules, tassement par retrait...
	Dégradation liée à la pluviométrie		Ravinement, érosion de surface, saturation des sols, perte de cohésion...
Interaction avec le vivant	Dégradation liée aux animaux fouisseurs,		Terriers, piétinements, chemins de passage
	Dégradation liée aux arbres		Formation de conduits racinaires, migration de particules fines, arrachement de matériaux par basculement...
	Dégradation liée à l'anthropisation		Développement de biofilms, encroûtements calcaires...
	Dégradation liée aux organismes encroûtants		Réseaux enterrés, piétinement, constructions diverses (poteaux, escaliers, clôtures...), circulation de véhicules
Interaction avec les mouvements d'eau	Dégradation liée au batillage	Affouillement	Erosion en talus, ravinement
	Dégradation liée au battement de nappe	Erosion interne	Déplacement des matériaux ; suintement ; tassement ou gonflement du sol support ; saturation des sols...
	Dégradation liée aux minéralisations		Encroûtements calcaires d'origine chimique, oxydation de particules ferreuses...

Il faut retenir que les mécanismes de dégradation liés à la sécheresse (ou dessiccation) ou aux végétaux sont les deux mécanismes les mieux documentés à ce jour. A cela s'ajoute les effets du batillage et des animaux fouisseurs qui sont également bien connus.

En ce qui concerne la dessiccation, il s'agit d'un phénomène complexe, difficilement modélisable qui dépend de la météorologie (pluviométrie, évapotranspiration) et de la nature des sols (conductivité hydraulique, propriétés de rétention d'eau, de retrait et gonflement...). (Yasmina Boussafir *et al.* 2019).

Le tableau 2 nous résume quelques dégradations des petits barrages ainsi que leurs causes selon plusieurs auteurs. En somme quel que soit l'auteur et le fait que les ouvrages se trouvent dans les emplacements géographiques différents, on retrouve à peu près les mêmes dégradations partout.

*Tableau 2 : Dégradations et causes sur les petits barrages en terre selon quelques auteurs*

<b>Auteurs</b>	<b>Dégradations</b>	<b>Causes</b>
<b>Lautrin, 1988.</b>	La fissuration et ravinement des remblais, l'effet de batillage, la végétation, le tassement de remblais, l'érosion interne et la perte de la résistance des matériaux.	Interactions avec l'atmosphère, la météorologie, le vivant ; les mouvements des masses d'eau au contact de la digue. Le vieillissement naturel du barrage
<b>Royet et al, 1995</b>	Perrés désordonnés, Talus aval parti par endroit, rupture de la digue	des défauts de surveillance et d'entretien ou encore actes de malveillance, sabotage, attentat, guerre.
<b>LE DELLIU, 2003</b>	Erosion de la crête, Renard hydraulique, Erosion du talus amont et talus aval, Les dépressions sur la couche de couronnement.	Les sollicitations sur un barrage menacent sa stabilisé et sa sécurité, Présence des arbustes et des arbres, de termitière.
<b>Bernard BOUYGE, 1992</b>	Tassement, fissures longitudinales	la géométrie des remblais, la nature des matériaux (en particulier, l'utilisation de matériaux évolutifs).

**Quelques images bibliographiques**

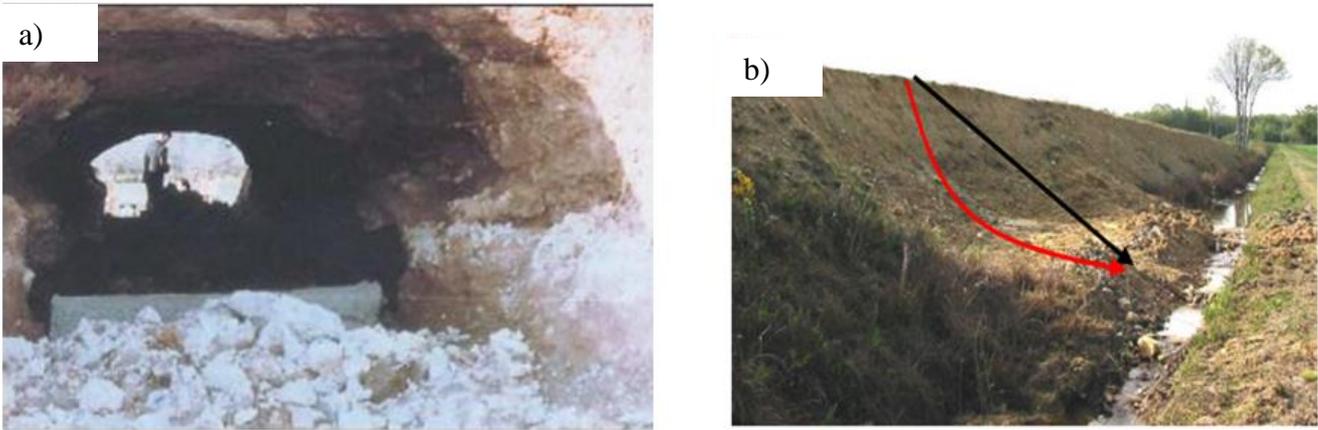


Figure 6 : a) Renard dans un barrage (Lautrin, 2002) et b) Glissement coté aval en crue (Damien Serre, 2013)



Figure 5 : a) Batillage au voisinage du deversoir du barrage de LAUNAC(1998) b) Talus enherbé marqué par le batillage au niveau de la retenue normale (Lautrin, 2002)

❑ **Dégradations et causes en Afrique**

Quelle que soit sa structure, pour remplir correctement et durablement ses fonctions, un barrage en remblai doit être stable, étanche, bien drainé et protégé des agents extérieurs. En outre, il est évident qu'un barrage mal dimensionné et instable porte, d'une part, préjudice à la sécurité des populations, exploitations agricoles et aménagements situés à son aval et, d'autre part appellera probablement des travaux d'entretien.

Au niveau national, Le sujet de recherche sur la dégradation des petits barrages n'est pas assez documenté, les études sur ce sujet sont quasi inexistantes au Burkina Faso surtout concernant les thèses. Néanmoins nous avons ici quelques pathologies présente dans les petits barrages du Burkina Faso, selon le Groupement d'Intérêt Publics. Tableau 3 résume l'ensemble des dégradations et causes des digues en terre latéritiques, élaborer par une structure étatique du Burkina Faso (Agence de l'Eau de Nakanbé, 2015 ).

**CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE DES DIGUES EN TERRE LATERITIQUE DES PETITS  
BARRAGES AU BURKINA FASO**

---

*Tableau 3 : Dégradations et causes des digues en terre latéritiques au Burkina Faso*

<b>Dégradations</b>	<b>Causes</b>
Fissuration et ravinement	Assèchement de certains remblais, un tassement différentiel, ou un mouvement entre des sections voisines du remblai, Ruissèlement d'eau, circulation sur le parement (animaux, hommes)
Nids de poules et Roulière	Défaut de compactage, élément étranger dans le remblai, circulation de véhicules.
Dégradation des protections en perré des parements amont et aval	Une altération de moellons de mauvaise qualité, désorganisation des moellons, ; prélèvement des moellons ;
Végétation sur les talus	Manque ou insuffisance d'entretien courant.
Affaissement de la digue (crête)	Passage répéter d'animaux, véhicules et d'hommes
Le glissement et érosion interne des talus :	Percolations anormales à travers le remblai ou la fondation, perte de résistance mécanique des matériaux par sous-pressions.
Dégradation des murettes aval anti érosives	Un vieillissement ou encore à une érosion ou tassement du remblai sous-jacent (couche de pose) et qualité des moellons.

## **Conclusion**

L'état de l'art nous montre clairement que la plupart des pathologies décrites précédemment sur les petits barrages, sont liées soit au vieillissement, aux actions anthropiques, au manque d'entretien, aux effets des changements climatiques. Le non-respect des règles de l'art de réalisation est également un facteur non négligeable. Toutes ces causes méritent d'être scrutées scrupuleusement. Pour ce qui est de la surexploitation elle est également non négligeable et à considérer. Plusieurs comportements des riverains entraînent aussi des dommages sur le corps de la digue. C'est ainsi que le manque de sensibilisation favorise les dégradations et précipite le vieillissement de ces barrages.

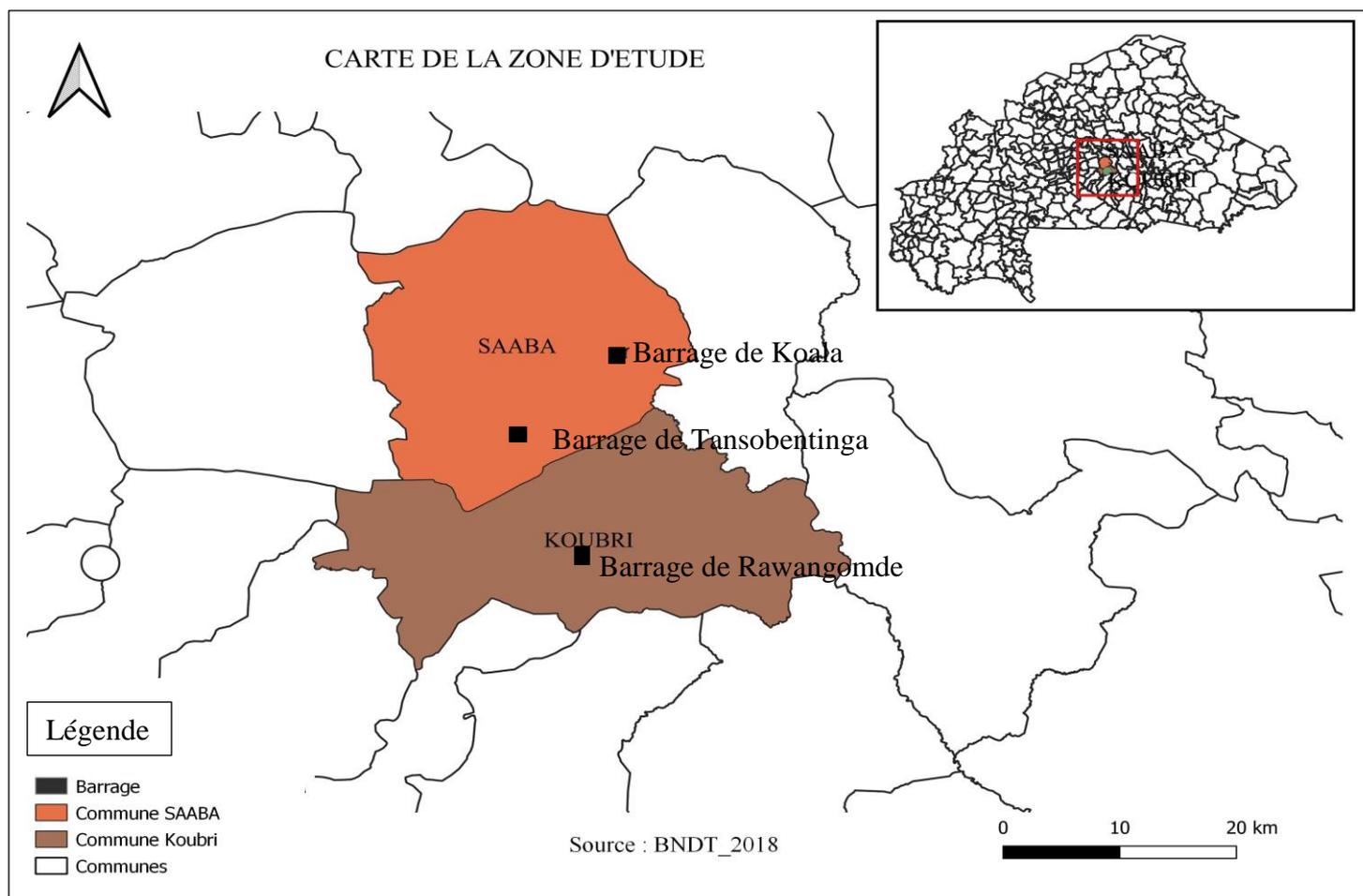
L'étude du vieillissement et les méthodes d'évaluation de la sécurité sont les défis auxquels est confronté la profession de l'ingénierie des barrages chaque jour. Dans ces domaines, les besoins de recherche restent importants.

En Afrique, plus précisément au Burkina Faso la plupart de ces infrastructures ont été érigées dans les années 70 et 80. Vieilles, elles sont aujourd'hui susceptibles de présenter des dégradations. Il faut retenir qu'à ce jour il n'existe toujours pas un répertoire qui liste les typologies des dégradations sur les petits barrages au Burkina Faso, encore moins la compréhension de leurs causes. Il paraît donc important de mener une réflexion dans ce sens pour ressortir tous ses éléments afin d'aller vers une durabilité accrue de ses ouvrages, qui sont incontournables pour la société au vu des réserves en eau naturelles.

## **CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES**

### **1. La présentation de la zone d'étude du projet**

Situé au cœur de l'Afrique occidentale, le Burkina Faso est un pays à climat tropical chaud et est limité de l'Est à l'Ouest respectivement par la 3° Longitude Est et la 6° Longitude ouest. Du Nord au sud il est encadré par les latitudes 9° et 15° Nord. Ce pays qui possède une superficie de 274 000 km<sup>2</sup> est répartie en 13 régions qui sont eux-mêmes subdivisés en 45 provinces. C'est dans la province de KADIOGO plus précisément dans les communes de Saaba et Koubri, que nous avons identifié les barrages qui font l'objet de notre étude. Ils sont au nombre de trois, KOALA ; TANSOBENTINGA et RAWANGOMDE situés respectivement dans la commune de Saaba et Koubri. La Figure 7 : Localisation géographique des ouvrages étudiés.



*Figure 7 : Localisation géographique des ouvrages étudiés*

## **2. Méthodologie**

La démarche à suivre pour atteindre les objectifs de notre étude est exposé comme suit :

- La recherche bibliographique et la collecte des données. Il y sera question, de revoir les rapports des études antérieures concernant plusieurs barrages en remblais ;
- Identification d'un certains nombres de petits barrages en terre afin de mener un diagnostic complet sur l'ensemble de ses barrages ;
- Sélection des barrages représentatifs en fonction des années de réalisation, notamment vieux, moyens, plus récents ;
- Effectuer une visite de terrain sur les barrages sélectionner afin d'observer et décrire les dégradations constatées sur les ouvrages du barrage, ainsi que les causes ;
- Produire une note explicative de toutes ses dégradations ;
- Réaliser les essais de caractérisations des matériaux identifiés au laboratoire ;
- L'analyse des résultats géotechniques des essais, qui nous permettrons d'approfondir le diagnostic par la détermination des causes de nature géotechnique sur les pathologies, et de connaître les zones d'emprunts.

## **3. Méthodes expérimentales**

Ces essais sont faits d'une part pour savoir si les matériaux répondent toujours aux critères de qualité pour les digues. Ensuite pour rechercher les paramètres d'entrés des modèles mathématiques concernant une thèse.

### **Description des essais**

Les essais d'identifications ont été réalisés au laboratoire LEMhaD à 2iE et ce, conformément aux normes françaises AFNOR en la matière. Nous donnerons dans cette partie une brève description des essais effectués.

### **Essais d'identification des paramètres d'état du sol**

#### **a) La teneur en eau initiale**

La teneur en eau initiale est la teneur en eau du matériau à l'état initial, état auquel se trouve le sol ou le matériau en place à l'emprunt. L'essai est fait selon les prescriptions que suggère la norme NF P 94-050. Le matériau est prélevé sur une quantité représentative et pesée. Après

étuvage et pesée, on détermine la teneur en eau du matériau. La formule ci-dessous permet d'effectuer le calcul.

$$Wi = \frac{(Mh - Ms)}{Ms} \quad (1)$$

### b) L'Analyse granulométrique (NF P94-057)

L'analyse granulométrique est un essai visant l'identification de la proportion granulaire d'un matériau. Pour mieux apprécier cette proportion granulaire. Elle préconise deux essais distincts complémentaires à savoir le tamisage et la sédimentation.

Un récapitulatif des résultats du tamisage en fonction des couches latéritiques étudiées est consigné dans les tableaux de l'annexe. (Cf. Tableau 8 au Tableau 23)

Le calcul des ratios d'analyse de la courbe se fait de la manière suivante :

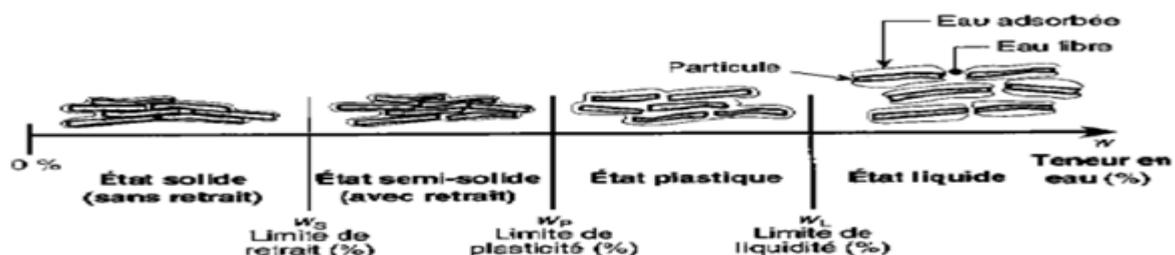
- Le coefficient d'uniformité se calcule par la relation suivante :  $Cu = \frac{D60}{D10}$
- Le coefficient de courbure se calcule par la relation suivante :  $Cc = \frac{(D30)^2}{D10 \cdot D60}$
- Le produit de finesse se calcule par la relation suivante :  $\mu_f = \% (80 \mu m) * IP$

### c) Limites d'Atterberg (NF P 94-051)

Les teneurs en eau qui délimitent les quatre états de la consistance sont appelés limites de consistance ou limites d'Atterberg. Ces limites sont :

- La limite de plasticité qui elle représente la teneur en eau à laquelle le matériau quitte l'état semi solide à l'état plastique.
- La limite de liquidité qui présente la teneur en eau à laquelle un sol quitte de l'état plastique à l'état liquide.

Les essais sont à effectuer sur la portion du matériau passant au tamis de 400µm. La figure 7 montre les différentes limites du matériau en fonction de la teneur en eau.



**d) Essai densitomètre à membrane (NF 94 061/2)**

L'essai consiste à mesurer les masses ou poids volumiques apparents des sols (humide  $\gamma$  ; sec  $\gamma_d$ ) en place, ou encore après tassement ou compactage d'un remblai. Dans notre cas cet essai

*Figure 8 : Etats de consistance (ROBITAILLE & TREMBLAY, 1997)*

a consisté à vérifier le compactage en place. On mesure d'abord in situ le volume total V occupé par un échantillon de sol au moyen d'un densitomètre à membrane. Puis, dans un second temps, en laboratoire, on détermine pour l'échantillon remanié son poids humide et sec. La distance de prélèvement entre les points est de 100m.

**e) Le poids spécifique (NF P94-054)**

Une quantité de matériau connue d'un volume V obtenue dans une éprouvette graduée nous permet d'obtenir une masse volumique de ce matériau si sa masse m est connue. Cependant cette masse volumique ne tient pas compte du volume des vides que contient cette portion de matériau.

L'essai du poids spécifique pour but d'obtenir le poids spécifique des grains du matériau. Le matériau étant saturé nous permet de chasser le vide qui s'y trouve et nous estimons le volume des grains du matériau uniquement.

**f) La valeur bleue d'un sol**

Cet essai a pour but de déterminer l'activité argileuse du sol, savoir si le matériau est sensible à l'eau ou pas. Cet essai a été exécuté suivant les recommandations des normes NF P94-068 et NF P 11-300 et GTR. L'essai a été fait sur la fraction de 0 à 5mm de nos différents matériaux.

Le calcul de la valeur de bleue se fait avec la formule suivante :

$$VBS = \frac{\text{Masse échantillon}}{\text{Total du bleu}} \quad (2)$$

❑ **Essais d'identification des paramètres mécaniques des sols**

**1. L'essai Proctor**

L'essai Proctor a pour but de déterminer les conditions de compactage fixées pour une meilleure compacité d'un sol. En effet, il nous renseigne d'une part sur la teneur en eau optimale pour un sol de remblai donné et d'autre part, sa densité maximale. La teneur en eau optimale correspond à la teneur en eau qui amène le matériau après malaxage et compactage à la densité maximale que peut atteindre ce sol. Cette densité sèche est inconnue d'emblée. C'est pourquoi comme par une méthode de tâtonnement, la teneur en eau optimale est recherchée en faisant varier le dosage en eau avant chaque compactage tout en surveillant la variation de la densité. L'essai Proctor qui a été fait est le Proctor modifié qui est appliqué aux cas des constructions routières. L'essai a été fait suivant les recommandations de la norme NF P 94-093.

L'essai CBR n'a pas été réalisé par manque du matériau, Ce pendant une autre mission sur le terrain est en train d'être planifier en vue de la poursuite des travaux. Plus précisément pour la réalisation du reste des essais mécaniques.

**4. Procédure de prélèvement**

Dans un premier temps il s'agit de relever l'ensemble des dégradations présentes sur la digue ensuite, de procéder au prélèvement sur les endroits dégradés de la digue. Ces échantillons sont ramenés au laboratoire pour les analyses afin d'affirmer ou d'infirmer les hypothèses émises au départ.

### **CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION**

---

#### **1. Pathologies dégagées lors de la visite d’inspection et leur causes probables**

Dans le cadre de la réalisation de cette étude, une mission a été réalisée sur les sites des différents barrages en vue de procéder à une inspection générale de ceux-ci. Suite à l’inspection des trois barrages les principaux constats ont été faits :

##### **a) Barrage de Koala**

On constate que le plan d'eau possède un seul site de pêche. La digue est fortement dégradée sur les talus amont. Exploitation sur les berges, non-respect de la distance règlementaire et le comblement progressif de la cuvette. La digue est fortement dégradée et risque de céder en cas de fortes pluies et les dégradations en amont ont presque atteint le noyau de la digue. Cette dernière est renforcée avec un apport de terre et de perrés par les maraichers (groupement tenmestaaba).

*Tableau 4 : caractéristiques de la digue du barrage de Koala*

Type de l’ouvrage	Barrage homogène en terre
Capacité	350.000m <sup>3</sup>
Longueur en crête	595 m
Largeur en crête	5.2 m
Type de digue	Terre homogène
Protection talus aval	Couche de gravier latéritique
Protection talus amont	Perré maçonné sur la partie supérieur et perré sec sur la partie inférieur
Protection de la crête	Revêtement latéritique

##### **✓ Synthèse des dégradations sur la digue du barrage :**

Lors de notre inspection sur ce barrage, nous avons constaté les dégradations comme l’érosion de crête et des talus, il y avait également la présence d’herbes entre les perrés secs. A cela s’ajoute la présence de quelques arbustes sur le talus, désorganisation des moellons par endroit sur le talus amont, et le talus aval complètement parti par endroit.

On notait également des irrégularités des plans des deux pentes (les plans sont ondulés) et la présence d'un réseau racinaire qui se propagent sur le talus.

On notait également l'absence de fossé de pied aval pour l'évacuation des eaux de ruissellement.

✓ **Quelques images pathologiques :**



*Figure 9 : a) Erosion de la crête et b) présence de la végétation sur le talus aval*

**b) Barrage Tansobentinga**

Ce barrage a cédé, la cuvette et l'aval sont devenues des sites d'exploitation agricoles du barrage de grand Tansobintenga. Le Tableau 5 présente les caractéristiques de la digue du barrage de grand Tansobintenga.

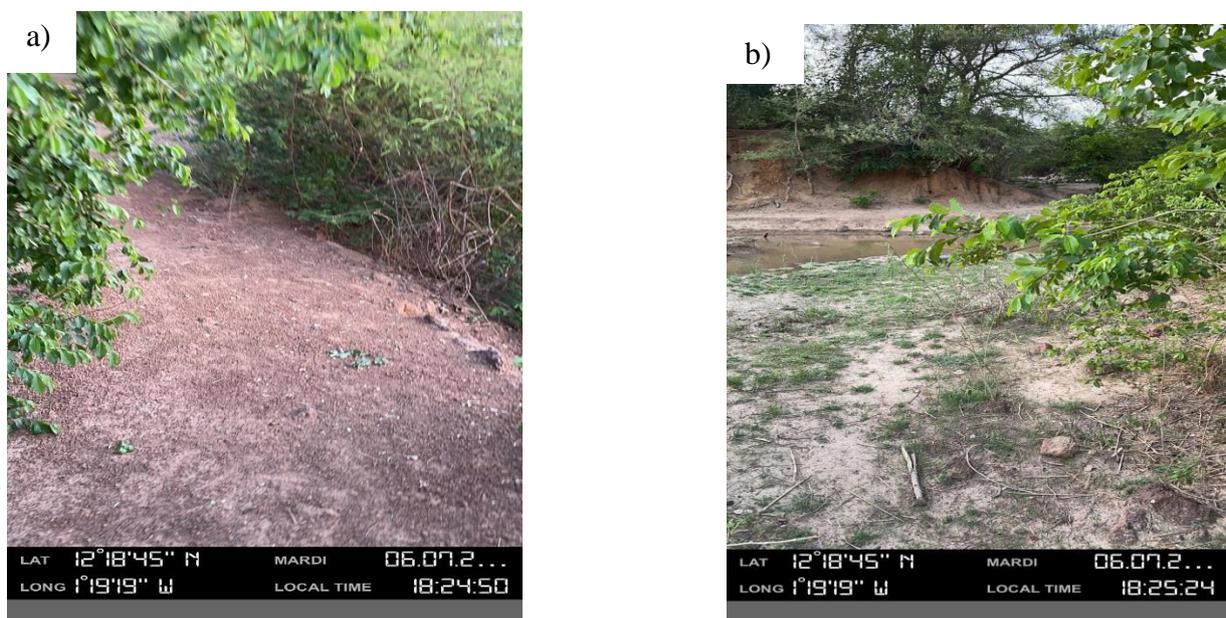
*Tableau 5 : caractéristique de la digue du barrage Tansobentinga*

Type de l'ouvrage	Barrage homogène en terre
Capacité	-
Longueur en crête	-
Largeur en crête	-

Type de digue	Terre homogène
Protection talus amont et aval	Pérée sec
Protection de la crête	Revêtement latéritique

Sur la digue de ce barrage, nous avons constaté comme dégradations, la Présence d’herbes sur le perré sec, d’arbres sur le talus amont et aval. A cela s’ajoute la désorganisation des moellons par endroit, ce qui a entraîné une rupture totale de cette digue. On notait également l’absence de fossé de pied aval pour l’évacuation des eaux de ruissèlement.

**□ Quelques images pathologiques**



*Figure 10 : a) La digue envahit par la végétation et b) la rupture de la digue*

**c) Barrage Rawangomde**

Ce barrage est ensablé, présence de digue de protection, il existe un seul site de pêche. Le mauvais état de la digue a occasionné une déviation pour le passage des véhicules.

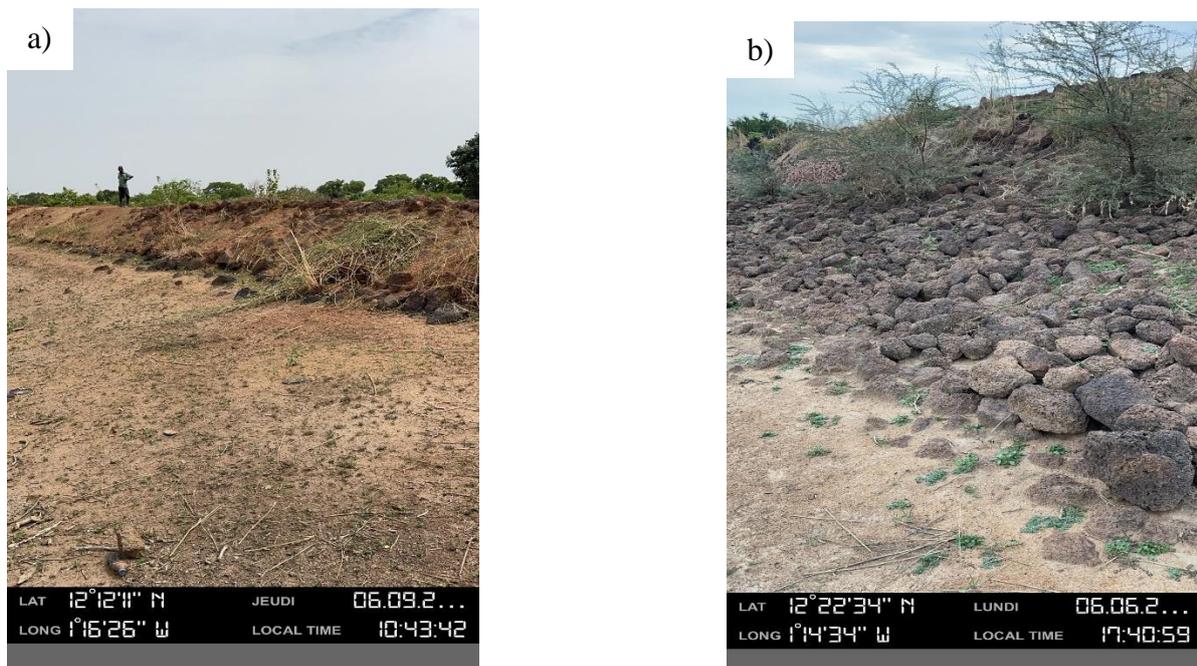
*Tableau 6 : caractéristique de la digue du barrage Rawangomde*

Type de l’ouvrage	Barrage homogène en terre
Capacité	-
Longueur en crête	315.8 m
Largeur en crête	3 m
Type de digue	Terre homogène
Protection talus amont et aval	En maçonnerie de moellons
Protection de la crête	Revêtement latéritique

✓ **Synthèse des dégradations sur la digue du barrage :**

Lors de l'inspection de ce barrage nous avons constatés la présence d'herbes sur le perré sec qui cause leur dispersion, la présence de quelques arbustes sur le talus à la pente raide. Nous avons également noté la désorganisation des moellons par endroit dans la zone de transition des deux pentes, l'irrégularité des plans des deux pentes (les plans sont ondulés). A cela s'ajoute la présence en rive gauche d'herbes rampantes au pied du talus, ces herbes se propagent sur le talus. On note au la présence de quelques zones de dépression, de trous à rat et désorganisation par endroit des murets sur la crête ; il y a aussi l'absence de fossé de pied aval pour l'évacuation des eaux de ruissellement.

✓ **Quelques images pathologiques**



*Figure 11 : a) Dispersion des perrés secs en amont et b) Désorganisation des moellons en amont*

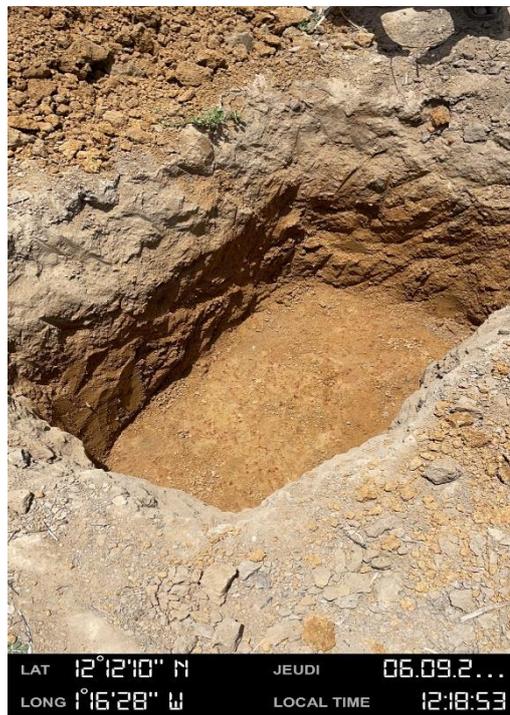
**2. Echantillonnage**

❑ **Provenance des matériaux de fondation de la digue**

Afin de se prononcer sur l'aptitude des matériaux de la zone d'emprunt à constituer un bon matériau de construction (terre pour les remblais), des échantillons ont été prélevés dans l'axe de la digue de chaque barrage et dans les zones d'emprunt (cuvettes) en vue de leurs identifications au laboratoire. Sauf au niveau du barrage de TANSONBENTINGA dont la présence de la grave latérite nous a empêchée de faire sur l'axe de la digue. Sur cette dernière digue, nous avons effectué les prélèvements de part et d'autre de l'endroit de la rupture.

Dans la cuvette de chaque barrage étudié, nous avons réalisé deux puits d'approximativement 1m de profondeur à ciel ouvert de la rive gauche à la rive droite, sans constater de venues d'eau. La présence d'eau dans le lit mineur n'a pas permis la réalisation d'un puit dans cette zone. Sur toutes les profondeurs creusées, nous avons rencontré de la cuirasse latéritique dure à creuser à la pioche.

En réalisant ces puits à ciel ouvert implantés au pied amont de chaque digue, il n'y avait pas la présence d'eau. Seul l'un de puits du barrage de Koala avait une grande quantité d'eau du fait de sa proximité avec le lit mineur.



*Figure 12 : Puits d'au moins 1m dans la cuvette*

### III.1. Caractéristiques des paramètres d'état et de nature

Afin de pouvoir constituer une base de données pour ces ouvrages, nous considérons les différentes digues de ces ouvrages comme des digues routières, car elles supportent un Traffic plus ou moins important. De ce fait, nous utilisons le CEBTP pour l'appréciation des différents résultats.

➤ **Distance de prélèvement des échantillons**

*Tableau 7 : Distance de prélèvement dans la cuvette*

Points	Distance par rapport au Lit mineur	Distance par rapport au Pied de la digue
P1_cuvette	3m	25m
P2_cuvette	3m	25m

#### 1. La teneur en eau initiale

Le calcul de la teneur en eau initiale se calcule en faisant le rapport de la masse d'eau sur la masse sèche. Celle-ci est calculée dès les premiers jours de l'échantillonnage.

##### a) Résultats

Les résultats des trois barrages se présentent dans les figures suivantes :

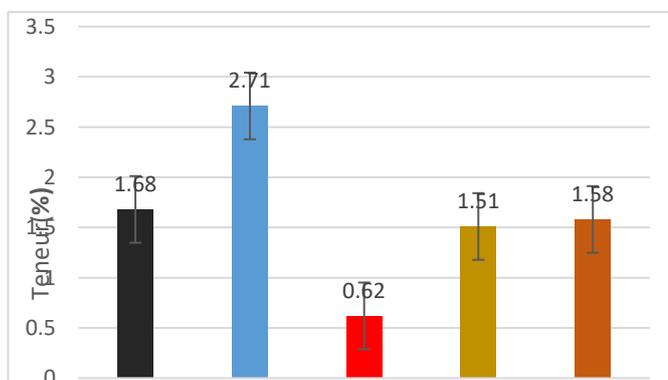


Figure 14 : Teneur en eau naturelle de Rawangomde

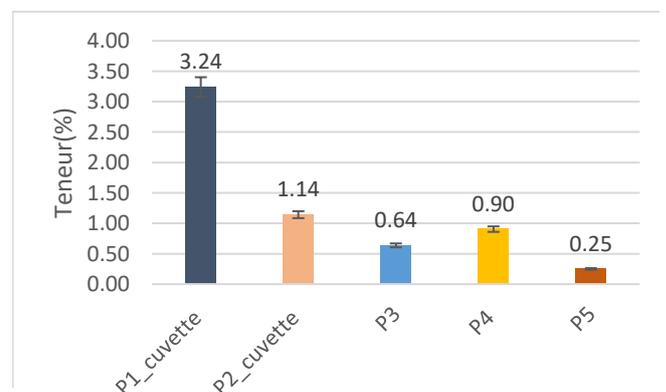
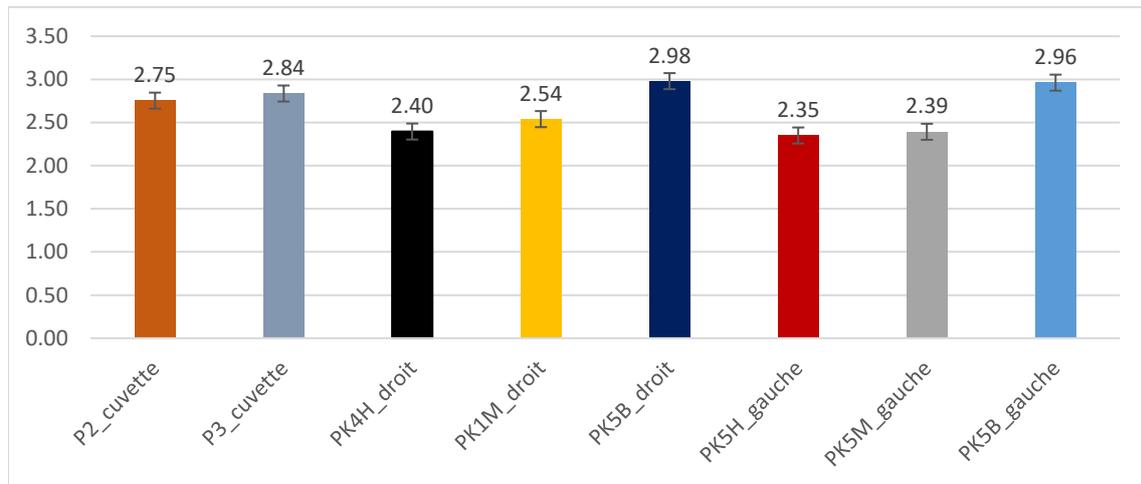


Figure 13: Teneur en eau naturelle de Koala



*Figure 15 : Teneur en eau naturelle de Tansobentinga*

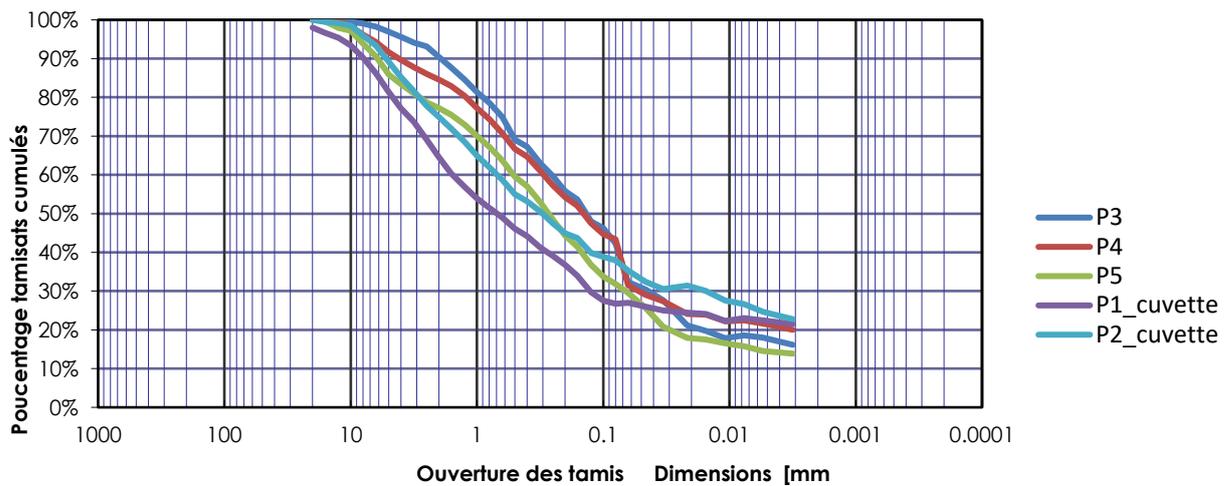
Les faibles valeurs des teneurs en eau naturelle sont dues au fait que le prélèvement s'est opéré sur la crête et en période sèche de l'année. Par contre pour ce qui concerne des points prélevés à proximité du lit mineur nous retrouvons des valeurs élevées comme à Koala. Cela nous conforte dans l'hypothèse que la teneur en eau est fonction de la profondeur par rapport au lit mineur. Plus on descend en profondeur, en se rapprochant du lit mineur plus elle est grande.

## **2. L'Analyse granulométrique**

### **❑ Barrage Koala**

#### **a. Résultats**

La figure 17 présente les courbes granulométriques des points du barrage de Koala.



*Figure 16: : Courbes granulométriques par voie sèche des points de Koala*

Quel que soit la valeur de  $D_{10}$  très strictement inférieure à 0,02,  $C_u$  est supérieure à 2 ( $C_u > 2$ ), la granulométrie est étalée.  $C_u$  est le coefficient d'uniformité aussi appelé coefficient de HAZEN. Vu qu'aucune courbe n'arrive à 10%, nous en concluons que tous les points de ce barrage ont une granulométrie étalée.

## ❑ Barrage Tansobentinga

### a. Résultats

La figure 17 montre les courbes granulométriques des points de la cuvette et de la rupture de la digue du barrage de Tansobentinga.

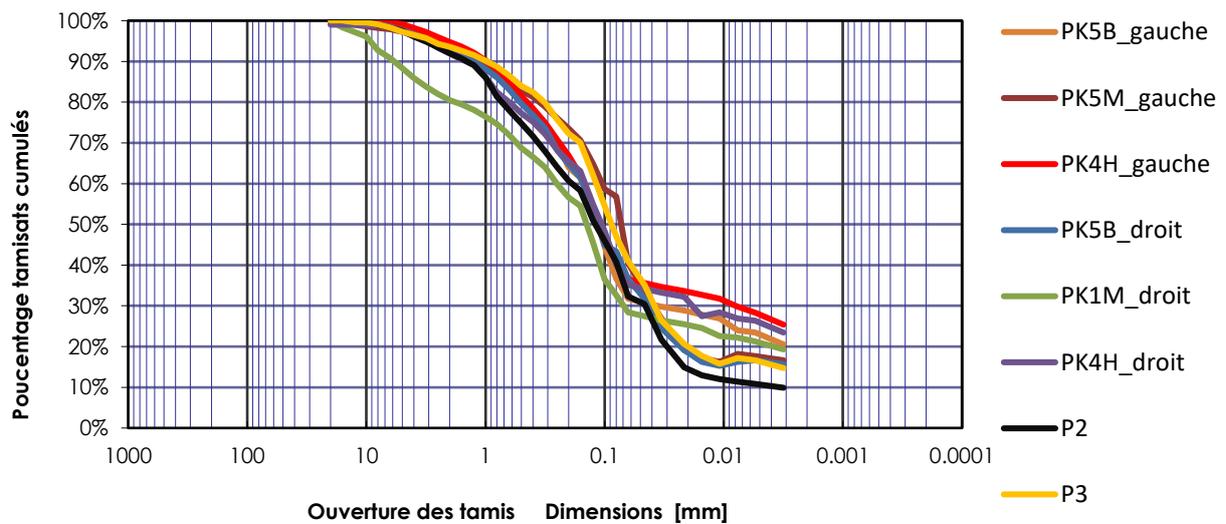


Figure 17 : Courbes granulométriques par voie sèche des points du barrage de Tansobentinga

Cuvette (P2) :

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0,2}{0,007} = 28,57$$

Sur la base des travaux de CAQUOT ET KERISEL  $Cu > 2$ , nous concluons que la courbe granulométrique de P2 est étalée. Pour le reste des points, nous émettons le même raisonnement que celui du barrage de Koala et en concluons que ces matériaux présentent une granulométrie étalée.

## ❑ Barrage Rawangomde

### a. Résultats

La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente les courbes granulométriques des points de la cuvette et de la digue du barrage de Rawangomdé.

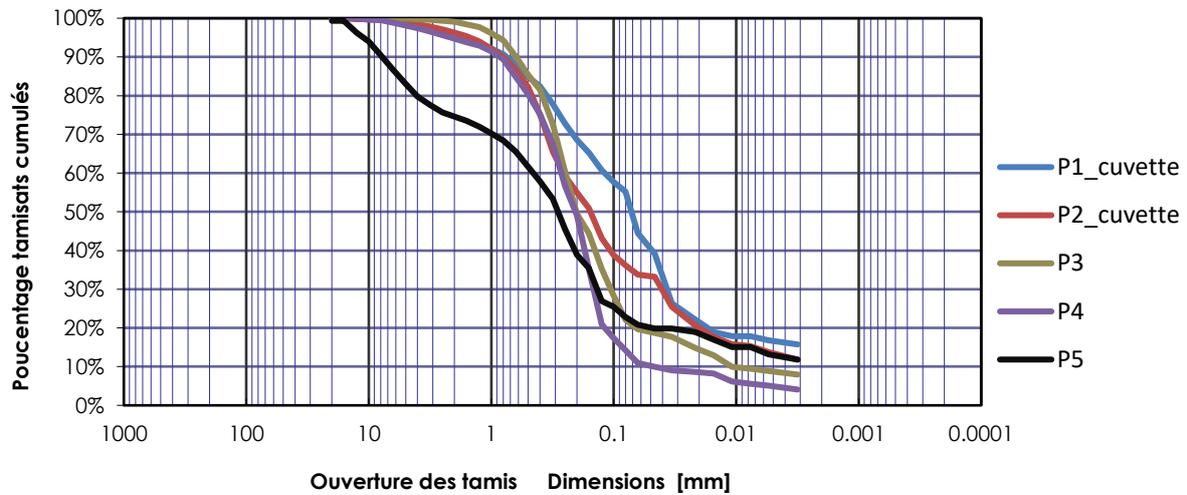


Figure 18 : Courbes granulométriques par voie sèche des points du barrage de Rawangomde

Crête (P3 et P4) :

$$P3 : Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0,25}{0,01} = 25 ;$$

$$P4 : Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0,26}{0,065} = 4,46$$

Cu > 2, nous pouvons en conclure que la courbe granulométrique de P2 est étalée. Le reste des points réponds à la même logique et au même raisonnement que le barrage de Koala.

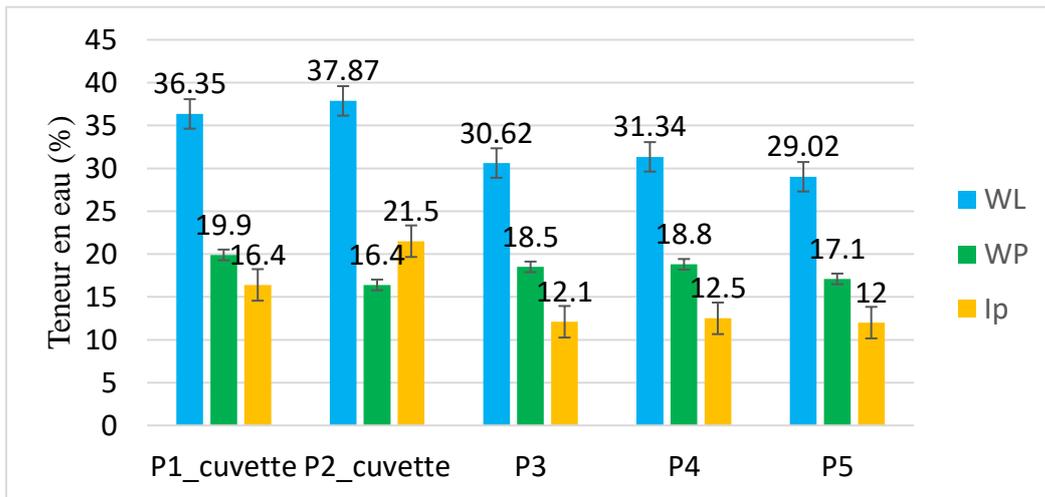
### 3. Limites d'Atterberg

Les valeurs des limites de liquidité et de plasticité des différents points sont dans les annexes (tableau 25 au tableau 39). Elles seront présentées par point pour mieux apprécier le résultat.

#### □ Barrage Koala

##### a) Résultats

Les résultats sont présentés à travers la Figure 19.



*Figure 19 : Valeurs des limites d'Atterberg du Koala*

➤ Moyennes :

(%)	Cuvette	Digue
WL	37,11	30,33
WP	18,15	18,13
IP	18,95	18,30

➤ Classification :

	Cuvette	Digue	Classe du sol
Ip	18,95	18,30	A2

La classification de WL et Ip selon LCPC nous montre que nos matériaux sont bien dans un état peu plastique.

Selon les prescriptions de Classification GTR, tous les sols du barrage Koala sont tous considérés comme des sols moyennement argileux car leur indice de plasticité est supérieur à 12 ( $IP > 12$ ) et inférieur à 25 ( $IP < 25$ ). Ils sont donc de la sous classes A2 (argiles peu plastiques). La moyenne de l'IP étant pratiquement le même sur la digue et la cuvette, on peut donc conclure que le matériau du remblai de la digue provient de la cuvette, comme cela nous a été signifié lors des enquêtes.

**Barrage Tansobentina**

**a) Résultats**

**CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE DES DIGUES EN TERRE LATERITIQUE DES PETITS  
BARRAGES AU BURKINA FASO**

La Figure 20 montre les résultats de la cuvette d'une part et d'autres part la Figure 21 montre ceux du profil au niveau de la rupture de la digue.

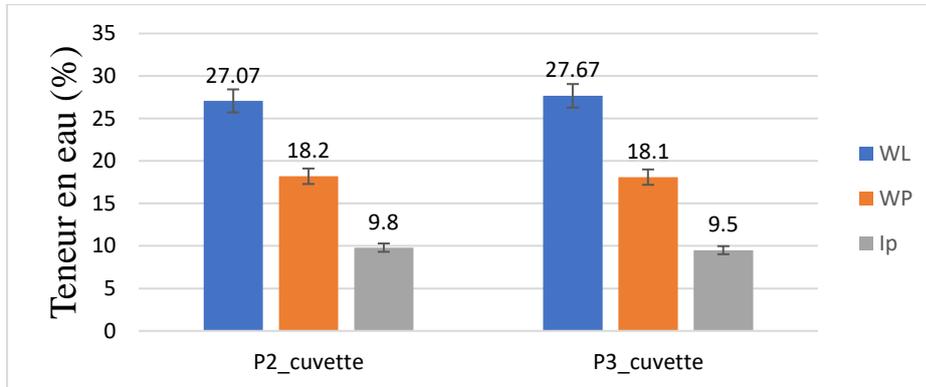


Figure 20 : Valeurs des limites de la cuvette du Tansobentinga

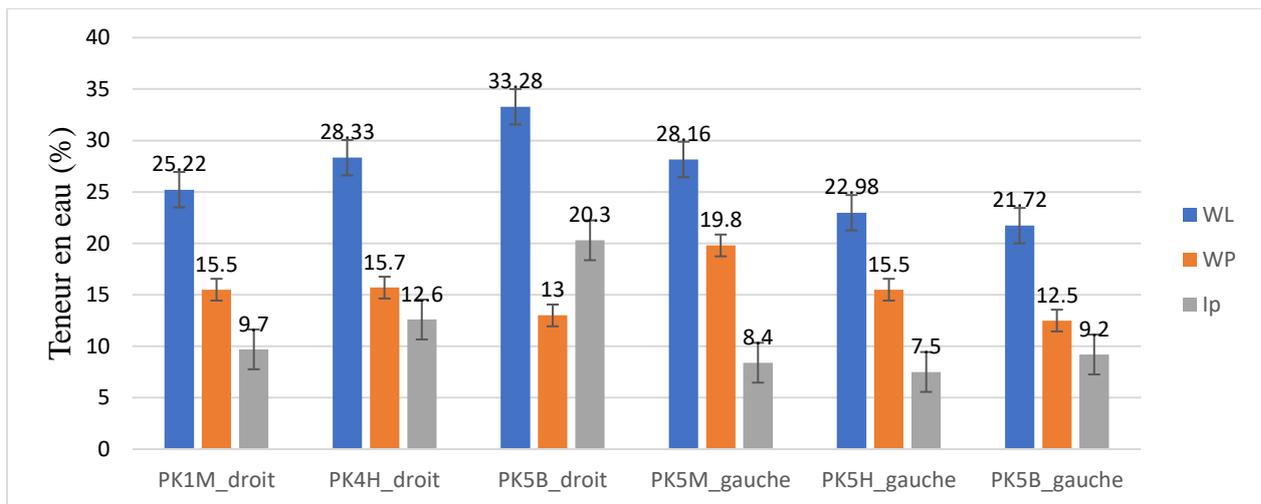


Figure 21 : valeurs des limites du profil de rupture de la digue du Tansobetinga

➤ Moyennes :

(%)	Cuvette	Point de la rupture de la digue
WL	27,37	26, 62
WP	18,15	15, 33
IP	9,65	11, 28

	Cuvette	Digue	Classe du sol
Ip	9,96	11,28	A2

Le calcul de la moyenne des paramètres ci-dessus, nous permet de conclure on se référant au cas du barrage Koala, que nous sommes en présence d'un sol **peu plastique**.

Selon la classification GTR, les sols de la cuvette sont tous considérés comme des sols de sous classe **A1** (Limons peu plastiques) car leur indice de plasticité est inférieur à 12 ( $IP < 12$ ). Au niveau de la rupture de la digue, seul les couches (PK4H\_droit et PK5B\_droit) ont un indice de plasticité supérieur à 12, donc considérer comme de sous classe **A2** (argiles peu plastiques). Toujours selon la classification GTR, les autres sont des sols faiblement argileux car  $IP < 12$ .

Bien qu'étant dans la même plage, l'IP de la cuvette est largement différent de l'IP de la digue du côté droit de la rupture, cela peut s'expliquer du fait que le matériau a été mélangé par endroit, il serait judicieux d'élargir la zone de prélèvement dans la cuvette.

## □ Barrage Rawangomde

### a) Résultats

Figure 22 présente les résultats des limites.

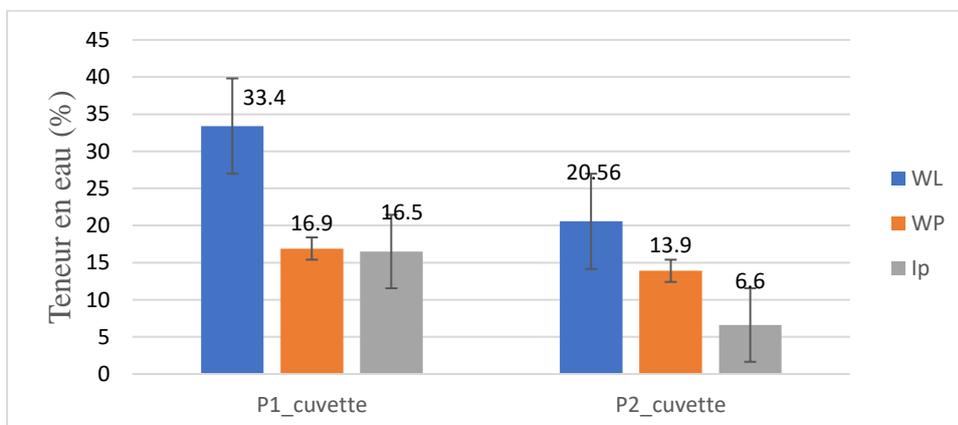


Figure 22 : Valeurs des limites du Rawangomde

Moyennes :

Cuvette :

WL= 26, 98

WP = 15, 4

IP = 11, 55

➤ Classification du matériau

	Cuvette	Classe du sol
Ip	11,55	A1

En se référant à la classification du barrage de Koala, nous avons un sol peu plastique dans la cuvette de ce barrage.

Nous avons un indice de plasticité moyen de 11.55, ceci nous permet de conclure selon la classification GTR que la sous classe de nos points étudiés est **A1** (Limons peu plastiques) ; car  $IP < 12$

Sur la digue nous n'avons pas pu réaliser les limites en vue de la classification du matériau, ceci est due à un caractère sableux du matériau, causer probablement à un lessivage du matériau en place suite aux intempéries, ce pendant le lessivage concerne le matériau en surface, afin de mieux classer ce sol, il est important de faire un prélèvement en profondeur de la fondation.

### **Conclusion**

A l'exception des matériaux de la digue du barrage Rawangomde, selon le caractère physique de nos matériaux, ces derniers répondent aux critères d'utilisation en construction des barrages. Car leur indice de plasticité est inférieur à 35 ( $IP < 35$ ).

#### **4. Essai densitomètre à membrane**

##### **a) Résultats :**

En comparant le poids volumique du sol sec sur le chantier ( $\gamma_{d\text{chantier}}$ ) avec le poids volumique sec maximale (optimum proctor  $\gamma_{d\text{opt.}}$ ) on établit le degré de compacité  $D_c$  ou pourcentage de compactage à l'aide de l'équation :

**CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE DES DIGUES EN TERRE LATERITIQUE DES PETITS  
BARRAGES AU BURKINA FASO**

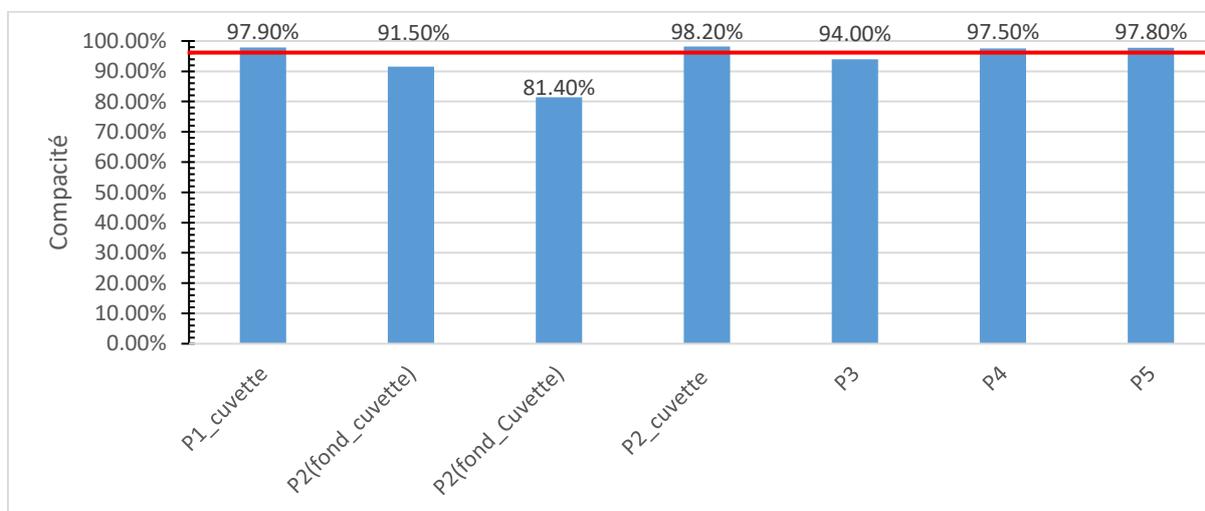
$$D_c = \frac{y_{dchantier}}{y_{d\text{ opt.proctor}}}$$

En général le cahier des charges impose  $D_c \geq 95\%$  (voir 98 %).

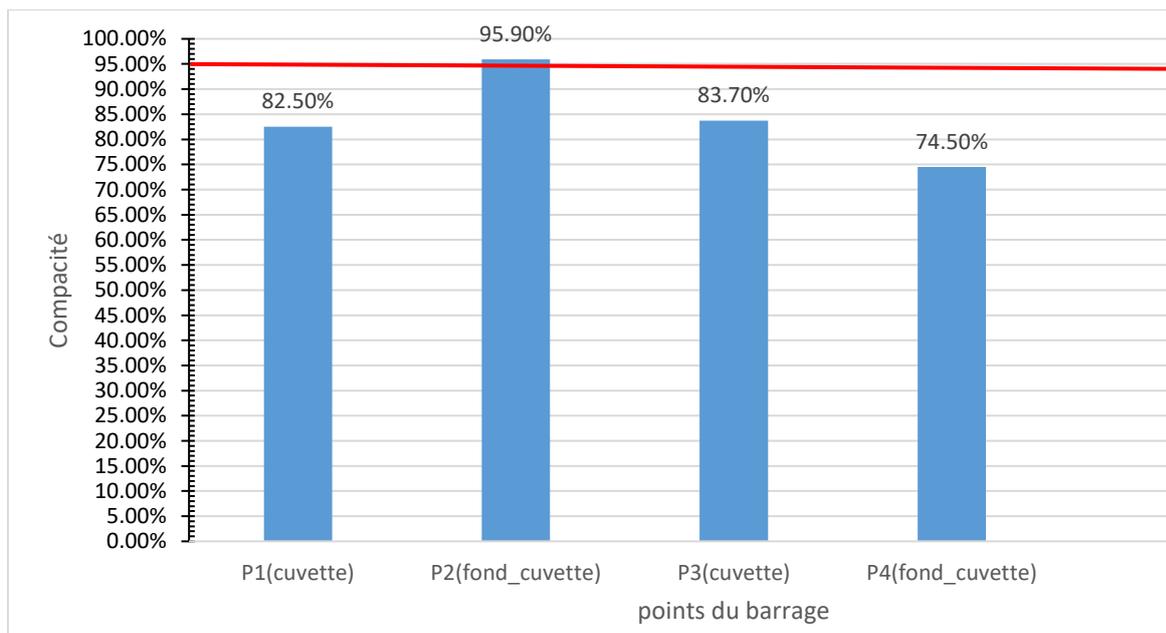
Plus  $D_c$  est élevé, plus la compacité du sol est grande et plus le compactage a été efficace.

Les résultats de nos ouvrages sont consignés dans les graphes suivants, les calculs sont consignés en annexe (Tableau 43) :

Les figures ci-dessous présentent les résultats de l'essai de densitomètre à membrane. La densité dans la cuvette a permis de vérifier l'effet du poids de l'eau sur le matériau de la cuvette.



*Figure 23 : Résultats densitomètre à membrane Koala*



*Figure 24 : Résultats densitomètre à membrane Tansobentinga*

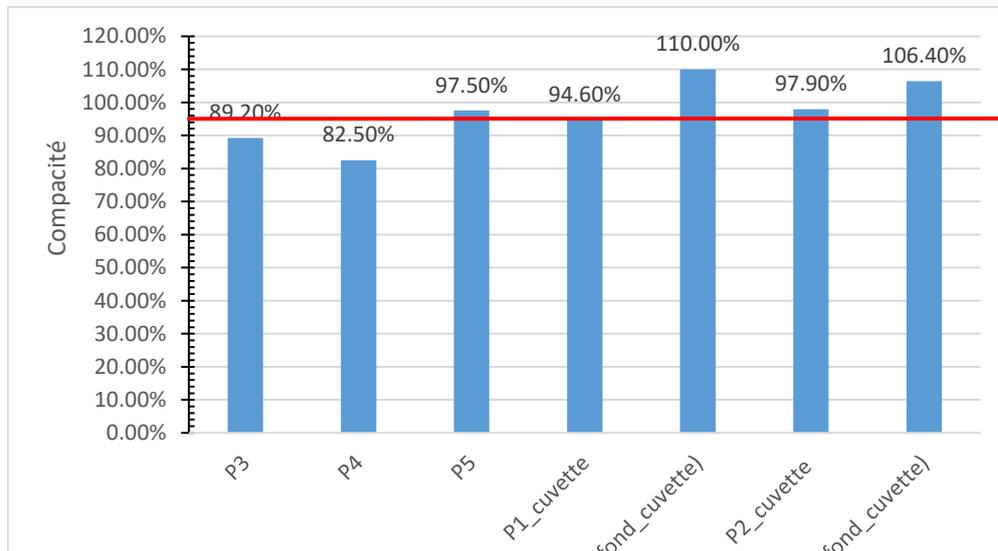


Figure 25: Résultats densitomètre à membrane Rawangomde

L'indice de compacité devrait atteindre 95% pour un bon compactage.

- ✓ Les points du barrage Koala (P1\_cuvette, P5, P6 et P2\_cuvette), du barrage Tansobentinga (P2) ainsi que du barrage Rawandomdé (P5, P2\_cuvette) respectent la condition.
- ✓ Les points du barrages Koala (fP2\_cuvette ; P3 et P2\_fond), du barrage Tansobentinga (P1, P3 et P4) ainsi que ceux du barrage Rawangomde (P1\_cuvette, P3, P4) ne respectent pas la condition, ce non-respect est dû au vieillissement du matériau avec le temps qui fait perdre la valeur du compactage.
- ✓ Les points de la cuvette du barrage Rawangomde (P1 et P2) ont valeurs au-delà de 100%, c'est-à-dire ne respecte pas la condition. Cela est due probablement au  $y_{d\text{ proctor}}$  du laboratoire, comme nous n'avons pas le  $y_{d\text{ in situ}}$ .

## 5. Le poids spécifique

Le récapitulatif des résultats du poids spécifique de nos différents barrages sont consignés dans les tableaux de l'annexe (tableau 39 au tableau 41). Ainsi, les figures suivantes nous renseignent sur la valeur des différents poids spécifiques :

### □ Barrage Koala

#### a) Résultats

La figure 33 nous montre les résultats de la digue et la figure 34 les résultats de la cuvette

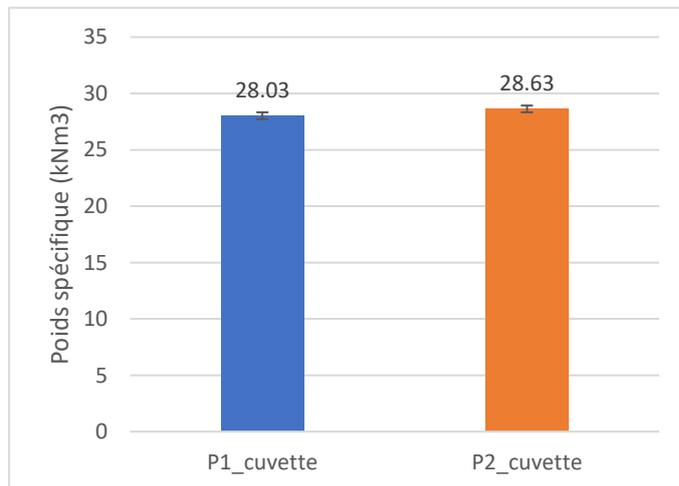


Figure 27 : Valeurs poids spécifiques de la cuvette Koala

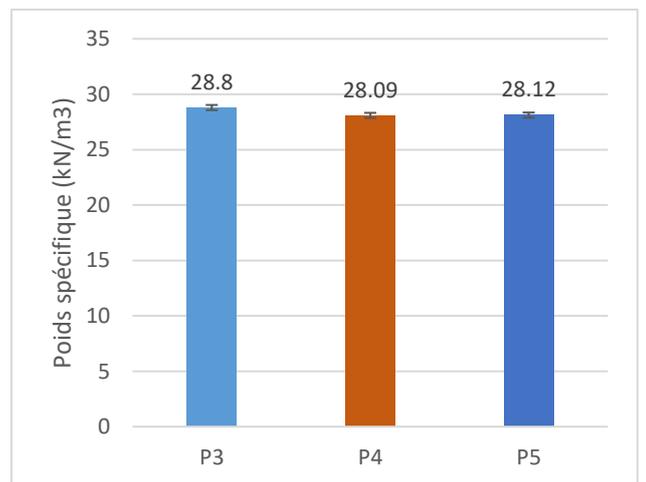


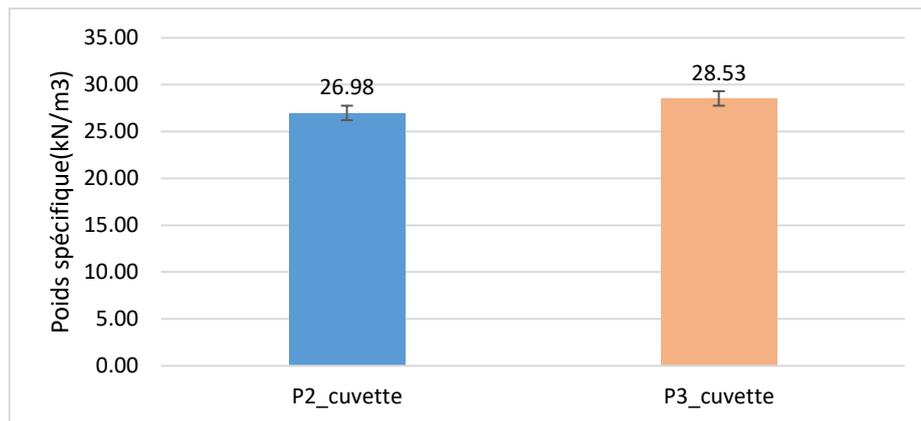
Figure 26: Valeurs poids spécifiques de la digue Koala

L'hypothèse affirmant que le matériau du remblai de la digue provient de la cuvette semble être confirmé, car le poids spécifique de la cuvette est pratiquement égal au poids spécifique de la digue. S'agissant de l'utilisation du matériau, le guide CEBTP nous recommande pour une meilleure utilisation dans le domaine routier un poids spécifique minimum de 27 kN/m<sup>3</sup>. Comme dans notre cas il s'agit des digues routières, nous pouvons conclure que nos matériaux sont de bonne qualité au vu des résultats que nous avons.

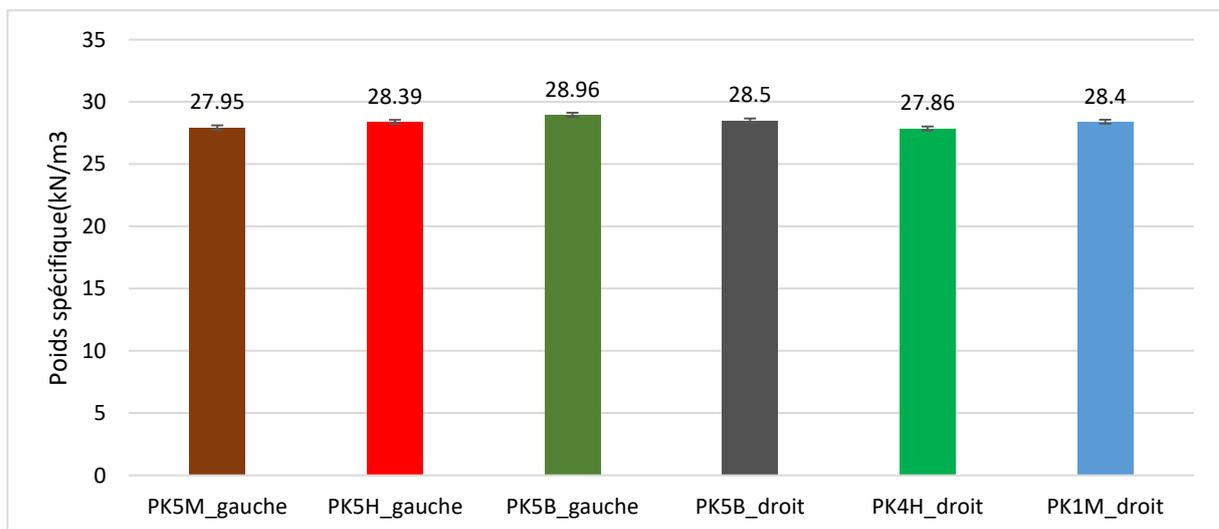
❑ **Barrage Tansobentinga**

**a) Résultats**

Les figure 35 et figure 36 nous montres respectivement les résultats de la cuvette et ceux du point de rupture de la digue



*Figure 28 : Valeurs poids spécifiques de la cuvette Tansobentinga*



*Figure 29 : Valeurs poids spécifiques du point de rupture de la digue Tansobentinga*

Le CEBTP qui nous renseigne pour une meilleure utilisation dans le domaine routier un poids spécifique minimum de  $27 \text{ kN/m}^3$ . Nous prendrons la valeur minimale dans notre cas qui est de  $26,98 \text{ kN/m}^3$  comme valeur représentative. Alors le poids spécifique des différents matériaux étudiés est supérieur à  $27 \text{ kN/m}^3$ . Par conséquent notre matériau est bon à utiliser dans le domaine routier.

**❑ Barrage Rawangomde**

**a) Résultats**

Les Figure 30 et figure 38 nous montre les résultats de la cuvette et la Figure 31 les résultats de la digue.

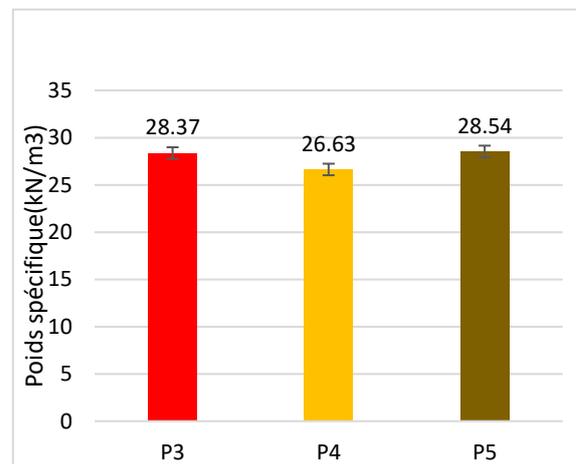
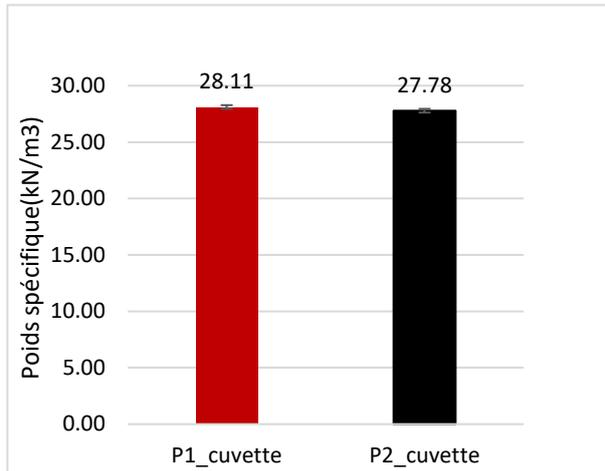


Figure 30 : Valeurs poids spécifiques de la cuvette Rawangomde

Figure 31 : Valeurs poids spécifiques de la digue Rawangomé

Le guide CEBTP nous recommande pour une meilleure utilisation dans le domaine routier un poids spécifique minimum de 27 kN/m<sup>3</sup>, de ce fait le matériau de notre barrage ayant une valeur minimale de 26.63 kN/m<sup>3</sup> respecte la recommandation de CEBTP, nous pouvons alors conclure que nos matériaux sont de bonne qualité.

**6. La valeur bleue d'un sol**

Le récapitulatif des résultats des valeurs de bleue de méthylène (VBS) de nos différents points sont donnés dans le tableau en l'annexe (Tableau 44). Ainsi, les figures suivantes nous renseignent sur l'activité argileuse du matériau. Elle est donnée par :

**❑ Barrage Koala**

**a) Résultats**

La Figure 32 nous montre les différentes valeurs obtenues lors de l'essai.

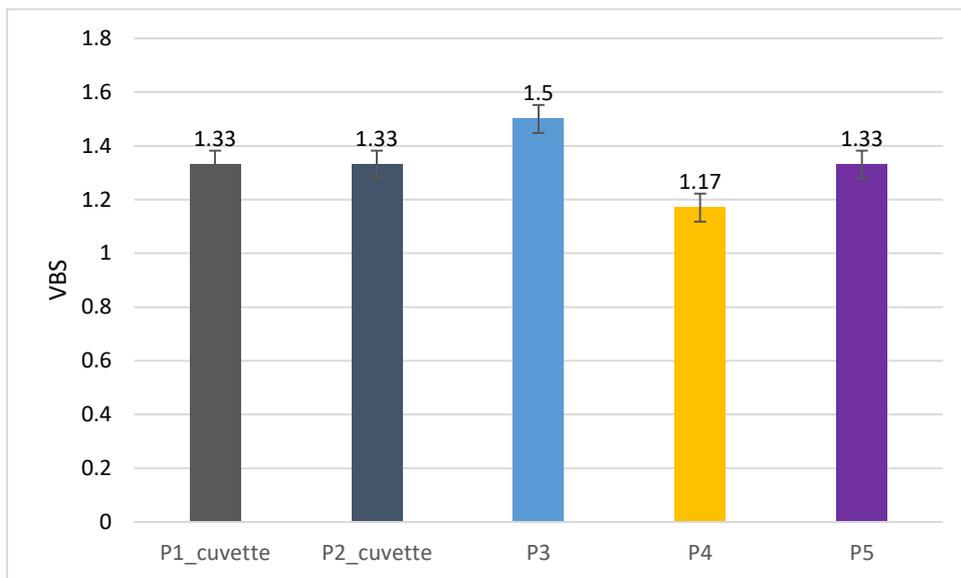


Figure 32 : Activité argileuse des points du Koala

Pour une valeur du VBS comprise entre 0,20 et 1,50 le **GTR92** estime qu'on est en présence d'un matériau sensible à l'eau. Ce qui est en accord avec les réactions observées avec nos matériaux au cours des essais.

#### Barrage Tansobetinga

##### a) Résultats

Les figures suivantes nous montrent respectivement les différents résultats de la cuvette et du point de rupture de la digue.

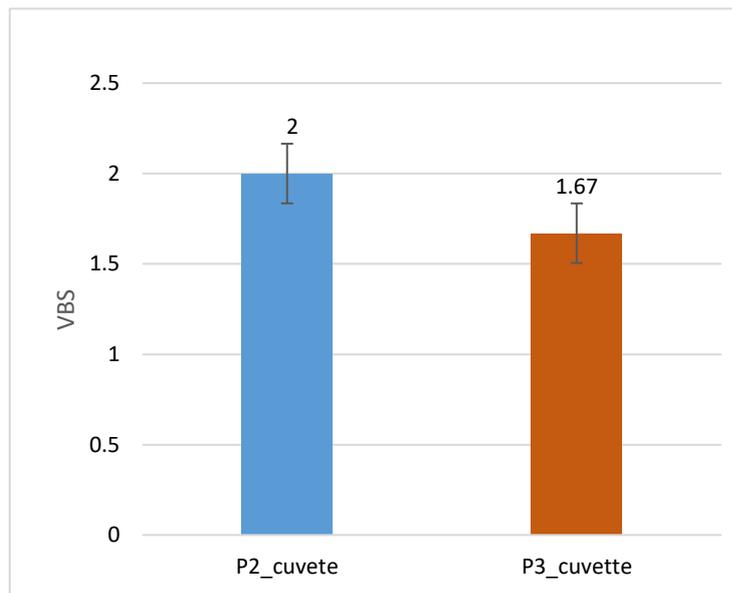


Figure 33 : Activité argileuse des points de la cuvette du Tansobentinga

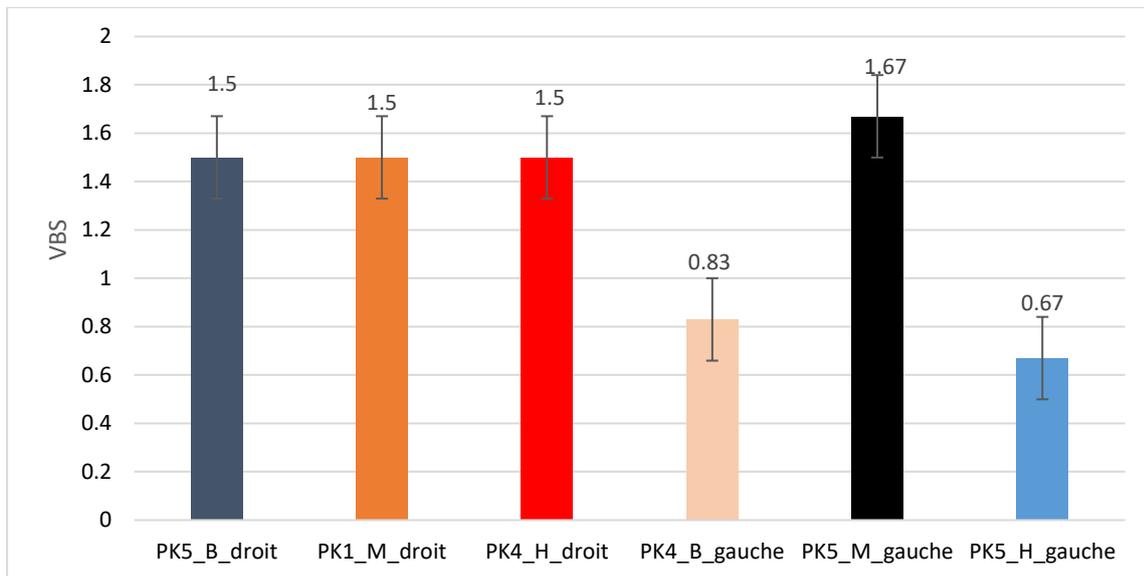


Figure 34 : Activité argileuse des points de rupture de la digue du Tansobentinga

Pour une valeur du VBS au-dessus de 0,2 le GTR92 estime qu'on est en présence d'un matériau sensible à l'eau. Ici dans la cuvette tout comme sur la digue nous remarquons que toutes nos valeurs sont supérieures à 0,2 notre matériau est sensible à l'eau.

#### Barrage Rawangomde

##### a) Résultats

La Figure 35 nous montre les différentes valeurs obtenues lors de l'essai.

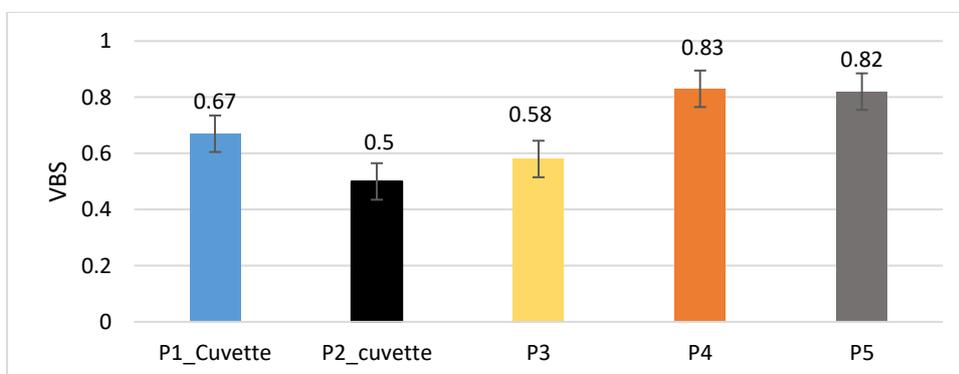


Figure 35 : Activité argileuse des points de rupture de la digue du Rawangomde

Nous constatons une présence d'argile au niveau des points de la crête (P3, P4 et P5), bien qu'ayant subi un lessivage qui a causé le départ de leurs fines.

Pour une valeur du VBS comprise entre 0,10 et 1,50 le GTR92 estime qu'on est en présence d'un matériau sensible à l'eau. Ce qui est en accord avec les réactions observées avec nos matériaux au cours des essais.

En conclusion, selon la classification GTR, tous les points de nos ouvrages sont sensibles à l'eau car leurs activités argileuses sont toutes supérieures à 0,1. Ce pendant les P3, P4 et P5 du barrage Rawangomde, bien qu'ayant subi un lessivage qui a conduit à la perte de leurs fines présentent une activité argileuse.

➤ **Potentiel de gonflement.**

La formule suivante permet de calculer le potentiel de gonflement. Cette formule a été trouvée dans la littérature selon les travaux de Millogo.

$$\underline{\varepsilon_s = 1 * 10^{-5} * IP^{2,24}} \quad (3)$$

0-1,5 : le potentiel de gonflement est bas

1,5-5 : le potentiel de gonflement est modéré

5-25 : le potentiel de gonflement est Haut

$\varepsilon_s$  des différents matériaux est compris entre 0 et 1,5, donc potentiel de gonflement est bas, de ce fait ces matériaux peuvent être utilisés pour la construction des barrages.

## **III.2. Caractéristiques mécaniques des sols**

### **III.2.1. L'essai Proctor**

L'essai Proctor nous permet d'obtenir la densité humide et par la même occasion la densité sèche. Le principe de l'essai consiste par une méthode de tâtonnement de trouver la teneur en eau optimale qui nous donne la meilleure compacité du matériau sur une énergie de compactage donnée. La teneur en eau se calcule de la même manière que la teneur en eau initiale. La densité sèche se calcule en faisant le rapport entre la masse du matériau sur le volume du moule utilisé.

$$\gamma_h = \frac{\text{Masse du matériaux}}{\text{Volume du moule}} \quad (4)$$

La densité humide est corrigée en calculant la densité sèche en se servant de la teneur en eau optimale retenue.

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1+w} \quad (5)$$

Les essais ont été fait suivant les recommandations de la norme **NF P 94-093**.

Les deux essais sont identiques dans leur principe, seules diffèrent les valeurs des paramètres qui définissent l'énergie de compactage appliquée. Nous avons réalisé les deux essais.

Dans un premier temps l'essai Proctor modifié, afin de mettre en évidence les caractéristiques optimales des sols prévus pour les fondations. Ce qui nous a permis de vérifier le compactage avec l'essai du densimètre à membrane. Par la suite, nous avons fait le Proctor normal, car nos ouvrages sont constitués des corps de remblai. Le Proctor normal nous permet également de déterminer certains paramètres afin d'effectuer les essais tels que le cisaillement direct et l'essai œdométriques.

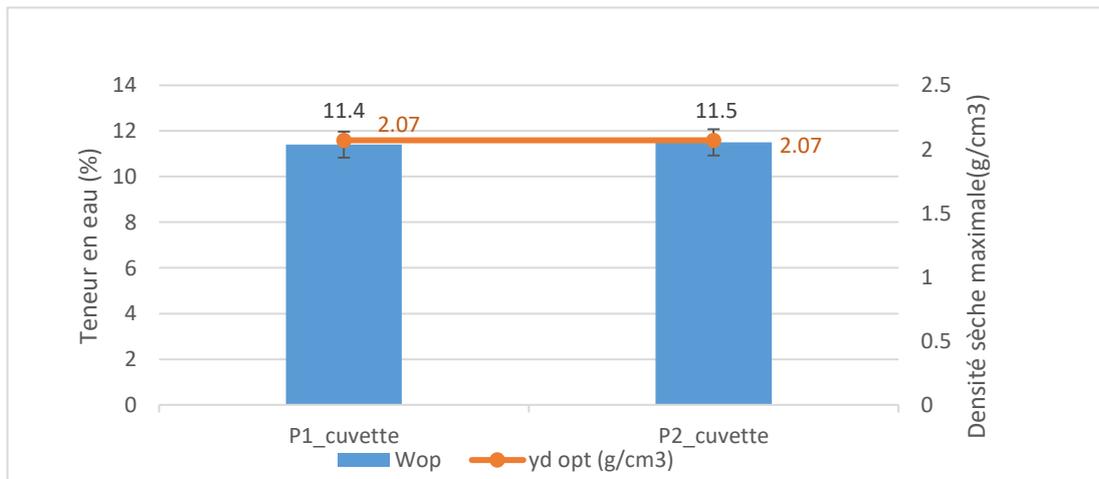
### □ **Proctor normal**

Les résultats de l'essai Proctor normal sont confinés dans les annexes à travers les (Tableau 45 au Tableau 58)

#### **1. Barrage Koala**

##### **a) Résultats :**

*La nous montre les résultats de la cuvette.*



*Figure 36 : Récapitulatif des résultats OPN de la cuvette Koala*

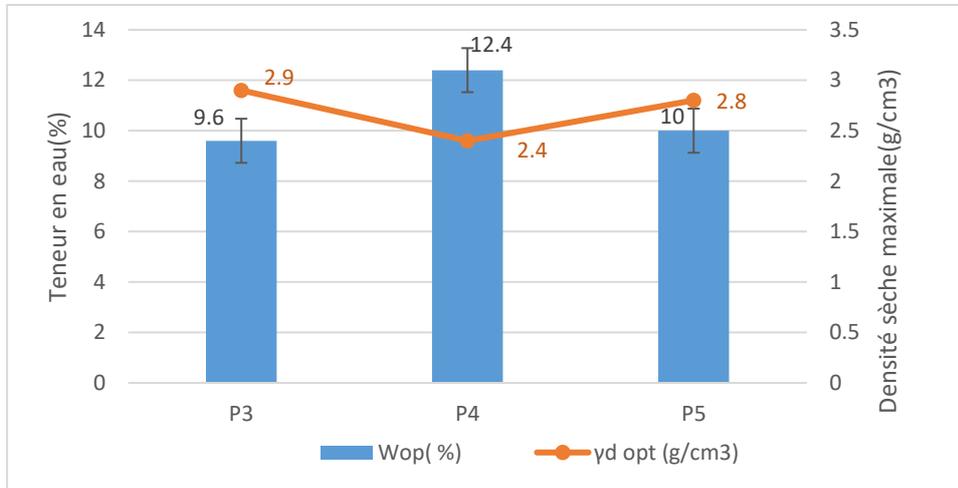


Figure 37 : Récapitulatif des résultats OPN de la digue Koala

Pour une couche de fondation, le guide CEBTP nous recommande une densité sèche minimale de  $1,80\text{g/cm}^3$ . Avec une valeur minimale de  $2,07\text{g/cm}^3$ , supérieure à la valeur minimale requise, alors le matériau peut être utilisé. Ainsi, nous concluons que les densités sèches de nos échantillons sont supérieures à la valeur recommandée par le guide et que les matériaux peuvent être utilisées en couche de fondation.

## 2. Barrage Tansobentinga

### a) Résultats

Les figures ci-dessous présentent respectivement les résultats du Proctor normal de la cuvette et du point de rupture de la digue.

**CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE DES DIGUES EN TERRE LATERITIQUE DES PETITS BARRAGES AU BURKINA FASO**

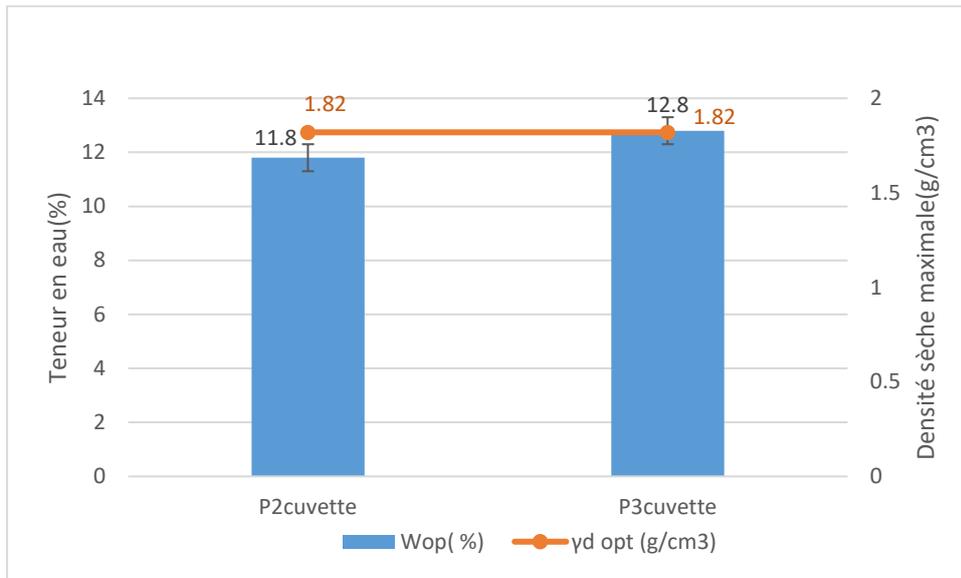


Figure 38: Récapitulatif des résultats OPN de la cuvette Tansobentina

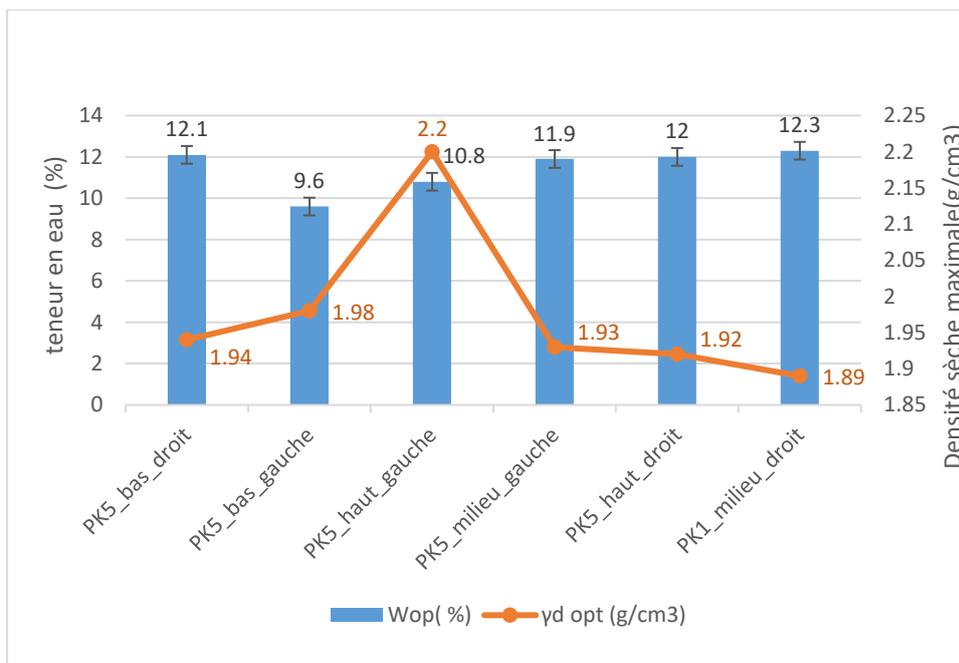


Figure 39 : Récapitulatif des résultats OPN du profil de rupture Tansobentina

Pour une couche de fondation, selon les prescriptions du CEBTP, toutes les couches peuvent être utilisées. Car nos valeurs qui sont minimales de 1, 82g/cm<sup>3</sup> et maximales de 1.94g/cm<sup>3</sup> se trouvent dans la plage de densité sèche prescrite qui est compris entre 1,80g/cm<sup>3</sup>.

### 3. Barrage Rawangomde

#### a) Résultats

Les figures suivantes présentent respectivement les résultats du Proctor normal de la cuvette et de la digue.

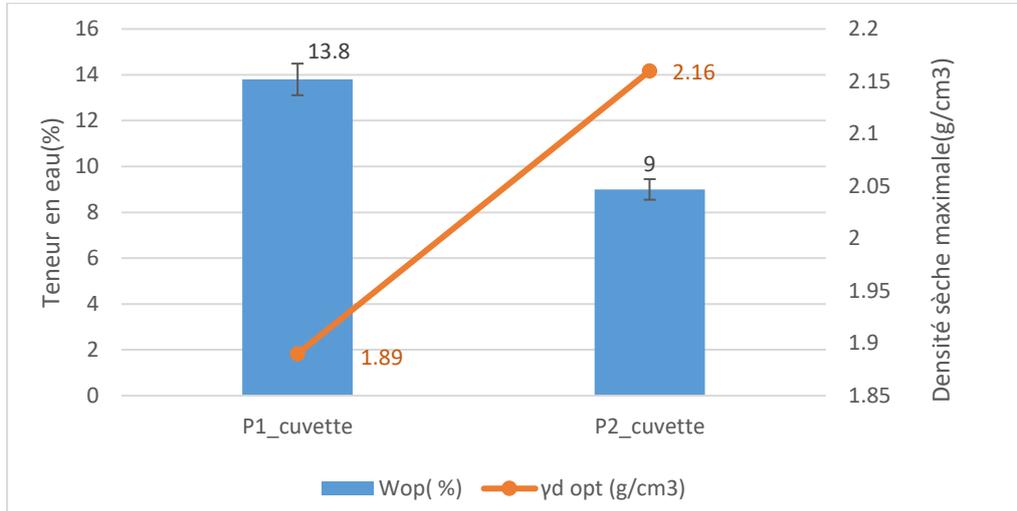


Figure 40 : Récapitulatif des résultats OPN de la cuvette du Rawangomde

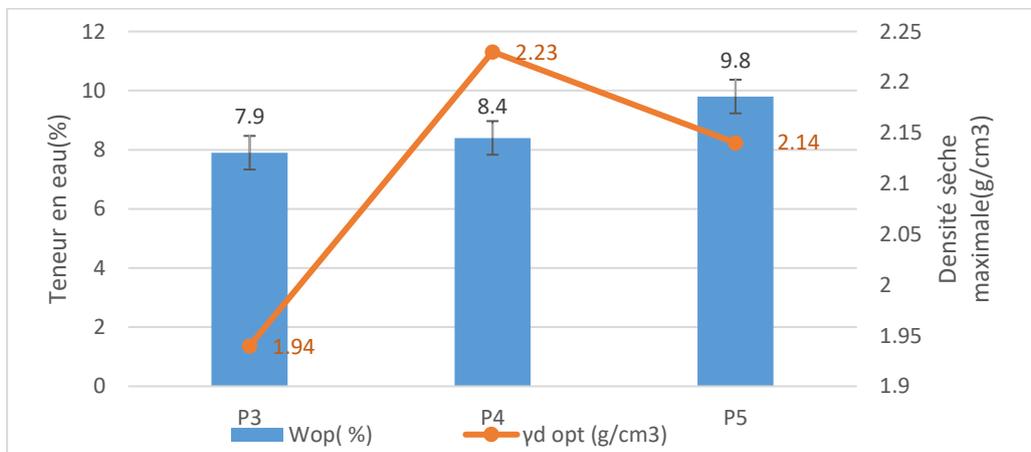


Figure 41 : Récapitulatif des résultats OPN de la digue du Rawangomde

Pour une couche de fondation, le guide CEBTP nous recommande une densité sèche minimale requise de 1,80g/cm<sup>3</sup> pour que le matériau soit utilisé. Ainsi, nous concluons que les densités sèches minimales de 1,89g/cm<sup>3</sup> et 2,16 g/cm<sup>3</sup> maximales de nos échantillons sont dans la plage prescrite par le guide et que les matériaux peuvent être utilisées en couche de fondation.

## **CONCLUSION ET PERSPECTIVES**

---

La présente étude sur les pathologies des petits barrages au Burkina Faso nous a permis dans un premier temps de répertorier l'ensemble des dégradations de nos ouvrages d'études, suite à une inspection visuelle. La bibliographie existante nous a servi de canevas à travers la mise à notre disposition de référence pour l'aboutissement scientifique de nos travaux lors de nos inspections sur les digues retenues. Cela nous a permis de recenser les différentes dégradations observées sur site avant de procéder à l'identification des matériaux présent et constitutif de ces ouvrages. Le but étant d'essayer d'expliquer l'origine et les causes de dégradations ces ouvrage. Les classifications des sols ont été faite selon le manuelle GTR92. Il ressort en ressort de cette classification que :

- Tous les points de nos ouvrages sont tous sensibles à l'eau car leurs activités argileuses sont toutes supérieures à 0.1,
- Certains de ces sols sont considérés comme des sols de sous classe **A1** (Limons peu plastiques) et d'autres sont considérés comme de sous classe **A2** (sols fins argileux, limons, argiles peu plastiques). Plus le sol possède un IP plus élevé, moins il est adapté pour l'usage de fondation.

Les densités sèches maximales de nos échantillons sont supérieures à la valeur recommandée par le guide CEBTP, les matériaux peuvent être utilisées en couche de fondation. Nous pouvons conclure à la suite de cela que la nature de ces matériaux n'est pas à l'origine de la ruine des ouvrages. Néanmoins, les sols qui composent ces ouvrages en terre sont des matériaux qui évoluent dans le temps : ils peuvent tasser, se rétracter ou gonfler, ils peuvent se fissurer, s'éroder. L'environnement dans lequel se trouve l'ouvrage (l'environnement climatique, l'activité faunistique et biologique, les sollicitations, les lois d'évolution des matériaux, la nature de l'aléa) peut être à l'origine de ses dégradations. La nature des fluides au contact des digues peut également être un facteur dégradant pour les matériaux. C'est le cas par exemple des matériaux de la digue du barrage de Rawangomde qui ont eu à subir un lessivage, due aux intempéries faisant perdre ainsi leur caractère argileux.

### **Perspectives :**

Les limites de notre recherche nous emmènent à faire quelques recommandations pour le suivi,

le contrôle et l'entretien de ces ouvrages afin d'assurer leur pérennité. Pour cela il faut :

- Evaluer les effets des changements climatiques à venir et anticiper les besoins de renforcements nécessaires ;
- Organiser les campagnes de reconnaissance géotechnique à travers essais de carottages in situ ;
- Prendre en compte l'évolution des propriétés des matériaux liés aux conditions environnementales ;
- Nos études en laboratoire étant sur du court terme il serait judicieux que les études sur le long terme soient faites pour maîtriser le comportement des matériaux au fil du temps ;
- Mettre en place un comité chargé de la gestion et de l'entretien régulier de l'ouvrage ;
- Impliquer les agences de l'eau dans la surveillance des barrages

## **BIBLIOGRAPHIE**

---

- Agence pour le développement international.** (1964). Les sols latéritiques d'Afrique et d'autres sols difficiles d'Afrique. Baltimore, Maryland, USA: LYON ASSOCIATES, INC.
- AMARA Fatma.** (2018) Mémoire\_Master " Optimisation de la largeur en crête des petits barrages et retenues collinaires".pdf.
- Agence de l'Eau du Nakanbé.** (2015). MANUEL-GENERAL-SURVEILLANCE-ET-ENTRETIEN-def-040815\_revu-NOMBRE.pdf.
- Bernard BOUYGE.** (1992). Etude du comportement des corps de remblais
- CEBTP.** (1984). Guide Pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux.
- CEREMA.** (2019) Guide international sur les digues, Cerema, Bron (1485 pages)
- CFBR** (2015). Recommandations pour la justification de la stabilité des barrages et des digues en remblai. Editions du Comité Français des Barrages et Réservoirs. 132 pages.  
[http://www.barragescfbr.eu/IMG/pdf/recommandations\\_cfbr\\_2015\\_remb lai.pdf](http://www.barragescfbr.eu/IMG/pdf/recommandations_cfbr_2015_remb lai.pdf)
- CFGB, coordination DEGOUTTE.** (1997). Petits barrages - recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi, Cemagref éditions, 176 p.
- DRABO KEPIAN** (2016) Mémoire Master " étude de la réhabilitation du barrage de la lobi".pdf.
- Damien Serre.** (2001) Evaluation de la performance des digues de protection contre les inondations Modélisation de critères de décision dans un Système d'Information Géographique. Thèse ; Université de Marne la Vallée, 2005. Français. tel-00777220
- GTR.** (1992). Classification\_des\_sols\_cours-routes\_procedes-generaux-de-construction.pdf
- ROBITAILLE, V., & TREMBLAY, D.** (1997). Mécanique des sols, Théorie et pratique. Canada: Modulo Editeur.
- Jean-Maurice.** (2012). Manuel de Suivi et d'Entretien des Petits Barrages en Mauritanie.pdf.
- MINISTERE DE L'EAU & L'ASSAINISSEMENT.** (2021)
- Millogo et al.**(2008) : Geotechnical, mechanical, chemical and mineralogical characterization of a lateritic gravels of Sapouy (Burkina Faso) used in road construction.  
Document\_Cadre\_Entretien\_et\_Seurite\_des\_Barrages\_au\_BF\_version\_Finale.pdf.
- Yasmina Boussafir, Margot de Baecque.,** (2018) Quels essais de laboratoire pour évaluer la durabilité des matériaux de digue ? CHAMPS SUR MARNE, France. 25 p. hal-01826225
- Mamadou Thior, Tidiane Sané, Oumar Sy, Luc Descroix, Lat Grand Ndiaye, et al..** (2019)

: CARACTERISTIQUES GRANULOMETRIQUES ET DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE ENTRE LES DIFFERENTES UNITES GEOMORPHOLOGIQUES DU LITTORAL DE LA CASAMANCE (SENEGAL). Revue ivoirienne des sciences et technologies.

**Jean-Philippe Venot, Philippe Cecchi** (2011) : Valeurs d'usage ou performances techniques : comment apprécier le rôle des petits barrages en Afrique subsaharienne ?

Cah Agric 20 112-7. doi : 10.1684/agr.2010.0457

**Philippe CECCHI** (2006) : Les Petits Barrages au Burkina Faso : un vecteur du changement social et de mutations des réalités rurales

**Jonathan Simm et al.** (2012) - Comprehensive Flood Risk Management Research for .pdf.

**Danielle Lautrin** (2002) Vieillissement\_et\_réhabilitation\_des\_petits\_barrages\_en\_terre\_ ingénieries - EAT - n°14, p. 55 à 67 , Cemagref, Antony.pdf.

**Royet, (1990)** : Pathologie des barrages en service et orientations pour la recherche. Cemagref pdf.

**ICOLD.** (2017) TROPICAL RESIDUAL SOILS as dam foundation and fill material.pdf.

Évaluer l'impact du vieillissement des digues sur les mécanismes et scénarios de rupture.

#### **References normatives:**

**AFNOR (1992). NF P11-300.** Exécution des terrassements. Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières.

**AFNOR (1995).NF P94-050.** Sols : Reconnaissance et Essais – Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux – Méthode par étuvage.

**AFNOR (1993).NF P94-051.** Sols : Reconnaissance et Essais – Détermination des limites d'Atterberg – Limite de liquidité à la coupelle – Limite de plasticité au rouleau.

**AFNOR (1995).NF P94-052-1.** Sols : Reconnaissance et Essais – Détermination des limites d'Atterberg – Partie 1 : Limite de liquidité – Méthode du cône de pénétration.

**AFNOR (1991).NF P94-053.** Sols : Reconnaissance et Essais – Détermination de la masse volumique des sols fins en laboratoire – Méthodes de la trousse coupante, du moule et de l'immersion dans l'eau.

**AFNOR (1991).NF P94-054.** Sols : Reconnaissance et Essais – Détermination de la masse volumique des particules solides des sols – Méthode du pycnomètre à eau.

**AFNOR (1996). NF P94-056.** Sols : Reconnaissance et Essais – Analyse granulométrique – Méthode par tamisage à sec après lavage.

**AFNOR (1992).NF P94-057.** Sols : Reconnaissance et Essais – Analyse granulométrique des sols – Méthode par sédimentation.

**AFNOR (1998).NF P94-068.** Sols : Reconnaissance et Essais – Mesure de la quantité d'adsorption de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux. Détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux par l'essai à la tache

## **ANNEXES**

---

**ANNEXE 1 : IMAGES ILLUSTRATIFS DU PROCESSUS EXPERIMENTAL**

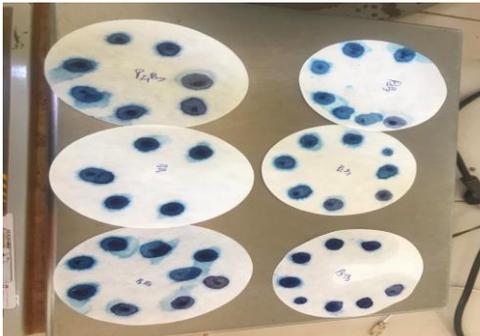


Image 1 : Matériels utilisés pour VBS



Image 2 : Essais à Pycnomètre à air



Image 3 : essais des limites d'Atterberg



Image 4 : essai sédimentometrie



Image 5 : Essai proctor normal

**CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE DES DIGUES EN TERRE LATERITIQUE DES PETITS BARRAGES AU BURKINA FASO**

**ANNEXE 2: TABLEAUX DES RESULTATS**

➤ **Barrage Koala**

*Tableau 9 : : Résultats du tamisage par voie sèche du point 1 de la cuvette Koala*

Modules AFNOR	f tamis mm	Refus partiels	Refus cumulés	% Refus cumulés	% Passants cumulés	Observations
50	80					cailloux
49	63					
48	50					
47	40					
46	31.5					
45	25					Graviers
44	20	40.12	18.6	0.932%	99.07%	
43	16	25.87	43.9	2.193%	97.81%	
42	12.5	26.94	70.8	3.540%	96.46%	
41	10	39.74	110.5	5.527%	94.47%	
40	8	62.15	172.7	8.634%	91.37%	sable
39	6.3	81.08	253.8	12.688%	87.31%	
38	5	97.5	351.3	17.563%	82.44%	
37	4	83.02	434.3	21.714%	78.29%	
36	3.15	70.4	504.7	25.234%	74.77%	
35	2.5	91.7	596.4	29.819%	70.18%	
34	2	89.95	686.3	34.317%	65.68%	
33	1.6	84	770.3	38.517%	61.48%	
32	1.25	69.54	839.9	41.994%	58.01%	
31	1	59.35	899.2	44.961%	55.04%	
30	0.8	47.4	946.6	47.331%	52.67%	
29	0.63	52.19	998.8	49.941%	50.06%	
28	0.5	57.74	1 056.6	52.828%	47.17%	
27	0.4	38	1 094.6	54.728%	45.27%	
26	0.315	58.99	1 153.5	57.677%	42.32%	
25	0.25	42.99	1 196.5	59.827%	40.17%	
24	0.2	45.67	1 242.2	62.110%	37.89%	
23	0.16	56.8	1 299.0	64.950%	35.05%	
22	0.125	84.59	1 383.6	69.180%	30.82%	
21	0.1	43.09	1 426.7	71.334%	28.67%	
20	0.08	16.24	1 442.9	72.146%	27.85%	

*Tableau 8 : Résultats du tamisage par voie sèche du point 2 de la cuvette Koala*

Modules AFNOR	f tamis mm	Refus partiels	Refus cumulés	% Refus cumulés	% Passants cumulés	Observations
50	80					cailloux
49	63					
48	50					
47	40					
46	31.5					
45	25					Graviers
44	20	40.12	18.6	0.932%	99.07%	
43	16	25.87	43.9	2.193%	97.81%	
42	12.5	26.94	70.8	3.540%	96.46%	
41	10	39.74	110.5	5.527%	94.47%	
40	8	62.15	172.7	8.634%	91.37%	sable
39	6.3	81.08	253.8	12.688%	87.31%	
38	5	97.5	351.3	17.563%	82.44%	
37	4	83.02	434.3	21.714%	78.29%	
36	3.15	70.4	504.7	25.234%	74.77%	
35	2.5	91.7	596.4	29.819%	70.18%	
34	2	89.95	686.3	34.317%	65.68%	
33	1.6	84	770.3	38.517%	61.48%	
32	1.25	69.54	839.9	41.994%	58.01%	
31	1	59.35	899.2	44.961%	55.04%	
30	0.8	47.4	946.6	47.331%	52.67%	
29	0.63	52.19	998.8	49.941%	50.06%	
28	0.5	57.74	1 056.6	52.828%	47.17%	
27	0.4	38	1 094.6	54.728%	45.27%	
26	0.315	58.99	1 153.5	57.677%	42.32%	
25	0.25	42.99	1 196.5	59.827%	40.17%	
24	0.2	45.67	1 242.2	62.110%	37.89%	
23	0.16	56.8	1 299.0	64.950%	35.05%	
22	0.125	84.59	1 383.6	69.180%	30.82%	
21	0.1	43.09	1 426.7	71.334%	28.67%	
20	0.08	16.24	1 442.9	72.146%	27.85%	

**CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE DES DIGUES EN TERRE LATERITIQUE DES PETITS BARRAGES AU BURKINA FASO**

*Tableau 11 : Résultats du tamisage par voie sèche du point 3 sur la digue Koala*

Modules AFNOR	φ tamis mm	Refus partiels	Refus cumulés	% Refus cumulés	% Passants cumulés	Observations
50	80					cailloux
49	63					
48	50					
47	40					
46	31.5					
45	25					Graviers
44	20	0	0.0	0.000%	100.00%	
43	16	0	0.0	0.000%	100.00%	
42	12.5	4.63	4.6	0.232%	99.77%	
41	10	29.52	34.2	1.708%	98.29%	
40	8	42.65	76.8	3.840%	96.16%	sable
39	6.3	37.7	114.5	5.725%	94.28%	
38	5	52.51	167.0	8.351%	91.65%	
37	4	38.98	206.0	10.300%	89.70%	
36	3.15	38.84	244.8	12.242%	87.76%	
35	2.5	34.3	279.1	13.957%	86.04%	
34	2	29.47	308.6	15.430%	84.57%	
33	1.6	33.8	342.4	17.120%	82.88%	
32	1.25	50.82	393.2	19.661%	80.34%	
31	1	62.63	455.9	22.793%	77.21%	
30	0.8	54.74	510.6	25.530%	74.47%	
29	0.63	74.59	585.2	29.259%	70.74%	
28	0.5	80.2	665.4	33.269%	66.73%	
27	0.4	40.45	705.8	35.292%	64.71%	
26	0.315	74.83	780.7	39.033%	60.97%	
25	0.25	73.11	853.8	42.689%	57.31%	
24	0.2	62	915.8	45.789%	54.21%	
23	0.16	43.39	959.2	47.958%	52.04%	
22	0.125	90.27	1 049.4	52.472%	47.53%	
21	0.1	57.52	1 107.0	55.348%	44.65%	
20	0.08	25.92	1 132.9	56.644%	43.36%	

*Tableau 10 : Résultats du tamisage par voie sèche du point 4 sur la digue Koala*

Modules AFNOR	f tamis mm	Refus partiels	Refus cumulés	% Refus cumulés	% Passants cumulés	Observations
50	80					cailloux
49	63					
48	50					
47	40					
46	31.5					
45	25					Graviers
44	20	0	0.0	0.000%	100.00%	
43	16	0	0.0	0.000%	100.00%	
42	12.5	0	0.0	0.000%	100.00%	
41	10	9.77	9.8	0.489%	99.51%	
40	8	9.45	19.2	0.961%	99.04%	sable
39	6.3	15.77	35.0	1.750%	98.25%	
38	5	26.34	61.3	3.067%	96.93%	
37	4	25.77	87.1	4.355%	95.65%	
36	3.15	30.4	117.5	5.875%	94.13%	
35	2.5	20.17	137.7	6.884%	93.12%	
34	2	53.14	190.8	9.541%	90.46%	
33	1.6	54.75	245.6	12.278%	87.72%	
32	1.25	63.62	309.2	15.459%	84.54%	
31	1	63.86	373.0	18.652%	81.35%	
30	0.8	53.78	426.8	21.341%	78.66%	
29	0.63	75.4	502.2	25.111%	74.89%	
28	0.5	116.01	618.2	30.912%	69.09%	
27	0.4	35.85	654.1	32.704%	67.30%	
26	0.315	86.85	740.9	37.047%	62.95%	
25	0.25	64.82	805.8	40.288%	59.71%	
24	0.2	78.75	884.5	44.225%	55.78%	
23	0.16	42.22	926.7	46.336%	53.66%	
22	0.125	113.31	1 040.0	52.002%	48.00%	
21	0.1	34.45	1 074.5	53.724%	46.28%	
20	0.08	79.46	1 153.9	57.697%	42.30%	

**CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE DES DIGUES EN TERRE LATERITIQUE DES PETITS BARRAGES AU BURKINA FASO**

Tableau 12 : Résultats du tamisage par voie sèche du point 5 sur la digue Koala

Modules AFNOR	φ tamis mm	Refus partiels	Refus cumulés	% Refus cumulés	% Passants cumulés	Observations
50	80					cailloux
49	63					
48	50					
47	40					
46	31.5					
45	25					Graviers
44	20	0	0.0	0.000%	100.00%	
43	16	7.55	7.6	0.378%	99.62%	
42	12.5	34.65	42.2	2.110%	97.89%	
41	10	14.21	56.4	2.821%	97.18%	
40	8	66.21	122.6	6.131%	93.87%	sable
39	6.3	64.90	187.5	9.376%	90.62%	
38	5	94.06	281.6	14.079%	85.92%	
37	4	50.91	332.5	16.625%	83.38%	
36	3.15	46.27	378.8	18.938%	81.06%	
35	2.5	46.52	425.3	21.264%	78.74%	
34	2	29.4	454.7	22.734%	77.27%	
33	1.6	35.15	489.8	24.492%	75.51%	
32	1.25	51.84	541.7	27.084%	72.92%	
31	1	56.85	598.5	29.926%	70.07%	
30	0.8	55.76	654.3	32.714%	67.29%	
29	0.63	70.41	724.7	36.235%	63.77%	
28	0.5	85.12	809.8	40.491%	59.51%	
27	0.4	49.82	859.6	42.982%	57.02%	
26	0.315	82.11	941.7	47.087%	52.91%	
25	0.25	88.59	1 030.3	51.517%	48.48%	
24	0.2	82.25	1 112.6	55.629%	44.37%	
23	0.16	58.45	1 171.0	58.552%	41.45%	
22	0.125	93.11	1 264.1	63.207%	36.79%	
21	0.1	61.53	1 325.7	66.284%	33.72%	
20	0.08	37.8	1 363.5	68.174%	31.83%	

**CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE DES DIGUES EN TERRE LATERITIQUE DES PETITS BARRAGES AU BURKINA FASO**

**Barrage Tansobentinga**

**Tableau 14 : Résultats du tamisage par voie sèche du point 2 de la cuvette Tansobentinga**

Mesure	Tamis	Retenu	Retenu	% Retenu	% Passants	Observations
AFNOR	mm	partiels	cumulés	cumulés	cumulés	
50	80					cailloux
49	63					
48	50					
47	40					
46	31.5					
45	25					Graviers
44	20	0	0.0	0.000%	100.00%	
43	16	0	0.0	0.000%	100.00%	
42	12.5	0	0.0	0.000%	100.00%	
41	10	3.8	3.8	0.383%	99.62%	
40	8	6.15	10.0	1.002%	99.00%	sable
39	6.3	7.31	17.3	1.738%	98.26%	
38	5	7.96	25.2	2.539%	97.46%	
37	4	13.89	39.1	3.937%	96.06%	
36	3.15	12.58	51.7	5.204%	94.80%	
35	2.5	13.63	65.3	6.576%	93.42%	
34	2	13.75	79.1	7.960%	92.04%	
33	1.6	13.05	92.1	9.274%	90.73%	
32	1.25	17.04	109.2	10.989%	89.01%	
31	1	30.37	139.5	14.046%	85.95%	
30	0.8	45.76	185.3	18.653%	81.35%	
29	0.63	34.05	219.3	22.081%	77.92%	
28	0.5	30.99	250.3	25.200%	74.80%	
27	0.4	31.24	281.6	28.345%	71.65%	
26	0.315	37.72	319.3	32.142%	67.86%	
25	0.25	39.1	358.4	36.078%	63.92%	
24	0.2	32.71	391.1	39.371%	60.63%	
23	0.16	23.33	414.4	41.720%	58.28%	
22	0.125	72.77	487.2	49.046%	50.95%	
21	0.1	50.22	537.4	54.101%	45.90%	
20	0.08	50.73	588.2	59.208%	40.79%	

**Tableau 13 : Résultats du tamisage par voie sèche du point 3 de la cuvette Tansobentinga**

AFNOR				cumulés	cumulés	
50	80					cailloux
49	63					
48	50					
47	40					
46	31.5					
45	25					Graviers
44	20	0	0.0	0.000%	100.00%	
43	16	0	0.0	0.000%	100.00%	
42	12.5	3.35	3.4	0.353%	99.65%	
41	10	1.35	4.7	0.495%	99.51%	
40	8	4.33	9.0	0.951%	99.05%	sable
39	6.3	6.98	16.0	1.685%	98.31%	
38	5	9.95	26.0	2.733%	97.27%	
37	4	7.16	33.1	3.486%	96.51%	
36	3.15	7.68	40.8	4.295%	95.71%	
35	2.5	13.55	54.4	5.721%	94.28%	
34	2	6.95	61.3	6.453%	93.55%	
33	1.6	8.97	70.3	7.397%	92.60%	
32	1.25	9.93	80.2	8.442%	91.56%	
31	1	13.33	93.5	9.845%	90.15%	
30	0.8	13.82	107.4	11.300%	88.70%	
29	0.63	21.45	128.8	13.558%	86.44%	
28	0.5	23.94	152.7	16.078%	83.92%	
27	0.4	14.08	166.8	17.560%	82.44%	
26	0.315	25.09	191.9	20.201%	79.80%	
25	0.25	39.22	231.1	24.329%	75.67%	
24	0.2	32.44	263.6	27.744%	72.26%	
23	0.16	20.58	284.2	29.911%	70.09%	
22	0.125	75.74	359.9	37.883%	62.12%	
21	0.1	72.71	432.6	45.537%	54.46%	
20	0.08	70.66	503.3	52.975%	47.03%	

**CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE DES DIGUES EN TERRE LATERITIQUE DES PETITS BARRAGES AU BURKINA FASO**

Tableau 15 : Résultats du tamisage par voie sèche du point PKIM\_droit de Tansobentina

Modules AFNOR	f tamis mm	Refus partiels	Refus cumulés	% Refus cumulés	% Passants cumulés	Observations
50	80					cailloux
49	63					
48	50					
47	40					
46	31.5					
45	25					Graviers
44	20	0	0.0	0.000%	100.00%	
43	16	15.83	15.8	1.666%	98.33%	
42	12.5	10.92	26.8	2.816%	97.18%	
41	10	10.43	37.2	3.914%	96.09%	
40	8	31.74	68.9	7.255%	92.75%	
39	6.3	19.15	88.1	9.271%	90.73%	
38	5	23.1	111.2	11.702%	88.30%	sable
37	4	23.09	134.3	14.133%	85.87%	
36	3.15	19.86	154.1	16.223%	83.78%	
35	2.5	16.74	170.9	17.985%	82.01%	
34	2	14.28	185.1	19.488%	80.51%	
33	1.6	10.16	195.3	20.558%	79.44%	
32	1.25	13.07	208.4	21.934%	78.07%	
31	1	16.01	224.4	23.619%	76.38%	
30	0.8	16.52	240.9	25.358%	74.64%	
29	0.63	25.99	266.9	28.094%	71.91%	
28	0.5	29.78	296.7	31.228%	68.77%	
27	0.4	21.44	318.1	33.485%	66.51%	
26	0.315	24.53	342.6	36.067%	63.93%	
25	0.25	38.93	381.6	40.165%	59.83%	
24	0.2	30.74	412.3	43.401%	56.60%	
23	0.16	19.76	432.1	45.481%	54.52%	
22	0.125	85.7	517.8	54.502%	45.50%	
21	0.1	86.07	603.8	63.562%	36.44%	
20	0.08	36.38	640.2	67.392%	32.61%	

Tableau 14 : Résultats du tamisage par voie sèche du point PKIM\_droit de Tansobentina

Modules AFNOR	f tamis mm	Refus partiels	Refus cumulés	% Refus cumulés	% Passants cumulés	Observations
50	80					cailloux
49	63					
48	50					
47	40					
46	31.5					
45	25					Graviers
44	20	9.44	9.4	0.994%	99.01%	
43	16	0	9.4	0.994%	99.01%	
42	12.5	0	9.4	0.994%	99.01%	
41	10	1.74	11.2	1.177%	98.82%	
40	8	0	11.2	1.177%	98.82%	
39	6.3	3.82	15.0	1.579%	98.42%	
38	5	7.07	22.1	2.323%	97.68%	
37	4	11.04	33.1	3.485%	96.51%	
36	3.15	12.26	45.4	4.776%	95.22%	
35	2.5	17.59	63.0	6.627%	93.37%	
34	2	13.65	76.6	8.064%	91.94%	
33	1.6	13.24	89.9	9.458%	90.54%	
32	1.25	13.66	103.5	10.896%	89.10%	
31	1	28.34	131.9	13.879%	86.12%	
30	0.8	34.69	166.5	17.531%	82.47%	
29	0.63	24.28	190.8	20.086%	79.91%	
28	0.5	25.01	215.8	22.719%	77.28%	
27	0.4	19.95	235.8	24.819%	75.18%	
26	0.315	29.21	265.0	27.894%	72.11%	
25	0.25	37.5	302.5	31.841%	68.16%	
24	0.2	25.91	328.4	34.568%	65.43%	
23	0.16	22.48	350.9	36.935%	63.07%	
22	0.125	77.51	428.4	45.094%	54.91%	
21	0.1	62.84	491.2	51.708%	48.29%	
20	0.08	77.19	568.4	59.834%	40.17%	

**CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE DES DIGUES EN TERRE LATERITIQUE DES PETITS BARRAGES AU BURKINA FASO**

Tableau 17: Résultats du tamisage par voie sèche du point PK5B\_droit de Tansobentinga

Modules AFNOR	f tamis mm	Refus partiels	Refus cumulés	% Refus cumulés	% Passants cumulés	Observations
50	80					cailloux
49	63					
48	50					
47	40					
46	31.5					
45	25					Graviers
44	20	0	0.0	0.000%	100.00%	
43	16	6.24	6.2	0.657%	99.34%	
42	12.5	0	6.2	0.657%	99.34%	
41	10	0	6.2	0.657%	99.34%	
40	8	1.9	8.1	0.857%	99.14%	
39	6.3	6.11	14.3	1.500%	98.50%	
38	5	8.75	23.0	2.421%	97.58%	sable
37	4	8.64	31.6	3.331%	96.67%	
36	3.15	10.95	42.6	4.483%	95.52%	
35	2.5	14.62	57.2	6.022%	93.98%	
34	2	12.78	70.0	7.367%	92.63%	
33	1.6	10.99	81.0	8.524%	91.48%	
32	1.25	14.64	95.6	10.065%	89.93%	
31	1	17.52	113.1	11.909%	88.09%	
30	0.8	19.18	132.3	13.928%	86.07%	
29	0.63	28.88	161.2	16.968%	83.03%	
28	0.5	32.28	193.5	20.366%	79.63%	
27	0.4	26.58	220.1	23.164%	76.84%	
26	0.315	30.59	250.7	26.384%	73.62%	
25	0.25	52.25	302.9	31.884%	68.12%	
24	0.2	32.25	335.2	35.279%	64.72%	
23	0.16	30.56	365.7	38.496%	61.50%	
22	0.125	69.27	435.0	45.787%	54.21%	
21	0.1	88.88	523.9	55.143%	44.86%	
20	0.08	14.18	538.0	56.636%	43.36%	

Tableau 16 : Résultats du tamisage par voie sèche du point PK5B\_gauche de Tansobentinga

Modules AFNOR	f tamis mm	Refus partiels	Refus cumulés	% Refus cumulés	% Passants cumulés	Observations
50	80					cailloux
49	63					
48	50					
47	40					
46	31.5					
45	25					Graviers
44	20	0	0.0	0.000%	100.00%	
43	16	0	0.0	0.000%	100.00%	
42	12.5	3.37	3.4	0.355%	99.65%	
41	10	0.71	4.1	0.429%	99.57%	
40	8	1.29	5.4	0.565%	99.43%	
39	6.3	1.35	6.7	0.707%	99.29%	
38	5	5.47	12.2	1.283%	98.72%	sable
37	4	10.44	22.6	2.382%	97.62%	
36	3.15	10.26	32.9	3.462%	96.54%	
35	2.5	13.67	46.6	4.901%	95.10%	
34	2	11.2	57.8	6.080%	93.92%	
33	1.6	12.53	70.3	7.399%	92.60%	
32	1.25	14.86	85.2	8.963%	91.04%	
31	1	19.07	104.2	10.971%	89.03%	
30	0.8	20.46	124.7	13.124%	86.88%	
29	0.63	32.8	157.5	16.577%	83.42%	
28	0.5	27.33	184.8	19.454%	80.55%	
27	0.4	27.07	211.9	22.303%	77.70%	
26	0.315	33.56	245.4	25.836%	74.16%	
25	0.25	40.09	285.5	30.056%	69.94%	
24	0.2	56.78	342.3	36.033%	63.97%	
23	0.16	23.92	366.2	38.551%	61.45%	
22	0.125	71.24	437.5	46.049%	53.95%	
21	0.1	90.31	527.8	55.556%	44.44%	
20	0.08	73.88	601.7	63.333%	36.67%	

**CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE DES DIGUES EN TERRE LATERITIQUE DES PETITS BARRAGES AU BURKINA FASO**

Tableau 19 : Résultats du tamisage par voie sèche du point PK5H\_gauche de Tansobentinga

Modules AFNOR	f tamis mm	Refus partiels	Refus cumulés	% Refus cumulés	% Passants cumulés	Observations
50	80					cailloux
49	63					
48	50					
47	40					
46	31.5					
45	25					
44	20	0	0.0	0.000%	100.00%	Graviers
43	16	0	0.0	0.000%	100.00%	
42	12.5	0	0.0	0.000%	100.00%	
41	10	0	0.0	0.000%	100.00%	
40	8	0	0.0	0.000%	100.00%	
39	6.3	4.49	4.5	0.473%	99.53%	
38	5	3.97	8.5	0.891%	99.11%	sable
37	4	8.33	16.8	1.767%	98.23%	
36	3.15	9.9	26.7	2.809%	97.19%	
35	2.5	11.69	38.4	4.040%	95.96%	
34	2	11.31	49.7	5.231%	94.77%	
33	1.6	10.27	60.0	6.312%	93.69%	
32	1.25	15.14	75.1	7.905%	92.09%	
31	1	17.97	93.1	9.797%	90.20%	
30	0.8	20.39	113.5	11.943%	88.06%	
29	0.63	30.13	143.6	15.115%	84.89%	
28	0.5	32.41	176.0	18.526%	81.47%	
27	0.4	28.65	204.7	21.542%	78.46%	
26	0.315	33.25	237.9	25.042%	74.96%	
25	0.25	40.58	278.5	29.314%	70.69%	
24	0.2	36.48	315.0	33.154%	66.85%	
23	0.16	44.28	359.2	37.815%	62.19%	
22	0.125	72.61	431.9	45.458%	54.54%	
21	0.1	75.06	506.9	53.359%	46.64%	
20	0.08	46.42	553.3	58.245%	41.75%	

Tableau 18 : Résultats du tamisage par voie sèche du point PK5M\_gauche de Tansobentinga

Modules AFNOR	f tamis mm	Refus partiels	Refus cumulés	% Refus cumulés	% Passants cumulés	Observations
50	80					cailloux
49	63					
48	50					
47	40					
46	31.5					
45	25					
44	20	0	0.0	0.000%	100.00%	Graviers
43	16	4.96	5.0	0.522%	99.48%	
42	12.5	4.69	9.7	1.016%	98.98%	
41	10	3.62	13.3	1.397%	98.60%	
40	8	3.66	16.9	1.782%	98.22%	
39	6.3	2.77	19.7	2.074%	97.93%	
38	5	6.66	26.4	2.775%	97.23%	sable
37	4	8.67	35.0	3.687%	96.31%	
36	3.15	9.98	45.0	4.738%	95.26%	
35	2.5	10.44	55.5	5.837%	94.16%	
34	2	11.13	66.6	7.008%	92.99%	
33	1.6	9.87	76.5	8.047%	91.95%	
32	1.25	12.15	88.6	9.326%	90.67%	
31	1	14.07	102.7	10.807%	89.19%	
30	0.8	14.37	117.0	12.320%	87.68%	
29	0.63	21.07	138.1	14.538%	85.46%	
28	0.5	24.84	163.0	17.153%	82.85%	
27	0.4	14.95	177.9	18.726%	81.27%	
26	0.315	22.87	200.8	21.134%	78.87%	
25	0.25	26.79	227.6	23.954%	76.05%	
24	0.2	24.05	251.6	26.485%	73.51%	
23	0.16	26.8	278.4	29.306%	70.69%	
22	0.125	55.54	334.0	35.153%	64.85%	
21	0.1	59.43	393.4	41.408%	58.59%	
20	0.08	16.8	410.2	43.177%	56.82%	

**CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE DES DIGUES EN TERRE LATERITIQUE DES PETITS BARRAGES AU BURKINA FASO**

➤ Barrage Rawangomé

Tableau 21 : Résultats du tamisage par voie sèche du point 1 de la cuvette Rawangomé

Modules AFNOR	f tamis mm	Refus partiels	Refus cumulés	% Refus cumulés	% Passants cumulés	Observations
50	80					cailloux
49	63					
48	50					
47	40					
46	31.5					
45	25					Graviers
44	20	0	0.0	0.000%	100.00%	
43	16	0	0.0	0.000%	100.00%	
42	12.5	0	0.0	0.000%	100.00%	
41	10	0	0.0	0.000%	100.00%	
40	8	8.22	8.2	0.411%	99.59%	
39	6.3	8.82	17.0	0.852%	99.15%	
38	5	16.75	33.8	1.690%	98.31%	sable
37	4	13.41	47.2	2.360%	97.64%	
36	3.15	13.18	60.4	3.019%	96.98%	
35	2.5	14.32	74.7	3.735%	96.27%	
34	2	14.84	89.5	4.477%	95.52%	
33	1.6	14.31	103.9	5.193%	94.81%	
32	1.25	24.39	128.2	6.412%	93.59%	
31	1	28.86	157.1	7.855%	92.15%	
30	0.8	29.05	186.2	9.308%	90.69%	
29	0.63	51.61	237.8	11.888%	88.11%	
28	0.5	65.18	302.9	15.147%	84.85%	
27	0.4	48.92	351.9	17.593%	82.41%	
26	0.315	92.4	444.3	22.213%	77.79%	
25	0.25	99.66	543.9	27.196%	72.80%	
24	0.2	84.85	628.8	31.439%	68.56%	
23	0.16	65.65	694.4	34.721%	65.28%	
22	0.125	91.01	785.4	39.272%	60.73%	
21	0.1	60.93	846.4	42.318%	57.68%	
20	0.08	49.42	895.8	44.789%	55.21%	

Tableau 20 : Résultats du tamisage par voie sèche du point 2 de la cuvette Rawangomé

Modules AFNOR	f tamis mm	Refus partiels	Refus cumulés	% Refus cumulés	% Passants cumulés	Observations
50	80					cailloux
49	63					
48	50					
47	40					
46	31.5					
45	25					Graviers
44	20	0	0.0	0.00%	100.00%	
43	16	0	0.0	0.00%	100.00%	
42	12.5	4.84	4.8	0.24%	99.76%	
41	10	0	4.8	0.24%	99.76%	
40	8	3.21	8.1	0.40%	99.60%	
39	6.3	6.16	14.2	0.71%	99.29%	
38	5	5.14	19.4	0.97%	99.03%	sable
37	4	12.27	31.6	1.58%	98.42%	
36	3.15	11.86	43.5	2.17%	97.83%	
35	2.5	14.87	58.4	2.92%	97.08%	
34	2	15.65	74.0	3.70%	96.30%	
33	1.6	18.98	93.0	4.65%	95.35%	
32	1.25	26.97	120.0	6.00%	94.00%	
31	1	39.02	159.0	7.95%	92.05%	
30	0.8	40.84	199.8	9.99%	90.01%	
29	0.63	67.87	267.7	13.38%	86.62%	
28	0.5	87.1	354.8	17.74%	82.26%	
27	0.4	140.86	495.6	24.78%	75.22%	
26	0.315	193.46	689.1	34.46%	65.55%	
25	0.25	124.9	814.0	40.70%	59.30%	
24	0.2	86.67	900.7	45.03%	54.97%	
23	0.16	80.01	980.7	49.03%	50.97%	
22	0.125	154.85	1 135.5	56.78%	43.22%	
21	0.1	87.87	1 223.4	61.17%	38.83%	
20	0.08	52.3	1 275.7	63.79%	36.22%	

**CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE DES DIGUES EN TERRE LATERITIQUE DES PETITS BARRAGES AU BURKINA FASO**

Tableau 23 : Résultats du tamisage par voie sèche du point 3 sur la digue Rawangomdé      Tableau 22 : Résultats du tamisage par voie sèche du point 4 sur la digue Rawangomdé

Modules AFNOR	f tamis mm	Refus partiels	Refus cumulés	% Refus cumulés	% Passants cumulés	Observations
50	80					cailloux
49	63					
48	50					
47	40					
46	31.5					
45	25					Graviers
44	20	0	0.0	0.00%	100.00%	
43	16	0	0.0	0.00%	100.00%	
42	12.5	0	0.0	0.00%	100.00%	
41	10	0	0.0	0.00%	100.00%	
40	8	0	0.0	0.00%	100.00%	
39	6.3	1.18	1.2	0.06%	99.94%	
38	5	1.07	2.3	0.11%	99.89%	sable
37	4	2.47	4.7	0.24%	99.76%	
36	3.15	2.76	7.5	0.37%	99.63%	
35	2.5	4.87	12.4	0.62%	99.38%	
34	2	6.57	18.9	0.95%	99.05%	
33	1.6	12.01	30.9	1.55%	98.45%	
32	1.25	15.77	46.7	2.34%	97.67%	
31	1	31.37	78.1	3.90%	96.10%	
30	0.8	35.46	113.5	5.68%	94.32%	
29	0.63	83.63	197.2	9.86%	90.14%	
28	0.5	94.32	291.5	14.57%	85.43%	
27	0.4	78.48	370.0	18.50%	81.50%	
26	0.315	178.35	548.3	27.42%	72.58%	
25	0.25	244.87	793.2	39.66%	60.34%	
24	0.2	218.08	1 011.3	50.56%	49.44%	
23	0.16	100.9	1 112.2	55.61%	44.39%	
22	0.125	181.95	1 294.1	64.71%	35.29%	
21	0.1	138.6	1 432.7	71.64%	28.36%	
20	0.08	125.91	1 558.6	77.93%	22.07%	

Modules AFNOR	f tamis mm	Refus partiels	Refus cumulés	% Refus cumulés	% Passants cumulés	Observations
50	80					cailloux
49	63					
48	50					
47	40					
46	31.5					
45	25					Graviers
44	20	0	0.0	0.000%	100.00%	
43	16	0	0.0	0.000%	100.00%	
42	12.5	0	0.0	0.000%	100.00%	
41	10	7.66	7.7	0.383%	99.62%	
40	8	2.77	10.4	0.522%	99.48%	
39	6.3	12.59	23.0	1.151%	98.85%	
38	5	14.83	37.9	1.893%	98.11%	sable
37	4	13.41	51.3	2.563%	97.44%	
36	3.15	17.42	68.7	3.434%	96.57%	
35	2.5	18.42	87.1	4.355%	95.65%	
34	2	18.59	105.7	5.285%	94.72%	
33	1.6	17.73	123.4	6.171%	93.83%	
32	1.25	19.2	142.6	7.131%	92.87%	
31	1	28.47	171.1	8.555%	91.45%	
30	0.8	42.4	213.5	10.675%	89.33%	
29	0.63	89.96	303.5	15.173%	84.83%	
28	0.5	88.73	392.2	19.609%	80.39%	
27	0.4	103.91	496.1	24.805%	75.20%	
26	0.315	152.89	649.0	32.449%	67.55%	
25	0.25	218.98	868.0	43.398%	56.60%	
24	0.2	152.03	1 020.0	51.000%	49.00%	
23	0.16	274.92	1 294.9	64.746%	35.25%	
22	0.125	286.09	1 581.0	79.050%	20.95%	
21	0.1	71.4	1 652.4	82.620%	17.38%	
20	0.08	62.45	1 714.9	85.743%	14.26%	

**CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE DES DIGUES EN TERRE LATERITIQUE DES PETITS  
BARRAGES AU BURKINA FASO**

Tableau 24 : Résultats du tamisage par voie sèche du point 5 sur la digue Rawangomdé

Modules AFNOR	f tamis mm	Refus partiels	Refus cumulés	% Refus cumulés	% Passants cumulés	Observations
50	80					cailloux
49	63					
48	50					
47	40					
46	31.5					
45	25					Graviers
44	20	13.24	13.2	0.662%	99.34%	
43	16	0	13.2	0.662%	99.34%	
42	12.5	62.05	75.3	3.765%	96.24%	
41	10	44.96	120.3	6.013%	93.99%	
40	8	71.01	191.3	9.563%	90.44%	sable
39	6.3	75.14	266.4	13.320%	86.68%	
38	5	73.9	340.3	17.015%	82.99%	
37	4	63.8	404.1	20.205%	79.80%	
36	3.15	44.62	448.7	22.436%	77.56%	
35	2.5	38.1	486.8	24.341%	75.66%	
34	2	21.14	508.0	25.398%	74.60%	
33	1.6	22.2	530.2	26.508%	73.49%	
32	1.25	30.21	560.4	28.019%	71.98%	
31	1	34.8	595.2	29.759%	70.24%	
30	0.8	36.96	632.1	31.607%	68.39%	
29	0.63	57.58	689.7	34.486%	65.51%	
28	0.5	76.77	766.5	38.324%	61.68%	
27	0.4	75.52	842.0	42.100%	57.90%	
26	0.315	90.92	932.9	46.646%	53.35%	
25	0.25	157.8	1 090.7	54.536%	45.46%	
24	0.2	131.8	1 222.5	61.126%	38.87%	
23	0.16	69.27	1 291.8	64.590%	35.41%	
22	0.125	168.81	1 460.6	73.030%	26.97%	
21	0.1	30.75	1 491.4	74.568%	25.43%	
20	0.08	52.09	1 543.4	77.172%	22.83%	

- **Limites d'Atterberg**

**CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE DES DIGUES EN TERRE LATERITIQUE DES PETITS BARRAGES AU BURKINA FASO**

*Tableau 26 : Feuille de calcul des résultats des limites point 1 de la cuvette Koala*

N° tare	Limite de liquidité					Limite de plasticité			
	1	2	3	4	5	A	B	C	D
Poids total humide (g)	31.1	35.78	29.87	39	28.36	48.05	27.02	27.74	24.83
Poids total sec (g)	29.34	33.29	28.82	36.32	27.16	47.74	26.68	27.24	24.33
Poids tare (g)	24.52	26.42	25.98	28.81	23.81	46.19	24.63	24.75	22.16
Poids de l'eau (g)	1.76 g	2.49 g	1.05 g	2.68 g	1.20 g	0.31 g	0.34 g	0.50 g	0.50 g
Poids sec (g)	4.82 g	6.87 g	2.84 g	7.51 g	3.35 g	1.55 g	2.05 g	2.49 g	2.17 g
Teneur en eau (g)	36.5%	36.2%	37.0%	35.7%	35.8%	20.0%	16.6%	20.1%	23.0%
Nombre de coups N	18	22	26	30	34				

*Tableau 25 : Feuille de calcul des résultats des limites point 2 de la cuvette Koala*

N° tare	Limite de liquidité					Limite de plasticité			
	1	2	3	4	5	A	B	C	D
Poids total humide (g)	39.44	37.34	37.04	34.06	33.56	50.21	28.71	27.84	25.54
Poids total sec (g)	36.16	34.31	34.46	31.58	31.26	49.59	28.09	27.33	25.08
Poids tare (g)	27.62	26.43	27.61	24.87	24.81	46	24.26	24.22	22.13
Poids de l'eau (g)	3.28 g	3.03 g	2.58 g	2.48 g	2.30 g	0.62 g	0.62 g	0.51 g	0.46 g
Poids sec (g)	8.54 g	7.88 g	6.85 g	6.71 g	6.45 g	3.59 g	3.83 g	3.11 g	2.95 g
Teneur en eau (g)	38.4%	38.5%	37.7%	37.0%	35.7%	17.3%	16.2%	16.4%	15.6%
Nombre de coups N	15	18	22	26	31				

*Tableau 28 : Feuille de calcul des résultats des limites point 3 de la crête Koala*

N° tare	Limite de liquidité					Limite de plasticité			
	1	2	3	4	5	A	B	C	D
Poids total humide (g)	38.57	43.39	40.36	46.16	33.48	48.5	27.54	28.3	25.07
Poids total sec (g)	36	39.73	37.16	41.27	31.58	48.1	27.02	27.67	24.63
Poids tare (g)	27.6	26.41	27.95	24.79	24.81	46.01	24.26	24.24	22.15
Poids de l'eau (g)	2.57 g	3.66 g	3.20 g	4.89 g	1.90 g	0.40 g	0.52 g	0.63 g	0.44 g
Poids sec (g)	8.40 g	13.32 g	9.21 g	16.48 g	6.77 g	2.09 g	2.76 g	3.43 g	2.48 g
Teneur en eau (g)	30.6%	27.5%	34.7%	29.7%	28.1%	19.1%	18.8%	18.4%	17.7%
Nombre de coups N	17	20	24	27	32				

*Tableau 27 : Feuille de calcul des résultats des limites point 4 de la crête Koala*

N° tare	Limite de liquidité					Limite de plasticité			
	1	2	3	4	5	A	B	C	D
Poids total humide (g)	33.81	32.82	38.45	36.79	31.75	29.4	25.69	27.48	94.15
Poids total sec (g)	31.32	31.32	35.58	34.15	29.56	28.92	25	26.99	93.68
Poids tare (g)	25.54	25.94	25.37	24.11	21.78	26.2	21.51	24.5	91.11
Poids de l'eau (g)	2.49 g	1.50 g	2.87 g	2.64 g	2.19 g	0.48 g	0.69 g	0.49 g	0.47 g
Poids sec (g)	5.78 g	5.38 g	10.21 g	10.04 g	7.78 g	2.72 g	3.49 g	2.49 g	2.57 g
Teneur en eau (g)	43.1%	27.9%	28.1%	26.3%	28.1%	17.6%	19.8%	19.7%	18.3%
Nombre de coups N	17	21	26	29	33				

**CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE DES DIGUES EN TERRE LATERITIQUE DES PETITS BARRAGES AU BURKINA FASO**

Tableau 31 : Feuille de calcul des résultats des limites point 2 de la cuvette Tansobentinga

N° tare	Limite de liquidité					Limite de plasticité			
	64	29	8	66	74	A-5	A-10	A-2	A-1
Poids total humide (g)	32.51	33.77	32.47	32.1	31.14	92.8	92.83	91.19	90.57
Poids total sec (g)	30.52	32.36	31.09	30.33	29.8	92.46	92.51	90.93	90.35
Poids tare (g)	23.19	27.11	26.04	23.76	24.81	90.49	90.67	89.6	89.16
Poids de l'eau (g)	1.99 g	1.41 g	1.38 g	1.77 g	1.34 g	0.34 g	0.32 g	0.26 g	0.22 g
Poids sec (g)	7.33 g	5.25 g	5.05 g	6.57 g	4.99 g	1.97 g	1.84 g	1.33 g	1.19 g
Teneur en eau (g)	27.1%	26.9%	27.3%	26.9%	26.9%	17.3%	17.4%	19.5%	18.5%
Nombre de coups N	18	22	26	30	34				

Tableau 32 : Feuille de calcul des résultats des limites point 5 de la crête Koala

N° tare	Limite de liquidité					Limite de plasticité			
	1	2	3	4	5	A	B	C	D
Poids total humide (g)	33.17	34.72	31.36	32.97	37.28	49.26	28.41	27.06	24.43
Poids total sec (g)	31.64	33.4	29.66	31.1	34.79	48.76	27.81	26.78	24.1
Poids tare (g)	26.45	28.83	23.82	24.56	25.99	46.14	24.61	24.73	22.13
Poids de l'eau (g)	1.53 g	1.32 g	1.70 g	1.87 g	2.49 g	0.50 g	0.60 g	0.28 g	0.33 g
Poids sec (g)	5.19 g	4.57 g	5.84 g	6.54 g	8.80 g	2.62 g	3.20 g	2.05 g	1.97 g
Teneur en eau (g)	29.5%	28.9%	29.1%	28.6%	28.3%	19.1%	18.8%	13.7%	16.8%
Nombre de coups N	17	22	26	30	33				

Tableau 29 : Feuille de calcul des résultats des limites PK1M\_droi tde Tansobentinga

N° tare	Limite de liquidité					Limite de plasticité			
	74	29	8	64	66	A-2	A-5	A-1	A-10
Poids total humide (g)	36.02	38.94	36.38	37.42	29.46	93.76	94.84	94.2	96.33
Poids total sec (g)	33.75	36.56	34.3	34.57	28.3	93.2	94.25	93.53	95.56
Poids tare (g)	24.82	27.11	26.05	23.2	23.77	89.59	90.48	89.16	90.66
Poids de l'eau (g)	2.27 g	2.38 g	2.08 g	2.85 g	1.16 g	0.56 g	0.59 g	0.67 g	0.77 g
Poids sec (g)	8.93 g	9.45 g	8.25 g	11.37 g	4.53 g	3.61 g	3.77 g	4.37 g	4.90 g
Teneur en eau (g)	25.4%	25.2%	25.2%	25.1%	25.6%	15.5%	15.6%	15.3%	15.7%
Nombre de coups N	16	20	23	26	30				

Tableau 30 : Feuille de calcul des résultats des limites point 3 de la cuvette Tansobentinga

N° tare	Limite de liquidité					Limite de plasticité			
	1	2	10	7	11	A-4	A-7	8	3
Poids total humide (g)	50.61	53.78	52.58	51.92	48.93	92.95	93.08	49.65	31.55
Poids total sec (g)	49.55	51.9	51.27	50.64	48.21	92.43	92.73	49.11	30.96
Poids tare (g)	45.64	45.36	46.48	45.98	45.44	89.54	90.8	46.16	27.69
Poids de l'eau (g)	1.06 g	1.88 g	1.31 g	1.28 g	0.72 g	0.52 g	0.35 g	0.54 g	0.59 g
Poids sec (g)	3.91 g	6.54 g	4.79 g	4.66 g	2.77 g	2.89 g	1.93 g	2.95 g	3.27 g
Teneur en eau (g)	27.1%	28.7%	27.3%	27.5%	26.0%	18.0%	18.1%	18.3%	18.0%
Nombre de coups N	19	24	28	31	34				

**CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE DES DIGUES EN TERRE LATERITIQUE DES PETITS BARRAGES AU BURKINA FASO**

Tableau 36: Feuille de calcul des résultats des limites PK5B\_droit de Tansobentinga

N° tare	Limite de liquidité					Limite de plasticité			
	72	16	52	30	15	A	O5	62	20
Poids total humide (g)	44.5	45.74	42.88	46.65	40.56	49.95	29.34	30.92	29.22
Poids total sec (g)	40.48	41.59	39.17	39.42	37.95	49.55	28.87	30.27	28.9
Poids tare (g)	24.8	25.46	24.7	26.54	27.37	46.39	25.25	25.28	26.47
Poids de l'eau (g)	4.02 g	4.15 g	3.71 g	7.23 g	2.61 g	0.40 g	0.47 g	0.65 g	0.32 g
Poids sec (g)	15.68 g	16.13 g	14.47 g	12.88 g	10.58 g	3.16 g	3.62 g	4.99 g	2.43 g
Teneur en eau (g)	25.6%	25.7%	25.6%	56.1%	24.7%	12.7%	13.0%	13.0%	13.2%
Nombre de coups N	16	19	22	26	29				

Tableau 33 : Feuille de calcul des résultats des limites PK5H\_gauche de Tansobentinga

N° tare	Limite de liquidité					Limite de plasticité			
	70	17	3	7	52	10	4'	5'	12'
Poids total humide (g)	39.07	43.71	43.99	73.73	43.74	51.98	52.6	49.41	49.15
Poids total sec (g)	36.63	40.57	40.95	71	40.27	51.28	51.69	48.91	48.62
Poids tare (g)	25.92	27.12	27.68	59.06	24.7	46.52	45.94	45.66	45.34
Poids de l'eau (g)	2.44 g	3.14 g	3.04 g	2.73 g	3.47 g	0.70 g	0.91 g	0.50 g	0.53 g
Poids sec (g)	10.71 g	13.45 g	13.27 g	11.94 g	15.57 g	4.76 g	5.75 g	3.25 g	3.28 g
Teneur en eau (g)	22.8%	23.3%	22.9%	22.9%	22.3%	14.7%	15.8%	15.4%	16.2%
Nombre de coups N	16	19	22	26	29				

Tableau 35 : Feuille de calcul des résultats des limites PK4H\_droi tde Tansobentinga

N° tare	Limite de liquidité					Limite de plasticité			
	1	7	11	8	2	A-7	A-4	A-3	A-9
Poids total humide (g)	55.29	54.82	53.45	59.47	58.36	95.89	92.92	93.42	95.6
Poids total sec (g)	53.12	52.87	51.71	56.54	55.64	95.18	92.47	93.05	94.86
Poids tare (g)	45.64	45.98	45.45	46.15	45.34	90.76	89.5	90.78	90
Poids de l'eau (g)	2.17 g	1.95 g	1.74 g	2.93 g	2.72 g	0.71 g	0.45 g	0.37 g	0.74 g
Poids sec (g)	7.48 g	6.89 g	6.26 g	10.39 g	10.30 g	4.42 g	2.97 g	2.27 g	4.86 g
Teneur en eau (g)	29.0%	28.3%	27.8%	28.2%	26.4%	16.1%	15.2%	16.3%	15.2%
Nombre de coups N	17	19	22	26	30				

Tableau 34 : Feuille de calcul des résultats des limites PK5B\_gauche de Tansobentinga

N° tare	Limite de liquidité					Limite de plasticité			
	1'	2'	3	13	57	63	10'	18	8
Poids total humide (g)	59.26	59.56	60.1	42.39	31.78	26.11	48.78	29.83	27.74
Poids total sec (g)	56.75	56.97	57.65	39.82	30.39	25.96	48.54	29.56	27.55
Poids tare (g)	45.66	45.38	45.44	28.05	23.82	24.73	46.5	27.6	26.02
Poids de l'eau (g)	2.51 g	2.59 g	2.45 g	2.57 g	1.39 g	0.15 g	0.24 g	0.27 g	0.19 g
Poids sec (g)	11.09 g	11.59 g	12.21 g	11.77 g	6.57 g	1.23 g	2.04 g	1.96 g	1.53 g
Teneur en eau (g)	22.6%	22.3%	20.1%	21.8%	21.2%	12.2%	11.8%	13.8%	12.4%
Nombre de coups N	15	19	22	26	29				

**CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE DES DIGUES EN TERRE LATERITIQUE DES PETITS BARRAGES AU BURKINA FASO**

Tableau 37 : Feuille de calcul des résultats des limites point 1 de la cuvette Rawangomdé

N° tare	Limite de liquidité					Limite de plasticité			
	1	2	3	4	5	A	B	C	D
Poids total humide (g)	32.12	35.61	36.61	32.06	35.25	26.65	25.13	27.35	24.48
Poids total sec (g)	30.94	33.14	34.17	30.08	32.94	26.29	24.67	26.9	24.15
Poids tare (g)	25.3	26.46	27.63	24.63	26.43	24.1	22.14	24.2	22.14
Poids de l'eau (g)	1.18 g	2.47 g	2.44 g	1.98 g	2.31 g	0.36 g	0.46 g	0.45 g	0.33 g
Poids sec (g)	5.64 g	6.68 g	6.54 g	5.45 g	6.51 g	2.19 g	2.53 g	2.70 g	2.01 g
Teneur en eau (g)	20.9%	37.0%	37.3%	36.3%	35.5%	16.4%	18.2%	16.7%	16.4%
Nombre de coups N	17	21	24	27	31				

Tableau 38 : Feuille de calcul des résultats des limites PK5M\_gauche de Tansobentinga

N° tare	Limite de liquidité					Limite de plasticité			
	1	2	11'	14	5'	A-10	A-7	A-9	K
Poids total humide (g)	37.65	41.95	58.26	45.81	57	96.16	97.01	96.71	33.37
Poids total sec (g)	35.24	38.56	55.5	41.87	54.56	95.46	96.13	95	32.54
Poids tare (g)	26.88	26.45	45.47	27.95	45.65	90.64	90.77	89.98	26.61
Poids de l'eau (g)	2.41 g	3.39 g	2.76 g	3.94 g	2.44 g	0.70 g	0.88 g	1.71 g	0.83 g
Poids sec (g)	8.36 g	12.11 g	10.03 g	13.92 g	8.91 g	4.82 g	5.36 g	5.02 g	5.93 g
Teneur en eau (g)	28.8%	28.0%	27.5%	28.3%	27.4%	14.5%	16.4%	34.1%	14.0%
Nombre de coups N	18	21	25	27	31				

Tableau 39 : Feuille de calcul des résultats des limites point 2 de la cuvette Rawangomdé

N° tare	Limite de liquidité					Limite de plasticité			
	1	2	3	4	5	A	B	C	D
Poids total humide (g)	56.09	53.16	34.57	54.52	54.65	63.68	29.41	30.72	52.31
Poids total sec (g)	54.46	51.81	33.11	53.04	53.17	63.17	29.07	30.11	51.53
Poids tare (g)	46.51	45.31	25.91	45.89	45.63	59.39	26.45	25.96	46.17
Poids de l'eau (g)	1.63 g	1.35 g	1.46 g	1.48 g	1.48 g	0.51 g	0.34 g	0.61 g	0.78 g
Poids sec (g)	7.95 g	6.50 g	7.20 g	7.15 g	7.54 g	3.78 g	2.62 g	4.15 g	5.36 g
Teneur en eau (g)	20.5%	20.8%	20.3%	20.7%	19.6%	13.5%	13.0%	14.7%	14.6%
Nombre de coups N	18	22	26	29	33				

**CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE DES DIGUES EN TERRE LATERITIQUE DES PETITS  
BARRAGES AU BURKINA FASO**

• **Poids spécifique**

Tableau 40 : Recueil des résultats poids spécifique Koala

N° échantillon (le cas échéant)	Poids sec matériaux mis dans la cuve (g)	Volume d'eau distillé ajouté (cm3)	Pression finale ( P' ) cuve échantillon + chambres (mWs)				Valeur V <sub>lu</sub> (cm3)	y <sub>s</sub> (KN/m3)
			1ère essai	2ième essai	3ième essai	$\bar{P}'$ , moyenne (mWs)		
P1_cuvette	751.96	421.00	8.90	8.90	8.90	8.90	689.27	28.03
P2_cuvette	765.20	340.00	7.80	7.80	7.90	7.83	607.24	28.63
P3	745.68	411.97	8.70	8.60	8.60	8.63	670.91	28.80
P4	775.09	424.24	9.10	9.00	9.10	9.07	700.13	28.09
P5	768.65	345.57	8.00	8.00	7.90	7.97	618.87	28.12

N° échantillon (le cas échéant)	Poids sec matériaux mis dans la cuve (g)	Volume d'eau distillé ajouté (cm3)	Pression finale ( P' ) cuve échantillon + chambres (mWs)				Valeur V <sub>lu</sub> (cm3)	y <sub>s</sub> (KN/m3)
			1ère essai	2ième essai	3ième essai	$\bar{P}'$ , moyenne (mWs)		
B1P1_cuvette	751.96	421.00	8.90	8.90	8.90	8.90	689.27	28.03
B1P2_cuvette	765.20	340.00	7.80	7.80	7.90	7.83	607.24	28.63
B1P3	745.68	411.97	8.70	8.60	8.60	8.63	670.91	28.80
B1P4	775.09	424.24	9.10	9.00	9.10	9.07	700.13	28.09
B1P5	768.65	345.57	8.00	8.00	7.90	7.97	618.87	28.12

Tableau 41 : Recueil des résultats poids spécifique Tansobentinga

N° échantillon (le cas échéant)	Poids sec matériaux mis dans la cuve (g)	Volume d'eau distillé ajouté (cm3)	Pression finale ( P' ) cuve échantillon + chambres (mWs)				Valeur V <sub>lu</sub> (cm3)	y <sub>s</sub> (KN/m3)
			1ère essai	2ième essai	3ième essai	$\bar{P}'$ , moyenne (mWs)		
P2_cuvette	736.94	495.24	10.40	10.30	10.20	10.30	768.37	26.98
PK5M_gauche	734.77	415.05	8.70	8.70	8.80	8.73	677.94	27.95
PK4H_droit	738.75	362.18	8.10	8.10	8.00	8.07	627.30	27.86
PK5H_gauche	749.66	340.20	7.80	7.80	7.80	7.80	604.26	28.39
PK5B_droit	731.11	376.22	8.10	8.10	8.20	8.13	632.79	28.50
P3_cuvette	738.50	359.99	7.90	8.00	8.00	7.97	618.87	28.53
PK5B_gauche	747.85	369.06	8.10	8.00	8.10	8.07	627.30	28.96
PK1M_droit	755.20	366.83	8.10	8.20	8.10	8.13	632.79	28.40

Tableau 42 : Recueil des résultats poi

**CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE DES DIGUES EN TERRE LATERITIQUE DES PETITS  
BARRAGES AU BURKINA FASO**

Tableau 43 : Résultats de l'essai densimètre à membrane

Position du point dans le repère		Indice	Indice	Volume	Poids	Poids sec	Teneur en eau $\omega$ (%)	Densité sèche ou en place $\gamma_d$	Compacité Ic
		initial (cm <sup>3</sup> )	final (cm <sup>3</sup> )	cavité (cm <sup>3</sup> )	humide de l'échantillon	de l'échantillon			
Barrage2	P1(cuvette)	180 cm <sup>3</sup>	1 460 cm <sup>3</sup>	1 280 cm <sup>3</sup>	2041.51	1964.16	3.94%	1.5 KN/m <sup>3</sup>	82.50%
Barrage2	P2(fond_cuvette)	200 cm <sup>3</sup>	1 470 cm <sup>3</sup>	1 270 cm <sup>3</sup>	2354.29	2155.62	9.22%	1.7 KN/m <sup>3</sup>	95.90%
Barrage2	P3(cuvette)	210 cm <sup>3</sup>	1 540 cm <sup>3</sup>	1 330 cm <sup>3</sup>	1838.35	1735.61	5.92%	1.3 KN/m <sup>3</sup>	83.70%
Barrage2	P4(fond_cuvette)	180 cm <sup>3</sup>	1 860 cm <sup>3</sup>	1 680 cm <sup>3</sup>	2120.61	1952.51	8.61%	1.2 KN/m <sup>3</sup>	74.50%
Barrage 1	P1_cuvette	170 cm <sup>3</sup>	2 330 cm <sup>3</sup>	2 160 cm <sup>3</sup>	3663.48	3551.33	3.16%	1.6 KN/m <sup>3</sup>	97.90%
Barrage 1	P2(fond_cuvette)	110 cm <sup>3</sup>	1 080 cm <sup>3</sup>	970 cm <sup>3</sup>	1530.62	1490.42	2.70%	1.5 KN/m <sup>3</sup>	91.50%
Barrage 1	P2(fond_Cuvette)	320 cm <sup>3</sup>	1 670 cm <sup>3</sup>	1 350 cm <sup>3</sup>	2582.98	1856.3	39.15%	1.4 KN/m <sup>3</sup>	81.40%
Barrage 1	P2_cuvette	260 cm <sup>3</sup>	1 450 cm <sup>3</sup>	1 190 cm <sup>3</sup>	2081.19	1974.99	5.38%	1.7 KN/m <sup>3</sup>	98.20%
Barrage 1	P3	140 cm <sup>3</sup>	1 780 cm <sup>3</sup>	1 640 cm <sup>3</sup>	2656.49	2543.73	4.43%	1.6 KN/m <sup>3</sup>	94.00%
Barrage 1	P4	120 cm <sup>3</sup>	1 690 cm <sup>3</sup>	1 570 cm <sup>3</sup>	2794	2633	6.11%	1.7 KN/m <sup>3</sup>	97.50%
Barrage 1	P5	140 cm <sup>3</sup>	1 830 cm <sup>3</sup>	1 690 cm <sup>3</sup>	2955.45	2841.43	4.01%	1.7 KN/m <sup>3</sup>	97.80%
Barrage 3	P3	180 cm <sup>3</sup>	1 180 cm <sup>3</sup>	1 000 cm <sup>3</sup>	1500.06	1453.55	3.20%	1.5 KN/m <sup>3</sup>	89.20%
Barrage 3	P4	160 cm <sup>3</sup>	1 680 cm <sup>3</sup>	1 520 cm <sup>3</sup>	2728.72	2632.72	3.65%	1.7 KN/m <sup>3</sup>	82.50%
Barrage 3	P5	320 cm <sup>3</sup>	1 610 cm <sup>3</sup>	1 290 cm <sup>3</sup>	2364.85	2227.02	6.19%	1.7 KN/m <sup>3</sup>	97.50%
Barrage 3	P1_cuvette	140 cm <sup>3</sup>	1 520 cm <sup>3</sup>	1 380 cm <sup>3</sup>	2078.29	2023.69	2.70%	1.5 KN/m <sup>3</sup>	94.60%
Barrage 3	P1(fond_cuvette)	150 cm <sup>3</sup>	1 420 cm <sup>3</sup>	1 270 cm <sup>3</sup>	2570.54	2165.42	18.71%	1.7 KN/m <sup>3</sup>	110.00%
Barrage 3	P2_cuvette	150 cm <sup>3</sup>	1 540 cm <sup>3</sup>	1 390 cm <sup>3</sup>	2646.21	2353.06	12.46%	1.7 KN/m <sup>3</sup>	97.90%
	P2(fond_cuvette)	140 cm <sup>3</sup>	1 560 cm <sup>3</sup>	1 420 cm <sup>3</sup>	2935.88	2614	12.31%	1.8 KN/m <sup>3</sup>	106.40%

**CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE DES DIGUES EN TERRE LATERITIQUE DES PETITS  
BARRAGES AU BURKINA FASO**

Tableau 44: Recueil des résultats valeur du bleu

• Valeurs du Bleu

**KOALA**

	VBS (g/100l)	Volume bleue (ml)	Masse de bleue B= 0,01V (g)	Masse sèche M0(g)	Observation
P1_cuvette	1.33	80	0.8	60	VBS<2.5, Nous avons un sol limoneux
P2_cuvette	1.33	80	0.8		
P3	1.50	90	0.9		
P4	1.17	70	0.7		
P5	1.33	80	0.8		

**RAWANGOMDE**

	VBS (g/100l)	Volume bleue (ml)	Masse de bleue B= 0,01V (g)	Masse sèche M0(g)	Observation
P1_cuvette	0.67	40	0.4	60	VBS<2.5, Sol limoneux
P2_cuvette	0.50	30	0.3		
P3	0.58	35	0.35		
P4	0.83	50	0.5		
P5	0.83	50	0.5		

**TENSONBENTINGA**

	VBS (g/100l)	Volume bleue (ml)	Masse de bleue B= 0,01V (g)	Masse sèche M0(g)	Observation
P2_Cuvette	2.00	120	1.2	60	VBS<2.5, Sol limoneux
PK5_B_droit	1.50	90	0.9		
PK1_M_droit	1.50	90	0.9		
PK4_H_droit	1.50	90	0.9		
PK4_B_gauche	0.83	50	0.5		
PK5_M_gauche	1.67	100	1		
PK5_H_gauche	0.67	40	0.4		
P3_Cuvette	1.67	100	1		

**CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE DES DIGUES EN TERRE LATERITIQUE DES PETITS BARRAGES AU BURKINA FASO**

N° échantillon (le cas échéant)	Poids sec matériaux mis dans la cuve (g)	Volume d'eau distillé ajouté (cm3)	Pression finale ( P' ) cuve échantillon + chambres (mWs)				Valeur $V_{lu}$ (cm3)	$\gamma_s$ (KN/m3)
			1ère essai	2ième essai	3ième essai	$\bar{P}'$ , moyenne (mWs)		
P1_cuvette	741.66	418.65	8.80	8.80	8.80	8.80	682.53	28.11
P3	787.32	363.32	8.30	8.20	8.20	8.23	640.84	28.37
P4	759.89	315.86	7.70	7.80	7.80	7.77	601.26	26.63
P5	754.35	362.97	8.10	8.00	8.10	8.07	627.30	28.54
P2_cuvette	773.90	372.65	8.40	8.40	8.30	8.37	651.23	27.78

• **Proctor**

*Tableau 45 : Résultats de l'essai Proctor Normal de P2 cuvette de la digue Koala*

Teneur en eau souhaitée		6%		8%		10%		14%		16%	
Eau de mouillage		150		200		250		300		350	
Densité	Poids total humide (g)	5297		5491		5493		5437		5420	
	Poids du moule (g)	3431		3431		3431		3431		3431	
	Poids net humide (g)	1866		2061		2062		2007		1990	
	Volume du moule (cm3)	903		903		903		903		903	
Teneur en eau	Numéro tare	14	30	62	63	17	61	72	70	10'	15
	Poids tare (g)	27.72	27.62	25.23	24.84	26.86	25.14	24.72	25.94	46.53	27.36
	Poids total humide (g)	179.87	180.87	181.55	199.71	207.61	163.98	221.08	242.12	279.76	286.29
	Poids total sec (g)	169.93	171.02	168.53	184.92	189.57	149.26	197.72	216.03	249.62	253.01
	Teneur en eau (%)	0.07	0.07	0.09	0.09	0.11	0.12	0.14	0.14	0.15	0.15
Teneur en eau moyenne (%)		6.9%		9.2%		11.5%		13.6%		14.8%	

*Tableau 46 : Résultats de l'essai Proctor Normal de P3 de la digue Koala*

**CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE DES DIGUES EN TERRE LATERITIQUE DES PETITS BARRAGES AU BURKINA FASO**

*Tableau 47: Résultats de l'essai Proctor Normal de P4 de la digue Koala*

Teneur en eau souhaitée		8%		10%		12%		14%		6%	
Eau de mouillage		200		250		300		350		150	
Densité	Poids total humide (g)	5383		5492		5498		5475		5337	
	Poids du moule (g)	3431		3431		3431		3431		3431	
	Poids net humide (g)	1953		2062		2068		2045		1907	
	Volume du moule (cm3)	903		903		903		903		903	
Teneur en eau	Numéro tare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Poids tare (g)	16.3	17.6	17.4	18.2	18.2	22.4	25.3	25.0	35.9	35.9
	Poids total humide (g)	89.4	94.9	144.7	167.4	105.0	83.7	79.8	95.3	158.9	162.6
	Poids total sec (g)	83.6	88.6	131.5	150.5	95.5	76.9	72.6	85.9	149.9	153.8
	Teneur en eau (%)	8.6%	8.8%	11.6%	12.8%	12.3%	12.5%	15.3%	15.3%	7.9%	7.5%
Teneur en eau moyenne (%)		8.7%		12.2%		12.4%		15.3%		7.7%	
Densité humide $\gamma$ (g/cm3) :		2.16		2.28		2.29		2.26		2.11	
Densité sèche $\gamma_d$ (g/cm3) :		1.99		2.03		2.04		1.96		1.96	

**CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE DES DIGUES EN TERRE LATERITIQUE DES PETITS BARRAGES AU BURKINA FASO**

*Tableau 49 ; Résultats de l'essai Proctor Normal de P5 de la digue Koala*

Teneur en eau souhaitée		6%		8%		10%		12%		14%	
Eau de mouillage		150		200		250		300		350	
Densité	Poids total humide (g)	5362		5487		5496		5447		5403	
	Poids du moule (g)	3431		3431		3431		3431		3431	
	Poids net humide (g)	1932		2056		2065		2017		1972	
	Volume du moule (cm3)	903		903		903		903		903	
Teneur en eau	Numéro tare	E	1	K	86	56	13	3	A-3	11'	66
	Poids tare (g)	25.7	26.9	26.6	35.6	36.4	28.2	27.7	90.8	45.5	23.7
	Poids total humide (g)	191.9	166.0	204.6	263.4	282.4	269.3	278.2	395.3	296.5	344.1
	Poids total sec (g)	179.4	156.3	189.4	243.6	256.4	242.3	248.1	359.2	263.2	214.4
	Teneur en eau (%)	0.08	0.07	0.09	0.10	0.12	0.13	0.14	0.13	0.15	0.68
Teneur en eau moyenne (%)		7.8%		9.4%		12.2%		13.5%		41.6%	
Densité humide g (g/cm3) :		2.14		2.28		2.29		2.23		2.18	
Densité sèche gd (g/cm3) :		1.98		2.08		2.04		1.97		1.54	

*Tableau 48 : Résultats de l'essai Proctor Normal de P2 de la cuvette Tansobentinga*

Teneur en eau souhaitée		6%		8%		10%		12%		14%	
Eau de mouillage		150		200		250		300		350	
Densité	Poids total humide (g)	5150		5272		5341		5360		5342	
	Poids du moule (g)	3431		3431		3431		3431		3431	
	Poids net humide (g)	1719		1841		1910		1929		1911	
	Volume du moule (cm3)	903		903		903		903		903	
Teneur en eau	Numéro tare	65	74	7'	76	20	52	A	12'	64	29
	Poids tare (g)	25.32	25.02	58.60	25.76	26.51	24.61	46.53	45.37	23.25	27.25
	Poids total humide (g)	169.42	162.50	194.67	167.55	171.53	145.89	222.97	181.56	176.30	196.53
	Poids total sec (g)	158.05	151.60	181.50	154.07	155.44	133.26	200.33	164.94	154.08	171.74
	Teneur en eau (%)	0.09	0.09	0.11	0.11	0.12	0.12	0.15	0.14	0.17	0.17
Teneur en eau moyenne (%)		8.6%		10.6%		12.1%		14.3%		17.1%	
Densité humide g (g/cm3) :		1.90		2.04		2.12		2.14		2.12	
Densité sèche gd (g/cm3) :		1.75		1.84		1.89		1.87		1.81	

**CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE DES DIGUES EN TERRE LATERITIQUE DES PETITS BARRAGES AU BURKINA FASO**

*Tableau 50: Résultats de l'essai Proctor Normal de P3 de la cuvette Tansobentinga*

Teneur en eau souhaitée		6%		8%		10%		12%		14%	
Eau de mouillage		150		200		250		300		350	
Densité	Poids total humide (g)	5122		5296		5372		5398		5334	
	Poids du moule (g)	3431		3431		3431		3431		3431	
	Poids net humide (g)	1691		1865		1941		1968		1903	
	Volume du moule (cm3)	903		903		903		903		903	
Teneur en eau	Numéro tare	89	77	H	I	16	4'	69	18	2	11
	Poids tare (g)	22.69	25.51	26.52	27.77	25.48	45.95	24.22	27.50	26.45	25.53
	Poids total humide (g)	186.63	177.05	172.50	190.97	178.73	206.40	186.75	204.11	201.56	209.39
	Poids total sec (g)	174.46	165.76	159.32	176.43	162.03	189.96	166.44	183.34	177.76	183.90
	Teneur en eau (%)	8.0%	8.0%	9.9%	9.8%	12.2%	11.4%	14.3%	13.3%	15.7%	16.1%
Teneur en eau moyenne (%)		8.0%		9.9%		11.8%		13.8%		15.9%	
Densité humide g (g/cm3) :		1.87		2.07		2.15		2.18		2.11	
Densité sèche gd (g/cm3) :		1.73		1.88		1.92		1.91		1.82	

*Tableau 51: Résultats de l'essai Proctor Normal de PKIM\_droit de la digue Tansobentinga*

Teneur en eau souhaitée		6%		8%		10%		12%		14%	
Eau de mouillage		150		200		250		300		350	
Densité	Poids total humide (g)	5107		5254		5350		5366		5332	
	Poids du moule (g)	3431		3431		3431		3431		3431	
	Poids net humide (g)	1676		1824		1919		1935		1901	
	Volume du moule (cm3)	903		903		903		903		903	
Teneur en eau	Numéro tare	2'	67	121	56	S2	70	11'	D	A-7	A-10
	Poids tare (g)	45.3	36.3	36.7	36.3	27.7	25.9	45.5	22.2	90.8	90.9
	Poids total humide (g)	196.2	223.3	189.2	173.6	164.5	157.7	191.8	139.8	314.9	347.8
	Poids total sec (g)	184.5	209.4	174.9	160.7	149.4	143.6	173.4	125.1	282.8	311.7
	Teneur en eau (%)	0.08	0.08	0.10	0.10	0.12	0.12	0.14	0.14	0.17	0.16
Teneur en eau moyenne (%)		8.2%		10.4%		12.2%		14.3%		16.5%	
Densité humide g (g/cm3) :		1.86		2.02		2.13		2.14		2.11	
Densité sèche gd (g/cm3) :		1.72		1.83		1.89		1.87		1.81	

**CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE DES DIGUES EN TERRE LATERITIQUE DES PETITS BARRAGES AU BURKINA FASO**

**Tableau 52 : Résultats de l'essai Proctor Normal de PK4H\_droit de la digue Tansobentinga**

Teneur en eau souhaitée		6%		8%		10%		12%		14%	
Eau de mouillage		150		200		250		300		350	
Densité	Poids total humide (g)	5137		5274		5368		5366		5335	
	Poids du moule (g)	3431		3431		3431		3431		3431	
	Poids net humide (g)	1706		1843		1937		1935		1905	
	Volume du moule (cm3)	903		903		903		903		903	
Teneur en eau	Numéro tare	57.0	71.0	62.0	14.0	56.0	1.0	4.0	30.0	63.0	15.0
	Poids tare (g)	23.9	23.3	25.3	27.7	25.5	26.9	28.3	27.2	24.7	27.4
	Poids total humide (g)	159.6	150.1	147.4	176.1	160.3	175.0	183.9	171.1	235.0	198.7
	Poids total sec (g)	150.3	141.4	137.0	163.2	146.2	159.3	165.2	154.1	206.8	176.2
	Teneur en eau (%)	7.4%	7.3%	9.3%	9.6%	11.7%	11.9%	13.7%	13.4%	15.5%	15.1%
Teneur en eau moyenne (%)		7.4%		9.4%		11.8%		13.5%		15.3%	
Densité humide g (g/cm3) :		1.89		2.04		2.15		2.14		2.11	
Densité seche gd (g/cm3) :		1.76		1.87		1.92		1.89		1.83	

**Tableau 53 : Résultats de l'essai Proctor Normal de PK5B\_droit de la digue Tansobentinga**

Teneur en eau souhaitée		6%		8%		10%		12%		14%	
Eau de mouillage		150		200		250		300		350	
Densité	Poids total humide (g)	5209		5295		5386		5403		5339	
	Poids du moule (g)	3431		3431		3431		3431		3431	
	Poids net humide (g)	1778		1864		1955		1973		1909	
	Volume du moule (cm3)	903		903		903		903		903	
Teneur en eau	Numéro tare	I	89	77	4'	11	H	16	2	69	18
	Poids tare (g)	27.78	22.71	25.51	45.93	25.49	26.47	25.44	26.44	24.21	27.48
	Poids total humide (g)	206.36	167.12	159.70	220.00	174.72	170.29	169.76	219.84	184.19	204.44
	Poids total sec (g)	192.90	156.40	147.16	204.77	157.87	155.36	154.27	198.27	161.48	179.71
	Teneur en eau (%)	0.08	0.08	0.10	0.10	0.13	0.12	0.12	0.13	0.17	0.16
Teneur en eau moyenne (%)		8.1%		9.9%		12.2%		12.3%		16.4%	
Densité humide g (g/cm3) :		1.97		2.06		2.17		2.18		2.11	
Densité seche gd (g/cm3) :		1.82		1.88		1.93		1.95		1.82	

**CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE DES DIGUES EN TERRE LATERITIQUE DES PETITS BARRAGES AU BURKINA FASO**

*Tableau 54 : Résultats de l'essai Proctor Normal de P1 de la cuvette Rawangomde*

Teneur en eau souhaitée		6.0%		8%		10%		12%		14%	
Eau de mouillage		150		200		250		300		350	
Densité	Poids total humide (g)	5082		5248		5337		5385		5354	
	Poids du moule (g)	3431		3431		3431		3431		3431	
	Poids net humide (g)	1651		1817		1906		1954		1923	
	Volume du moule (cm3)	903		903		903		903		903	
Teneur en eau	Numéro tare	121	29	52	12'	7'	A	76	70	CP3	S2
	Poids tare (g)	36.7	27.3	24.6	45.4	58.6	46.4	25.8	26.0	24.2	27.7
	Poids total humide (g)	191.3	182.7	162.8	197.4	187.3	192.9	171.2	149.6	187.4	197.0
	Poids total sec (g)	179.1	171.7	149.4	183.7	173.4	175.9	153.9	133.5	164.5	173.0
	Teneur en eau (%)	8.6%	7.7%	10.7%	9.9%	12.1%	13.1%	13.5%	14.9%	16.3%	16.5%
Teneur en eau moyenne (%)		8.1%		10.3%		12.6%		14.2%		16.4%	
Densité humide g (g/cm3) :		1.83		2.01		2.11		2.16		2.13	
Densité seche gd (g/cm3) :		1.69		1.82		1.87		1.90		1.83	

*Tableau 55 : Résultats de l'essai Proctor Normal de P2 de la cuvette Rawangomde*

Teneur en eau souhaitée		4%		6%		8%		10%		12%	
Eau de mouillage		100		150		200		250		300	
Densité	Poids total humide (g)	5185		5391		5552		5499		5441	
	Poids du moule (g)	3431		3431		3431		3431		3431	
	Poids net humide (g)	1755		1960		2121		2068		2010	
	Volume du moule (cm3)	903		903		903		903		903	
Teneur en eau	Numéro tare	62	71	63	15	14	57	72	56	10'	30
	Poids tare (g)	25.30	23.31	24.69	27.65	27.73	23.90	24.81	25.50	46.57	27.33
	Poids total humide (g)	142.50	146.72	165.81	190.64	227.81	190.07	189.83	201.86	262.04	243.75
	Poids total sec (g)	137.02	140.79	156.48	180.34	211.56	176.40	173.68	185.16	238.60	219.66
	Teneur en eau (%)	0.05	0.05	0.07	0.07	0.09	0.09	0.11	0.10	0.12	0.13
Teneur en eau moyenne (%)		5.0%		6.9%		8.9%		10.7%		12.4%	
Densité humide g (g/cm3) :		1.94		2.17		2.35		2.29		2.23	
Densité seche gd (g/cm3) :		1.85		2.03		2.16		2.07		1.98	

**CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE DES DIGUES EN TERRE LATERITIQUE DES PETITS BARRAGES AU BURKINA FASO**

*Tableau 56 : Résultats de l'essai Proctor Normal de P3 de la digue Rawangomde*

Teneur en eau souhaitée		6%		8%		10%		12%		14%	
Eau de mouillage		150		200		250		300		350	
Densité	Poids total humide (g)	5351.15		5407.57		5409.57		5412.06		5378.40	
	Poids du moule (g)	3431		3431		3431		3431		3431	
	Poids net humide (g)	1921		1977		1979		1982		1948	
	Volume du moule (cm3)	903		903		903		903		903	
Teneur en eau	Numéro tare	5	107	5	4	4Q	XC	2	8	6	7
	Poids tare (g)	36.17	35.63	43.09	18.84	28.26	17.71	17.50	24.66	21.98	25.02
	Poids total humide (g)	157.86	183.06	202.44	106.30	166.96	114.35	144.09	218.51	192.69	118.86
	Poids total sec (g)	150.89	174.49	190.87	99.59	153.98	105.40	130.58	197.99	172.21	109.00
	Teneur en eau (%)	0.06	0.06	0.08	0.08	0.10	0.10	0.12	0.12	0.14	0.12
Teneur en eau moyenne (%)		0.06		0.08		0.10		0.12		0.13	
Densité humide g (g/cm3) :		2.13		2.19		2.19		2.19		2.16	
Densité sèche gd (g/cm3) :		2.00		2.03		1.99		1.96		1.91	

*Tableau 57 : Résultats de l'essai Proctor Normal de P4 de la digue Rawangomde*

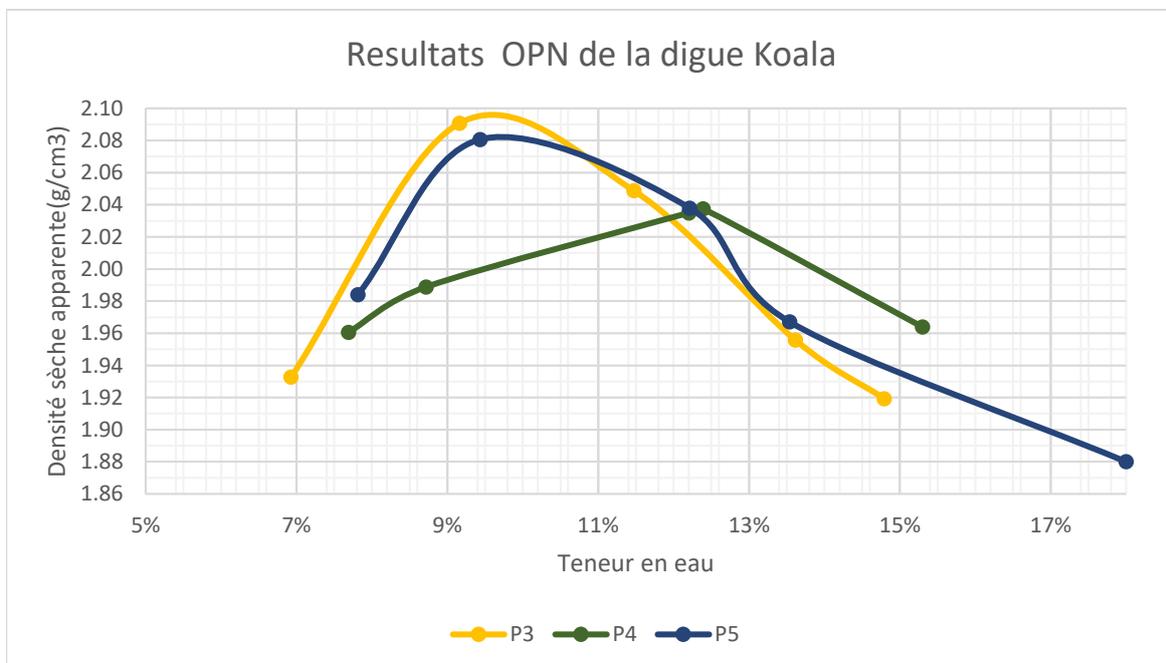
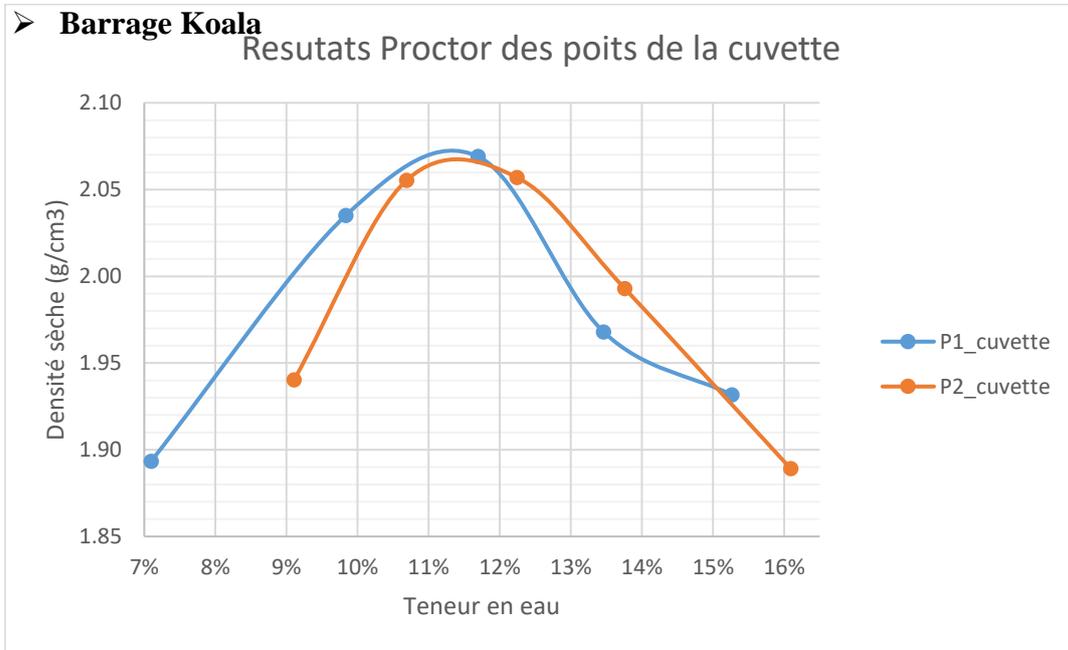
Teneur en eau souhaitée		6%		8%		10%		12%		14%	
Eau de mouillage		150		200		250		300		350	
Densité	Poids total humide (g)	5355		5515		5522		5449		5397	
	Poids du moule (g)	3431		3431		3431		3431		3431	
	Poids net humide (g)	1924		2085		2091		2019		1967	
	Volume du moule (cm3)	903		903		903		903		903	
Teneur en eau	Numéro tare	1	11'	A-3	13	K	3	66	E	86	56
	Poids tare (g)	26.9	45.5	90.7	28.1	26.6	27.6	23.6	23.7	35.6	36.4
	Poids total humide (g)	134.4	187.9	315.7	203.9	212.0	221.4	198.4	214.2	235.9	236.1
	Poids total sec (g)	128.4	179.5	290.1	198.4	194.7	203.3	179.7	193.8	211.0	211.5
	Teneur en eau (%)	5.9%	6.3%	12.9%	3.3%	10.3%	10.3%	12.0%	12.0%	14.2%	14.0%
Teneur en eau moyenne (%)		6.1%		8.1%		10.3%		12.0%		14.1%	
Densité humide g (g/cm3) :		2.13		2.31		2.32		2.24		2.18	
Densité sèche gd (g/cm3) :		2.01		2.14		2.10		2.00		1.91	

**CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUE DES DIGUES EN TERRE LATERITIQUE DES PETITS  
BARRAGES AU BURKINA FASO**

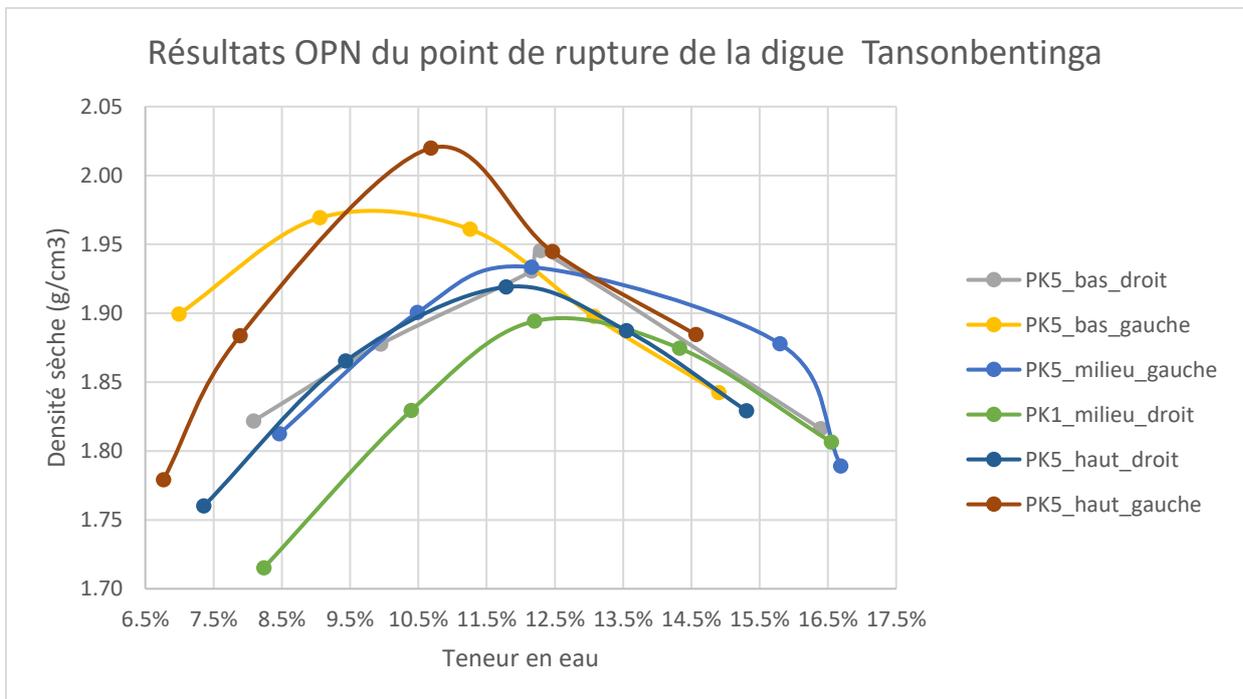
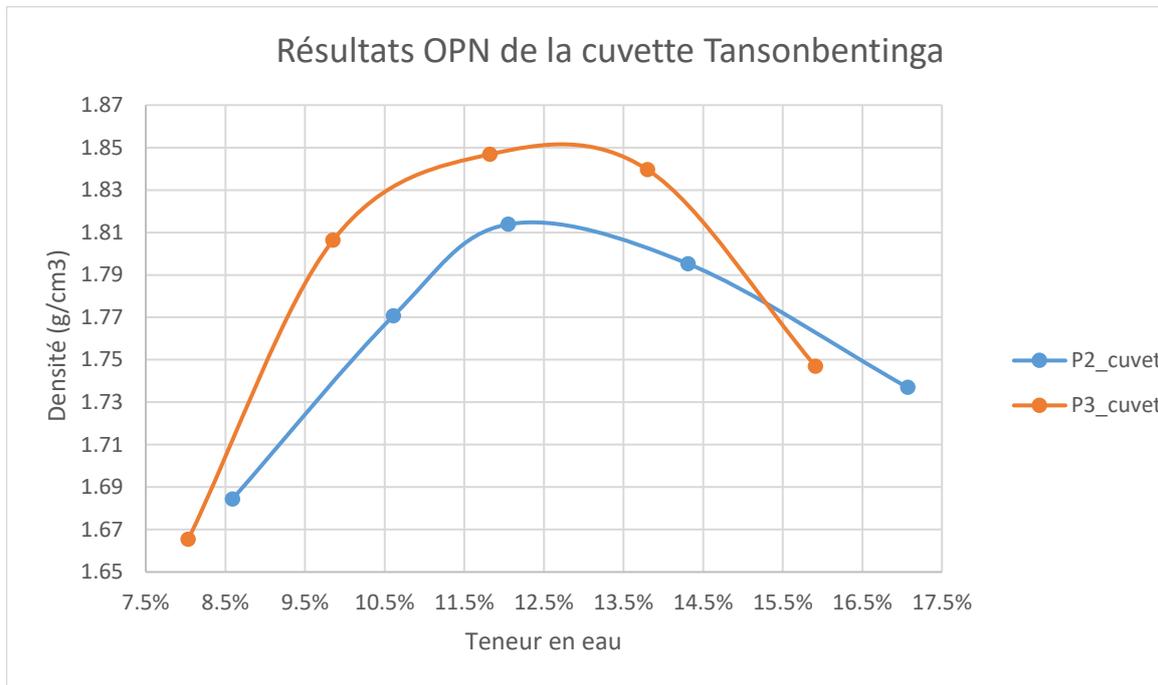
*Tableau 58 : Résultats de l'essai Proctor Normal de P3 de la digue Rawangomde*

Teneur en eau souhaitée		6%		8%		10%		12%		14%	
Eau de mouillage		150		200		250		300		350	
Densité	Poids total humide (g)	5374		5564		5560		5540		5436	
	Poids du moule (g)	3431		3431		3431		3431		3431	
	Poids net humide (g)	1943		2134		2129		2109		2005	
	Volume du moule (cm <sup>3</sup> )	903		903		903		903		903	
Teneur en eau	Numéro tare	20	65	64	4'	P5	74	18	3	2	16
	Poids tare (g)	26.51	25.34	23.27	45.97	40.20	25.03	27.52	17.35	26.46	25.49
	Poids total humide (g)	170.15	155.68	158.79	211.23	195.80	150.75	171.76	115.22	243.23	216.11
	Poids total sec (g)	160.91	147.09	146.29	196.06	180.98	140.40	156.84	105.20	215.46	191.55
	Teneur en eau (%)	6.9%	7.1%	10.2%	10.1%	10.5%	9.0%	11.5%	11.4%	14.7%	14.8%
Teneur en eau moyenne (%)		7.0%		10.1%		9.7%		11.5%		14.7%	
Densité humide $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> ) :		2.15		2.36		2.34		2.36		2.22	
Densité sèche $\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> ) :		2.01		2.14		2.13		2.12		1.94	

ANNEXE 3 : COURBES DES ESSAIS PROCTOR



➤ **Barrage Tansobentinga**



➤ **Barrage Rawangomde**

