

Méthodologie d'étude des digues anciennes en terre de latérites au Burkina Faso

Angelbert Biaou ¹, Abdoulaye Nadjibou ^{1,2}, Abdou Lawane ¹, Ouahbi Tariq ², Anne Pantet ^{1,2} et Saïd Taïbi ²

¹ Laboratoire Eco-Matériaux et Techniques de Constructions (LEMC) au 2iE, 01 BP 594 Ouagadougou 01, rue de la Science, Burkina Faso, www.2ie-edu.org

² Laboratoire Ondes et Milieux Complexes (LOMC) à l'université du Havre, Bâtiment COREVA - 53 rue de Prony - BP 540 - 76058 Le Havre Cedex

Résumé : Au Burkina Faso, la production hydroagricole et le besoin en eau à usage domestique requièrent la construction de nombreux bassins de rétention, grâce à des digues en terre. Ces ouvrages supportant aussi des routes, sont pour la plus part construits avec du matériau latéritique de grande variabilité (à l'état induré à meuble). Ils sont donc régulièrement soumis à des charges routières, à des phénomènes de ruissellement et de l'érosion interne. La bonne connaissance des matériaux latéritiques de l'équipe leur permet d'aborder l'étude complexe de l'érosion interne à partir d'essais de laboratoire et de modélisation. Des observations sur un ouvrage réel proche du site seront entreprises pour établir une méthodologie de diagnostic pour tous les ouvrages en terre de cette catégorie.

ABSTRACT. In Burkina Faso, hydro-agricultural production and the need in water for domestic use require the construction of many retention basins, with earth dams. These works, which also support roads, are mostly built with lateritic materials that are locally very abundant. They are therefore regularly subjected to road loads, runoff phenomena and internal flows. The knowledges of the team allow them to begin the complex study of internal erosion from laboratory tests and numerical approach. In situ observations on a site near the institution will be realised to establish a methodology, which could be used for all the national earth dams.

MOTS-CLÉS : Matériaux latéritiques, digues en terre, compactage, durabilité, érosion interne,

KEY WORDS: Lateritic materials, earth dams, compaction, durability, internal erosion

1. Introduction

Au Burkina Faso, de nombreuses digues en terre ont été réalisées dans des thalwegs pour retenir des réservoirs d'eau et aussi supporter des routes. Ces franchissements de cours d'eau plus ou moins actif suivant les saisons sont anciens pour l'essentiel. Ces nombreux réservoirs sont utilisés pour la pêche en eau douce, l'arrosage des maraichages, l'approvisionnement en eau des animaux, voir à usage de lavoir par les femmes ou de lieux de baignade pour les enfants. L'eau y est suivant le contexte plus ou moins polluée, notamment à proximité des villes ou des villages. Les barrages qui servent à la production d'énergie hydraulique sont eux nettement moins nombreux et couvrent des vastes étendues, à la différence de ces modestes réservoirs d'eau, qui en période sèche peuvent être très réduits.

Ces ouvrages en terre ont été construits en matériaux latéritiques suivant les conformités de l'époque, toutefois, ils commencent vu leur âge à présenter des désordres.

L'objectif est de s'intéresser au comportement de ces matériaux tropicaux sous l'effet répété de charges lourdes mais aussi sous l'effet des écoulements de l'eau interstitielle qui génère avec le temps de l'érosion interne. A cette fin, nous allons examiner d'une part la fragmentabilité lors du compactage de granulats latéritiques prélevés dans la carrière de Dano et l'effet des écoulements internes sur la modification de l'espace poral à partir d'une modélisation d'un milieu granulaire validée par PFC3D.

Ce travail exploratoire sera complété dans des futures recherches par des observations visuelles et météorologiques, des prélèvements d'échantillons et mesures géophysiques sur un ouvrage proche du laboratoire afin d'établir une méthodologie d'étude pour toutes les digues en terre de la même période

2. Présentation des carrières de latérite au Burkina Faso

En 2004, une trentaine de carrières ont été répertoriées par le BUMIGEB (Figure 1). Elles produisent des matériaux pour la réalisation des remblais, des digues et des matériaux de construction (BLT brique de latérite taillé et BTC brique de terre compactée). Toutefois, dans la brousse, de nombreuses excavations non officielles sont exploitées par les locaux pour construire leurs habitats. Ces dernières présentent des dangers pour les populations, car elles ne sont protégées et servent de dépôts sauvages aux orpailleurs.



Figure 1 : Carte de situation des carrières de latérites, (BUMIGEB, 2004)

2.1. Les essais de laboratoire sur les latérites de Dano

Ces carrières de Dano, au sud-ouest du Burkina Faso, ont largement été étudiées par l'équipe du ZIE pour des constructions en latérite (Lawane et al. 2011), tout comme celles de Kasthurba, 2006 dans la province de Kérala qui ont donné lieu à une réglementation constructive en Inde.

2.2. Effet d'un compactage répété sur le matériau de Dano

La fragmentabilité des matériaux latéritiques a été examinée en adaptant l'essai Proctor. Une analyse granulométrique a été effectuée sur un échantillon initial de latérite meuble. Ce matériau a été compacté en 3 couches en appliquant 30 coups avec une dame normalisée sur chaque couche. En fin d'essai, une analyse granulométrique a été réalisée sur le matériau fragmenté. Cette expérience a été réalisée trois fois en conservant le même nombre de coups. Cette série d'essais montre que le matériau grossier se fragmente progressivement (entre 12,5 mm et 6,3 mm) alors que le pourcentage de fines augmente, indiquant que les granulats de latérite sont particulièrement friables (Figure 2). Ainsi, on peut penser que sous l'effet répété du passage des camions modifie la granulométrie du matériau initial.

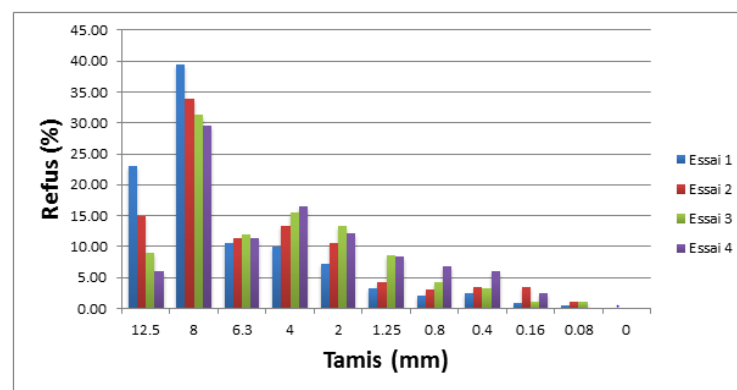


Figure 2 : Essai granulométrique après quatre séries de fragmentation

2.3. Caractérisation mécanique des blocs de latérite

A partir des mesures de masses volumiques sèches et saturées, la porosité est estimée à 30 %. Les résultats d'essais mécaniques obtenus montrent que la latérite issue de la carrière de Dano présente des résistances à la compression (1.5-5MPa) et à la flexion (0.5-1.8MPa), comparables à celles provenant des carrières indiennes. La résistance à la compression dépend également de l'état hydrique du matériau, les échantillons séchés à l'étuve à 105° pendant 24 heures ont une résistance deux fois supérieures à celle des échantillons humides alors qu'il n'y a pas une grande différence entre celles des échantillons saturés et humides. Ce phénomène important est à examiner notamment en vérifiant la teneur en argile des matériaux.

3. Etude d'un milieu granulaire modèle sous écoulement- comparaison entre les essais expérimentaux et la modélisation avec PFC 3D

L'effet du gradient hydraulique sur le phénomène de suffusion (Burenkova 1993, Abdoulaye Hama et al. 2016, Andrianatrehina et al. 2015) a été étudié en effectuant des essais d'écoulement en faisant varier ce gradient d'un essai à un autre. Le but de ces essais est d'observer l'évolution du phénomène de suffusion lorsque le gradient hydraulique augmente.

Tableau1: Condition d'un essai d'écoulement

Granulométrie	Porosité n (%)	Gradient hydraulique i	Durée d'écoulement (mn)
G1	30	8	90

Cette évolution a été traduite par la variation des courbes granulométriques et celle de la porosité en fonction du gradient. Les gradients hydrauliques utilisés peuvent paraître élevés, mais le but ici n'est pas de déclencher la suffusion mais d'étudier son évolution en fonction du gradient. En définitif, nos essais d'écoulement dans les matériaux granulaires montrent que, l'augmentation du gradient accentue l'érosion interne en amont et le « colmatage » en aval. La figure 3 montre l'évolution de la porosité le long d'un matériau modèle et la comparaison d'un résultat expérimental à un résultat obtenu par une simulation à l'aide du PFC 3D, DEM (Itasca 2008, Zou et al. 2013, Abdoulaye Hama et al. 2016)

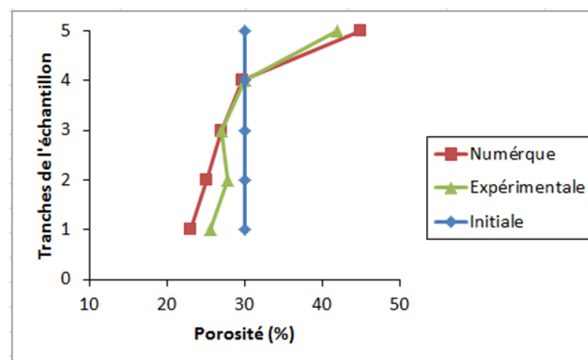


Figure 3 : Comparaison de l'évolution de la porosité mesurée et calculée avec PFC3D

L'essai d'écoulement dont les conditions figurent au tableau 1 a été effectué expérimentalement et simulé numériquement. Les dimensions des échantillons sont respectivement de 120x70 cm pour l'expérimental et de 6x3.5 cm pour le numérique. Ce choix des dimensions moindre pour l'échantillon numérique est motivé par le souci de réduire le temps de calcul tout en restant dans les conditions de continuité du milieu.

4. Présentation de l'ouvrage

L'ouvrage étudié se situe sur la RN 22 Ouagadougou –Djibo, à la sortie nord de la capitale près du village de Kamboissé (Figure 4). Ses dimensions sont de l'ordre de 360 m en longueur et sur une largeur d'une chaussée à deux voies. Le trafic est important surtout avec les travaux de l'échangeur et les circulations entre les sites miniers situés au nord du pays et la Capitale. Le cours d'eau orienté est-ouest dans la zone étudiée (au nord de Ouagadougou) alimente en partie le lac de Loumbilla qui est situé sur la rivière Massili. Cette dernière se jette dans le Nakambé qui alimente le lac de Bagré puis rejoint après des centaines de kilomètres la région des lacs de la Volta au Ghana. La retenue a une superficie de 0,7 km² (longueur 2,1 km - largeur de 250 à 310 m) en date d'octobre 2017, mais ses dimensions peuvent varier en fonction des saisons. L'altitude du bassin est de l'ordre de 200 m. On s'intéressera aussi à mieux connaître le fonctionnement hydraulique et hydrogéologique de la rivière et du réservoir dans des formations latéritiques.



Figure 4 : Vue de la digue et de son réservoir, google earth 2017

5. Conclusion

La latérite est un matériau résiduel rouge à brun qui se forme par altération de toutes les roches superficielles sous les climats tropicaux. Sous l'effet de l'érosion des agents atmosphériques (vent en période sèche et ruissellement important en période de mousson), ces formations résiduelles deviennent des colluvions de plus en plus fines et pulvérulentes. Pour la construction des ouvrages hydrauliques et des fondations de chaussées, ces matériaux à différents états; blocs, graviers, sables à fines argileuses, sont utilisés pour constituer les couches de remblai. La fragmentabilité des matériaux latéritiques sous l'effet répété d'essais Proctor a été mise en évidence, toutefois ces conditions sont différentes des charges réelles charges de roulement à identifier. Par ailleurs, la modélisation a montré que les écoulements internes induisent un changement de la distribution granulométrique et de la porosité. Ainsi coupler ces deux effets permettra de juger de la vulnérabilité des ouvrages en terre à l'érosion interne. En perspectives une analyse détaillée d'un ouvrage instrumenté et suivi permettra de définir la qualité de son état actuel par rapport à son état initial, en prenant l'hypothèse d'une conception – réalisation de l'ouvrage parfaite. A cet effet, on réalisera des essais d'écoulement dans des sols latéritiques de différentes granulométries pour juger de l'érosion interne à la fois d'un point de vue expérimental dans des colonnes horizontales et des approches numériques avec PFC 3D en conditions saturées.

6. Bibliographie

- [ABD 16] Abdoulaye Hama N., Ouahbi T, Taibi S. et al. Analysis of mechanical behaviour and internal stability of granular materials using discrete element method. *Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech.*, doi: 10.1002/nag.2510.
- [AND 15] Andrianatrehina, L., Souli, H., Rech, J., Taibi, S., Fry, J. J., Ding, L., & Fleureau, J. M. (2015). Analysis of the internal stability of coarse granular materials according to various criteria. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 1-18.
- [BUR 93] Burenkova V.V. (1993). - Assessment of suffusion in non-cohesive and graded soils. *Proc. of the First International Conference "Geo-Filters", Filters in Geotechnical Engineering*. Brauns, Heibum & Schuler (eds), Balkema
- [DOA 83] Doat P., « Construire en terre », 2ème édition, Paris: Edition alternatives, 1983.
- [HUA 13] Yu-Hua Zou, Qun Chen, Xiao-Qing Chen, Peng Cui. Discrete numerical modeling of particle transport in granular filters. *Computers and Geotechnics* 47 (2013) 48–56.
- [ITA 08] Itasca. Itasca Consulting Group Inc. PFC3D (particle flow code in 3-dimensions), version 4.0. ICG, Minneapolis, Minnesota; 2008.
- [KAS 06] Kasthurba A.K., Characterization and Study of Weathering Mechanisms of Malabar Laterite for Building Purposes, PhD thesis, Indian Institute of Technology Madras, unpublished, 2006
- [LAW 11] Laxwane A., Vinai R., Pantet A., Thomassin J.H., Etude géologique et géomécanique des latérites de Dano (Burkina Faso) pour une utilisation dans l'habitat,» *Les Annales BTP*, n° 1n°6, 2011.
- [USA 53] USA CE. (1953). - Filter Experiments and Design Criteria. Technical Memorandum No. 3-360. Waterways Experiment Station, Vicksburg.