

# Importance des conditions de formation des latérites pour leur utilisation en construction routière dans le sud tchadien

Senoussi Hassaballah<sup>1,2</sup>, Koina Rodoumta<sup>1</sup>, Anne Pantet<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics - République du Tchad

<sup>2</sup> Laboratoire Ondes et Milieux Complexes (LOMC) à Normandie Université le Havre, Bâtiment COREVA - 53 rue de Prony - BP 540 - 76058 Le Havre Cedex

*Ses collègues et amis, attristés de son départ prématuré et tragique sur son site d'études souhaitent rendre hommage à ce jeune chercheur, motivé et enthousiaste, soutenu par l'Ecole Nationale Supérieure des Travaux Public et l'Université de Normandie le Havre.*

*RÉSUMÉ. Dans le cadre des travaux de thèse de Sénoussi Hassaballah, il était prévu de valoriser les données existantes, et de mieux comprendre le comportement des routes non bituminées ou pistes, en perspectives la réalisation d'un enrobé est à envisager, qui favorise et fluidifie le trafic. Trois axes existants devaient être examinés dans les régions du Sud; Logone occidentale et orientale, Mandoul et moyen Chari. Après avoir traité toutes les archives existantes afin de créer, d'une base de données géotechniques, informatisée pour un usage optimal, et pour en produire des cartes prospectives, il était prévu de compléter les résultats des campagnes antérieures, sur la base de nouvelles expérimentations installées à l'ENSTP à plus grande échelle – étude cyclique de l'orniérage. Finalement les différentes échelles d'observations permettaient au chercheur de proposer des recommandations pour la conception et la maintenance des routes en zone tropicale.*

*ABSTRACT. During the thesis works, from Sénoussi Hassaballah, it was decided to enhance the existing data and to understand the behavior of earth roads, to develop a better traffic, and consequently to develop economic exchanges. Three axes will be examined in the southern regions; Western and eastern Logone, Mandoul and middle Chari. After to have listed all the previous studies, in order to create a informatics data base, to provide prospective maps, it was planned to complete these, with news tests to understand the sensitive behavior of laterites under compaction and water influence. New equipment, installed in research laboratory of ENSTP, would provide news knowledge's on earth road under cyclic traffic to avoid ruts. Finally, the different scales observations allow the researchers to propose realistic recommendations for the road conception and maintenance in tropical zone.*

*MOTS-CLÉS : réseau routier 1, latérites 2 compactage 3, texture fragile 4, sensibilité à l'eau 5, comportement mécanique 6.*

*KEYWORDS: road network 1, laterites 2, compaction 3, friable texture 4, water sensibility 5, mechanic behaviour 6.*

## 1. Introduction

La République du Tchad a défini un vaste programme d'investissement portant sur la réhabilitation de routes [MIN 05], afin de (1) favoriser le désenclavement intérieur et extérieur du pays, assurer les échanges entre les zones productrices et celle de consommation et l'accès aux services de bases pour améliorer le développement des zones rurales (2) améliorer l'accessibilité minimum en particulier en saison des pluies et (3) avoir un linéaire suffisant de routes circulables toute l'année pour relier les villes principales et acheminer les produits des cultures vivrières et de rente comme le coton.

Les actions dans le domaine de la recherche routière sont confiées à l'ENSTP afin de valider des choix structurels de chaussées (disponibilité des ressources et agressivité des trafics). Dans le cadre des travaux de thèse soutenus par l'ENSTP, il est prévu de valoriser les données existantes (zones d'emprunts, matériaux et méthodes de construction, pathologies du réseau en l'état), et de mieux comprendre le comportement des routes non bituminées ou pistes. Le site d'étude faisant l'objet de cet article concerne le tronçon Kélo-Pala (104 km), qui était une route non revêtue, en moyen état et dont l'usage est saisonnier. Depuis janvier 2017, le tronçon est en cours de bitumage, il aura une grande influence sur le trafic. Il représente une première partie de la route qui relie le Tchad au Cameroun et sa réalisation permettra le désenclavement et le développement économique de cette région agricole.

## 1. Les types de routes en zone tropicale

Les voies du réseau de transport routier sont définies en quatre classes en fonction du niveau d'aménagement qui conditionne son accès permanent ou saisonnier : (1) les pistes, sensibles aux inondations, nécessitant des barrières d'interdiction de circulation, (2) les routes en terre sommaire (RTS) avec un réseau s'assainissement partiel, couche de roulement constituée de matériaux de proximité, souvent de faible qualité, (3) les routes en terre aménagées (RTA), avec une assise de chaussée généralement en remblai, un réseau d'assainissement et une couche de roulement, (4) les routes revêtues (RR) de 7 m de large avec des accotements de 1.5 m. Elles sont dimensionnées en se basant sur le guide de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux et sahéliens, avec généralement une couche de forme en graveleux latéritiques, une couche de fondation de 0,2m en graveleux latéritiques, une couche de base de 0,15 m en grave concassée 0/31,5 et une couche de roulement de 0,05 m en béton bitumineux.

Les causes des pathologies souvent observées sont les alternances climatiques drastiques (saison sèche et saison des pluies) et le comportement des usagers, avec des chargements supérieurs aux règles en vigueur pour les camions, les routes en zone tropicale rencontrent de nombreuses pathologies, ainsi qu'une connaissance insuffisante des matériaux et de leur mise en phase.

## 2. Perception des formations latéritiques et variabilité

Suite à la lecture des nombreuses études sur les formations latéritiques ([GID 76], [FAL 11], [MAG 15], [BIA 18]), une description des mécanismes de formation permettant de comprendre la très grande variabilité de ces sols résiduels complexes est présentée.

Les latérites se développent dans la zone intertropicale et sont définies par un profil type, reposant sur une roche mère. Ces formations subissent au cours des temps des transformations naturelles liées aux cycles saisonniers et annuelles des agents atmosphériques, mais aussi journalières et des perturbations liées aux activités humaines (agriculture, construction de routes, terrassement, exploitation des ressources)

Trois catégories de substrat à ces formations résiduelles sont identifiés en Afrique : les cratons archéens, les massifs montagneux panafricains du Protérozoïque terminal et les couvertures du Paléozoïque et du Mésozoïque à actuelles. Cette organisation est à rattacher à la formation de la plaque Africaine, suite à la dislocation du Gondwana et l'apparition de deux zones de rift, (les rifts ouest et central africains). Elles ont été comblées par des sédiments d'origine marine constituant des séries stratifiés de grès et des calcaires et par des sédiments clastiques d'origine continentale. Les mouvements orogéniques ont entraîné la surrection de vastes terrains sédimentaires affectés par des déformations (plis, charriages, failles), générant de nouveaux reliefs.

Soumis aux mécanismes d'érosion et d'altération, intenses et complexes des conditions tropicales (arides à humides avec des températures élevées), le relief se modifie. Il existe des profils de matériaux en liaison avec la roche mère (bedrocks ou des couvertures sédimentaires tectonisées), mais aussi des profils constitués de matériaux transportés et déposés sur un substrat différent, Localement, ces matériaux altérés et érodés présentent un cuirassement rigide et former des reliefs tabulaires. Il sera distingué les cuirasses d'altération et les cuirasses d'accumulation. Les cuirasses d'altération se forment suite à une disparition de la végétation, qui fait chuter l'humidité et provoque le durcissement. Elles sont en lien avec la roche mère. Les cuirasses d'accumulation résultent du processus d'inversion de relief décrit par différents auteurs. L'érosion et le transport latéral provoque l'accumulation des sesquioxydes dans les zones basses et marécageuses. Si le niveau de base continue à s'abaisser, ces accumulations devenant exondées vont s'indurer.

C'est avec cette perception géologique, géomorphologique, pédologique et hydrologique que l'étude géotechnique des latérites a été initiée au Tchad.

## 3. Cadre général du Tchad

La République du Tchad a une superficie de 1.284.000 km<sup>2</sup>. Son relief s'apparente à une vaste cuvette avec au point bas, le lac Tchad, alimenté par les fleuves, Chari venant de Centrafrique et Logone du Cameroun. Les régions du Sud-Ouest faisant l'objet de l'étude présentent une pluviométrie de l'ordre de 900 mm répartie sur 6-7 mois (de mai à novembre).

### 3.1. Contexte géologique des formations sédimentaires du bassin du Tchad

Dans le bassin du Tchad, la sédimentation débute au Crétacé inférieur par les dépôts marins (grès, marnes, calcaires) provenant des zones de relief limitrophes. Elle continue au Crétacé moyen et supérieur. Au Tertiaire, elle devient continentale, pour former des séries clastiques sablo-gréseuses du Continental Terminal ennoyées par

des eaux douces ou saumâtres. Elle se poursuit au Quaternaire avec des successions de dépôts deltaïques et de nos jours avec des dépôts lacustres de plus en plus localisés. Le fond géologique des régions Sud-Ouest est constitué de formations datant du Continental Terminal, auquel se surimpose aujourd'hui une dynamique érosive rapide et variable, pouvant être modifiée par les activités humaines.

### 3.2. Localisation des zones de prélèvements

Le tracé Pala-Kélo, représenté sur la carte géologique détaillée établie par [BOU 64], limite au nord les grès et sables de Pala et au sud les sables de Kélo d'origine fluviatile, recouverts localement par des cuirasses quaternaires anciennes. Cinq sites entre PK 8,1 – 14,1 – 18,1 – 21,3 et 38,1 et un site au PK 85 sont répertoriés le long du tracé de la piste et vont suite à une première campagne en 2012. Le relief est caractérisé par des dômes plats à larges ondulations, incisés par la vallée de la Kébia. L'altitude varie de 480 à 360 m. Le secteur est à rattacher au bassin versant du Niger malgré sa forte proximité avec le réseau hydrographique du bassin du Tchad, la Logone en période d'inondations en saison humide alimente le Mayo Kebi, qui reçoit les eaux de la rivière Kébia [BOU 64].

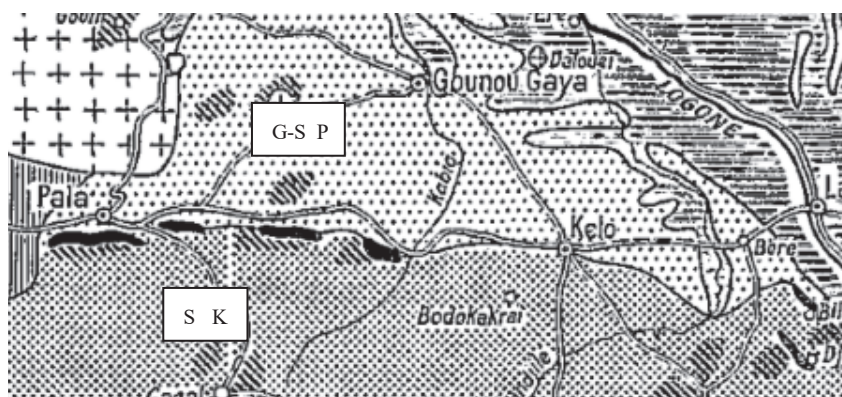


Figure 1. Extrait de la carte géologique du sud du Tchad (1964)

Pour chaque site, trois puits descendus à 1,5 m de profondeur sont exécutés manuellement. Une description lithologique des couches de terrain rencontrées est fournie et un échantillon de plusieurs kg est prélevé pour analyse au laboratoire. Les échantillons ( $E_{1a6}$   $S_{1a3}$ ) sont repérés par le numéro d'emprunt et celui du sondage. La granulométrie par voie humide et les limites d'Atterberg permettent de définir la classe des échantillons. S'ils appartiennent à la même classe, ils sont mélangés et notés  $E_{1a6}$  et soumis à des essais de compactage.

### 4. Caractérisation des matériaux

Suivant la classification établie à partir de l'analyse granulométrique de la fraction grossière et de la détermination des limites d'Atterberg de la fraction fine, les échantillons sont définis dans le tableau 1.

Il est à noter que les graves, gravillons et sables latéritiques sont sensibles aux effets du compactage, induisant une augmentation de la fraction fine suivant l'énergie appliquée. Leur structure en agrégats plus ou moins cimentés est à l'origine de cette fragmentation [BIA 18]. Les LA sont majoritairement au dessus de la ligne A, indiquant un caractère légèrement argileux. Le mode de prétraitement et le malaxage peuvent toutefois avoir une influence.

Tableau 1. Classification des sols

E1	Sable à grave argileux 50% > à 2 mm, plus de 12 % < à 0,08 mm	E4	Sable propre 50% > à 2 mm, pas de fines
E2	Sable argileux 50 % < à 2mm/ plus de 12 % < à 0,08 mm	E5	Sable à grave argileux 50% > à 2 mm, plus de 12 % < à 0,08 mm
E3	Sable à grave peu argileux 50% > à 2 mm, plus de 12 % < à 0,08 mm	E6	Sable argileux 50% < à 2 mm, plus de 12 % < à 0,08 mm

L'essai Proctor modifié permet de définir la compacité optimale en établissant le lien entre la teneur en eau et la densité sèche L'essai CBR caractérise la portance des remblais et des couches de forme. Plusieurs valeurs

CBR sont associées suivant l'énergie de compactage et les conditions hydriques prévues pendant la vie de l'ouvrage (essai immédiat et après immersion pendant 4 jours dans de l'eau). Le gonflement est aussi mesuré durant l'imbibition. Le module d'élasticité peut être approché avec la courbe d'enfoncement [MAG 15]. Deux procédures sont classiquement utilisées : la WAC (West African Compaction) avec la mesure du CBR<sub>95</sub> et l'AASHTO (American Association of State Highway and transportation Officials) avec celle du CBR<sub>100</sub>. L'établissement de corrélation entre CBR et les essais d'identification est délicat, bien que des formules empiriques aient été établies.

Les valeurs  $w_{opt}$  et  $\gamma_{opt}$  de l'essai Proctor sont voisines pour tous les échantillons, alors que l'indice CBR<sub>95</sub> imbibé varie de 20 à 30, indiquant une faible portance. Suivant [FAL 11], les valeurs CBR<sub>95</sub> et CBR<sub>100</sub> sont voisines pour des latérites situées au Sénégal. Il est observé ici un accroissement des valeurs, avec une intermédiaire pour CBR<sub>98</sub> indiquant une dépendance de l'état de compaction considéré par rapport à l'optimum. Aucun gonflement n'a été mesuré durant l'immersion. L'accroissement est important pour E2, E3 et E4. Ce constat doit être plus approfondi, pour expliquer l'origine de ces écarts observés notamment l'étude des conditions de mise en place de ces formations résiduelles et de résistance des agrégats [BIA.18].

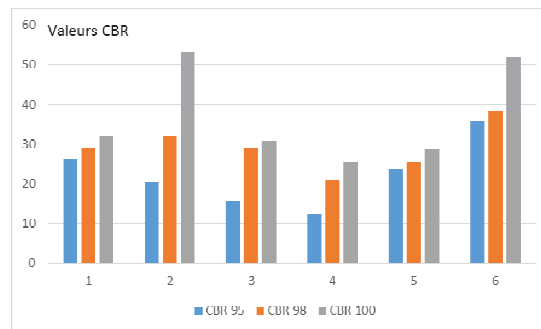


Figure 2. Valeurs CBR<sub>95-98 et 100</sub> obtenues pour les six emprunts

## 5. Conclusions :

L'étude de la ressource "matériaux latéritiques" nécessite un examen précis des conditions de mise en place, prenant en compte une dynamique rapide d'érosion/altération intense, intégrant les processus d'hydrologie, mais aussi les effets des interventions humaines, afin de juger des origines et de l'ampleur de la variabilité des propriétés. Suite aux essais routiers réalisés, les résultats conduisent à des constats différents de ceux observés sur des latérites du Sénégal. La généralisation à toutes les formations latéritiques est discutable. Par ailleurs, la prise en compte de la structure des agrégats latéritiques friables doit être intégrée dans les caractéristiques de ces matériaux sensibles à l'eau et au compactage. Il faut déterminer le coefficient de fragmentabilité  $I_{FR}$ , des graves et le coefficient de friabilité des sables  $I_{FS}$  et celui de dégradabilité  $I_{DG}$  et préciser la valeur de bleu VB sur différentes fractions. Ce caractère doit être intégré dans les classifications d'usage, utilisées dans le monde..

## 6. Bibliographie

- [MIN 05] – Ministère des Infrastructures – République du Tchad - Stratégie nationale des transports 2006 -2010 – projection pour la période 201-2015 - déc 2005
- [BOU 64] BOUTEYRE G., CABOT J, DRESCH J. « Observations sur les formations du Continental terminal et du Quaternaire dans le bassin du Logone (Tchad) ». *Bull. Soc. géol. de France* (7) VI, 1964, p. 23-27
- [GID 76] GIDIGASU M. D., « Laterite soil engineering - Pedogenesis and Engineering Principles» Elsevier Scientific Publishing Company Amsterdam, 1976.
- [FAL 11] FALL M., BA S., SARR D. BA M. NDIAYE M., « An alternative method to the West African Compaction (WAC) test procedure», *Geomaterials*, 2011, 1, 25-27 doi: 10.426/gm
- [MAG 15] MAGNAN J.P., NDIAYE M., « Determination and assessment of deformation moduli of compacted lateritic gravels, using soaked CBR tests ». *Transportation Geotechnics* 5 (2015) p 50-58.
- [BIA 18] BIAOU A., NADJIBOU A., LAWANE A., OUAHBI T., PANTET A., TAIBI S., « Etude des digues anciennes en terre de latérites soumises à des charges élevées de trafic et à l'érosion interne au Burkina Faso », *Rencontres AUGC Saint Etienne*, 2018