

# La Pratique du dimensionnement des chaussées sahariennes

## The practice of Saharan roads design

M. Morsli & A. Bali

*Ecole Nationale Supérieure Polytechnique, Algérie.*

### RÉSUMÉ

La modélisation du comportement des chaussées sahariennes réalisées en tufs est calquée sur celui des chaussées en Grave Non Traitée (GNT) en milieu humide. Or ces dernières sont construites avec un matériau à ossature, à grains durs, sans cohésion inter granulaire, sur un sol support généralement mou, compressible : le principal mode de dégradation de ces chaussées est alors l'orniérage. Les chaussées sahariennes sont réalisées avec un matériau fin, friable, évolutif, doté de cohésion, sur un sol support généralement sec, peu déformable : ces chaussées périclent par la fatigue du matériau. Les principes du dimensionnement ne sauraient donc être identiques dans les deux cas cités.

Mots clefs: dimensionnement, chaussée, matériaux, humide, aride.

### ABSTRACT

The modelling of the behaviour of Saharan roads made of tuffs is similar to that of roads made of non treated granular (GNT) in wet environment. However, these are built with a material containing hard grains, without inter granular cohesion, on a soil foundation generally soft and compressible. The main mode of degradation of these roads is then rutting. The Saharan roads are realised with a fine material, friable, expandable significantly cohesive, on a ground support usually dry and slightly deformable. These roads collapse by fatigue of the material. The principles of design cannot therefore be identical in the two mentioned cases.

Key word: design, roads, materials, humid, dry environment.

## 1. LE CONTEXTE SAHARIEN

Une chaussée doit être dimensionnée de manière à encaisser, répartir les charges dues au trafic et les transmettre au sol support sans que la chaussée ne subisse de dégradations notables durant sa durée de service.

Le dimensionnement fait intervenir plusieurs facteurs dont les principaux sont liés à l'environnement :

- Le climat
- Les caractéristiques du sol support
- Le trafic (intensité et nature)
- Les caractéristiques des matériaux constituant la chaussée.

Le Sahara algérien couvre près 2 millions de km<sup>2</sup>. Il est caractérisé par (Fenzy 1966) :

- Des températures comprises entre 15 à 28°C en hiver, pour atteindre 40 à 45°C, voire plus en été.
- De très faibles précipitations (inférieures à 100 mm/an), ce qui favorise la bonne tenue de la chaussée, permet l'emploi de matériaux sensibles à l'eau sans traitement.
- Une humidité ambiante est très faible avec une très forte évaporation, ce qui a pour effet d'assécher les sols et d'augmenter leur portance.
- Des teneurs en eau sous-chaussée (en dehors des zones submersibles), de l'ordre de 5 %. Ce qui réduit les déformations verticales du sol support.
- Des sols de bonne portance, l'indice CBR le plus fréquent est situé au voisinage de 40 (exceptés les sables dont l'indice portant est compris entre 7 et 15)
- Le trafic est généralement faible (inférieur à 2000 v/j) avec, cependant, un pourcentage de poids lourds important (supérieur à 40%) et le taux de croissance est de l'ordre de 7% (Bouzzara 2006).

L'uniformité de l'aspect de surface du sol saharien dissimule une grande variété de matériaux ; on distingue :

- Du tout-venant de plateaux ; du tout-venant de buttes et pentes ; des arènes granitiques ; des sables ; des argiles.
- Des tufs d'encroûtements calcaires, gypso-calcaires ou gypseux.

Les tufs d'encroûtements sont des matériaux de substitution économiques, largement utilisés dans la construction routière. Ils acquièrent après un compactage humide et dessiccation, une cohésion qui se prolonge dans le temps ; ce phénomène, appelé « durcissement » ou auto-stabilisation, résultat de la dissolution et recristallisation des fines gypseuses et/ou carbonatées, est à l'origine de leur utilisation en technique routière saharienne (Améraoui, 2000) ; (Ben-Dhia et al. 1984) ; (Colombier 1988) ; (Morsli et al. 2007).

## 2. LES CHAUSSEES SAHARIENNES

Les pionniers de la construction des routes sahariennes ont codifié, sur la base d'essais d'identification (origine, nature chimique, granulométrie, Los Angeles, propreté..) les matériaux dont le comportement a été jugé satisfaisant sur chantier. Plus de 2.000 km de route en zone saharienne ont été réalisés entre 1956 et 1962. En 1965, une technique, appelée « Technique Routière Saharienne » (TRS) a pris corps lors du premier congrès de la route qui s'est déroulé à Beni-Abbès (Fenzy 1966). La principale innovation étant l'utilisation en corps de chaussée de matériaux fins. Le principe d'une assise unique est retenu; son épaisseur varie entre 15 cm et 30 cm. Elle est réalisée, à chaque fois lorsque c'est possible avec un matériau identique soumis à des normes strictes (TRS).

Lorsque les matériaux performants ne sont pas disponibles en quantité suffisante, les 10 cm inférieurs - jouant le rôle de

couche de fondation - sont alors réalisés avec un matériau ayant des caractéristiques moins bonnes.

La couche de fondation est mise en place sur la plate-forme support de la chaussée (terrassements terminés) par compactage avec humidification et est exécutée sur toute la largeur de la plateforme.

La couche de base est compactée avec humidification et exécutée sur toute la plate-forme. Lorsqu'elle est terminée, elle a une largeur de 7.50 à 10.50 m suivant les projets, avec des élargissements sur certaines sections-passages submersibles, remblais de grande hauteur, etc. (Domec, 1980) ; (Morsli et al. 2002).

Selon la bibliographie consultée (Fenzy 1970) ; (Mersout 1994) ; (Larabi 1998) ; les routes sahariennes réalisées en tufs d'encroûtements se sont comportées remarquablement bien sur toute la période qui devait être leur durée de vie et pour un nombre d'essieu dépassant largement les  $10^6$  poids lourds : on ne distingue pratiquement pas de déformations importantes; les principales dégradations relevées sont les fissures transversales et/ou longitudinales qui évoluent généralement à partir de la surface en fissures en mailles larges selon une distribution parfaitement homogène sur toute la surface de la chaussée présentant un aspect de « peau de crocodile » (figure 1).

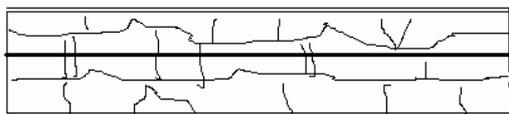


Figure 1. Aspect de la surface de chaussée saharienne fissurée (Touati-Tliba, 1994).

Les chaussées sahariennes périssent par un endommagement progressif conduisant à la rupture par fatigue du matériau (matériau fin résistant grâce à sa cohésion et non à son squelette granulaire) et non par accumulation des déformations permanentes (le sol support étant caractérisé par une portance (CBR) satisfaisante).

Cependant, les principes de dimensionnement sont basés sur le comportement d'une structure en Grave Non Traitée, (CTTP, 2001).

### 3. LE S CHAUSSEES EN GRAVE NON TRAITEE

Les chaussées réalisées avec des *matériaux non traités* sont classées dans la famille des *chaussées souples* (Guide Technique SETRA-LCPC 1994). De tels matériaux sont considérés comme discontinus, constitués de grains élémentaires non liés qui procurent une certaine souplesse à la chaussée. Les forces extérieures sont transmises à la masse du matériau par contacts inter granulaires et les contraintes latérales sont quasi nulles. La chaussée en *Grave Non Traitée* est l'exemple type de *chaussées souples* (figure 1).

Une structure en GNT est constituée d'une couverture bitumineuse relativement mince (inférieure à 15 cm) reposant sur une ou plusieurs couches en matériaux granulaires non traités d'épaisseur comprise entre 35 et 50 cm. Les différentes couches sont disposées par ordre de rigidité, du sol vers la surface de la chaussée.

Durant leur vie de service, les chaussées sont soumises à diverses sollicitations cycliques. En plus des actions mécaniques répétées dues au trafic, elles sont également soumises à des sollicitations hydriques, thermiques et chimiques.

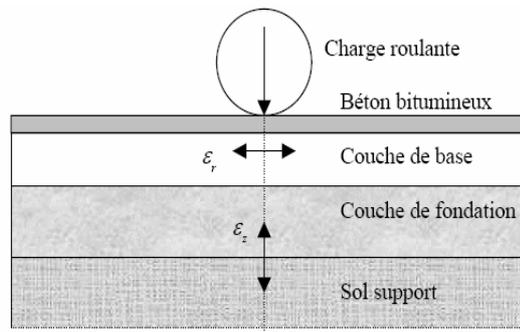


Figure 2. Structure d'une chaussée en GNT et déformations prises en compte pour le dimensionnement des chaussées souples (Guide Technique SETRA, 1994).

La faible rigidité de l'assise conduit à une transmission des efforts verticaux au sol support avec une diffusion latérale relativement faible. Ceci provoque l'apparition des déformations plastiques dont le cumul augmente avec le trafic conduisant ainsi, à l'apparition d'ornières en surface qui détériorent la qualité du profil en long de la chaussée.

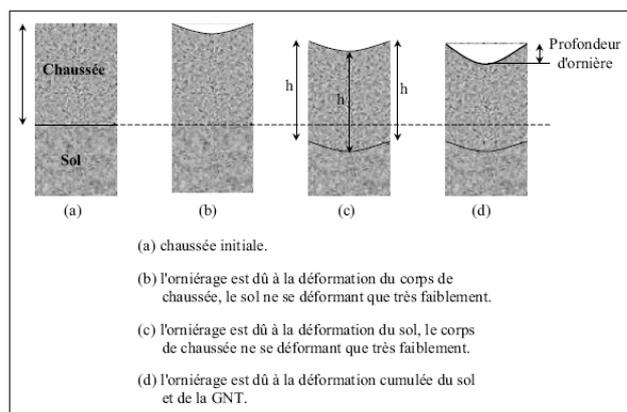


Figure 3. Les différentes causes d'orniérage des chaussées souples (Larsen et Ullidtz 1997).

Selon les travaux réalisés par Larsen et Theyse (1997), les déformations irréversibles se concentrent principalement dans le sol support et/ou l'assise de la chaussée.

Le principal mode de dégradation de ces chaussées souples est l'orniérage (figure 3).

Pour les cas (b) et (d), la couche de GNT contribue de façon significative à l'orniérage. Les essais réalisés en grandeur réelle par Larsen et Theyse (1997) ont montré que cette contribution peut atteindre 50% de la déformation totale.

La faible rigidité de ces structures les rend aussi très sensibles aux variations de teneur en eau des matériaux non liés (sol et GNT) ; celles-ci peuvent conduire à des pertes de rigidité très importantes en période humide (forte pluie, dégel).

### 4. LE DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES SOUPLES

Vu la complexité des sollicitations, le dimensionnement est effectué actuellement avec des approches empiriques. La pratique de dimensionnement des chaussées (en France et en Algérie) suit les recommandations du Guide Technique de Conception et de Dimensionnement des Structures de Chaussée (SETRA-LCPC, 1994).

Les caractéristiques élastiques (module d'élasticité et coefficient de Poisson) de chaque couche de matériau sont attribuées :

- Soit à partir d'essais mécaniques (essai à la plaque, mesure de déflexion pour les sols et la couche de forme, essai TCR pour les GNT, et essais de traction ou de flexion pour les enrobés),
- Soit, à défaut, à partir de la classification des matériaux.

Le chargement est considéré statique, exercé par un jumelage à roues simples, représenté par deux charges uniformément réparties de 0.662 MPa sur deux disques de 0.125 m de rayon et 0.375 m d'entre axe (figure 4).

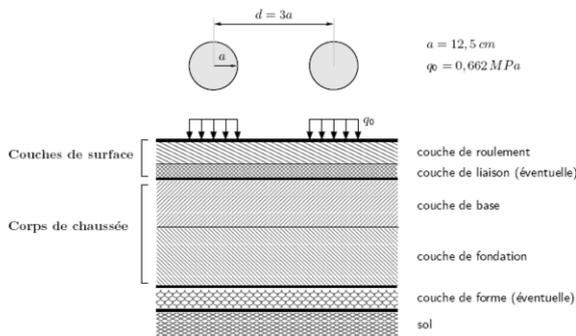


Figure 4. Schématisation classique de la structure et de la charge

La structure est pré dimensionnée, il s'agit alors de calculer et de vérifier la déformation verticale. Les contraintes et les déformations sont calculées au niveau de chaque couche selon le modèle multicouche de (Burmister, 1943), en utilisant le code de calcul Alizé (Autret *et al.* 1982). Les couches de la chaussée sont supposées isotropes et le calcul des contraintes et des déformations se fait avec la loi de comportement élastique linéaire.

Selon la valeur du nombre équivalent d'essieux  $NE$ , une valeur seuil de la déformation élastique au sommet du sol support est calculée pour la vérification de l'orniérage avec la formule suivante :

$$\varepsilon_{Z, adm} = A (NE)^{-0.222} \quad (1)$$

$A$  : est un paramètre pris égal à 0.016 pour les faibles trafics et à 0.012 dans le cas contraire.

$NE$  : est le trafic équivalent à prendre en compte dans le dimensionnement de la chaussée. Il correspond au nombre cumulé d'essieux équivalents de 13 tonnes sur la durée de vie considérée. C'est le produit du nombre journalier moyen de poids lourds par sens (TPL) par le facteur de cumul ( $C$ ) par le coefficient d'agressivité moyen (CAM)

$$NE = TPL \cdot C \cdot CAM \quad (2)$$

$$C = 365 \cdot (1 + i) - 1 / i \quad (3)$$

Les valeurs du coefficient CAM sont fonction de la classe du trafic et du matériau mis en œuvre.

La déformation verticale au sommet du sol support est aussi obtenue avec un calcul analytique (code de calcul Alizé). Elle est comparée avec la déformation verticale admissible.

Le critère de l'orniérage est vérifié lorsque cette dernière est inférieure à la déformation verticale calculée avec le code Alizé.

Dans le cas contraire, l'épaisseur de l'assise est augmentée. L'opération est répétée jusqu'à vérification du critère de l'orniérage  $\varepsilon_{admissible}$ .

Ces principes basés sur le comportement des assises en GNT, en milieu humide, ne sont pas compatibles avec le comportement des assises en matériaux locaux : le mode de rupture des chaussées sahariennes est différent de celui des chaussées en GNT en zones humides pour des raisons liées à la fois aux comportements des matériaux et du sol support, comportement dicté par la sécheresse des zones considérées.

### 3. CONCLUSIONS

Les routes sahariennes ne souffrent pas de sous-dimensionnement : elles périssent par fatigue des matériaux de la couche de base (ou par usure de la couche de roulement) et non par rupture des sols ou fluage, les sols étant généralement bien portants et secs.

La tenue de l'ensemble des chaussées en tufs d'encroûtements a été satisfaisante à chaque fois que les conditions liées aux critères de choix sont remplies et que des précautions de mises en œuvre ont été respectées.

En cas d'augmentation du trafic, ou en cas de matériaux non performants, l'utilisation des tufs passera par une amélioration des qualités du matériau et non par une augmentation de l'épaisseur de la chaussée.

L'amélioration des qualités de ces matériaux demande une meilleure connaissance de ses particularités et une réappropriation du capital expérience dont dispose nos entreprises.

### 4. PERSPECTIVES

Les critères de choix du matériau restent ceux liés aux conditions d'exécution des chantiers, aux risques de dégradation du matériau, aux conditions climatiques.

La première perspective est de mettre en place un guide de construction routière saharienne qui sera le fruit de la capitalisation de notre expérience et de celle d'autres pays utilisateurs partageant les mêmes conditions climatiques. Ce guide sera précédé d'une synthèse bibliographique des différentes techniques et spécification existantes ainsi que d'un recensement des matériaux susceptibles d'être utilisés en construction routière saharienne. Un bilan du comportement des routes existantes est également à établir.

La question de la stabilisation chimique des matériaux locaux doit être reconsidérée afin de garder le caractère économique de routes sahariennes et faire face à un trafic devenant de plus en plus lourd et de plus en plus intense.

### BIBLIOGRAPHIE

- Améraoui, Z. 2002. *Les tufs d'encroûtements, utilisation dans la géotechnique routière*. Thèse de magistère, Ecole Nationale Polytechnique, Alger.
- Autret, P., De Boissoudy, A., Marchand, J. P. 1982 – *Pratique d'ALIZÉ*. Rapport des Laboratoires des Ponts et Chaussées, série construction routière CR 2, pp. 3-62.
- Ben-Dhia, M., Colombier, G., Paute, J. L. 1984. Tufs et encroûtements calcaires, utilisation routière - *Colloque international Routes et Développement*, Paris.
- Bouzrara, M. A. 2006. *Utilisation des matériaux locaux en construction routière*. Des techniques novatrices et économiques. Inter-Lab, revue trimestrielle, groupe LCTP, N° 19.
- Burmister, D.M. 1943. The theory of stresses and displacements in layered systems and applications to design of airport runways – *Highway Research Board*, vol. 23, pp. 127-148.

- Colombier, G. 1988. *Tufs et encroûtements calcaires : Utilisations routières*. Synthèse, ISTED.
- CTTP, 2001. *Catalogue de Dimensionnement des Chaussées neuves*. Organisme National de Contrôle Technique des Travaux Publics, Algérie.
- Domec, M., Alloul, B. 1980. *Construction des chaussées au Sahara*. Rapport technique du Laboratoire central des travaux publics, Alger.
- Fenzy, E., 1970 – *L'état actuel de la Technique Routière au Sahara*. Rapport technique, Direction de l'Infrastructure de l'Organisme Saharien, Ministère des travaux publics, Algérie.
- Fenzy, E. 1966. Particularité de la technique routière au Sahara. *Revue générale des routes et aérodromes*, N° 411, p. 57-71.
- Larabi, 1998. Comportement des assises en matériaux granulaires en zones désertiques–*Séminaire International La route transaharienne, Tamanrasset, Algérie*.
- Larsen, H.J.E., Ullidtz P. 1997. Pavement subgrade performance study in the Danish road testing machine. 8th *International Conference on Asphalt Pavements, Seattle, Washington, Proceedings vol.I, pp. 843-857*.
- Mersout, B. 1994. Structures des chaussées sahariennes. Evolution et perspectives. LTPSud, unité de Ouargla. *Deuxième séminaires, les techniques sahariennes, Beni-Abbes*.
- Morsli, M., Bali, A., Bensaïbi, M., Gambin, M. Etude du durcissement d'un tuf gypso-calcaire de Hassi-Messaoud, Algérie. *Revue Européenne de Génie Civil*, Vol 11/9-10. pp 1219-1240, 2007.
- Morsli, M., Bali, A., Fleureau, J. M. 2002. Conception et réalisation des chaussées en milieu désertique. *Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur*, Nancy.
- SETRA-LCPC, 1994. *Conception et dimensionnement des structures de chaussée*. Guide technique.
- Touati Tliba, M.B. 1994. Particularité de dimensionnement des chaussées dans le contexte saharien. Les techniques routières sahariennes. *11ème séminaire, Beni Abbès, Algérie*.