



Dimensionnement d'une assise de chaussée à base d'un sol latéritique traité au ciment à différents dosages

Emmanuel Mengue, Hussein Mroueh, Laurent Lancelot, Robert Medjo Eko

► To cite this version:

Emmanuel Mengue, Hussein Mroueh, Laurent Lancelot, Robert Medjo Eko. Dimensionnement d'une assise de chaussée à base d'un sol latéritique traité au ciment à différents dosages. Rencontres Universitaires de Génie Civil, May 2015, Bayonne, France. <hal-01167731>

HAL Id: hal-01167731

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01167731>

Submitted on 24 Jun 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Dimensionnement d'une assise de chaussée à base d'un sol latéritique traité au ciment à différents dosages

Emmanuel Mengue^{1,2}, Hussein Mroueh¹, Laurent Lancelot¹, Robert Medjo Eko²

¹ Université Lille 1, Polytech'Lille, Laboratoire de Génie Civil et Géo-Environnement, Lille Nord de France, Cité Scientifique 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex

(emmanuelmengue@yahoo.fr, hussein.mroueh@polytech-lille.fr, laurent.lancelot@polytech-lille.fr)

² Université de Yaoundé 1, Faculté des Sciences, Laboratoire de Géologie de l'Ingénieur et d'Alterologie, BP. 812 Yaoundé, Cameroun.

(medjoekorobert@yahoo.com)

RÉSUMÉ. Cette communication présente deux approches de dimensionnement d'une structure de chaussée. Il s'agit de dimensionner une assise de chaussée à base d'un sol latéritique traité au ciment à différents dosages (3%, 6% et 9% en poids sec du sol) par la méthode américaine de l'AASHTO, qui fait appel à une approche empirique couramment utilisée dans le monde et particulièrement en Afrique subsaharienne. Ensuite, les résultats sont comparés avec ceux obtenus à l'aide de la méthode Française du LCPC (qui fait appel à une approche mécaniste-empirique), en utilisant le logiciel Alizé du LCPC. Enfin, une étude paramétrique est menée afin d'observer l'influence de l'indice CBR, du module d'élasticité, du sol support et du nombre structural sur l'épaisseur de la chaussée.

ABSTRACT. This paper presents two design approaches a pavement structure. This is to design a pavement base based on a lateritic soil treated with cement at different dosages (3%, 6% and 9% by dry weight of soil), by the American AASHTO method, which uses an empirical approach commonly used in the world, especially in sub-Saharan Africa. Then the results are compared with those obtained using the LCPC-SETRA French method (which uses a mechanistic-empirical approach), using the LCPC Alizé software. Finally, a parametric study is conducted in order to observe the influence of the CBR index, the elasticity modulus, subgrade soil and the structural number on the thickness of the pavement.

MOTS-CLÉS: Dimensionnement, AASHTO, Alizé LCPC, sol latéritique, ciment, assise de chaussée.

KEY WORDS: Dimensioning, AASHTO, Alizé LCPC, lateritic soil, cement, pavement base.

Introduction

Depuis 1976, dans de nombreuses régions du monde et particulièrement dans les régions tropicales, d'énormes volumes de sols latéritiques ont été utilisés pour la construction des routes. Les programmes de développement des infrastructures dans les régions tropicales prévoient la construction ou le renforcement d'importantes longueurs de voies de communication pour lesquelles de grandes quantités de ces matériaux seront nécessaires [BAG 90]. Jusqu'à récemment dans ces régions tropicales, singulièrement en Afrique subsaharienne, on utilisait surtout les graveleux latéritiques en géotechnique routière, comme matériaux d'assise de chaussée. Avec l'évolution des connaissances, des besoins, la récente prise en compte des contraintes environnementales et la rareté des graveleux latéritiques de bonne qualité, les sols latéritiques fins sont de plus en plus utilisés dans plusieurs domaines du génie civil [MES 99] et [DEM 06]. Cependant, les sols latéritiques fins sont considérés comme des sols « à problèmes » [GID 12]. Ils sont généralement associés à une forte compressibilité, des taux élevés de fluage, une plasticité élevée, causes premières des dégradations importantes observées sur les structures routières, ainsi que leur ruine prématurée. Pour améliorer les propriétés mécaniques de ces sols « à problèmes », et leur rendre aptes à être utilisés comme matériaux d'assise de chaussée, plusieurs additifs tels que la chaux, le ciment, des cendres volantes, les fumées de silice et les fibres végétales ont été testés [BAG 90], [MIL 08] et [ABD 09].

La réalisation des différents types de chaussées passe d'abord par un dimensionnement adéquat. Pour cela différentes méthodes ont été proposées suivant deux approches: une approche empirique et une approche mécaniste-empirique. En Afrique subsaharienne et équatoriale, la conception et le dimensionnement des chaussées continuent d'être basés sur une approche empirique [CEB 84]. Cependant, l'approche mécaniste-empirique est en voie de devenir la plus utilisée pour la conception des chaussées. Elle est basée sur des modèles mathématiques décrivant le comportement de la chaussée ainsi que des résultats de laboratoire comme donnée d'entrée [HUA 93].

Cette communication présente les résultats d'une étude exhaustive du dimensionnement d'une assise de chaussée de sol latéritique traité au ciment. Ce faisant, deux approches de dimensionnement sont utilisées: une approche empirique et approche mécaniste-empirique. Des relations liant l'épaisseur de la couche d'assise aux paramètres de dimensionnement sont proposées.

1. Sol étudié

L'étude a été réalisée sur un sol latéritique fin issu de la région forestière de Zoétélé, située à l'extrême sud du Cameroun, dans le plateau sud-camerounais qui comporte principalement des sols ferrallitiques. Le sol est mélangé à différents pourcentages de ciment (3 %, 6% et 9%) exprimés en poids sec du sol et compacté à la teneur en eau optimale. Le ciment choisi dans cette étude est un ciment de la marque Holcim (CEM II / BM 32,5 N) produit dans le Nord de la France et ayant sensiblement les mêmes caractéristiques que le ciment CPJ 35 couramment utilisé au Cameroun. Les caractéristiques mécaniques (I_{CBR} , R_t et E) obtenues à l'issue des essais CBR, de traction indirecte et de compression simple sont reportées dans le Tableau 1.

Sur la base des valeurs estimées de E et R_t , obtenues à 360 jours en utilisant les coefficients empiriques (Equations 1), le sol traité a été classé sur l'abaque de classification des matériaux traités aux liants hydrauliques dans la Figure 1. Les formulations se classent à de bons niveaux d'utilisation, car il est recommandé une classe minimale SOL T2, pour l'utilisation des sols traités en couches d'assises [DRE 03]; ce qui est respecté pour toutes les formulations étudiées.

Tableau 1. Caractéristiques mécaniques du matériau sol-ciment.

R_{t360} (MPa)			E_{360} (MPa)			I_{CBR-4j}		
3% cim	6% cim	9% cim	3% cim	6% cim	9% cim	3% cim	6% cim	9% cim
0,53	0,82	0,87	353,37	690,26	789,12	131,2	201,5	235

$$\frac{R_{t_{28\text{jours}}}}{R_{t_{360\text{jours}}}} = 0,60 \quad \text{et} \quad \frac{E_{28\text{jours}}}{E_{360\text{jours}}} = 0,65 \quad [1]$$

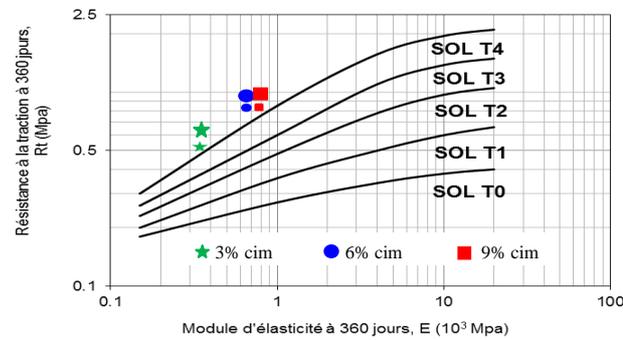


Figure 1. Classification du sol latéritique après traitement à 360 jours.

2. Dimensionnement d'une assise de chaussée

2.1. Principe de dimensionnement

La structure d'une chaussée routière doit résister à diverses sollicitations, notamment celles dues au trafic et elle doit assurer la diffusion des efforts induits par ce même trafic dans le sol de fondation. L'application d'une charge roulante induit ainsi une déformation en flexion des couches de la structure (Figure 2). Cette flexion entraîne des sollicitations en compression au droit de la charge et des sollicitations en traction à la base des couches d'enrobés.

On distingue six principales familles de structures de chaussées actuellement utilisées sur le réseau routier et autoroutier. Les structures semi-rigides sont celles dont les assises sont essentiellement constituées de matériaux traités aux liants hydrauliques. Différentes méthodes sont développées dans la littérature pour le dimensionnement des structures des chaussées.

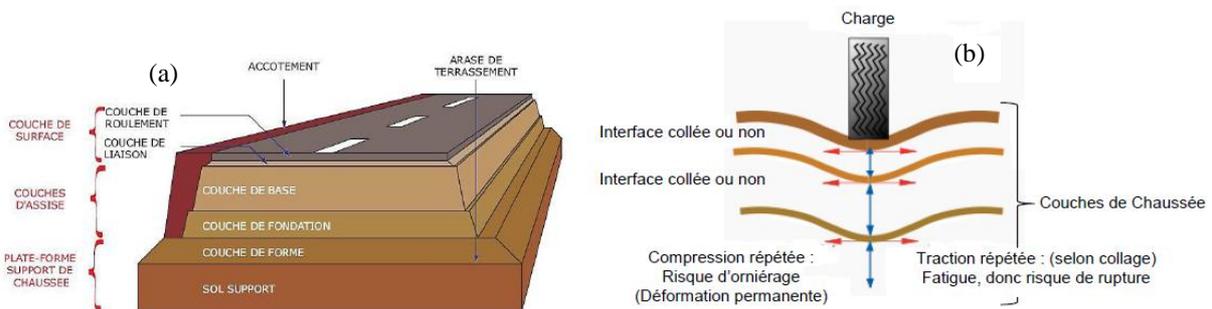


Figure 2. Schéma : (a) structure d'une chaussée routière et (b) Sollicitations dans la chaussée.

2.2. Méthode de dimensionnement

Il existe plusieurs méthodes de dimensionnement des structures de chaussées proposées dans la littérature. Celles-ci peuvent être résumées suivant deux approches différentes à savoir : l'approche empirique et l'approche mécanistique-empirique ou analytique-empirique. Chacune de ces méthodes a ses avantages et ses limites par rapport aux conditions locales de chaque administration. La méthode empirique américaine de l'AASHTO et la méthode française du LCPC-SETRA, faisant appel à une approche mécaniste-empirique, sont présentées dans la suite.

2.2.1. Méthode américaine de l'AASHTO

D'après [JEU 83], la méthode de l'AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), est l'une des plus séduisantes et constitue l'essai le plus important jamais effectué pour confronter les idées et les faits en matière de technique routière. C'est une méthode basée sur une analyse empirique des résultats des essais de l'AASHTO Road test réalisés à la fin des années 1950 sur plus de 500 sections tests de chaussées. Cette méthode a subi une évolution importante depuis 1961 jusqu'en 1993 suivant quatre versions. Son rôle est d'établir une relation entre les caractéristiques structurales de la chaussée et l'évolution dans le temps du niveau de qualité des chaussées (exprimé en indice de viabilité). La dernière version du guide de dimensionnement date de fin 2004, mais la version de 1993 reste encore la plus utilisée. L'épaisseur des différentes couches constituant la structure de la chaussée est déterminée à partir de l'Equation 2 qui exprime le nombre structural [HUA 93] et [PAP 08].

$$SN_n = (D_1 a_1 + D_2 a_2 m_2 + D_3 a_3 m_3 + \dots + D_n a_n m_n) / 25,4 \quad [2]$$

Avec:

- SN_n : nombre structural composé pour n couches ; déterminé à partir de l'abaque AASHTO des nombres structuraux.
- D_1, D_2, D_3, D_n : épaisseur des couches de roulement, de base, de fondation et de forme respectivement.
- m_2, m_3, m_n : coefficient de drainage des couches de base, de fondation et de forme respectivement.
- a_1, a_2, a_3, a_n : coefficients structuraux représentatifs de la couche de roulement, couche de base, couche de fondation et couche de forme respectivement.

La conception finale correspond à un assemblage de couches de matériaux et d'épaisseurs définies, comme le montre la Figure 3 [LAV 03].

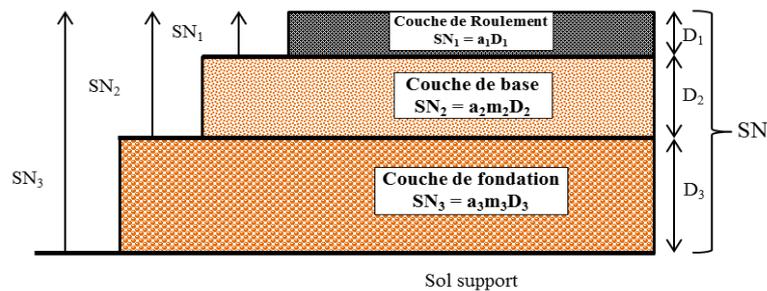


Figure 3. Principe d'un système multicouche.

2.2.2. Méthode française de dimensionnement de la chaussée

La méthode française de dimensionnement des chaussées est basée à la fois sur les calculs théoriques et les expériences [LCP 94]. La méthode combine en effet :

- l'analyse théorique de la mécanique de chaussée, celle-ci est effectuée par le logiciel ALIZE [LCP 94], qui se base sur le modèle élastique linéaire de Burmister [BUR 43].
- les résultats d'essai de laboratoire sur le comportement en fatigue des matériaux de chaussée.
- les données obtenues par l'observation du fonctionnement des chaussées.

Les paramètres essentiels pour les calculs théoriques de la méthode française de dimensionnement des chaussées sont :

- **Le trafic** : Il exprime pour une voie de circulation, le nombre de passages de véhicules dans une période déterminée. C'est aussi la combinaison de différents types de véhicules, avec des charges et des géométries d'essieux très différentes. cette méthode de dimensionnement utilise un essieu de référence comme un essieu simple à roues jumelées exerçant une charge totale de 130 kN (Figure 4). Les voies du réseau structurant (VRS) et les voies du réseau non structurant (VRNS) représentent les deux catégories de voie prises en compte lors du dimensionnement.

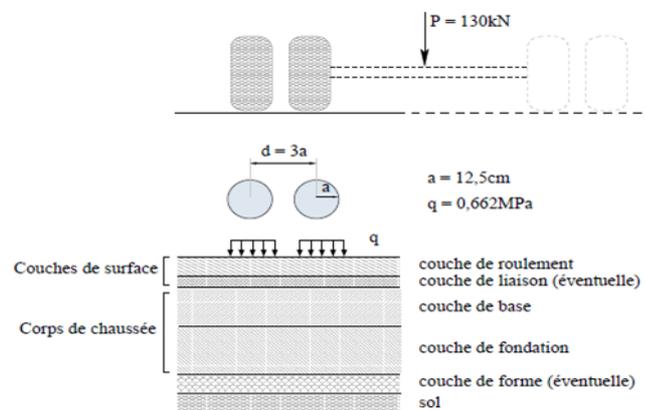


Figure 4. Massif multicouche et charge de référence.

- **Les paramètres de base du calcul** : Le choix de ces paramètres est envisagé en termes probabilistes et associés à un objectif économique. En France, on a adopté, 30 ans pour les voies du réseau structurant (VRS) et 20 ans pour les autres voies, désignées par le sigle VNRS.
- **Paramètres descriptifs du sol support et des matériaux d'assise** : Les propriétés des matériaux permettent de calculer les sollicitations admissibles. Elles permettent également de déterminer les contraintes et déformations dans le corps de la chaussée grâce au modèle théorique choisi. Les contraintes et les déformations admissibles sont déterminées à partir des résultats de l'essai de fatigue au laboratoire. Elles sont ensuite évaluées en connaissant le trafic cumulé, le risque de calcul et les données d'observation du comportement des chaussées similaires. Les limites admissibles sont calculées à partir des trois formules générales suivantes :

- Déformation admissible des matériaux bitumineux

$$\varepsilon_{\text{tad}} = \varepsilon_6 \left(\frac{NE}{10^6} \right)^b \times k_r \times k_c \times k \quad [3]$$

- Contrainte admissible des matériaux traités aux liants hydrauliques

$$\sigma_{\text{tad}} = \sigma_6 \left(\frac{NE}{10^6} \right)^b \times k_r \times k_d \times k_c \times k \quad [4]$$

- Déformation admissible des matériaux granulaires non liés

$$\varepsilon_{\text{zad}} = A \times (NE)^{-0,222} \quad [5]$$

Avec :

- ε_{tad} : allongement admissible à la base des couches bitumineuses.
- σ_{tad} : contrainte de traction admissible à la base des couches traitées aux liants hydrauliques.
- ε_{zad} : est la déformation verticale admissible à la surface du sol support.
- NE : nombre équivalent d'essieux de références correspondant au trafic poids lourds cumulé sur la durée initiale de calcul retenue.
- σ_6 et ε_6 : contrainte et déformation correspondantes à 106 cycles de charge provoquant la rupture.
- B : pente de la droite de fatigue en coordonnées bi-logarithmiques.
- k_r : coefficient tenant compte du risque de calcul.
- k_c : coefficient de calage destiné à ajuster les résultats du modèle de calcul au comportement observé de chaussées de même type.
- k_s : coefficient minorant tenant compte de l'effet d'hétérogénéités locales de portance d'une couche de faible rigidité supportant les couches liées.
- k_d : coefficient introduit pour prendre en compte l'effet des discontinuités pour la couche de base.
- A : paramètre pris égal à 0,012 pour les chaussées à moyen et fort trafic ($T \geq T3$) et à 0,016 pour le cas contraire.

Les champs de contraintes et déformations créés par la charge de référence sont déterminés à la base de chaque couche selon le modèle multicouche de [BUR 43] en utilisant le code de calcul ALIZE. Les valeurs obtenues sont ensuite comparées avec celles admissibles des matériaux constitutifs de la chaussée.

3. Application des méthodes de dimensionnement

Les données du trafic pour le dimensionnement se basent sur les données du guide technique pour la conception et le dimensionnement des structures de chaussées. Le trafic est de type T2 avec une moyenne journalière annuelle (TMJA) de 200 PL/jour. Cette classe de trafic correspond à la classe T3 du CEBTP [CEB 84]. Le trafic cumulé (TC) est de 2 292 200 PL, ce qui donne un trafic cumulé de type TC4. La durée initiale de vie de la chaussée est prise à 20 ans correspondant à un VNRS. Enfin le risque de calcul (r) est pris égal à 7,5%. Tous ces paramètres sont donnés les guides de dimensionnement des chaussées.

3.1. Application de la méthode empirique de l'AASHTO

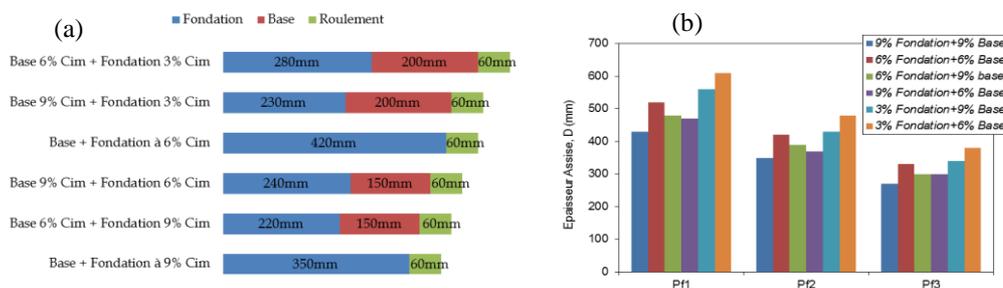
Les paramètres liés au comportement des matériaux sont choisis selon les recommandations de l'AASHTO (Tableau 2). Les données du trafic permettent de considérer que nous sommes en présence des routes principales à trafic lourd [CAB 07] [PAP 08], pour lesquelles la valeur de viabilité Pt est considérée égale à 2,5. Le coefficient structural (a) de la couche de roulement en béton bitumineux (BB) est de 0,40 ; celui de la couche de base (LC_B) étant de 0,17 et afin celui de la couche de fondation (LC_F) de 0.14. Le coefficient de drainage (m) qui est pris égal à 1 pour les zones tropicales.

Tableau 2. Paramètres de dimensionnement pour la méthode de l'AASHTO.

I_{CBR-4j} (%)			SN (mm)			E (MPa)		
Pf1	Pf2	Pf3	Pf1	Pf2	Pf3	Pf1	Pf2	Pf3
7	13	24	97	83	70	30	75	130

En fonction de la valeur de l' I_{CBR-4j} de la plateforme (Pf), un SN total de structure de chaussée est choisi sur l'abaque de l'AASHTO [PAP 08] des nombres structuraux. Ensuite, une épaisseur initiale de la couche de roulement (D_1) est fixée selon l'expérience locale, le trafic et la littérature existante. Elle a été prise égale à 60 mm. A partir de ces valeurs, les différentes épaisseurs dans la couche d'assise (Couche base et couche de fondation) sont déterminées.

La Figure 5a présente les épaisseurs de chaque couche (couche de roulement, couche de base et couche de fondation) avec différentes combinaisons pour un $I_{CBR-4j} = 13$. La Figure 5b présente les épaisseurs de la chaussée avec différentes combinaisons en fonction de la plateforme (Pf).

**Figure 5.** Epaisseurs de la chaussée avec différentes combinaisons : (a) épaisseurs de chaque couche et (b) épaisseurs de la chaussée.

3.2. Application de la méthode française

Pour la méthode française de dimensionnement, il est important de connaître les caractéristiques en fatigue (σ_6 ou ε_6) du matériau étudié. Dans la présente étude, les valeurs de σ_6 utilisées dans le calcul du dimensionnement sont déterminées par la relation ci-dessous [ABD 06]:

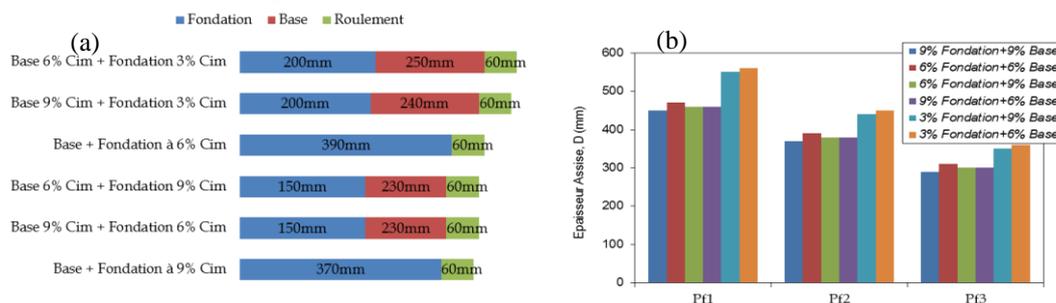
$$\sigma_6 = 0,95 \times Rt \quad [6]$$

En plus des données du trafic ci-dessus considérées, les valeurs de la pente de la droite de fatigue ($-1/b$), de l'écart type de la loi de fatigue (SN), de l'écart-type sur les épaisseurs (Sh), du coefficient de calage (Kc) sont données dans le code de calcul ALIZE. Le module de d'élasticité est donné dans le Tableau 2. Le calcul est basé sur l'hypothèse des interfaces entre les couches collées.

Les critères qui ont été vérifiés sont :

- la contrainte de traction σ_t à la base de la couche latérite-ciment (couche de fondation) doit être inférieure à la contrainte admissible σ_{tad} ($\sigma_t < \sigma_{tad}$);
- la déformation verticale ε_z à la base de la couche de fondation (LC_F) et à la surface du sol support doit être inférieure à une valeur admissible ε_{zad} . ($\varepsilon_z < \varepsilon_{zad}$).

Le résultat du calcul donne une structure constituée comme l'indique la Figure 6. La Figure 6a présente les épaisseurs de chaque couche (couche de roulement, couche de base et couche de fondation) avec différentes combinaisons pour $E = 75$ Mpa. La Figure 6b présente les épaisseurs de la chaussée avec différentes combinaisons en fonction de la plateforme (Pf).

**Figure 6.** Epaisseurs de la chaussée avec différentes combinaisons : (a) épaisseurs de chaque couche et (b) épaisseurs de la chaussée.

4. Etude paramétrique

Au regard des résultats ci-dessus obtenus, on observe qu'il existe très peu de différences entre les épaisseurs d'assise de chaussée obtenues par la méthode américaine et celles obtenues par la méthode française. Les Figures 7a-7c montrent l'évolution des épaisseurs de la couche d'assise de chaussée (couche de base + couche de fondation) en fonction du dosage en ciment sur les trois types de plateforme (Pf). On observe une même tendance d'évolution des courbes. On observe que l'épaisseur de l'assise diminue proportionnellement avec l'augmentation de la teneur en ciment. L'épaisseur de l'assise traité diminue de 1,5 à 2 fois, celle d'une assise en graveleux latéritique naturel de bonne qualité ($E=300\text{Mpa}$). Ce qui signifie que le sol traité est plus résistant que le sol non traité. Cette résistance s'accroît avec l'augmentation de la teneur en ciment. Les résultats obtenus à partir de ces deux méthodes sont proches des résultats obtenus par la méthode empirique du [CEB 84]; ce qui montre une similitude entre les méthodes empirique et mécaniste-empirique.

Les Figures 7d-7f montrent la variation de l'épaisseur de l'assise de chaussée (D) en fonction l' $I_{\text{CBR-4j}}$, E et SN. Sur les Figures 7d et 7e, on observe une diminution de D avec l'augmentation de $I_{\text{CBR-4j}}$ et de E respectivement, et ce pour toutes les combinaisons. L'augmentation de $I_{\text{CBR-4j}}$ ou de E fait diminuer l'épaisseur de la chaussée. A titre d'exemple, pour une valeur de $I_{\text{CBR-4j}} = 7$, $D = 430\text{mm}$ pour une combinaison de 9% de ciment aussi bien en couche de base et en couche de fondation. Avec l'augmentation de $I_{\text{CBR-4j}} = 24$, D diminue et est égale à 270mm soit près de la moitié. Ce qui a pour conséquence la diminution du coût de réalisation de l'ouvrage. Sur la Figure 7f par contre, on observe une augmentation de D avec l'augmentation de SN. Pour toutes les combinaisons testées, on observe une relation puissance entre l' $I_{\text{CBR-4j}}$ et D et des relations linéaires entre E et D, SN et D.

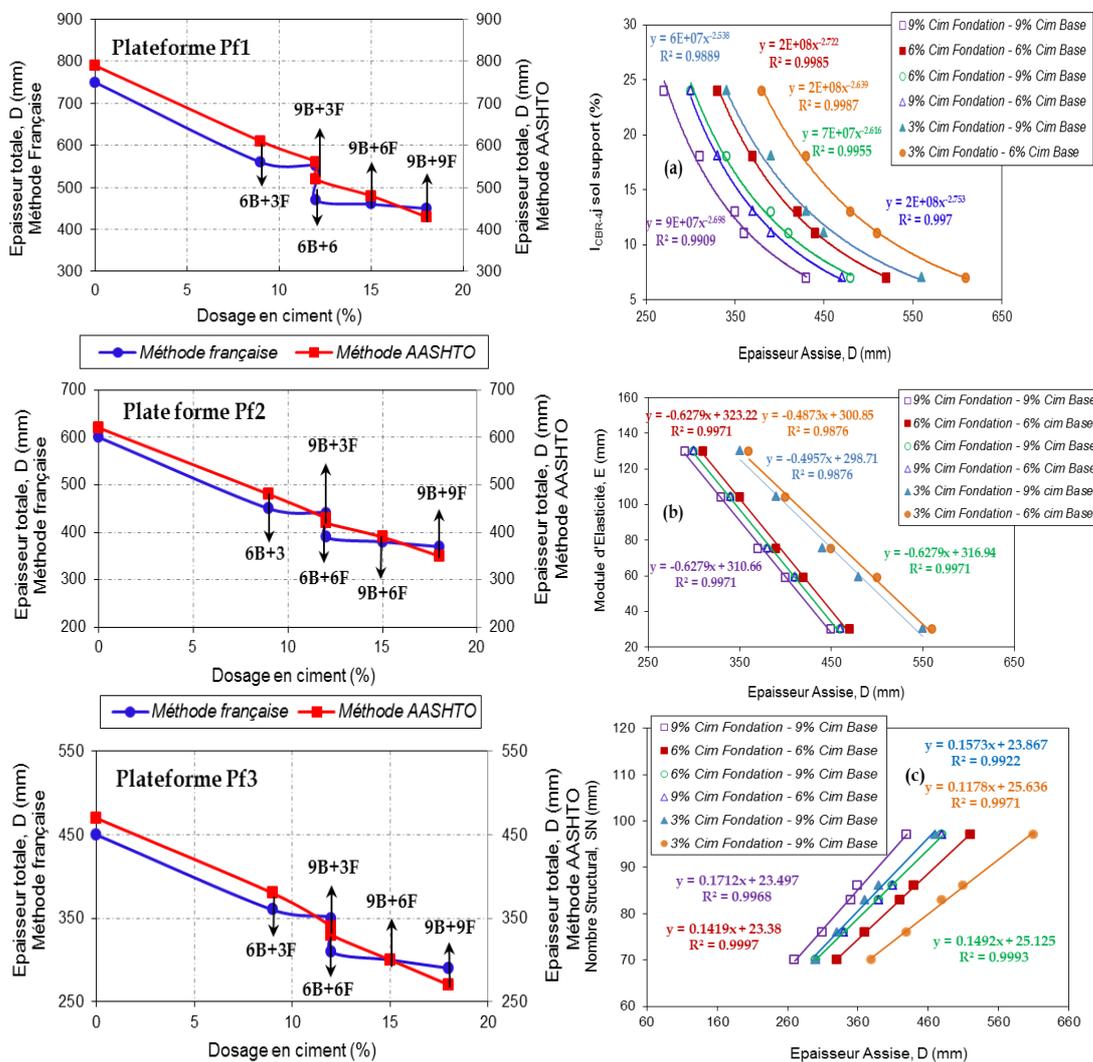


Figure 7. Evolution des épaisseurs en fonction de : (a, b et c) dosage dans les différentes couches, (d) $I_{\text{CBR-4j}}$, (e) E et (f) SN

5. Conclusion

Dans cette communication, nous avons étudié une application de deux méthodes de dimensionnement d'une assise de chaussée routière utilisant des formulations à base d'un échantillon de sol latéritique traité au ciment. Les méthodes utilisées sont : la méthode empirique américaine de l'AASHTO et la méthode mécaniste-empirique française par le code de calcul Alizé 1.3 du LCPC.

L'étude montre que les épaisseurs d'assises obtenues par la méthode américaine sont proches des épaisseurs d'assises obtenues par la méthode française. Bien que l'échantillon de sol latéritique utilisé soit un matériau fin, il permet de réduire l'épaisseur de l'assise de chaussée pouvant atteindre 1,5 à 2 fois celle d'une assise de chaussée à base d'un graveleux latéritique de bonne qualité.

Deux types de relation sont obtenus à partir l'épaisseur d'assise de chaussée et les paramètres de dimensionnement obtenus des essais de compression simple, de traction indirecte et d'abaque de l'AASHTO :

- Une relation puissance entre l'indice portant et l'épaisseur de l'assise;
- Des relations linéaires entre le module d'élasticité et le nombre structural en fonction de l'épaisseur de l'assise.

Les perspectives de ce travail sont donc la poursuite de l'étude des sols latéritiques fins traités, ainsi que le développement des méthodes de dimensionnement plus poussées incluant les paramètres de résistance au cisaillement.

6. Bibliographie

- [ABD 09] ABDO J., SERFASS J.P., T70 : Terrassement et assises de chaussées : Traitement des sols aux liants hydrauliques, Collection Technique CIMBETON, 2009
- [BAG 99] BAGARRE E., *Utilisation des graveleux latéritiques en technique routière*, ISTED – CEBTP, 1990.
- [BUR 43] BURMISTER D.M., «The theory of stress and displacement in layered systems and application of the design of airport runways», *Proceedings of the highways Research board*, vol. 23, 1943, p. 126-148.
- [CAB 07] CABINET K.T., *Pavement Design Guide (2007 Revision) for Projects off the National Highway System less than 20,000,000 ESALs, less than 15,000 AADT, and less than 20% trucks*, 2007.
- [CEB 84] C.E.B.T.P.J., T70 : Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux, 1984
- [DEM 06] DE MEDINA J., MOTTA L.M., DOS SANTO J.D., «Deformability characteristics of brazilian laterites», *Geotechnical and Geological Engineering*, vol. 24, n° 4, 2006, p. 949-971.
- [DRE 03] DREIF/LABORATOIRE REGIONAL DE L'OUEST PARISIEN., *Catalogue des structures de chaussées en Ile-de-France*, Édition initiale, décembre 2003.
- [GID 12] GIDIGASU M., *Laterite soil engineering: pedogenesis and engineering principles*, Paris, Editions Elsevier, 2012.
- [HUA 93] HUANG Y.H., *Pavement analysis and design*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1993
- [JEU 83] JEUFFROY G., *Conception et construction des chaussées*, Tome 1: Les véhicules, les sols, le calcul des structures, Editions Eyrolles, Paris, 1983.
- [LAV 03] LAVIN P., *Asphalt Pavements: A practical guide to design, production and maintenance for engineers and architects*. CRC Press, 2003.
- [LCP 94] LCPC-SETRA., VIN P., *Conception et dimensionnement des structures de chaussée*, Guide technique, Paris, 1994.
- [MES 99] MESBAH A., MOREL J.C., OLIVIER M., «Comportement des sols fins argileux pendant un essai de compactage statique: détermination des paramètres pertinents», *Materials and structures*, vol. 32, n° 9, 1999, p. 687-694.
- [MIL 08] MILLOGO Y., *Etude géotechnique, chimique et minéralogique de matières premières argileuse et latéritique du Burkina Faso améliorées aux liants hydrauliques : application au génie civil (bâtiment et route)*, Thèse de doctorat, Université de Ouagadougou, 2008.
- [PAP 08] PAPAGIANNAKIS A.T., MASAD E.A., UFFROY G., *Pavement design and materials*. John Wiley & Sons, 2008.