

# Contribution à la définition de la qualité des structures souples à assises en matériaux latéritiques du Sénégal

## *Contribution to the definition of the quality of flexible structures on lateritic subgrade in Senegal*

Massamba NDIAYE <sup>1</sup>, Jean-Pierre MAGNAN <sup>2</sup>, Lamine CISSÉ <sup>3</sup>

<sup>1</sup> École Supérieure Polytechnique (ESP) de Dakar, Sénégal.

<sup>2</sup> Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR), Marne-la-Vallée, France.

<sup>3</sup> Agence des travaux et de Gestion des Routes (AGERROUTE), Dakar, Sénégal.

**RÉSUMÉ** - Cet article présente l'état actuel des connaissances et pratiques pour la définition de la qualité des structures souples à assises en matériaux latéritiques du Sénégal. Les travaux entrepris par l'Agence des travaux et de Gestion des Routes (AGERROUTE) du Sénégal, pour la définition des valeurs seuils  $d_1$  et  $d_2$  des structures souples (à assise latérite non traitée/latérite non traitée) et semi-rigide (à assise latérite améliorée au ciment/latérite non traitée), sont également présentés.

**ABSTRACT** - This paper presents the current state of knowledge and practice for the definition of the quality of flexible structures based on lateritic materials in Senegal. The works organised by the « Agency of construction and management of roads (AGERROUTE) » of Senegal, for the definition of the threshold values  $d_1$  and  $d_2$  of flexible structures (with untreated laterite / untreated laterite) and semi-rigid ones (laterite improved with cement / untreated laterite), are also presented.

### 1. Introduction

La mesure de la qualité apparente et structurelle d'une chaussée a une grande incidence sur la définition de la politique d'entretien adoptée par le gestionnaire routier et contribue à définir les ressources financières, matérielles et humaines à mobiliser. Les référentiels actuellement utilisés au Sénégal dans ce domaine ont pour la plupart été établis dans d'autres pays et ne représentent pas toutes les réalités du Sénégal. Cette différence des référentiels a une grande incidence sur le choix et la fiabilité des valeurs seuils de déflexion  $d_1$  et  $d_2$  proposées par les différents acteurs intervenant dans le domaine de la conception et de la gestion des infrastructures routières au Sénégal. Ces seuils ( $d_1$  et  $d_2$ ) contribuent aux décisions de gestion et d'entretien d'un réseau routier.

Cet article décrit l'état des pratiques de définition de la qualité des structures souples à assises latéritiques au Sénégal et présente les travaux en cours de l'Agence des travaux et de Gestion des Routes (AGERROUTE) du Sénégal, pour la définition des valeurs seuils  $d_1$  et  $d_2$  des structures souples (à assise en latérite non traitée) et semi-rigide (à assise en latérite traitée au ciment sur latérite non traitée).

### 2. Définition de la qualité des structures souples à assises latéritiques du Sénégal

La définition de l'état apparent d'une chaussée se fait usuellement en s'appuyant sur la classification simplifiée du « Manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux » élaboré en 1985 par le « Centre Expérimental du Bâtiment et des Travaux Publics (CEBTP) » et le « Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, (LCPC) ». Cette évaluation s'appuie uniquement sur la quantification des déformations et de la fissuration de la chaussée.

Les sections de chaussée examinées sont classées, selon ce manuel, en trois catégories selon l'étendue des dégradations par section unitaire considérée (par exemple 500 m ou 1000 m) :

- classe 1 : moins de 10 % de dégradations ;
- classe 2 : 10 à 50 % de dégradations ;
- classe 3 : plus que 50 % de dégradations.

La grille qui chiffre la qualité apparente d'une section de chaussée est obtenue par combinaison des deux types de dégradations (fissures et déformations) (Tableau 1).

Tableau 1. Classification de l'état apparent d'une chaussée

Déformations \ Fissures	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Classe 1	1	2	3
Classe 2	3 (*)	4	5
Classe 3	5 (*)	6	7
1 (état de chaussée bon) : peu ou pas de fissures ; 2-3 (état de chaussée médiocre) : fissuré mais non déformé ; 4-5 (état de chaussée mauvais) : fissuré et déformé ; 6-7 (état de chaussée très mauvais) : très déformé et fissuré. (*) : cas très rares.			

Cette méthode fait abstraction des défauts propres à la couche de roulement (arrachements, peignages, ressujages, fluages, etc.) analysés séparément et faisant l'objet de solutions appropriées de remise en état (AGEROUTE-Sénégal, 2015).

Pour traduire convenablement, dans la plupart des cas, le comportement d'une chaussée souple, la valeur de la déflexion caractéristique «  $d_c$  » est aussi prise en compte.

La valeur de déflexion retenue, pour les sections unitaires de quelques centaines de mètres de longueur, est calculée en « gommant » les accidents de portance très ponctuels par la relation suivante :

$$d_c = d_m + k^* \sigma \quad (1)$$

avec :

$d_c$  = déflexion caractéristique ;

$d_m$  = valeur moyenne de la déflexion sur la section considérée ;

$\sigma$  = écart type ;

$k$  = coefficient de probabilité :

- $k = 1,3$  pour une probabilité de dépassement de l'ordre de 10% pour les projets de faible importance et sous réserve de l'accord du maître d'ouvrage ;
- $k = 2$  pour une probabilité de dépassement de l'ordre de 2,5% (CEBTP-LCPC, 1985).

Une fois les conditions de mesure définies, une corrélation est établie entre le niveau de dégradation sur un itinéraire ou sur un ensemble d'itinéraires et le niveau de la déflexion. L'exploitation statistique de ces deux paramètres, pour un réseau situé dans une même unité géologique et climatique, donne les valeurs des seuils de déflexions critiques :

- $d_1$  : valeur au-dessous de laquelle on considère que la structure se comporte d'une façon satisfaisante ;
- $d_2$  : valeur au-dessus de laquelle on considère que la structure présente de sérieux défauts de portance.

Les conclusions sont présentées comme indiqué dans le tableau 2.

Tableau 2. Relation entre la défexion et l'état de portance de la chaussée (CEBTP-LCPC, 1985)

Valeur de la défexion	Faible $< d_1$	Entre $d_1$ et $d_2$	Forte $> d_2$
Portance	Élevée	Médiocre	Faible
Qualité des structures	Bonne	Douteuse	Mauvaise

La comparaison des deux paramètres (dégradations et défexions) débouche sur une grille de décision qui oriente le choix des solutions adaptées (tableau 3).

Tableau 3. Qualités de la chaussée selon le manuel du CEBTP-LCPC de 1985

État apparent	Déflexions		
	Faible $< d_1$	Entre $d_1$ et $d_2$	Élevée $> d_2$
Bon (1)	Q1	Q2	Q3
Fissuré non déformé (2-3)	Q2	Q3	Q4
Déformé et fissuré (4-7)	Q3	Q4	Q5

Le manuel en déduit le type d'entretien nécessaire (AGEROUTE-Sénégal, 2015) :

- Q1 : entretien courant ;
- Q2 : entretien prioritaire ;
- Q3 : rechargement ;
- Q4 et Q5 : renforcement.

Néanmoins, le plus souvent, l'application de la grille n'apporte pas une grande précision, notamment pour la qualité Q3 où un rechargement est recommandé (CEBTP-LCPC, 1985). Le classement définitif de la qualité d'une structure de chaussée ne pourra être établi qu'après examen des résultats des sondages et même parfois après la réalisation de mesures complémentaires, afin de lever les indéterminations sur :

- la nature et la date des derniers travaux d'entretien pouvant masquer certaines dégradations ;
- la qualité et l'homogénéité du support ;
- l'efficacité du drainage et la présence de zones mal assainies ;
- la structure de la chaussée : épaisseur et qualité des couches ;
- la validité des mesures de défexion : les valeurs de  $d_1$  et  $d_2$  varient suivant la situation géographique et climatique, la période de mesures, etc.

La définition des valeurs seuils des défexions  $d_1$  et  $d_2$  reste aujourd'hui d'actualité au Sénégal. Malgré les difficultés notées pour leurs définitions, certains pays ont proposé des valeurs seuils qui sont propres à leurs environnements géographiques et à certaines structures de chaussée (tableau 4).

Tableau 4. Définition des valeurs seuils de déflexions  $d_1$  et  $d_2$  pour les structures souples à assises en latérite non traitée (CEBTP-LCPC, 1985)

Valeurs seuils	Niger	Mali	Côte d'Ivoire	Cameroun	Gabon
$d_1$ (1/100mm)	40	60-70	50-75	50-60	80
$d_2$ (1/100mm)	60	100-150	100-150	80	100

En vue de définir des valeurs seuils propres au Sénégal, une étude a été entreprise par l'AGEROUTE-Sénégal suite au marché GT/2012-327 confié au laboratoire Sénélabo.btp.

La démarche proposée repose sur la détermination de trois périodes de la vie de la structure de chaussée caractérisées par 3 valeurs de déflexion (AGEROUTE-Sénégal, 2015) :

- 1<sup>ère</sup> période : la structure est normalement opérationnelle depuis sa construction neuve. Elle vieillit selon un schéma variable avec le type de structure, vieillissement qui conduit la déflexion à augmenter depuis  $d_0$ , déflexion initiale de la structure neuve calculée à partir des épaisseurs figurant dans le guide des chaussées neuves CEBTP-LCPC, jusqu'à  $d_1$ , valeur correspondant à la structure partiellement dégradée à la fin de cette 1<sup>ère</sup> période.
- 2<sup>ème</sup> période : l'état de fatigue de la structure continue d'évoluer. Dans cette période, et selon la politique du maître d'ouvrage, il est nécessaire de procéder à un suivi et/ou des réparations si la politique est de type curatif (plutôt faible trafic) ou à des travaux structurels ou de surface si la politique est de type préventif (plutôt fort trafic). Dans cette période, la déflexion passe de  $d_1$  à  $d_2$ .
- 3<sup>ème</sup> période : la déflexion a évolué au-delà de  $d_2$ . La structure est en état de fatigue avancé et nécessite des travaux de remise en état de types rénovation du revêtement ou renforcement plus ou moins lourd selon le trafic et la durée de calcul visée.

Les classes de sols de plateforme et de trafics retenues dans cette démarche sont les mêmes que celles définies par le « guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux » du CEBTP de 1984 (tableaux 5 et 6).

Tableau 5. Définition de la classe de portance des sols de plate-forme (CEBTP, 1984)

Classe de sol	Indice CBR de la plate forme
$S_1$	$I_{CBR} < 5$
$S_2$	$5 < I_{CBR} < 10$
$S_3$	$10 < I_{CBR} < 15$
$S_4$	$15 < I_{CBR} < 30$
$S_5$	$I_{CBR} > 30$

Tableau 6. Définition des classes de trafic (CEBTP, 1984)

Classes de trafic	Nombre équivalent de véhicules par jour	Nombre d'essieu équivalent de 13 tonnes
$T_1$	< 300	$< 5.10^5$
$T_2$	de 300 à 1000	de $5.10^5$ à $1,5.10^6$
$T_3$	de 1000 à 3000	de $1,5.10^6$ à $4.10^6$
$T_4$	de 3000 à 6000	de $4.10^6$ à $10^7$
$T_5$	de 6000 à 12000	de $10^7$ à $2.10^7$

À titre d'essai, cette démarche a été appliquée à des chaussées de type latérite non traitée / latérite non traitée constituant une structure souple (tableau 7), puis latérite améliorée / latérite non traitée constituant une chaussée semi-rigide (tableaux 8 et 9) telles qu'elles sont dimensionnées

dans le « manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux » du CEBTP-LCPC de 1985.

Les valeurs seuils  $d_1$  et  $d_2$  proposées proviennent uniquement de résultats de simulations sur l'outil de calcul Alizé. Ces résultats doivent être confirmés par des mesures sur des structures en service réparties sur les différentes zones climatiques du Sénégal.

Tableau 7. Seuils de déflexion : latérite non traitée / latérite non traitée

Trafic CEBTP	Sol de plate-forme		Épaisseur des structures (en cm)			Valeurs de déflexion (1/100mm)			
	Classe de portance	Module (E en MPa)	Revêtement en béton bitumineux (BB)	Couche de base	Couche de fondation	$d_0$	$d_1=1,2d_0$	$d_2=1,6d_0$	Arrondis $d_1/d_2$
T <sub>1</sub>	S <sub>1</sub>	50	0	15	45	130	156	208	150/200
	S <sub>2</sub>	60	0	15	35	115	138	184	140/180
	S <sub>3</sub>	75	0	15	25	99	118	158	120/160
	S <sub>4</sub>	120	0	15	15	72	86	115	85/115
	S <sub>5</sub>	150	0	25	0	64	77	102	75/100
T <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	50	0	15	45	130	156	208	150/200
	S <sub>2</sub>	60	0	15	35	115	138	184	140/180
	S <sub>3</sub>	75	0	15	30	96	115	153	115/150
	S <sub>4</sub>	120	0	15	20	70	84	112	85/115
	S <sub>5</sub>	150	0	25	0	64	77	102	75/100
T <sub>3</sub>	S <sub>1</sub>	50	5	20	40	111	133	178	135/180
	S <sub>2</sub>	60	5	20	30	101	121	162	120/160
	S <sub>3</sub>	75	5	20	20	90	108	144	110/145
	S <sub>4</sub>	120	5	20	15	68	82	109	80/110
	S <sub>5</sub>	150	5	25	0	65	78	104	80/105

Tableau 8. Seuils de déflexion : latérite améliorée / latérite non traitée pour trafic T<sub>1</sub>

Trafic CEBTP	Sol de plate-forme		Épaisseur des structures (en cm)			Valeurs de déflexion (1/100mm)			
	Classe de portance	Module (E en MPa)	Revêtement en béton bitumineux (BB)	Couche de base	Couche de fondation	$d_0$	$d_1=1,25d_0$	$d_2=1,5d_0$	Arrondis $d_1/d_2$
T <sub>1</sub>	S <sub>1</sub>	50	0	15	40	96	120	144	120 / 145
	S <sub>2</sub>	60	0	15	30	95	119	143	120 / 145
	S <sub>3</sub>	75	0	15	25	81	101	122	100 / 120
	S <sub>4</sub>	120	0	15	15	60	75	90	75 / 90
	S <sub>5</sub>	150	0	20	0	47	59	71	60 / 70

Tableau 9. Seuils de déflexion : latérite améliorée / latérite non traitée pour les trafics T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> et T<sub>4</sub>

Trafic CEBTP	Sol de plate-forme		Épaisseur des structures (en cm)			Valeurs de déflexion (1/100mm)			
	Classe de portance	Module (E en MPa)	Revêtement en béton bitumineux (BB)	Couche de base	Couche de fondation	d <sub>0</sub>	d <sub>1</sub> =1,2d <sub>0</sub>	d <sub>2</sub> =1,4d <sub>0</sub>	Arrondis d <sub>1</sub> /d <sub>2</sub>
T <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	50	4	15	45	81	97	113	100 / 115
	S <sub>2</sub>	60	4	15	35	78	94	109	95 / 110
	S <sub>3</sub>	75	4	15	25	71	85	99	85 / 100
	S <sub>4</sub>	120	4	15	20	51	61	71	60 / 70
	S <sub>5</sub>	150	4	20	0	41	49	57	50 / 60
T <sub>3</sub>	S <sub>1</sub>	50	5	20	45	70	84	98	85 / 100
	S <sub>2</sub>	60	5	20	25	71	85	99	85 / 100
	S <sub>3</sub>	75	5	20	20	61	73	85	75 / 85
	S <sub>4</sub>	120	5	20	15	45	54	63	55 / 65
	S <sub>5</sub>	150	5	20	0	40	48	56	45 / 55
T <sub>4</sub>	S <sub>1</sub>	50	7	20	50	65	78	91	80 / 90
	S <sub>2</sub>	60	7	20	30	66	79	92	80 / 90
	S <sub>3</sub>	75	7	20	25	57	68	80	70 / 80
	S <sub>4</sub>	120	7	20	20	36	43	50	40 / 50

Ce travail doit être étendu aux autres types de chaussées réalisées au Sénégal, notamment les structures bitumineuses épaisses et mixtes.

### 3. Conclusions

La définition des valeurs seuils d<sub>1</sub> et d<sub>2</sub> constitue une étape importante pour la définition du choix des stratégies d'entretien à adopter. Ce travail a permis de présenter les références usuellement utilisées au Sénégal pour la définition des stratégies d'entretien et les disparités notées sur le choix des valeurs seuils d<sub>1</sub> et d<sub>2</sub> du fait du manque d'un référentiel commun. Les travaux entrepris par l'AGEROUTE-Sénégal pour la définition de valeurs seuils d<sub>1</sub> et d<sub>2</sub> propres au Sénégal doivent être poursuivis en impliquant les différents acteurs intervenant dans le domaine de la conception, de la construction et de la gestion des infrastructures routières.

Ils devront également être confirmés par des mesures sur des structures en service réparties dans les différentes zones climatiques du Sénégal. Ces travaux devront être également étendus aux structures bitumineuses épaisses et mixtes.

L'aboutissement de ce travail constituera une étape importante pour l'élaboration du futur guide de renforcement des chaussées du Sénégal.

### 4. Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier l'Agence des travaux et de Gestion des Routes du Sénégal (AGEROUTE-Sénégal) pour la mise à disposition des références nécessaires à la rédaction de ce travail.

### 5. Références bibliographies

AGEROUTE-Sénégal (2015). Campagne de mesure de déflexion sur le réseau routier revêtue : réflexions relatives à la définition des seuils de déflexions d<sub>1</sub> et d<sub>2</sub>. Volume 3, 73 pages.

AGEROUTE-Sénégal (2015). Catalogue de structures de chaussées neuves et guide de dimensionnement des chaussées au Sénégal. 205 pages.

CEBTP (1972). Manuel de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux. Secrétariat d'État aux affaires étrangères chargé de la coopération, 51 pages.

CEBTP (1984). Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux. Ministère des relations extérieures - coopération et développement de la république française, 157 pages.

CEBTP-LCPC (1985). Manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux, Paris, 166 pages.