



école polytechnique de thiès

GC.0650
NUM

PROJET DE FIN D'ETUDES

TITRE: *ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE DES TECHNIQUES DE
CONSTRUCTIONS ROUTIERES EN AFRIQUE
CAUSES DES DETERIORATIONS DES CHAUSSEES
DANS LA REGION DE THIES*

Auteur Abd DIOUF

Génie CIVIL

Date 1978

***ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE DES TECHNIQUES
DE CONSTRUCTIONS ROUTIERES EN AFRIQUE***

***CAUSES DES DETERIORATIONS DES CHAUS-
SEES DANS LA REGION DE THIES***



***école polytechnique
de thies***

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier ici tous ceux qui nous ont aidé moralement et matériellement dans la préparation de cette thèse.

Nos remerciements s'adressent particulièrement :

- à Mr Gaston M. GAUTHIER, Professeur à l'Ecole Polytechnique et notre directeur de projet ;
- au Commandant Sidy Bouya N'DIAYE, Commandant l'Ecole Polytechnique à qui nous devons le sujet de cette présente thèse et pour ce notre co-directeur de projet ;
- à Mr DURIEU, Ingénieur, Chef de la Division Route de la Direction des Travaux Publics ;
- à Mr Cheikh BIAYE, Adjoint Technique à l'Arrondissement des Travaux Publics de Kaolack pour son soutien moral et les renseignements qu'il nous a livrés ;
- à Mr SAGNA du Centre Expérimental de Recherches et d'Etudes pour l'Equipe (C E R E S E) ;
- à La Mission d'Aide et de Coopération de l'Ambassade de France pour les précieux documents qu'elle nous a bien voulu mettre à notre disposition ;
- à la Bibliothèque de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (O R S T O M) à Dakar.

Nos remerciements s'adressent aussi à

Mr GAMBREUIL Technicien à l'Ecole Polytechnique pour les prises de vues combien réussies qu'il a bien voulu nous faire et à Melle Assi-tou GAYE Secrétaire à l'Ecole Polytechnique pour la dactylographie de cette présente thèse.

Que tout le monde trouve ici l'expression de notre profonde gratitude.

S O M M A I R E

Le sujet de cette thèse se subdivise en deux grandes parties que l'on peut titrer comme suit :

- étude bibliographique des techniques de construction routières en Afrique ;
- étude par observation du réseau des causes de détériorations des chaussées dans la région de Thiès.

Pour mener à bien une étude sur les techniques de constructions routières et sur les détériorations d'une chaussée, il est nécessaire sinon indispensable de connaître le matériau avec lequel on construit et partant l'élément qui se dégrade. Aussi, avons-nous fait un exposé sur les matériaux les plus utilisés en Afrique en donnant quelques uns de leurs propriétés physiques et mécaniques sans oublier leur comportement vis à vis de certains agents atmosphériques.

La route constituant un tout, nous avons alors passé en revue toutes les phases de la construction en allant du dimensionnement à la mise en oeuvre des différentes couches en passant par les conditions de mise en oeuvre et les travaux topographiques. Mais comme la construction d'une route est bien souvent guidée par le rôle que ses différents éléments constitutifs sont appelés à jouer, on ne saurait faire une omission de cela. Aussi un sous-chapitre intitulé : différents éléments du corps de chaussée précède-t-il la partie consacrée à la mise en oeuvre de ces différents éléments ou couches constitutives du corps de chaussée.

Les méthodes de construction étant nombreuses et très variées, nous avons seulement fait des énoncés brefs mais précis de celles-ci en consultant des manuels et revues traitent du problème. Certains points particuliers ont pu être éclaircis grâce à des visites de chantier effectuées durant la préparation de cette présente thèse.

Par souci de clarté, nous avons donné nos discussions à la fin de chaque exposé et les avantages et inconvénients cités doivent être placés dans le contexte africain. Ainsi les chapitres qui suivent auront généralement la forme suivante :

- énoncé de la méthode,
- avantages,
- inconvénients,
- discussions.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
I - Introduction	1
II - Les matériaux de construction	3
2.1 Les coquillages et coraux	4
2.2 Le gravier basaltique	4
2.3 Le calcaire	4
2.4 L'argile surconsolidée	5
2.5 La latérite	7
2.6 Autres matériaux	11
a) Les sols gypseux	11
b) Les sols et sables fins	11
2.7 Les résidus de Lum-Lum	12
2.8 Les silex de Taïba	13
III - Dimensionnement et techniques d'exécution	14
3.1 Dimensionnement	14
3.11 Epaisseurs du corps de chaussée	15
a) Méthode C B R	15
b) Méthode Shock et Finn	21
3.12 Critères et conditions de mise en oeuvre	31
3.2 Techniques d'exécution	35
3.21 Différents éléments du corps de chaussée	35
3.211 Sous-couche	35
3.212 Couche de fondation	36
3.213 Couche de base	37
3.214 Couche de revêtement	39
3.22 Exécution des travaux	42
3.221 Les opérations d'implantation	42
3.222 Phase préliminaire	42
3.223 Exécution	45
a) Mise en oeuvre de la plateforme les terrassements	45
b) Mise en oeuvre d'une couche constitutive de la chaussée : la couche de base	47

- c) Arrosage de la teneur en eau de l'O.P.M. ou réduction à la teneur de l'O.P.M. 48
- d) Le compactage 51
- e) Mise en oeuvre de la couche de revêtement 53
- 323 La technique de l'amélioration 55
 - 3231 La stabilisation mécanique 55
 - 3232 La stabilisation chimique 56
 - a) Les sols bitume 57
 - b) Les sols-ciments 58
- IV Détériorations des chaussées de la région de Thiès 63
 - 4.1 Réseau routier de la région de Thiès 63
 - 4.2 Echecs sur les différentes phases d'un projet ou causes internes des détériorations des chaussées 69
 - 421 Conception 69
 - 422 Mise en oeuvre 70
 - 4.3 Causes externes 71
 - 4.4 Quelques détériorations 73
 - Conclusion 80
 - Bibliographie 82
 - Annexes 84

I - INTRODUCTION

Les pays dits développés ont depuis le début de la deuxième guerre mondiale mis au point de nouvelles méthodes et techniques de constructions routières. Ces règles s'adaptant à des conditions de climat et de trafic bien définies ont souvent été transplantées en Afrique quelquefois en tenant compte de sa spécificité, quelquefois non. Cependant il n'existe pas d'universalité en matière de technique de construction routière mais plutôt des règles générales qu'il convient d'ajuster en fonction de l'environnement climatique.

Néanmoins l'adaptation de ces règles au contexte africain constituera souvent un cas particulier et dépendra d'autres facteurs. En effet, en regard à la lutte contre l'enclavement de certaines régions, au développement commercial que l'on veut atteindre à très court terme, à l'unification la peuple recherchée dans un pays, à la superficie du continent, au manque de capitaux, on conçoit très bien que l'Afrique est un vaste continent qu'il faut équiper d'un réseau routier le plus rapidement possible et au moindre coût. Aussi ce continent a-t-il depuis longtemps opté pour des solutions largement influencées par les deux pensées suivantes :

- les pays africains sont souvent pauvres en bons matériaux routiers et vu le coût de transport trop élevé, il faut essayer dans la mesure du possible d'utiliser ceux qui sont en gîte à proximité de la route à construire.

- pour limiter le coût des investissements, il faut faire un aménagement progressif avec un réajustement progressif en fonction de l'évolution du trafic, de la technologie et du développement économique ; il faut alors retenir des solutions très flexibles, généralement de type moyen terme.

Ainsi certaines dispositions particulières seront-elles prises lors de l'utilisation de ces règles générales. Nous essaierons en première partie de notre étude de rassembler ces règles et dispositions particulières sous le précepte aux vocables de techniques de construction routière en Afrique.

.../...

Cette partie portera sur l'analyse des points suivants :

- la connaissance des matériaux,
- le dimensionnement,
- l'exécution des travaux.

Ces points seront examinés dans cet ordre, ordre qui est d'ailleurs celui de l'élaboration d'un projet de route. Chaque point revêt un caractère particulier qu'il convient de souligner. Pour chacun d'eux, sera-t-il alors fait un exposé de la méthode. Cet exposé sera généralement suivi d'une critique quant à son utilisation dans le contexte de l'Afrique ou alors d'une série de recommandations qu'il conviendra de respecter eu égard à la particularité du continent.

Mais pour bien s'assurer de l'efficacité d'une méthode employée, il est essentiel d'analyser les résultats obtenus. Ces résultats doivent donc être examinés de près et appréciés à leur juste valeur. Aussi après construction de la route, est-il souhaité de suivre le comportement de la chaussée, de relever les défauts tout en essayant de rechercher les causes de ces défauts.

C'est à ce seul prix que l'on pourra réajuster les méthodes utilisées en fonction du contexte qui prévaut. Aussi, cette étude sera-t-elle suivie d'une analyse des causes des détériorations des chaussées. Cette analyse bien que limitée à la région de Thiès sera sans doute bénéfique pour n'importe quel pays africain, car en Afrique les pays se ressemblent à certains égards.

Certains types de chaussées telles que les chaussées rigides n'ayant pas encore vu le jour en Afrique et d'autres telles que les routes en terre ne présentent aucun intérêt particulier ne seront pas évoquées. Seules les chaussées à revêtement flexible dites chaussées souples seront examinées.

II - LES MATERIAUX

Il existe une relation entre le climat et l'intensité de l'origine de certaines formations de sol. La végétation étant une caractéristique du climat, on peut dès lors faire une corrélation entre végétation et formation de sol. Cette corrélation servira alors d'un bon guide quant à la recherche de gîtes de carrières. Ainsi le tableau corrélation suivant montre que les matériaux argileux latéritiques sont plus abondants en Afrique que dans tout autre continent, aussi seront-ils les plus utilisés.

Climat	Tropical	Equatorial
Saison sèche	> 8 mois	< 4 mois
Pluviométrie	< 1200 mm	> 1200 mm
Bilan	Evaporation > pluviométrie	Evaporation < pluviométrie
Végétation	Savane	Forêt
Sols	Kaolinite (latérite)	Gibbsite (latérite)

Au Sénégal on rencontre la latérite sous les peuplements de quinquélibas et d'arbres à épineux plus abondants dans la région de Thiès. Les produits provenant des roches dures sont très peu utilisés en Afrique pour des raisons d'économies. Il faut cependant noter certaines exceptions au Maghreb et à Madagascar.

Les roches tendres sont souvent utilisées en fondation notamment au Maroc où l'utilisation de la schiste date de 1939. Le grès mélangés au limon a vu aussi son apparition dans le même pays ; il en est de même du grès mi-dur à ciment calcaire au Sahara Oriental.

Parmi ces roches tendres, nous citerons en passant les croûtes et les tufs du Maroc et de l'Algérie utilisés sur l'Atlas saharien.

Dans cette étude, nous consacrerons à cause de son abondance, un paragraphe assez long à la latérite, matériau le plus utilisé en Afrique et plus particulièrement au Sénégal. Cependant certains matériaux méritent d'être cités parce que présentant des caractéristiques en géotechnique intéressantes.

.../...

2.1 Les coquillages et coraux

On les trouve sur le littoral sous une faible épaisseur de sable de couleur jaune ocre. Ce matériau a un pourcentage de vide très élevé de l'ordre de 75 % d'après les études faites par le B C E O M (Bureau Central d'Etudes de l'Outre-Mer) et le C E B T P (Centre d'Etudes du Bâtiment et des Travaux Publics). On les utilise le plus souvent sur les routes côtières où le matériau est abondant ou dans les zones de formation de mangroove comme il en est le cas au Sénégal. Ce genre de matériau présente une bonne portance CSR mais "un fini" de surface très rugueux. Ainsi, les routes revêtues à l'aide de coquillages ont généralement une durée de vie un peu plus longue que celles faites en bœhrites. Le grand inconvénient est l'usure prématurée des pneumatiques ; aussi les chaussées de coquillages sont-elles peu répandues. On les rencontre au Sénégal dans la région de la Casamance sur la route nationale n° 4 (Diourbel, Ziguinchor) Son utilisation est presque limitée à la couche d'usure.

2.2 Le gravier basaltique

Matériau de concassage d'une roche volcanique le basalte, il n'est pas très abondant en Afrique et obéit donc à la loi de l'offre et de la demande. Le coût de concassage étant très élevé, son utilisation est dès lors limitée uniquement à la couche de revêtement. Cependant il est l'un des matériaux les plus abondants au Sénégal s'adaptant correctement au béton bitumineux. On trouve le basalte généralement en gîte peu profonde dans la presqu'île du Cap-Vert et au Sud de la région de Thiès. Le basalte aurait comme origine le volcanisme du quaternaire et du tertiaire. Il est l'un sinon le meilleur matériau utilisé au Sénégal pour le revêtement des routes urbaines. Les chaussées revêtues avec présentent un "fini" de surface assez correcte.

A titre indicatif pour le Sénégal, nous citerons les carrières de Fann dans la presqu'île du Cap-Vert et celles de Diack dans la région de Thiès.

2.3 Le calcaire

Le calcaire communément appelé au Sénégal pierre de Bannay est sans doute le matériau le moins utilisé dans l'industrie routière. Toutefois,

nous noterons son emploi sur le tronçon Ecole William Ponty sur la route Ecole Polytechnique. Entrée de l'Ex Base Aérienne de Thiès au Sénégal où l'on enregistre d'assez bons résultats. Il se présente en gîte abondant au Sénégal dans la région de Bargny sous une végétation aride à sol noir parsemée de baobabs.

On pense que cette pierre est une roche sédimentaire (formule chimique $CaCO_3$) dont les éléments constitutifs se seraient accumulés au fond de la mer au début du quaternaire. Le phénomène de la dérive des continents les situent actuellement aux abords du littoral. Cette pierre est d'une utilisation encore restreinte. Aussi ses caractéristiques en géotechnique sont peu connues et son emploi demande une très grande prudence. Concassée aux dimensions voulues, cette pierre pourrait servir à la construction des chaussées dites "tout concassé" (fondation en sable de concassage 0/5, couche de base en 0/40 et couche de roulement en béton bitumineux). Vu le coût que cela nécessiterait, ce genre de chaussée pourrait uniquement être utilisée en voirie urbaine. On le rencontre aussi au Gabon sous une formation du bassin sédimentaire côtier et sous une formation du précambrien.

2. 4 L'argile surconsolidée

L'argile se présente sous plusieurs formes selon le climat. Celle la plus répandue en Afrique est la Kaolinite. De formule chimique $Al_2 Si_2 O_6 (OH)_4$, elle se présente sous une superposition infinie de feuillets tétraédriques avec feuillets octaédriques dans le sens perpendiculaire à l'empilement. Sa structure est électriquement neutre et peut acquérir quelques charges négatives en présence d'eau. C'est une argile très stable moyérément plastique puisque l'eau ne peut pas rentrer dans sa structure à cause de sa solidité.

Nous mentionnerons au passage l'existence d'une forme de la kaolinite qu'est l'hallowysite. Elle a la même structure que la kaolinite et se présente en tubes ronds et aplatis. En présence d'eau, la structure tubulaire a tendance à rouler, la masse subissant un important phénomène de "Creep".

.../...

Qu'elle soit consolidée ou non, l'argile est une formation sédimentaire de couleur variable selon les minéraux constitutifs. Elle est essentiellement constituée de silicates hydratés, d'alumine, occasionnellement de magnésium et de fer. L'argile est un des matériaux les plus étudiés au monde. Nous donnons à titre indicatif dans le tableau ci-après quelques variétés d'argiles. (Les minéraux argileux appartiennent à la famille des phyllosilicates).

Type d'argile	Résistance à sec	Dilatation	Plasticité ou I_p	Limite de liquidité	Sédimentation
argile sa- blonneuse	faible à grande	lente à nulle	moyenne	-	30 s à plusieurs heures
argile si- teuse	moyenne à grande	lente à nulle	moyenne		15 mm à plusieurs heures
argile	grande à grande	nulle	grande		heures à jours
Kaolinite	très gran- de	nulle	$I_p = 7$	$W = 30$	60 mm

La première partie de ce tableau sert essentiellement à distinguer l'argile du silt, tandis que la deuxième est spécifique à l'argile pure en climat tropical. De par ses médiocres qualités en géotechnique, l'argile est très peu utilisée en construction routière. Dans les rares cas où elle est utilisée, on limite volontiers son emploi à la couche de fondation. C'est donc un matériau à proscrire. Néanmoins nous noterons son utilisation au Sahara sur quelques routes revêtues. Son emploi nécessite une mise en oeuvre et une technique bien particulière notamment au compactage. Cette argile, lorsque compactée et bien cylindrée à une humidification n'entraînant pas la liquéfaction accuse des CBR élevés. Il est recommandé dans le cas de chaussées dont les couches de base sont en argile surconsolidée d'utiliser une couche protectrice de sable anticappillaire.

Les terres noires caractéristiques des régions de faible pluviosité sont

très répandues en Afrique et plus particulièrement au Sénégal. On les classe comme formation pédogénétique. Cette formation surviendrait au cours d'un phénomène rhéoxistasiqne caractérisée par une altération sur place des roches sous-jacentes à une époque précédente beaucoup plus humide.

À côté de ses sols on peut citer les marécages et cela dans le cadre de la géotechnique. Ce sont des zones saturées ou presque sursaturées en eau, couvertes ou pas de végétation de mangrove. Ces formations sont fréquentes sur les littoraux et peuvent être très riches en matière organiques. Ils ne peuvent supporter que des ouvrages mineurs et le plus souvent il faut les remplacer par du matériau d'apport.

On rencontre au Sénégal les sables argileux et argiles sableuses organiques des fonds de dépressions datant du quaternaire récent à actuel, la zone des Niayes, les sables argileux et argiles sableuses supra-basaltiques du quaternaire récent, les marécages de la Casamance, les argiles et marnes de la Prison (Eocène inférieur), les marnes de la pou-drière (Eocène moyen) et les marnes et marno-calcaire des Madeleines du Paléocène.

En saison sèche ces terres noires présentent de grandes fissures un peu larges et très profondes.

Une addition de chaux, de ciment ou de liant hydrocarboné réduit leur très grande plasticité et permet éventuellement leur utilisation en couche de fondation.

2.5 La latérite

 Du mot latin *later* qui veut dire brique.

C'est l'un des matériaux les plus répandus en Afrique et certains auteurs et praticiens trouvent en elle la chance de l'Afrique en matière de matériau de construction routière. Mais si elle représente la chance de l'Afrique, il reste que la latérite, vue sa diversité de forme, est un des matériaux les plus complexes, parce que le moins connu. En effet la formation de la latérite a fait l'objet de plusieurs études et il est intéressant de voir que les résultats obtenus sur le phénomène de latérisation ne sont pas contradictoires. Cependant d'aucuns se demandent si c'est une roche ou un sol.

Buchanau, géologue anglais aurait été le premier à la découvrir en Inde en 1807 et il en donne la description suivante :

"C'est un des meilleurs matériaux de construction rempli de cavités et de pores possédant de grandes quantités de fer, de coloration rouge jaune. L'intérieur du matériau s'il est à l'abri de l'air est si tendre que tout instrument métallique le coupe. Aussi s'il est taillé à la forme voulue, la masse devient aussi dure qu'une brique et résiste à l'eau et à l'air, bien mieux que toute autre brique que j'ai vue aux Indes."

Bien que cette description ne présente plus qu'un intérêt historique, elle aura le mérite de permettre à beaucoup d'ingénieurs de faciliter leur tâche dans la prospection de cette fameuse pierre.

Quand certains géologues la définissent par le rapport de la silice sur les oxydes de fer, d'autres proposent le rapport silice sur ses oxydes de fer et d'aluminium. Ce rapport désigné par la lettre L, serait selon certains une mesure de l'évolution de la latérisation. On en déduirait les conclusions suivantes :

$$L = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

- Si L > 2 on a un sol non latéritique
- 1,33 < L < 2 roche latéritique
- L < 1,33 vraie latérite.

Le phénomène de latérisation est dû à une influence externe du climat sur l'intempérisme. En région tropicale il y a un phénomène d'hydroyse poussé, des ions métalliques remplacent l'aluminium dans la structure de la kaolinite et on assiste alors au processus de latérisation. Cette latérisation s'accompagne souvent selon certains auteurs d'une formation de cuirasse ferrugineuse très dure produite par le lessivage de la silice ; le changement d'état du fer donnant la couleur rouge : c'est le phénomène de rubéfaction.

Cette formation de carapace nécessiterait les états suivants :

- climat sec ou désertique ; altération de la roche mère et accumulation de blocs résiduels en surface ;
- climat humide ; poursuite de cette altération et érosion de la

de matériaux fins au-dessus des blocs ; les termitières remontent avec leur matériel de termitières paraissent contribuer à ce processus

- climat sec ; il y a cimentation de ces divers horizons par une imprégnation ferrugineuse.

Ainsi on pourrait penser que la formation de la cuirasse latéritique nécessite un climat chaud, alternativement humide et sec.

Si les termitières paraissent contribuer à ce phénomène pour beaucoup de géologues, pour d'autres elles représentent l'élément essentiel, le moteur même du cuirassement. Ce sont les élèves de l'École de la Biogéochimie ayant à leur tête ERHART Directeur Scientifique au C N R S de Paris en France. Nous lui empruntons volontiers ce paragraphe consacré à la formation de la cuirasse latéritique.

"Les latérites alluvionnaires rouges marquent une étape de très grande dénudation, véritable période rhéxistastique au cours de laquelle tout le manteau latéritique a été intégralement remanié. Ces dépôts de latérites rouges présentent très souvent un aspect de roche vacuolaire très dures, désignée sous le terme de cuirasse latéritique. Ces cuirasses ferrugineuses sont très souvent d'anciennes constructions termitiques hypogées, édifiées à une époque où il y avait encore assez d'humidité dans le sol et où la production végétale était encore suffisante pour alimenter les termites en cellulose. Une désertification progressive devait nécessairement faire succomber la faune des termites et provoquer l'arrêt dans la construction de leurs citadelles".

En illustration du phénomène de latéritisation nous donnons cette coupe géologique.

.../...

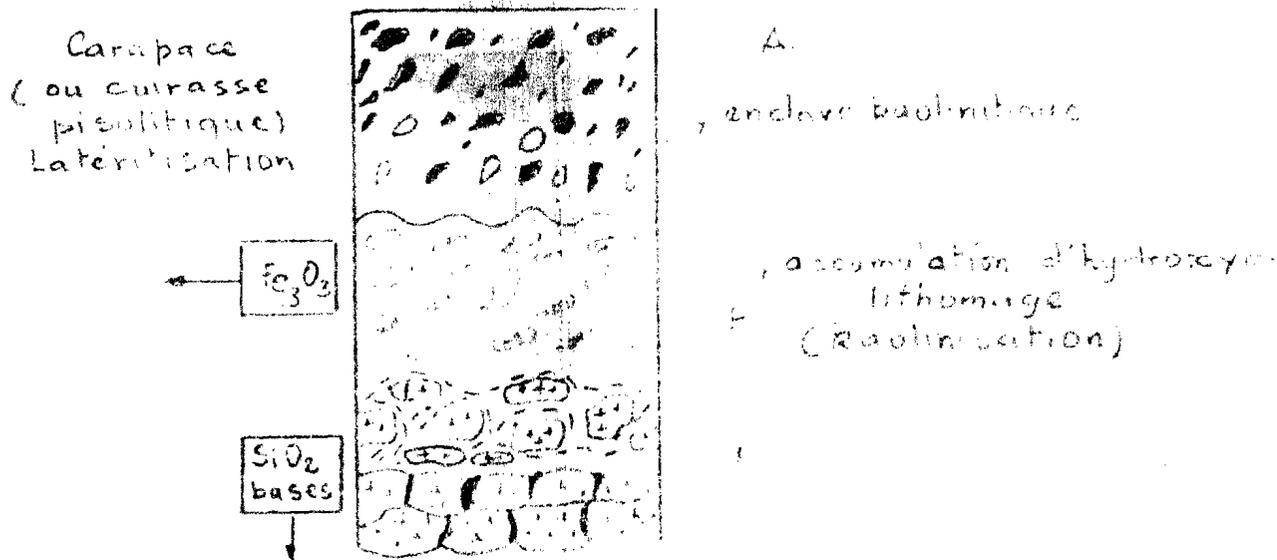


Fig 1.1 : Coupe géologique illustrant le phénomène de latérisation selon PH. DUCHAUFOR

Partie supérieure A ou carapace horizon induré à concrétions ferrugineuses et enclaves kaoliniques. Partie moyenne ou lithomage horizon B argiles gris jaunâtre à tâches roses principalement constituées de kaolinite. Partie inférieure horizon E roches mères en décomposition montrant des boules de roches intactes entourées d'une gaine de kaolinite.

En général le fer peut migrer latéralement ; la silice et les bases sont lessivées latéralement et en profondeur. Les basaltes sont parmi les roches les plus favorables à la ferralitisation.

Cette rupture d'équilibre biologique qu'est la rhéoxistase porte à croire que les formations rencontrées dans la région de Thiès sont actuellement stables sinon le seront encore pour plusieurs années. En effet ce phénomène a une idée de fixité et de stabilité. Aussi passerait-on que cette latérite n'est qu'un simple résidu de la phase résiduelle d'un sol tropical ancien.

Cette formation désignée généralement sous le terme d'argile latéritique serait composée de kaolinite, d'hydroxydes de fer et d'hydroxydes d'alumine. Tandis que les vraies latérites gonflent moins que l'argile en présence d'eau, cette argile latéritique est très sensible à l'eau. Type de formation de sol des climats tropicaux, la latérite passe ainsi pour le matériau le plus répandu en Afrique. On la trouve en gîte peu profonde sous une végétation de quinquéliba et d'arbres à épines communément connus au Sénégal sous le nom de "dassi".

Son utilisation comme matériau routier nécessite les dispositions particulières que nous verrons à la dernière partie de cette étude.

2. 6 Autres matériaux

Nous mentionnerons au passage certains types de sols qui ont été utilisés en Afrique dans la construction routière, mais dont l'application n'est pas très répandue. Nous citerons entre autres les sols gypseux et les sols fins.

a) - Les sols gypseux

Ce sont des formations typiquement désertiques que l'on trouve au Sud-Ouest de la Mauritanie. Leur utilisation est plus fréquente au Sahara Oriental. Le gypse peut se présenter sous forme de fer de lance à texture vitreuse ou sous forme durcie appelée tinchent. Sous ces deux formes, le gypse n'est pas utilisable en construction routière. Seuls les sables gypseux peuvent être employés. Ces sables ont la propriété d'acquiescer une bonne cohésion lorsque compactés et séchés mais il est à déplorer que le phénomène soit réversible. En effet, lorsque humidifié, ce sable gypseux retrouve ses propriétés premières. Dès lors son utilisation sera uniquement limitée aux pays désertiques. On n'est pas encore arrivé à les imprégner au cut-back ; on remplace alors l'imprégnation par un simple collage au cut-back visqueux. En général ce matériau est uniquement utilisé en couche de base pour les routes revêtues. On note cependant son utilisation en rechargement au Niger.

b) Les sols et sables fins

On utilise ces sols, là où il y a sous une couche de matériaux graveleux. La banco qui a beaucoup été utilisée en Afrique de l'Ouest est classé

dans cette catégorie. Leur utilisation est généralement limitée à la couche de fondation après un simple compactage et cela lorsqu'ils ont une granulométrie étalée et lorsqu'ils sont non plastiques. Dans les rares cas où ils sont utilisés en couche de base, ils sont améliorés par une stabilisation au bitume pur, au cut-back ou au ciment. Dans cette stabilisation on peut aussi utiliser les émulsions de bitume. Toujours dans cette famille de sol routier, nous distinguons les sables de dunes, fréquents en zone tropicale caractérisés par une granularité resserrée et une plasticité nulle (l'après le manuel sur les routes dans les zones tropicales et désertiques) et les matériaux silico-sableux qui ont généralement une mauvaise tenue en saison sèche.

Ainsi l'utilisation des matériaux sableux en construction routière demande une profonde analyse et une technique particulière que nous verrons dans la deuxième partie.

Nous ne terminerons pas cette partie de notre étude sans citer quelques matériaux dont l'application commence à voir le jour en construction routière au Sénégal. Dans ce même paragraphe nous mentionnerons l'existence en abondance d'un autre matériau dont l'éventuelle utilisation en construction routière mérite d'être étudiée. Nous distinguerons entre autres la pierre ou résidu de Lam-Lam et le silex ou résidu de Taïba.

2. 7 Résidu de Lam-Lam

Ce résidu vue ces dimensions de grains peut être classé dans la catégorie des sables de concassage. Il provient des phosphates d'alumine de la mine de Lam-Lam et se présente sous forme de granules arrondis n'excèdent guère le centimètre. Sa résistance doit être élevée puisque provenant d'un matériau passé au four ; le caractère réfractaire devant nécessairement être obtenu. Ce sable de couleur blanchâtre se prêterait à la couche de fondation. Il pourrait aussi être utilisé comme matériau d'apport pour remplacer la vase. Le comportement à l'eau n'étant pas encore été étudié, toute conclusion serait certainement hâtive. Toutefois nous noterons que la bretelle usine Lam-Lam route nationale n° 2 au Sénégal est faite de ce matériau.

2. 8 Le silex de Taïba

C'est un matériau provenant de la mine de Taïba ; ce n'est pas un résidu mais il se trouve en gros morceaux dans la mine entouré de phosphates. Pendant l'exploitation lors du débouçage, une opération est faite et ces morceaux de **silex** sont mis à terrils. Véritables montagnes artificielles à nos jours, ces terrils vont bientôt passer pour le point culminant du Sénégal. Dès lors l'abondance de ce matériau à cet endroit précis n'est plus à démontrer.

Mais est-il un matériau favorable pour la construction routière au Sénégal ? la réponse à cette question dépend de plusieurs facteurs que nous allons essayer d'énumérer ici :

- le concassage du fait de la dureté du silex deviendrait très honéreux et rendrait certainement le concassé moins compétitif devant la latérite déjà très abondante.

- d'aucuns pensent que la chaussée obtenue ne serait pas praticable car le silex très tranchant userait trop vite les pneumatiques ^{ca} qui n'est pas très exact car aux Etats Unis beaucoup de routes sont actuellement construites avec comme matériau des débris de verre ; la difficulté résidant sans doute dans la préparation de l'enrobé ;

- vue sa stabilité, sa dureté, le silex accusera certainement un bon Dewal et un bon CBR.

Ainsi la nécessité d'utilisation de ce matériau dépendra surtout de conditions économiques.

Avant de mettre un terme à ce premier chapitre, nous donnons une classification des matériaux basée sur l'acidité ou la basicité. Cette classification pourrait être très utile quand on veut utiliser comme liant une émulsion de bitume.

- roche basique : calcite, marbre, calcaire, basalte.
- roche mixte : grès, porphyre, (certains grès)
- roche acide : granite, silex, quartzite, porphyre.

III- DIMENSIONNEMENT ET TECHNIQUES D'EXECUTION

3.1 Dimensionnement

Toutes les méthodes de dimensionnement déjà mises au point tiennent compte de la résistance au poinçonnement c'est-à-dire de l'indice portance californien (CBR = californian bearing ratio).

Depuis longtemps, celles utilisées en Afrique se bornaient à considérer uniquement le C.B.R. et l'intensité du trafic. Actuellement de nouvelles méthodes certes plus complètes prennent en considération en plus de l'indice C.B.R., l'effet de la répétition des charges et les équivalences entre axes.

De nouvelles solutions au problème de dimensionnement ne cessent de naître tous les jours. Aussi les méthodes sont-elles très nombreuses. Cependant on peut distinguer arbitrairement trois groupes de méthodes.

a) Les méthodes théoriques assimilant la chaussée à un édifice où l'on peut appliquer les théories élastiques ; ces méthodes sont peu utilisées en pratique mais souvent en laboratoire pour fin de recherche et ne s'appliquent que pour des charges statiques.

b) Les méthodes semi-empiriques combinant les résultats des études théoriques et des essais et les constatations faites sur des routes déjà existantes ;

c) Les méthodes empiriques qui se bornent à faire une correspondance entre une classification de sol et un type de chaussée ; elles ignorent complètement les résultats de la mécanique (méthode de l'aviation civile Américaine).

Le deuxième groupe de méthodes est certes le plus connu et le plus répandu dans le monde entier. Aussi les méthodes qui seront exposées appartiendront-elles à ce groupe.

En effet, en Afrique depuis la période coloniale, on a utilisée la méthode dite méthode C.B.R. Avec l'évolution de ces pays et des sciences, et l'apparition des nouvelles méthodes, on a tenté une utilisation d'une nouvelle méthode dite de Shock et Finn complétée par Lillie pour tenir compte de certains facteurs. Nous n'exposerons ci-après ici que la méthode C.B.R. et la méthode de Shock Finn-Lillie.

3.11 Épaisseurs des corps de chaussée

a) Méthode C B R

Cette méthode est basée uniquement sur la résistance au poinçonnement et sur l'intensité du trafic. Elle a été créée par la "California Division of Highways" et s'appuie sur l'essai "California Bearing Ratio". L'expérience acquise a permis de constituer des abaques fournissant l'épaisseur du matériau d'apport au-dessus d'un sol de C.B.R. donné, en fonction des charges mobiles. Nous donnons ci-dessous deux abaques de ce genre : celui du "Corps of Engineers U.S. Army" (fig 3.1) et celui du "Road Research Laboratory" (fig 3.2).

Pour l'abaque de la figure 3.1 l'ensemble couche de base + revêtement doit rester au-dessus d'un certain minimum. Ce minimum est obtenu par l'intersection de la courbe relative à la charge sur roue choisie avec la droite AB.

Pour l'abaque de la figure 3.2, l'intensité du trafic donné est celui des poids lourds R. Peltier dans le manuel du Laboratoire Routier, Dunod, Paris propose la formule suivante traduisant le premier abaque avec, une bonne approximation.

$$e = \frac{100 + 150 \sqrt{P}}{I + 5}$$

où

e = épaisseur de la chaussée en centimètres

P = charge maximale par roue en tonnes

I = indice portant CBR

En rassemblant l'expérience africaine sur l'utilisation de cette méthode et en se basant sur l'observation visuelle détaillée du réseau, les nombreux renseignements techniques relatif à la construction, à l'âge, à la déformation des chaussées et à la nature du trafic, le C E B T P propose le tableau suivant donnant les épaisseurs recommandées et un revêtement type en fonction du trafic et du C B R de la plateforme pour la couche de base d'une part et pour la couche de fondation d'autres parts.

.../...

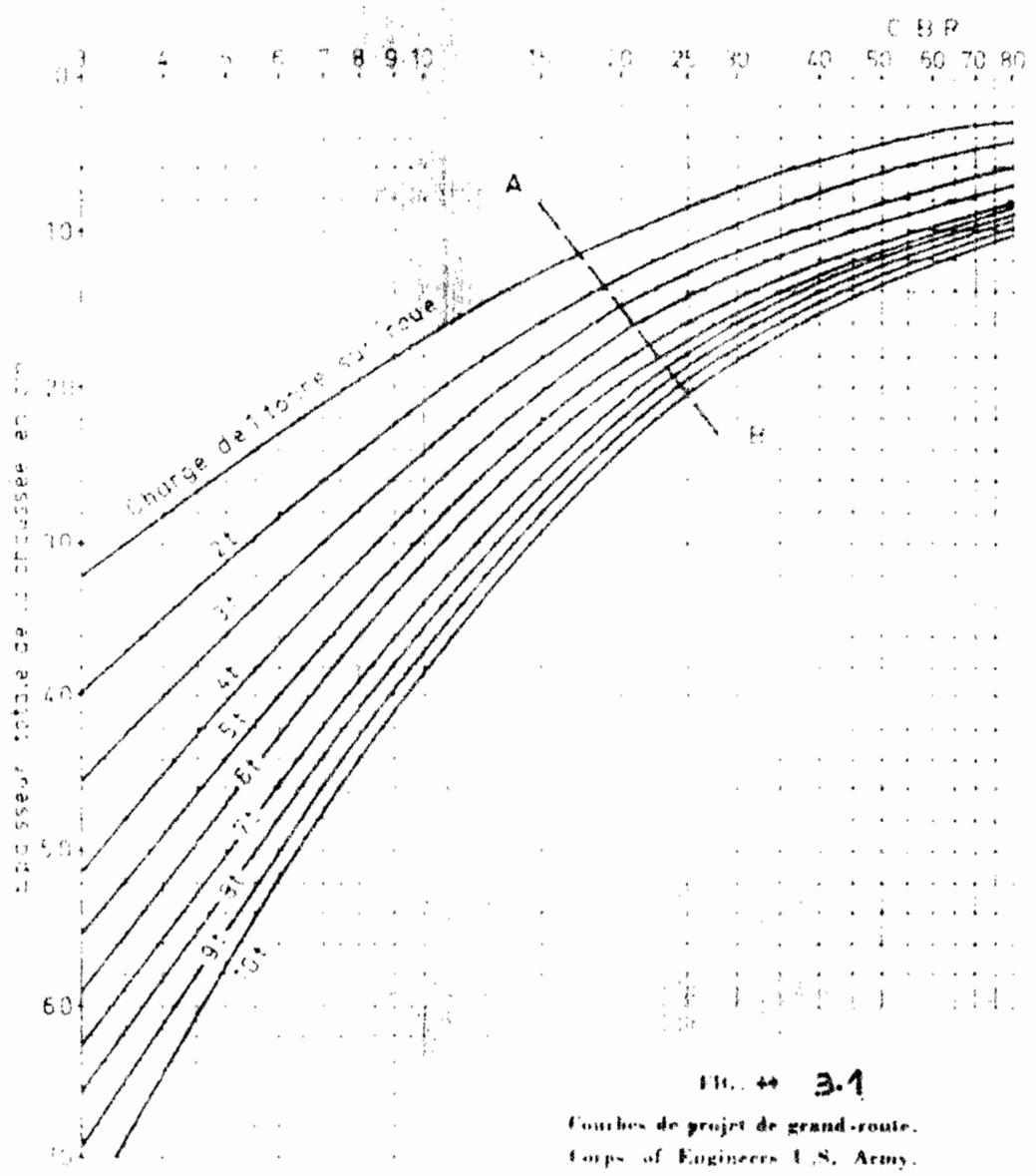
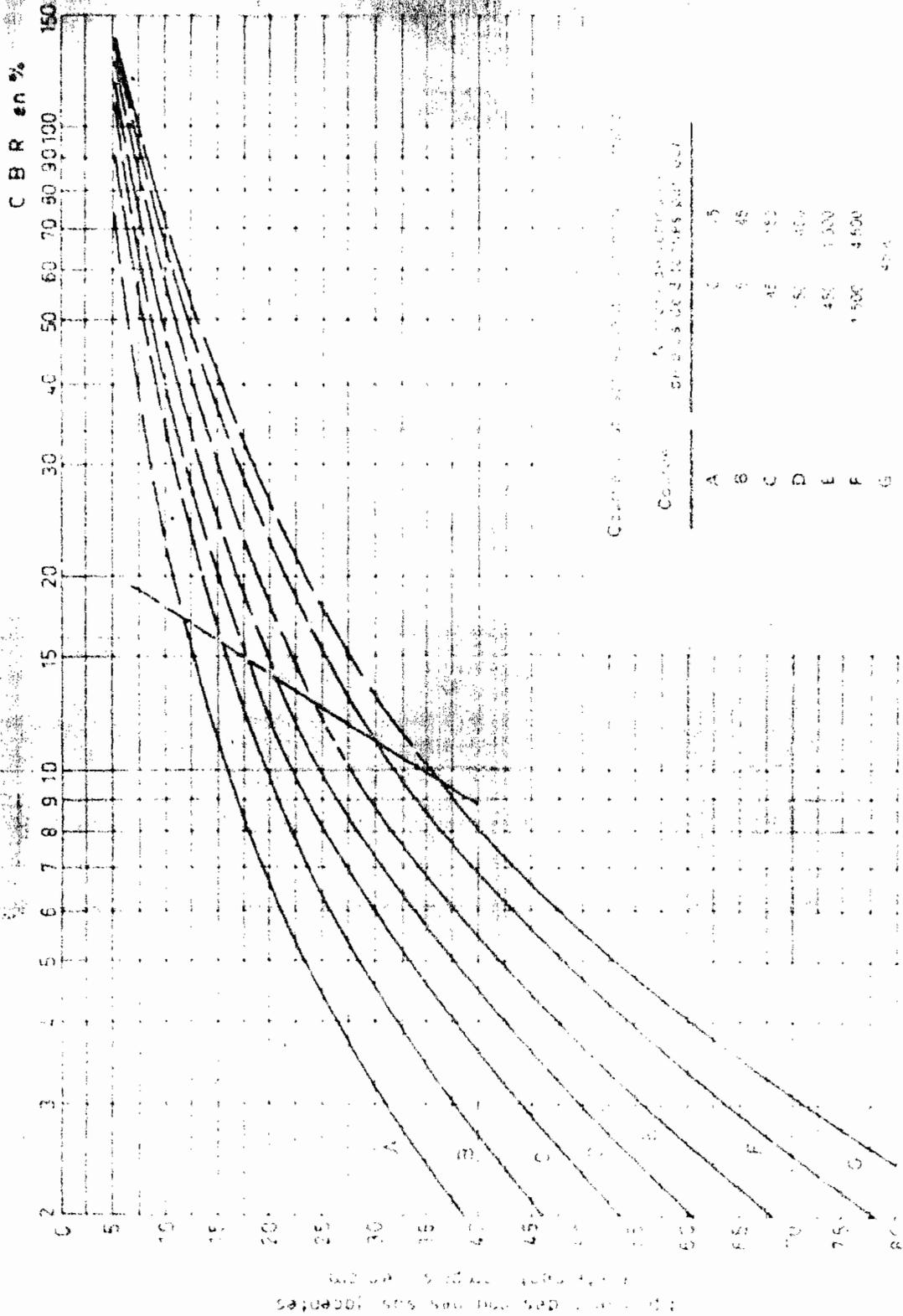


FIG. 3.1

Courbes de projet de grand-route.
Corps of Engineers U.S. Army.

.../...

FIG 3.8 Abaque du Road Research Laboratory



10 - 100 des milles sur 1000es
 1 - 100 des milles sur 1000es

.....

Tableau 3.1

Trafic	T ₁		T ₂		T ₃		T ₄	
CBR Plateforme	Fondation (cm)	Base (cm)	Fondation (cm)	Base (cm)	Fondation (cm)	Base (cm)	Fondation (cm)	Base (cm)
5 - 10	20	15	25	15	25	20	30	20
10 - 15	15	15	20	15	20	20	25	20
15 - 30	10	15	15	15	15	20	20	20
30 - 80	0	15	0	15	0	20	0	20
80	0	0	0	0	0	0	0	0
Revêtement (épaisseur moyenne)	Type I (2cm)		Type II (3cm)		Type III (4cm)		Type IV (5cm)	

T₁, T₂, T₃, T₄ sont des classes d'intensité de trafic définies des deux manières suivantes.

1) La classe de trafic est exprimée par le nombre cumulé de poids lourds circulant sur toute la largeur de la chaussée pour une durée de vie probable de 15 ans. Le poids lourd est défini comme étant un véhicule d'un poids total en charge supérieur à 3 tonnes.

2) Si le pourcentage d'essieux chargés à plus de 13 tonnes dépasse 10 % les classes prises en considérations seront les suivantes.

T₁ = 100 à 300 véhicules /jour

T₂ = 300 à 1000 véhicules/jour

T₃ = 1000 à 3000 véhicules/jour

T₄ = 3000 à 6000 véhicules/jour

Dans cela on suppose que la durée de vie est de l'ordre de 10 ans et que la proportion de poids lourds est de l'ordre de 40 %.

Si on exprime le trafic en nombre cumulé de poids lourds, on a les classes suivantes :

T₁ = 10⁵ à 5 x 10⁵ de poids lourds



$T_2 = 5 \times 10^5$ à 1.5×10^6 de poids lourds

$T_3 = 1.5 \times 10^6$ à 4×10^6 de poids lourds

$T_4 = 4 \times 10^6$ à 10^7 de poids lourds

L'abaque de la figure 3.3 permet de calculer le cumul de poids lourds connaissant le trafic journalier de poids lourds, la durée de vie de la route à construire et le taux d'accroissement du trafic.

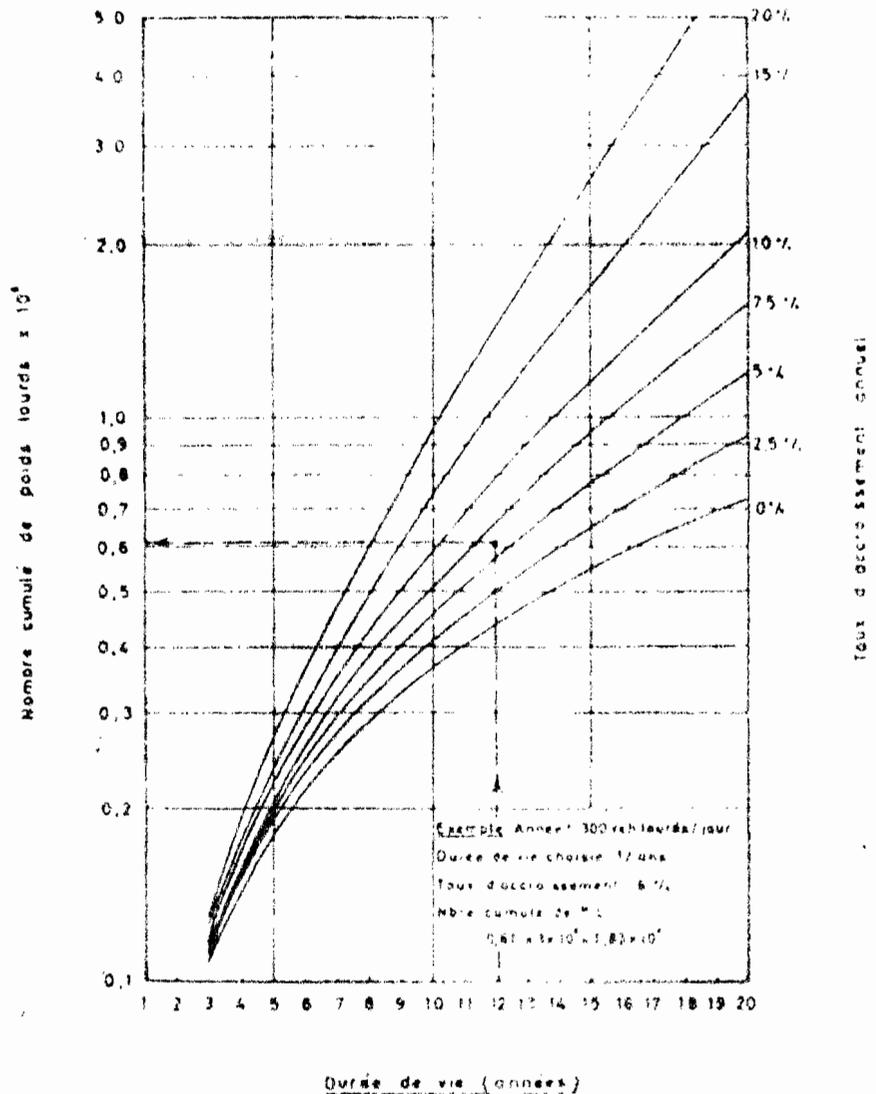


FIG 3.3

Relation entre le nombre cumulé de poids lourds, la durée de vie et le taux d'accroissement annuel de la circulation pour une intensité moyenne du trafic correspondant à 100 véh lourds/jour pendant la première année de mise en service

Les formules recommandées pour les types de revêtement sont les suivantes.

Tableau 3.2

Type	Formule recommandée	Variante
Type I	Monocouche sablé puis monocouche d'entretien	3 cm de sand asphalt ou 2.5
Type II	Bicouche sablé puis monocouche d'entretien	3.5 cm de sand asphalt ou 3 cm enrobés denses
Type III	Bicouche sablé puis 2.5 cm d'enrobés denses	4 cm enrobés denses
	Bicouche sablé puis 3 cm d'enrobés d'entretien	5 cm enrobés denses

Cette méthode C B R très ancienne du reste élargie à formule dérivée proposée par le C E B T P présente les avantages suivants :

- la méthode est très simple et pratique d'utilisation ; en effet le dimensionnement d'une chaussée est très rapide et permet une très grande économie de temps quant à la conception ;
- les fourchettes de portance C B R permettent de ne pas attacher trop d'importance à des degrés de précision illusoire sur la détermination des valeurs de C B R ;
- la chaussée est dimensionnée pour une durée de vie déterminée (15 ans) ce qui permet de faire un planning d'entretien ou de renforcement ;
- la formule dérivée du C B R proposée par le C E B T P pour les pays tropicaux tient compte du comportement des chaussées africaines sous l'influence du trafic particulier à l'Afrique.

Mais si cette méthode présente beaucoup d'avantages, il n'en reste pas moins qu'elle revêt certaines lacunes majeures qui font sa faiblesse.

En effet :

- La méthode ne tient pas compte des véhicules légers et partant de l'équivalence du trafic ; cependant l'action répétée du trafic léger pour une durée de vie de 15 ans a sans doute une ^{ci}indice sur le comportement de la structure de la chaussée; c'est ainsi que certaines se détériorent bien avant leur limite de durée de vie ; dès lors on procède sur ces chaussées à des interventions d'entretien ou de renforcement prématurées.

- la méthode CBR traduite par l'abaque de la figure 3.1 (abaque du Corps Of Engineers U.S Army) ne tient pas compte de l'effet de répétition de la charge ; or il est évident que la répétition des charges sur une structure est d'une grande importance vis à vis ^{de}certains états de matériaux (fatigue) ;

- la méthode CBR ancienne ne tient pas compte du contexte climatique alors que certains matériaux évoluent sous l'effet des agents météoriques ;

- Elle ne tient pas compte de la nature des matériaux utilisés ; cependant suivant la nature du matériau, on aura tendance à augmenter l'épaisseur d'une couche plutôt que celle d'une autre.

- Pour la formule proposée par le C E B T P certaines fourchettes dans l'évaluation du trafic lourd sont très larges à telle enseigne que l'on peut sous-dimensionner la chaussée ; en effet d'après cette formule nous avons les mêmes dimensions pour un trafic de 5 millions de poids lourds et pour un autre de 10 millions de poids lourds en considérant un même CBR de la plateforme (référence T classe de trafic T_4).

Le souci principal de tout ingénieur étant de construire économiquement dans la sécurité, cette méthode ne présentant ni des conditions économiques, ni des conditions de sécurité tend à disparaître peu à peu en Afrique au profit de nouvelles méthodes de dimensionnement.

b) Méthode de Shook et Finn de l'Asphalt Institute

Cette méthode est essentiellement basée sur les résultats de l'essai A A S H O (American Association States Of Highways Officials).

Avant d'aborder cette méthode nous allons donner la contribution de l'essai, contribution dans laquelle nous définirons certains facteurs utilisés par Shook et Finn. Nous indiquerons au passage comment déterminer l'essieu simple ou l'essieu jumelé à choisir en fonction du trafic journalier du taux d'évolution de celui-ci et de la durée de vie choisie du projet.

b, Composition du trafic

On entend par composition du trafic, la distribution du nombre de répétitions de passages selon les charges supportées par ces essieux. Une étude statistique montre que pour N véhicules on a 1,96 N essieux simples et 0,28 N essieux jumelés y compris l'essieu avant. On prend ensuite pour acquis que seulement un dixième de ces essieux sont utilitaires. Si l'on ne dispose que du trafic moyen journalier (N) on procède de la manière suivante pour déterminer la composition du trafic :

1) Si T est la durée de vie de la chaussée et k le taux d'évolution du trafic, le nombre total de passage de véhicules à considérer pour une route de deux ou trois voies sera :

$$n = \frac{1}{2} K N T$$

2) Le nombre d'essieux simples de véhicules utilitaires sera :

$$n_1 = 1.96 \times 0.10 \times n$$

3) Le nombre d'essieux jumelés de véhicules utilitaires sera :

$$n_2 = 0.28 \times 0.10 \times n$$

4) Le tableau suivant donne le nombre de passages des essieux en fonction du poids.

.../...

Tableau 3.3 Nombre de passages des essieux en fonction du poids

Charge	Essieux jumelés (1)	Essieux simples (2)
0,5 - 1,5	0,22	2,56
1,5 - 2,5	2,51	8,37
2,5 - 3,5	6,64	11,05
3,5 - 4,5	5,24	14,67
4,5 - 5,5	3,25	15,28
5,5 - 6,5	3,75	10,29
6,5 - 7,5	6,16	7,16
7,5 - 8,5	14,02	4,06
8,5 - 9,5	21,81	2,66
9,5 - 10,5	21,26	2,67
10,5 - 11,5	9,56	4,19
11,5 - 12,5	3,06	5,74
12,5 - 13,5	1,66	6,59
13,5 - 14,5	0,37	2,38
14,5 - 15,5	0,11	1,25
15,5 - 16,5	0,07	0,6
16,5 - 17,5	0,30	0,37
17,5 - 18,5	-	0,11
18,5 - 19,5	-	0,04
19,5	-	0,06

.../...

b₂) Contribution de l'essai A A S H O

L'indice de viabilité

Cet indice n'est autre qu'une appréciation de la chaussée. Il est obtenu à partir d'une étude statistique des différentes notes données par un échantillon d'usagers. Nous donnons au tableau suivant les différentes notes et appréciations correspondantes retenues.

Tableau 3.4

indice de viabilité ou note	cotation
0 - 1	très mauvaise
1 - 2	mauvaise
2 - 3	passable
2.5	acceptable
3 - 4	bonne
4 - 5	très bonne

On remarquera que cet indice dépend du trafic écoulé depuis l'origine ce qui fait sa faiblesse. Il dépend essentiellement de certaines anomalies du profil longitudinal et transversal, de détériorations de surface (fissuration, réparation antérieure) survenues après la mise en service de la route.

Relation d'équivalence - trafic équivalent

Nous définirons l'épaisseur H de la chaussée comme étant une fonction du poids de l'essieu P et de son nombre de passage N.

On aura alors $H = f(P, N)$

- soient : 1 essieu de poids P₁ passant N₁ fois
- 1 essieu de poids P₂ passant P₂ fois

Ces deux essieux de poids différents sont dits équivalents si :

$$f(P_1, N_1) = f(P_2, N_2)$$

Cette équivalence pour être générale doit être indépendante du nombre de passage de chaque essieu, c'est-à-dire $f(P_1, \lambda N_1) = f(P_2, \lambda N_2)$

Si cette relation d'indépendance est vérifiée alors on pourra dire que :
 Une application de la charge P_1 est équivalente à $\frac{N_2}{N_1}$ applications de la charge P_2 . Les courbes traduisant les essais A A S H O vérifient cette relation d'équivalence car elles sont comme attendues des courbes de translation en diagramme semi-logarithmique. Néanmoins certains essieux moins chargés (43 tonnes) s'écartent de la règle. Ceci permet d'avancer que l'épaisseur de la chaussée est une fonction linéaire du logarithme du nombre de chargement $H = f(\log N)$

Mais en parlant d'épaisseur on peut faire une corrélation avec l'usure de la chaussée. Ainsi selon l'essai A A S H O on dit qu'un passage de l'essieu L est "équivalent" à $\frac{W_{18}}{W_L}$ passage de l'essieu L_{18} si ces deux charges provoquent la même usure de chaussée. L_{18} est la charge de 18 kips W représente le nombre de passages. Le rapport W_{18}/W_L désigné par F_L est appelé facteur de charge relatif à l'essieu L.

Nous donnons à la figure suivante un graphique que nous empruntons à R L'HERMINIER, donnant ce facteur de charge F_L en fonction de la charge d'essieu (en ordonnée)

Epaisseur équivalente

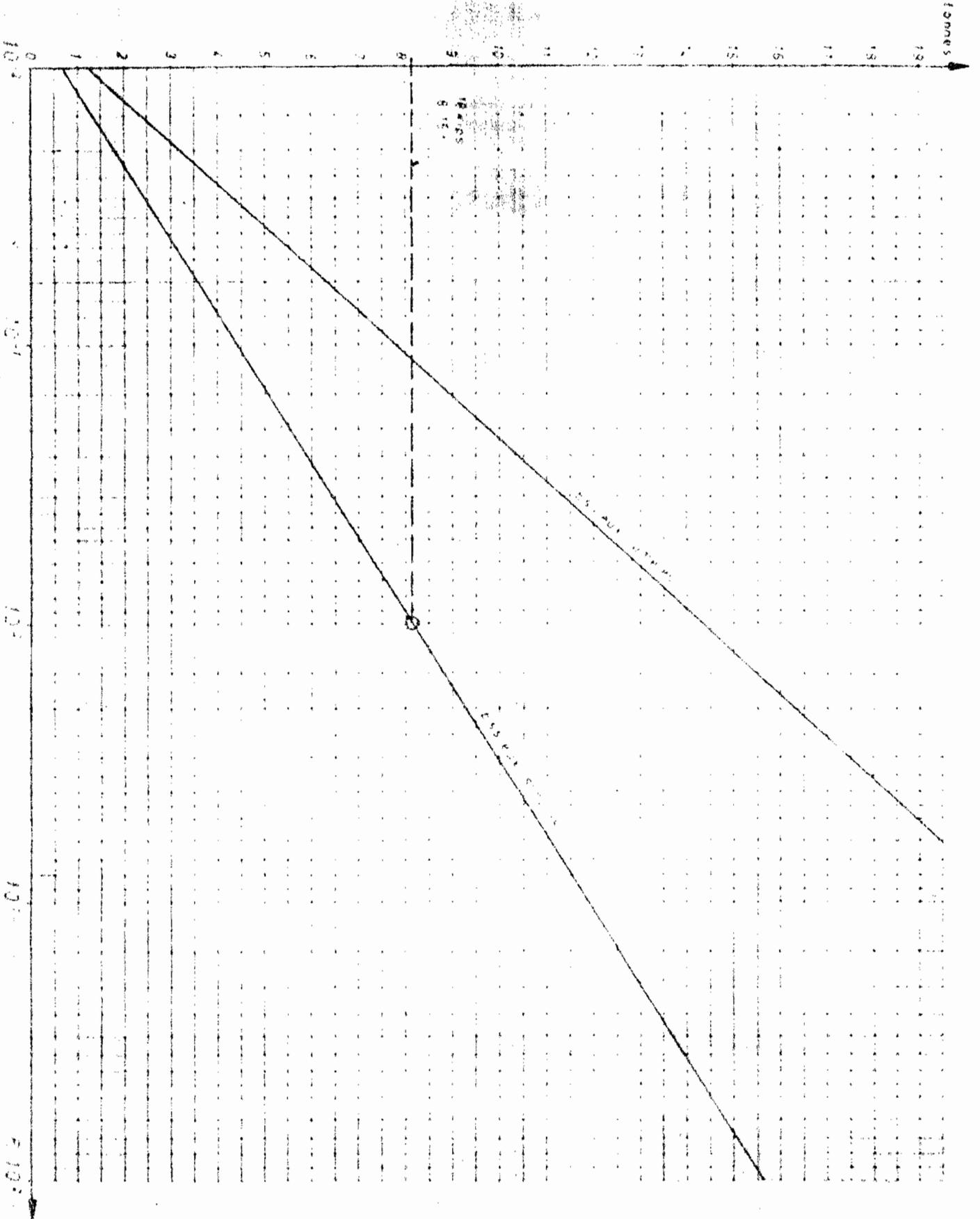
Le C B R du sol naturel de l'essai A A S H O est de 2.5. Le corps de chaussée est composée de trois couches, une couche de surface d'épaisseur D_1 en béton bitumeux, une couche de base d'épaisseur D_2 en calcaire et une couche de fondation d'épaisseur D_3 en sables et graviers. Il s'agit de trouver une relation entre ces trois épaisseurs tenant compte du trafic relatif à un essieu donné qui fait passer l'indice de viabilité de sa valeur initiale à la valeur 2.5, valeur limite d'acceptation de la chaussée. La forme linéaire a été retenue et en prenant la couche de base comme matériau de référence, la formule proposée est la suivante :

$$T = a D_1 + D_2 + C D_3$$

où T est appelée épaisseur équivalente

L'analyse statistique des essais A A S H O a montré la validité de cette forme linéaire et a permis en plus d'obtenir la valeur des coefficients

FIG. 3.7 - Facteur de charge γ



.../...

a et C

$$D'ou \quad T = 2D_1 + D_2 + 0.75 D_3$$

b₃ Méthode de Shook et Finn

James F. Shook et Fred N. Finn en tenant compte d'un facteur de sécurité propose^{nt} la formule suivante :

$$T = -20.5 + 5.53 \log W + 0.669 L_1 + 0.0932 L_1 L_2 \quad (1)$$

où W = nombre d'applications d'une charge L_1 sur essieu simple, exprimée en kips (1000 livres ~~ou~~ 450 kilos)

$L_2 = 0$ pour les essieux simples ; $L_2 = 1$ pour les essieux jumelés.

Considérant deux trafics l'un avec l'essieu simple de 18 kips et l'autre avec un essieu simple de L kips on a :

$$5.53 \log W_{18} + 0.669 \times 18 = 5.53 \log W_1 + 0.669 \times L$$

$$5.53 \log W_{18}/W_L = 0.669 \times (L-18)$$

$$F_L = \frac{W_{18}}{W_L} = 10^{0.121} (L-18) \quad (2)$$

La formule (2) permet de tracer la courbe W_2 en fonction de FL, courbe donnée à la figure 3.4. Pour un essieu jumelé, on trouvera qu'elle est équivalente à une charge de $L' = 1.14 L$ sur essieu simple.

Shook et Finn propose^{nt} pour un sol ayant un C B R différent de 2.5 la relation suivante :

$$T = -20.5 + 5.53 \log W + 0.669L + 0.0932 \frac{L L_1}{1.2} \times \left(\frac{2.5}{\text{CBR}}\right)^{0.4} \quad (3)$$

Cette relation est exprimée dans un abaque appelé abaque de Shook et Finn que nous donnons à la figure 3.9.

Le calcul des différentes épaisseurs se fera en fixant D_1 et D_2 compte tenu des expériences acquises et des spécifications données par l'administration compétente.

b₄ Contribution de Liddle

Liddle a repris la méthode Shook-Finn en la complétant d'une part par un coefficient dit régional pour tenir compte du contexte climatique et

.../...

d'autres parts par des coefficients spécifiques à la nature des matériaux constituant les différentes couches. Nous ne nous étendrons pas sur cette méthode, mais nous nous bornerons seulement à citer la formule. Nous avons d'après Liddle

$$D = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$$

où D_1, D_2, D_3 sont les mêmes que précédemment

a_1, a_2, a_3 sont donnés dans le tableau 3.5

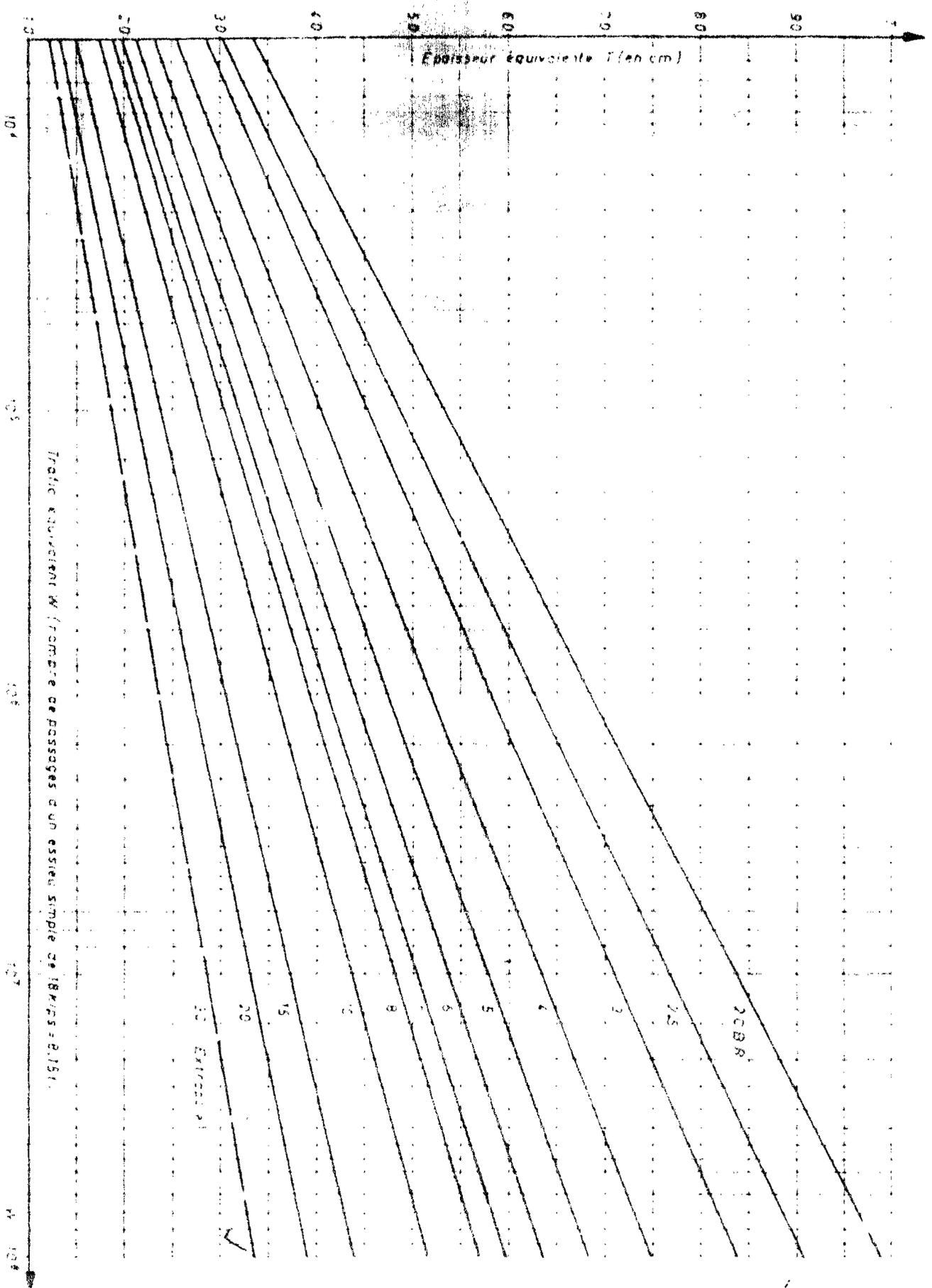
D = indice de structure

L'indice de structure est donné par l'abaque de la figure 3.6. L'indice de structure donne la valeur de F_2 à partir du tableau 3.6

Revêtement	a_1	a_2	a_3
road mix (enrobés à froid)	0.20		
enrobé de haute stabilité	0.44		
sand asphalt	0.40		
Couche de base			
grave brute		0.07	
concassé		0.14	
grave ciment :			
- résistance à 7 j > 45/cm ²		0.23	
- > 28 -		0.20	
- < 20 -		0.15	
Enrobé :			
- blinder		0.30	
- sand asphalt		0.25	
Fondation			
grave			0.11
sable ou sable argileux			0.05
			0.10

Tableau 3.5 : valeurs de coefficients a_1, a_2, a_3 en fonction de la nature des matériaux.

FIG. 5. Epaisseur équivalente en fonction du trafic équivalent.



Trafic équivalent W (nombre de passages d'un essieu simple de 18k/ax = 2.15t)

Epaisseur équivalente T (en cm)

30 Extraordinaire

20 CBR

25

2

4

5

6

8

12

15

20

30

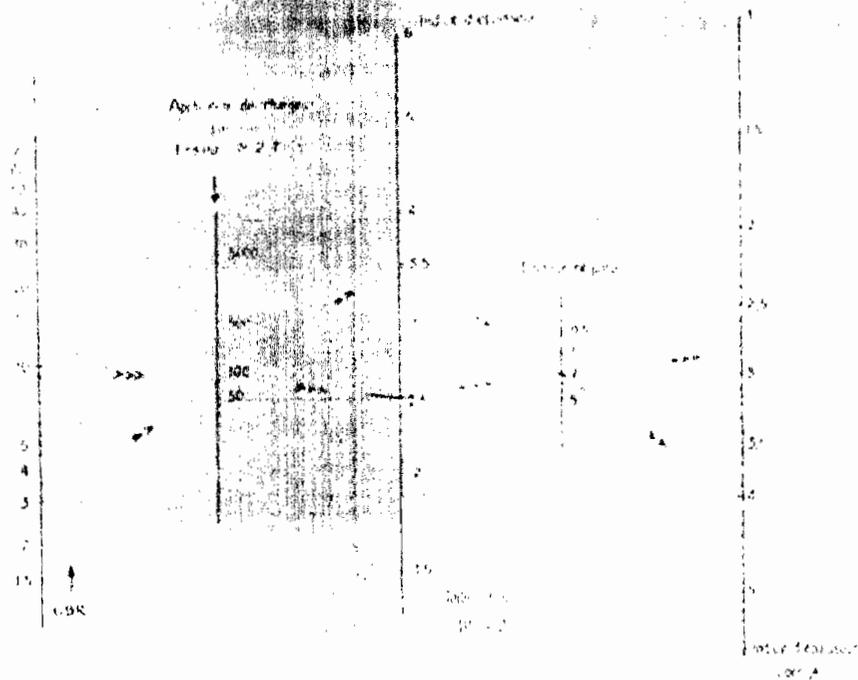


FIG. 3.6 Abaque de l'indice.

Charge	Indice de structure 2	Indice de structure 4	Indice de structure 6
2 kip	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.004	0.003	0.002
10	0.10	0.10	0.08
18	1	1	1
20	2.38	2.09	2.30
26	4.99	3.91	4.48
28	6.98	5.21	5.98
30	9.55	6.83	9.99

Tableau 3.6 : Facteur de charge F_L en fonction de l'indice de structure.

Cette méthode bien que très bien élaborée ne s'adapte pas correctement au contexte africain pour les raisons suivantes :

- Il n'a jamais été procédé en Afrique à des études statistiques du trafic permettant de trouver une relation de répartition du trafic total entre l'essieu simple et l'essieu jumelé comme il en a été le cas en Europe et aux Etats-Unis ;
- Il n'a jamais été procédé en Afrique à des essais de charge de chaussée ;
- Le contexte climatique de l'Europe et de l'Amérique n'est pas le même que celui de l'Afrique d'où une utilisation hasardeuse du coefficient régional ;
- Les matériaux expérimentés pour trouver les coefficients a_1 , a_2 , et a_3 cités plus haut sont rarement utilisés en Afrique parce presque introuvables.

Malgré ces arguments militant contre, cette méthode est utilisée en Afrique et plus particulièrement au Sénégal.

Ainsi, les deux méthodes exposées sont utilisées en Afrique. Dans la plupart des pays francophones d'Afrique on rencontre la méthode dite méthode C E B T P. Certains pays se servent de deux méthodes pour dimensionner leurs chaussées en faisant une moyenne des deux résultats obtenus. C'est le cas du Sénégal où l'administration compétente recommande les méthodes C B R et Liddle.

3.12 Critères et Conditions de mise en oeuvre

Il ne suffit pas de bien dimensionner pour obtenir une bonne chaussée pouvant atteindre sans trop de détériorations la durée de vie escomptée. D'autres facteurs entrent en jeu quant à la bonne tenue d'une route. Il s'agit des critères techniques que doivent remplir les matériaux et les conditions de mise en oeuvre que l'on doit respecter en les manipulant. Ces critères et conditions sont généralement fonction du matériau. Aussi, sont-ils nombreux et différents. Dans cet exposé, nous ne donnerons que ceux concernant les graves latéritiques parce qu'étant les matériaux les plus abondants en Afrique tropicale et équatoriale. Le C E B T P réunissant les expériences africaines, donne dans son manuel intitulé Manuel de dimensionnement de chaussées pour les pays tropicaux. Octobre 1972 les

spécifications que nous rassemblons dans le tableau 3.7. Ces spécifications concernent les graves latéritiques ; cependant ceux concernant la plateforme sont générales.

Les valeurs apparaissant au tableau sont généralement les moyennes des valeurs déjà utilisées dans plusieurs pays africains. Aussi, il n'est pas rare de rencontrer dans un pays donné, des spécifications différentes, non pas parce que celles recommandées sont jugées insuffisantes, mais parce qu'elles sont difficiles à atteindre avec le matériau en place et le contexte climatique qui prévaut. En guise d'exemple nous donnons au tableau 3. B, celles retenues au Gabon.

Généralement, on prendra pour acquis en couche de fondation un C B R \geq 30 et en couche de base un C B R \geq 80.

.../...

SPECIFICATIONS RECOMMANDEES PAR LE MANUEL DE DIMENSIONNEMENT DU C E B T P POUR LES PAYS TROPICAUX

Ces spécifications concernent les différentes qualités de matériaux requises par les différentes couches du corps de chaussée.

Couche	WL	IP	CBR	W de compactage	W de poinçonnement	degré de compactage	% de fines	Dureté Los Angeles	Gonflement linéaire mesuré dans le moule CBR	densité sèche
plateforme	≤ 70	≤ 40	> 5	± 1% + WO PM	Après 4 j d' imbibition	95% PM			< 3 %	-
Formation	≤ 50	≤ 25	≥ 30*		Après 4 jours	97% PM			≤ 1 %	≥ 1.90 T/m ³
Couche de base	≤ 35	≤ 15	≥ 80	W Opt	4 jours	100% PM	< 40 %	< 50	≤ 0.3 %	> 2.00 T/m ³

* C'est le critère principal

- Les valeurs soulignées sont à titre indicatif et dans le cas d'une étude générale.

Tableau : 3.7

Tableau 3.8 : spécifications retenues au Gabon

Spécifications	Couche de fondation	Couche de base
I P	inférieur à 35	inférieur à 30
% de fines	inférieur à 35	inférieur à 25 - 30
Densité max.		
Proctor modifié	supérieur à $1.90 \frac{t}{m^3}$	supérieur à $2t/m^3$
C B R (labo, WOPM 95 % d max et 4 jours d'immersion)	supérieur à 25	supérieur à 60 (minimum pour 95 % de l'OPM, on cherche alors à atteindre 100 % de l'OPM)

Il arrive fréquemment que l'on ne puisse pas respecter ces spécifications compte tenu de la rareté des matériaux et des difficultés financières que l'on a à satisfaire aux conditions de portance minimale. Dans de tel cas, on soignera le drainage et on réalisera au mieux des chaussées particulièrement souple dont l'épaisseur de fondation sera supérieure de 15 cm aux épaisseurs indiquées dans le tableau 3.1 (selon le C E B T P). Dans certains cas où l'on ne peut pas obtenir un C B R de 80 en couche de base, on sera emmené à adopter la solution de l'amélioration ou de la stabilisation du matériau.

Nous n'allons pas clore ce chapitre sans parler des tronçons homogènes. En effet, comme on peut le remarquer, l'épaisseur de la chaussée qui dépend du C B R ne peut être une constante d'un point à un autre du profil. Aussi par souci d'économie, adoptera-t-on une épaisseur constante sur une certaine longueur appelée tronçon homogène. La longueur de ce tronçon va beaucoup dépendre de la manière dont va varier la portance CBR et on admet en Afrique tropicale selon le C E B T P un maximum de deux changements d'épaisseur par kilomètre de route. Il sera recommandé de faire une analyse globale de changement d'épaisseur sur toute la route en notant les points singuliers. L'analyse par étape est complètement à proscrire. Notons

que plus le changement est fréquent, plus la chaussée construite est adaptée aux conditions de portance. Mais malheureusement certaines longueurs ne peuvent pas en pratique être réalisées.

3.2 Techniques d'exécution

La chaussée est un ensemble homogène constituée de différentes couches individualisées. Chaque couche a une fonction bien définie et doit être réalisée d'une certaine façon pour pouvoir entièrement jouer son rôle. Il existe plusieurs façons de réaliser ces couches ; aussi étudierons-nous dans une première partie les différents éléments du corps de chaussée avant d'aborder le chapitre concernant l'exécution des travaux.

321 Différents éléments du corps de chaussée.

En raison du trafic faible souvent enregistré sur les routes africaines et en raison de l'économie considérée comme premier critère de choix d'investissement, la structure de chaussée généralement rencontrée est celle de deux couches bien individualisées : la couche de base et la couche de revêtement. Néanmoins sur certaines routes nous noterons l'existence d'une troisième et même d'une quatrième à savoir la couche de fondation et la sous-couche (Exemple : route Mallem-Hodar - Koungheul au Sénégal). Hormis la structure deux couches, la structure la plus fréquente est la suivante :

- couche de fondation,
- couche de base,
- couche de revêtement.

Ces différentes couches ont pour rôle essentiel d'absorber une bonne partie des charges imposées par le trafic de manière à n'en transmettre au sol de fondation qu'une faible partie. Ainsi en allant de haut en bas les différentes couches seront sollicitées différemment et par conséquent traitées de manière différente. Elles seront notamment de plus en plus sollicitées et de plus en plus imperméables de bas en haut.

3211 Sous-Couche

C'est un écran entre les matériaux mis en oeuvre dans les terrassements et ceux employés en couche de fondation ou de base lorsque cette première n'existe pas. Selon le rôle qu'elle est appelée à jouer, elle

est dite sous-couche anti-contaminante ou sous-couche drainante et anti-capillaire.

a) Sous-couche drainante et anti-capillaire

Elle assure le drainage efficace des couches supérieures de chaussée et arrête l'eau des remontées capillaires au niveau du sol de plateforme des terrassements. Elle est généralement constituée de sable grossier et gravier mais d'autres matériaux peuvent également être utilisés. Les latérites sont souvent utilisées en Afrique et ont habituellement un CBR compris entre 40 et 65. La dimension moyenne de gravier est de l'ordre de 30m/m et l'indice de plasticité accepté est supérieur ou égal à 15 et ne dépasse guère 22.

b) Sous-couche anti-contaminante

Elle empêche la pénétration des matériaux fins de la plateforme (dans les vides d'une couche de fondation ou de base à structure ouverte. La granularité doit respecter la règle des filtres vis à vis du sol.

$$D_{15} \leq 5 d_{85} \text{ où}$$

D_{15} = maille du tamis laissant passer 15 % des matériaux du sol de la sous-couche
 d_{85} = maille du tamis laissant passer 85 % des matériaux du sol de la plateforme

3212 Couche de fondation

Elle est généralement absente sur les chaussées en routes africaines. Elle repose directement sur une sous-couche ou sur le sol de plateforme. Les sols rencontrés en Afrique ont généralement des portances CBR qui permettent de se passer d'une couche de fondation. On rencontre les routes avec couche de fondation aux endroits marécageux ou constitués de sols noirs. En général, seules les plateformes ayant un C B R inférieur à 30 reçoivent une couche de fondation. Cette couche a pour rôle, comme celles qui suivront, de réduire les charges qui sont transmises à la plateforme. Elle doit donc pouvoir absorber une partie des charges transmises par la couche de base. Elle ne supporte que des contraintes verticales de compression. Sa mise en oeuvre est alors moins soignée que celle des couches supérieures. La sélection des matériaux est dès lors moins sévère. Cependant, elle doit être peu déformable parce que servant de support à la couche de base, permettant en premier lieu

le compactage de cette dernière lors de sa mise en oeuvre. Elle doit donc essentiellement être compacte et peu perméable. La technique de l'amélioration en couche de fondation est rarement utilisée en Afrique. Toutefois, cette technique a été utilisée lorsque l'on ne disposait pas du tout d'un matériau ayant de bonnes qualités géotechniques. Nous citerons l'exemple de la route Bonoua-Aboisso en Côte d'Ivoire où l'on a expérimenté la stabilisation mécanique et chimique et plus précisément l'amélioration au sol-ciment. Le matériau concerné était du sable argileux donc de mauvaise tenue sur une épaisseur de 12 cm. Ce matériau a été stabilisé par addition de 3 % (en poids) de ciment. Il importe alors de noter quelques aspects de l'environnement (fortes précipitations 200 cm par an et climat chaud et humide) qui ne sont pas sans effets sur la tenue d'un sol argileux. Les résultats enregistrés sur cet essai sont jugés satisfaisants. Dès lors, cette méthode est-elle prise comme étant la solution viable en terrain argileux.

3213 Couche de base

Elle repose directement sur la couche de fondation. Ne devant être soumise à un quelconque effort de cisaillement, elle est destinée à supporter une partie des efforts de compression transmis par la couche de revêtement, jouant ainsi un rôle de réducteur de charge. Elle ne doit pas avoir une rigidité supérieure à celle de la fondation car il se produirait alors un effet de dalle et des contraintes de traction apparaîtraient au niveau de l'interface fondation-base causant ainsi des fissurations. Les efforts transmis au niveau de cette couche sont encore importants et les effets des conditions d'environnement ne sont pas entièrement amortis malgré les précautions prises lors de la mise en oeuvre du revêtement. Aussi, les matériaux utilisés doivent-ils être de bonnes qualités géotechniques et le compactage très soigné. La couche de base servant de support à la couche de revêtement doit être très peu déformable. On doit donc soigner le compactage afin d'éviter de grands tassements différentiels nuisibles au revêtement. Le souci constant à garder lors de la mise en oeuvre est le bon compactage et partant la plus grande homogénéité possible.

En égard aux matériaux utilisés, on distingue en Afrique trois types de couches de base :

- couche de base en tout venant concassé ;
- couche de base en graveleux naturels ;
- couche de base en banco-coquillage.

a) Couche de base en tout venant concassé

Les chaussées à couche de base en tout venant concassé sont caractérisées par une granulométrie serrée et une absence presque totale de fines. Le matériau utilisé provient du concassage de roche dure (Ex : calcaire, consolidé) et la dimension moyenne de granulats est de l'ordre de 40mm. Les fuseaux granulométriques suivants sont souvent utilisés en Afrique (d'après le CEBTP) 0/60, 0/40 et 0/31.5. Nous insistons cependant sur le fait que les produits de concassage dépendent largement du type de roche et du type de concasseur.

Le tout venant de concassage est un matériau sans cohésion donc sujet à l'attrition ; il doit donc posséder une grande dureté. La seule stabilité obtenue provient de son frottement interne. Ainsi le tout venant de concassage n'est adapté que pour les routes à faible trafic.

b) Couche de base en graveleux naturels

Les chaussées en graveleux naturels sont caractérisées par une couche de base à granulométrie plus étalée avec un pourcentage de fines plus élevé. On a donc une granulométrie plus continue, un coefficient d'uniformité plus grand, une meilleure cohésion. Les graveleux naturels sont ainsi plus adaptés ou mieux plus rentables pour les routes à grand trafic. Le compactage est rendu facile du fait de la teneur en eau déjà existante contrairement au tout venant de concassage qui a une teneur en eau naturelle très faible. La couche de base est de préférence faite avec un sol de bonne tenue (latérite).

c) Couche de base au banco-coquillage

C'est un matériau que l'on trouve aux abords du littoral à l'état naturel. Comme son nom l'indique ces coquillages sont remplis de sable et lorsque arrosés et compactés, forme un banco; le sable jouant le rôle de liant (ciment). C'est un matériau peu sensible à l'eau et donc de mise en oeuvre très facile. Cependant, il convient de choisir un matériau très homogène exempt de coquillages d'huîtres de dimension trop grande (60 mm). Ces types de couches de base ont été expérimentées au Sénégal

notamment dans la région du Fleuve et dans le département de Fatick sur la route N'Diosmone - Fumela. Les résultats obtenus sur ces routes ont été satisfaisants et là où le banco-coquillage existe, on le préfère à la latérite.

Si l'on ne dispose pas d'un sol de bonne tenue, on procédera alors par la technique de l'amélioration de ces sols soit par stabilisation mécanique, soit par stabilisation chimique. Cette technique n'est pas inconnue dans le continent africain et plus de 1200 km ont été déjà expérimentés (Etude du CEBTP juillet 1972).

3214 La couche de revêtement

C'est la couche qui reçoit directement le trafic et repose sur la couche de base. Elle est soumise à des contraintes verticales (poids des véhicules) et à des efforts horizontaux (action des roues tournant, freinage). Ainsi, cette couche doit posséder une bonne résistance au poinçonnement et à l'usure; les éléments constitutifs doivent être bien liés afin de constituer un tout homogène, stable et assez monolithique à l'image du béton. Elle doit avoir un bon "grip" et être aussi peu glissante que possible par tant de pluie afin d'assurer le confort et la sécurité des voyageurs. Cette couche est alors constituée d'agrégats et de liant hydrocarboné. Selon le type de revêtement choisi, ces deux éléments sont soit répandus, l'un après l'autre (c'est le cas des enduits superficiels) soit en même temps après un mélange préalable en central (c'est le cas des enrobés, béton bitumineux). Les matériaux choisis afin de mener à bien la tâche qui lui est dévolue doivent satisfaire à des critères et caractéristiques très sévères de sélection.

On distingue deux types de revêtement :

- les enduits superficiels (monocouche, bicouche, multicouche),
- les enrobés (enrobés denses, enrobés ouverts, béton et mortier bitumineux).

Mais avant de mettre en oeuvre cette couche de revêtement, on disposera au-dessus de la couche de base une couche d'imprégnation ou une couche d'accrochage selon le cas.

a) Couche d'imprégnation

C'est une couche uniquement constituée de liant, généralement de cut-back ou bitume fluidifié à séchage rapide. En effet le liant utilisé doit être un peu fluide afin de pouvoir rentrer dans les vides de la couche de base et les boucher par la suite. La pénétration dans cette couche ne doit guère dépasser 2 cm et son épaisseur est d'au moins 10m/m. Le liant ne doit pas couler en surface. Ainsi, cette couche d'imprégnation va imperméabiliser la couche de base et donnera une bonne liaison par adhérence avec la couche sus-jacente. Une couche d'imprégnation est toujours répandue sur une couche de base et doit recevoir une couche d'enduit superficiel.

b) Couche d'accrochage

C'est une pellicule de liant hydrocarboné que l'on répand sur une couche de chaussée (couche de base ou revêtement déjà existant) pour assurer une bonne adhérence entre cette couche et celle sus-jacente. La pénétration est de l'ordre de celle de l'imprégnation et l'épaisseur de la pellicule varie entre 2 et 3 centimètres. On réalise ainsi un support pour accrocher la couche de surface (supérieure). Ceci élimine théoriquement tout glissement à l'interface des deux couches concernées et assure une continuité de l'ensemble. Une couche d'accrochage doit toujours être employée lorsque la couche supérieure qu'elle reçoit est en enrobés. On peut l'appliquer indifféremment sur une couche de base ou de revêtement pourvu que l'assertion précédente soit respectée. On utilise généralement du bitume fluidifié à séchage rapide ou moyen ou alors des émulsions à rupture rapide.

. Cas des enduits superficiels

La technique des enduits superficiels étant plus répandue en Afrique, nous n'examinerons que ce cas dans cette étude.

L'enduit est composé : d'un liant répandu sur la surface à revêtir ;

- d'une couche de gravier que l'on répand au-dessus du liant.

Le tout est ensuite cylindré. En superposant des enduits constitués de graviers dont les dimensions diminuent progressivement de bas en haut, on obtient alors des revêtements multicouches, généralement bicouche.

Le dosage est souvent calculé selon la méthode Shell. C'est une méthode empirique tenant compte des paramètres suivants : le trafic, l'état du support, le type de granulat (forme) et les conditions climatiques. Le tableau et l'abaque qui suivent permettent la détermination du dosage en liant et en gravillon. Cette méthode est très avantageuse à certains égards car elle tient compte du contexte climatique. Un exemple de calcul de dosage accompagne le tableau et l'abaque (figure 3.8)

TABLEAU DES FACTEURS DE CORRECTION (Ajouter avec leur signe)

TRAFFIC JOURNALIER		ETAT DE SURFACE DE LA COUCHE A RECOURIR		TYPE DE GRANULAT		CONDITIONS CLIMATIQUES	
Poids lourds	Correction	Etat	Correction	Type	Correction	Conditions	Correction
0 - 15	+2	Très ouverte	+2	Plaqueuses	-2	Humide froid	+2
15 - 45	+1	Ouverte	+2	Debrisées	0	Humide	+1
45 - 150	0	Moyenne	0	Ronds	-2	Tempere	0
150 - 450	-2	Grasse	-1			Sec	-1
450 - 1500	-4	Très grasse	-2			Sec et chaud	-2
1500 - 4500	-6						

Exemple d'application

$D = 12 \text{ mm}$
 Traffic 150 - 450 facteur -2
 Surface ouverte +2
 Granulat rond +2
 Humide +1
 TOTAL +3

Exemple de dosage

Liant : 100 kg/m²
 Gravier : 120 kg/m²

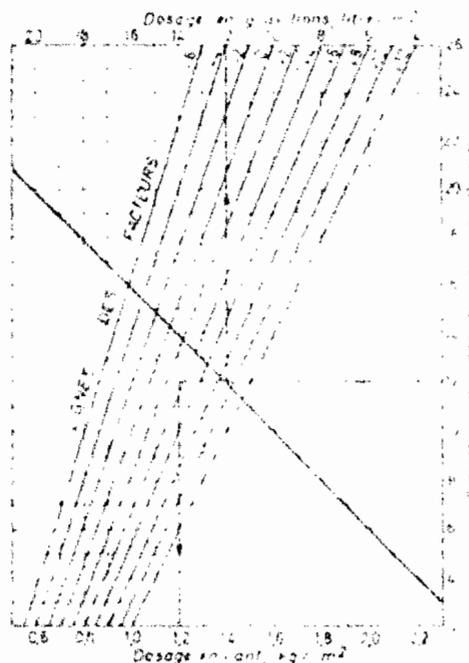


Fig. 3.8: Méthode Shell

Le liant doit pouvoir adhérer correctement à la couche qui le reçoit. Il doit être tel que le gravillon puisse s'y accrocher sans qu'il y ait ressuage. Aussitôt après la fin des travaux, le liant doit présenter une bonne viscosité pour empêcher l'arrachement des gravillons par les véhicules, provoquant ainsi une pelée du revêtement.

On notera que plus la dimension de granulat utilisé est grande, plus grande sera la viscosité du liant à utiliser.

3.22 Exécution des travaux

Les différentes phases d'exécution seront décrites en suivant l'ordre dans lequel elles sont effectuées sur chantier. Néanmoins, le compactage et l'arrosage à la teneur en eau optimale se répétant souvent, ils feront l'objet de paragraphes spéciaux. On distingue les opérations d'implantation, la phase préliminaire et la phase exécution.

3.221 Les opérations d'implantation

Elles constituent la première phase de l'exécution des travaux. Dans les pays africains, elles sont généralement effectuées par un géomètre agréé par l'État. Elles comprennent les opérations de reconnaissance du tracé et d'implantation de bornes altimétriques. Un an en général avant le début de la construction proprement dite, une équipe topographique procède à la reconnaissance du tracé suivant un plan d'implantation produit à cet effet. Après reconnaissance d'un point de l'axe, on délimite l'emprise de la route en implantant des bornes altimétriques. Comme leur nom l'indique, ces points seront déterminés en altimétrie et bien matérialisés au sol. Généralement l'emprise de la route fera 40 m et les bornes seront équidistants de l'axe. Cependant, lorsqu'un obstacle empêche l'implantation d'une borne à 20 m de l'axe, cette distance pourra être réduite ou augmentée et cette modification apparaîtra sur le plan de reconnaissance. Les bornes seront distants de 500 m le long de la route dans l'esprit de respecter au maximum la longueur des tronçons homogènes. Un plan de reconnaissance sanctionnera cette phase.

3.222 Phase préliminaire

C'est la phase qui suit les opérations d'implantation et marque le début des travaux. Elle est effectuée par l'entreprise chargée de la construction de la route.

a) Opération topographique

L'équipe ou brigade topographique procède à une reconnaissance contradictoire. Elle dispose à cet effet du plan de reconnaissance fourni par le géomètre agréé. Après ce travail de reconnaissance, on passe à la phase d'implantation. Cette phase d'implantation concerne l'axe et la limite des travaux conformément au profil en travers type.

A chaque point de profil en long, on procédera donc à une implantation du profil en travers. On distingue alors :

- l'implantation des piquets d'axe,
- la vérification de l'altitude du terrain naturel par nivellement.

Cette opération se résume alors en une vérification de la conformité linéaire (distance) et de la conformité altimétrique.

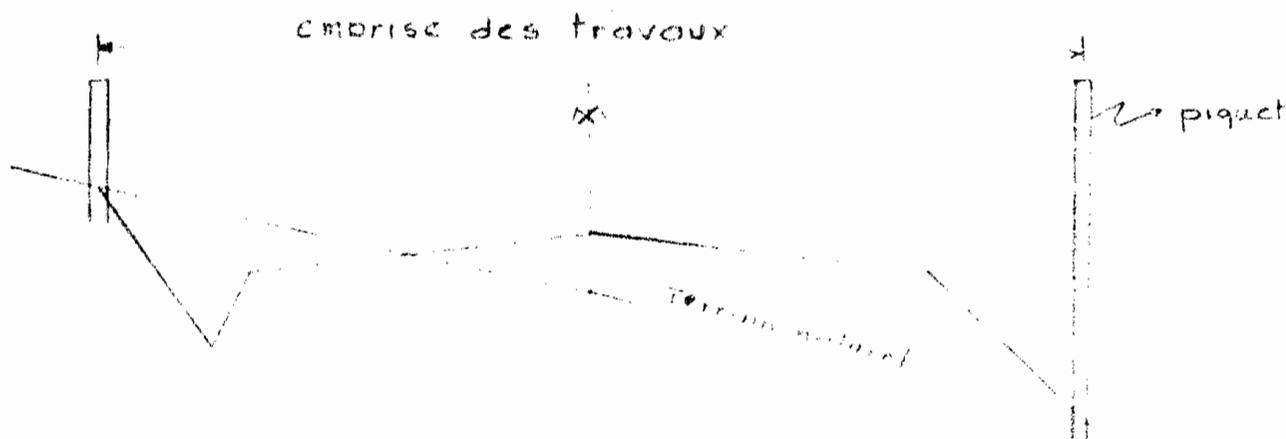


Fig 3.9 : piquetage de l'emprise des travaux

b) Débroussaillage

Avant de passer au débroussaillage proprement dit, on procède d'abord au marquage des arbres à abattre à la peinture rouge. Ceci permet à l'ouvrier chargé de l'abattage des arbres de ne pas se tromper. Le débroussaillage comporte deux opérations, l'abattage et le désouchage.

b₁) l'abattage

Les arbres et végétation se trouvant sur le tracé sont rasés sur toute la largeur de l'emprise. Cette opération est un peu difficile en Afrique tropicale. En effet, les forêts tropicales sont composées d'arbres à différents étages et de différents diamètres. Dès lors le choix de l'engin approprié pour cette opération devient difficile. En Afrique, l'abattage de la totalité de végétation se fait par un seul engin, le bulldozer. L'engin attaque directement l'arbre par le bas par poussées successives et non par chocs. Lorsque l'arbre oscille, on recule un peu pour éviter le soulèvement du tracteur qui peut éventuellement advenir par suite du déterrement des racines. L'opérateur engage ensuite la lame du bull en la relevant pour soulever la souche et le tronc et achever ainsi l'abattage.

b₂) le désouchage

Malgré cette opération d'abattage bien soignée au bulldozer, la terre contient toujours des racines et souches. On procède alors au désouchage. Il se fait généralement au motograder engin adapté au travail de déracinement. Une équipe d'ouvriers passe derrière cet engin pour compléter l'opération débroussaillage. Il importe de rappeler que tous les produits du débroussaillage sont poussés hors de l'emprise de la route.

c) Préparation de l'assiette

Après avoir débarrassé l'emprise des arbres et des souches, on procède à la préparation de l'assiette. La première opération consiste en l'enlèvement de la terre végétale (humus, matières organiques etc) : c'est le décapage. Il se fait sur une épaisseur de 7 cm en moyenne sur toute la largeur de l'assiette. Il est à noter que cette largeur dépend de la hauteur du corps de remblais ou de la profondeur de la plateforme des déblais. On utilise le même engin pour le désouchage et pour le décapage (motograder).

Cependant, lorsque le tracé se développe avec des assiettes larges et lorsque la couche de terre végétale est mince (7 cm), la niveleuse est très adaptée. Dans les pays montagneux en Afrique équatoriale et australe, la pelle hydraulique est l'engin le plus approprié. Cet engin est d'autant plus indiqué que la terre est humide.

La scarification du terrain suit cette opération de décapage dans les zones à remblayer. Dans les zones à déblayer, elle se fera après l'opération de déblai. Ainsi, dans les zones de remblai, la terre est scarifiée à l'aide des rippeurs du motograder. Cette scarification se fait sur une épaisseur de l'ordre de 20 cm, c'est-à-dire à peu près la dimension des rippeurs du motograder. Après arrosage et compactage dans les conditions voulues, cette partie à remblayer est apte à recevoir la couche de remblai.

3.223 Exécution

a) Mise en oeuvre de la plateforme des terrassements

C'est un travail concernant opérations de remblai et de déblai. Mais avant de démarrer les travaux, une équipe topographique procède d'abord à l'implantation des piquets dits de terrassements. Ces piquets sont placés à l'extérieur du corps de remblai ou de la plateforme des déblais pour permettre aux engins de travailler librement. En plaçant des nivelettes sur ces piquets, on peut par simple alignement à l'oeil contrôler la hauteur des remblais ou la profondeur des déblais. Ce contrôle approximatif permet d'éviter le grattage en cas de surplus de remblai ou le remblaiement en cas de déblai trop poussé. Les piquets de terrassements sont des pièces de bois rudimentaires coupées aux dimensions voulues. Les nivelettes sont généralement de hauteur variable. On trouve généralement les suivantes : 25 cm, 50 cm, 75 cm, 100 cm, et 150 cm. La figure 3.10 donne une image du nivellement approximatif aux nivelettes.

.../...

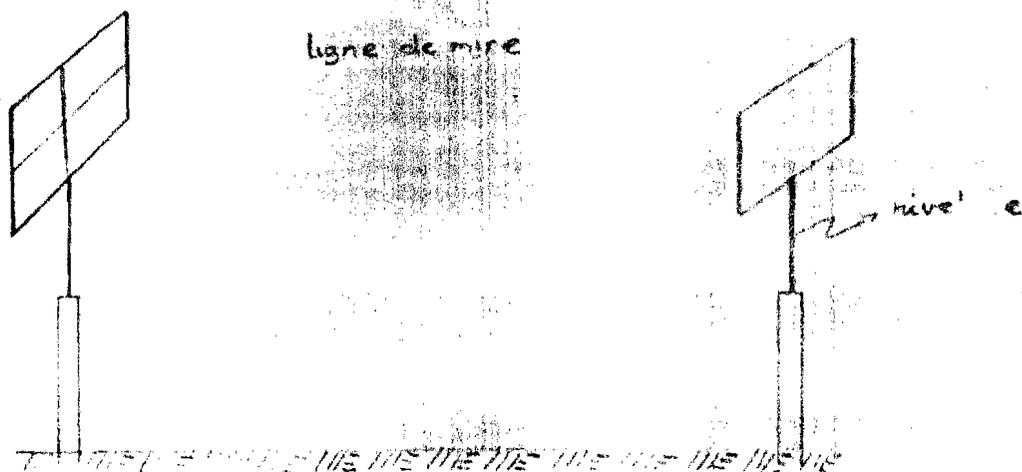


Fig 3.10 : nivellement aux niveleTTCS

L'opération de remblai se fera souvent en même temps que l'opération de déblai. En effet, certains sols de déblais sont aptes à être utilisés en remblai. Un tableau de correspondance déblais-emprunts et remblais-dépôt précisera alors la destination des déblais dans telle partie du profil en travers type de remblai. Dans ce cas les engins utilisés poussent directement le sol de déblai vers les zones de remblai ou alors les transportent vers les mêmes zones. Dans le cas où il y a transport ou utilisation d'emprunts latéraux, l'approvisionnement sera fait au scraper de 0 à 1500 m (zone de distance dans laquelle sont utilisation est rentable) et par camions bennes au-delà de 1500 m. Les engins utilisés sont :

- niveleuse, motograder, bulldozer pour l'enlèvement et quelquefois le transport sur de très courtes distances ;
- pelles pour le chargement ;
- scraper pour le transport.

Le matériau de remblai se présente donc sur la plateforme en tas ayant généralement de préférence le même volume. Un motograder procédera à l'étalage des tas. La quantité déversée et étalée est calculée de telle sorte à avoir une couche de 20 cm d'épaisseur lorsque compactée. En effet le remblai se fera par couche de 20 cm lorsque le corps de remblai

est très important supérieur à un mètre. Ce calcul tient compte du foisonnement du matériau. Après étalage, suivront les opérations habituelles d'arrosage et de compactage. Pour les zones de déblai, l'opération se fera suivant l'altitude des piquets de terrassement. Quand le niveau du projet est approximativement atteint (tolérance ± 3 cm au Sénégal), on passera aux opérations suivantes :

- scarification sur 40 cm aux rippers du motograder ;
- arrosage,
- compactage.

Dans le cas des déblais, le contrôle de compacité se fera en deux phases :

- première phase : contrôle pour l'épaisseur située entre la côte du projet soit 0.00 m et 20 cm plus bas soit la côte - 0.20 m
- deuxième phase : contrôle pour l'épaisseur située entre les côtes - 0.20 et -0.40 m.

Dans le cas des remblais, il se fera après la mise en oeuvre de chaque couche sur toute son épaisseur.

b) Mise en oeuvre d'une couche constitutive de la chaussée : la couche de base.

Les matériaux servant à la mise en oeuvre d'une des couches de la chaussée sont tirés généralement d'emprunts latéraux. L'approvisionnement se fera à l'aide d'engins scrapers ou de camions bennes. Un certain nombre de précautions doit être pris pour obtenir un bon matériau sur place.

- Les pistes menant aux emprunts doivent être soignées pour éviter des changements de caractéristiques par suite de vibrations et secousses.
- Des vitesses faibles seront recommandées pour les graveleux naturels
- On procédera à un arrosage préalable du matériau si nécessaire pour éviter les pertes de fines.
- Pour les matériaux traités, le mouillage en centralplant sera fait légèrement supérieur à la teneur en eau optimale pour tenir compte de la perte d'humidité par évaporation lors du transport.



- Par temps de pluie, les camions doivent être équipés de bâches rapidement montables et démontables en prévision des orages.

Ces recommandations seront donc d'autant plus importantes que les matériaux seront traités en central.

Mais si le matériau est bien transporté sans secousses ou vibrations, il n'en reste pas moins qu'une autre difficulté demeure, il s'agit de la ségrégation lors du déchargement. Cet inconvénient est contourné en faisant soit une mise en tas par couches horizontales, soit un répandage en fortes épaisseurs, soit des vidanges discontinues des trémies lors du chargement des camions. Les engins peuvent être aussi équipés de profileur de cordon ce qui donne des cordons réguliers faciles à étaler à la niveleuse.

Les matériaux sont déchargés sur un côté pour permettre aux engins d'évoluer sur l'autre. Le réglage des tas sera fait à la niveleuse. La forme de la route est obtenue en jouant sur l'inclinaison de la lame. Les grosses pierres indésirées sont rejetées sur les côtés hors de la plateforme par une équipe d'ouvriers munis de pelles. Le réglage sera effectué à partir de la partie déjà exécutée en allant vers la partie à exécuter. Il peut se faire aussi directement au motoscrapier. Dans tous les cas, la présence d'une niveleuse est indispensable. On arrosera et compactera pour compléter cette opération.

c) Arrosage à la teneur en eau de 1'0 P M ou réduction à la teneur en eau de 1'0 P M.

Cette opération est sans doute la plus délicate en chantier. La quantité d'eau à ajouter ou à enlever au matériau, dépend principalement de sa teneur en eau naturelle. Deux cas donc peuvent se présenter.

- 1°) La teneur en eau naturelle est inférieure à la teneur en eau de 1'0 P M au quel cas il faut ajouter de l'eau.
- 2°) La teneur en eau naturelle est supérieure à la teneur en eau de 1'0 P M auquel cas il faut dessécher le matériau.

c₁) Teneur en eau naturelle \leq la teneur en eau de 1'0 P M

Pour atteindre cette teneur en eau de 1'0 P M, on procède à l'arrosage de la couche à compacter. Cette opération se fait à l'aide de citernes

de capacités variables. Ces citernes sont équipées d'un tuyau d'arrosage horizontal percé de trous en quinconce. La vitesse de déplacement du camion citerne est fonction du débit d'arrosage, de la quantité d'eau à ajouter et de la longueur du tronçon à arroser. Son réglage après quelques sommaires indications est laissé à l'initiative du conducteur d'où la nécessité de disposer d'un ouvrier qualifié.

Dans les pays africains tropicaux et désertiques où l'on enregistre de très grandes températures, le compactage sera fait aussitôt après arrosage. Souvent, pour garder l'humidité après arrosage, on disposera sur le sol humidifié des branches d'arbres feuillues. Ces branches protègent le sol contre l'évaporation qui est particulièrement élevée dans les pays désertiques. Dans certains cas, la quantité d'eau à ajouter est trop grande et l'évaporation très importante si bien que l'arrosage prend beaucoup de temps retardant ainsi l'équipe de compactage qui reste sans travail. Pour palier à cet inconvénient, l'équipe d'arrosage travaille à la fin de la journée pour réduire le temps d'arrosage au lendemain. Nous citerons l'exemple de la route M'alem - Hodar - Kounghoul au Sénégal où les températures enregistrées au mois d'Avril étaient de l'ordre de 60°C.

Cette opération d'arrosage doit être correctement faite car elle est un facteur déterminant pour l'obtention d'une bonne compacité. Dans le cas contraire, on se trouverait confronté à plusieurs reprises ce qui augmenterait alors de beaucoup les frais de construction. Nous donnons ci-dessous une méthode de calcul de la vitesse de déplacement du camion-citerne. On prendra pour principe de base l'ouverture à fond des vannes du camion-citerne.

Soit W_n la teneur en eau naturelle du matériau

Q le débit d'arrosage en m^3/s

d la densité sèche du matériau

V le volume de matériau compacté

W = le poids de l'eau

W_s = le poids de solide

.../...

argileux. En effet il y a hydratation de la chaux et dégagement de chaleur qui fait évaporer l'eau.

Lorsque le matériau sera donc étalé, on fera une scarification au rippeur du motograder et on fera sécher au soleil. Cette opération sera sous surveillance et contrôle stricte. Elle nécessite dans certains cas que l'on aie en permanence au chantier de longues bâches prêtes pour recouvrir le sol de la couche en cas de déclenchement d'orage.

Dans tous les cas, la teneur en eau d'exécution s'approchera approximativement de la teneur en eau de l'O P M. Elle peut être légèrement supérieure ou inférieure à celle-ci sans trop d'inconvénient. En effet les matériaux choisis pour les routes ont généralement des courbes de compactage aplaties à l'optimum et un léger écartement du point optimal donnerait quand même de bonnes compacités.

Pour les matériaux traités du fait de l'impossibilité de reprise, le contrôle de la teneur en eau doit se faire systématiquement au moment de l'approvisionnement. A cet effet, on disposera d'un laboratoire itinérant qui prélèvera, brûlera et pèsera sur place un échantillon afin de déterminer la teneur en eau avant déchargement.

d) Le compactage

Le compactage a pour rôle d'augmenter la densité d'un sol par diminution des vides existants dans ce sol et cela par simple action mécanique. Cette densification permettra alors d'obtenir une couche plus impénétrable, de diminuer les tassements sous l'effet des charges permanentes et des surcharges roulantes, d'augmenter certaines qualités mécaniques du sol telles que la cohésion et l'angle de frottement interne. Le compactage dépend d'un certain nombre de facteurs dont les principaux sont la nature du sol à compacter, sa teneur en eau, l'énergie de compactage mise en jeu, la nature de l'engin de compactage et enfin l'épaisseur de la couche à compacter. Si le compactage n'est pas fait correctement, cela pourrait conduire à des déboires dont les plus craintes seront le phénomène de coussin de caoutchouc et la chute de portance par surcompactage.

Le volume de matériau à mettre en place est calculé de la manière suivante.

Soient : V_f le volume final dans la couche.

e l'indice des vides du sol d'emprunt

G la densité relative du sol d'emprunt

d la densité sèche à l'O P M

V le volume d'un échantillon = 1 (voir calcul précédent à la figure)

figure : se référer au calcul précédent sur l'arrosage

Si $V = 1$ alors $d = \frac{W_s}{V}$ $W_s = d$

on a aussi $V_s = \frac{W_s}{G}$ et $V_v = eV_s$ $V_t = V_s + eV_s = (1 + e) V_s$

en remplaçant V_s par sa valeur on a $V_t = (1 + e) \frac{d}{G}$ ceci est pour un volume unité, pour un volume V_F on aura

$$V = (1 + e) \frac{d}{G} \times V_F$$

V_t étant le volume du matériau d'apport.

Ce calcul serait alors terminé si l'on ne remaniait pas le sol. Mais lorsque enlevé de la carrière il devient remanié et foisonne si f est le coefficient de foisonnement alors

$$V = f (1 + e) \frac{d}{G} V_F$$

Le coefficient des matériaux latéritiques varient généralement entre 1.10 et 1.20.

Après approvisionnement et arrosage, on procédera donc au compactage. Il se fera quand le matériau aura absorbé toute l'eau d'arrosage ou lorsqu'il sera suffisamment desséché suivant le cas. Dans le cas contraire, les matériaux vont former une pâte (boue) qui ainsi compactée atteindra néanmoins la compacité désirée mais celle-ci chutera quelques jours après. Pour les matériaux latéritiques, la chute advient généralement 48 heures après. L'appréciation de cet état est laissé donc à l'initiative du Chef d'équipe compactage qui doit alors être très vigilant.

Dans les sols marécageux accusent de très forts tassements et contenant beaucoup d'eau, le compactage s'avère très difficile pour deux raisons :

- difficulté de déplacement des engins (seuls les engins à chenille peuvent se déplacer),

.../...

- le sol est très imperméable

Le compactage se fera généralement par la technique du drain de sable dont le procédé est le suivant :

1 - recouvrement de la surface du marais d'une couche de sable pour faciliter l'accès des engins et comprimer le sous-sol marécageux.

2 - forage de puits de 30 cm de diamètre en moyenne jusqu'au bedrock ; l'espacement des puits est fonction de la quantité d'eau à extraire.

3 - remplissage des puits avec du sable facilitant la remontée par capillarité de l'eau qui s'évapore rapidement en surface.

L'équipe de compactage comprend généralement :

- les rouleaux à pneus qui pèsent 30 tonnes

- les rouleaux vibrants qui font 20 tonnes à la vibration à l'arrière et 12 tonnes sans vibration.

Généralement le rouleau à pneus passe le premier suivi du rouleau vibrant. Il existe un engin particulièrement adapté, le sismopector faisant 30 tonnes à la vibration. Pour cet engin, la vibration est insistante lorsque le moteur tourne à 2500 tours par minute et généralement on obtient la compacité optimale en trois passes. Pour les terrains gonflant lorsque humidifiés il est recommandé d'utiliser un rouleau à pied de mouton.

Les engins de compactage doivent rouler à une allure aussi régulière que possible. Ils rouleront souvent pour un compactage de matériau latéritique à une vitesse de l'ordre de 5 km à l'heure. On commencera le compactage sur les côtés en allant progressivement vers l'axe. On procédera par longues passes pour éviter les arrêts fréquents sur le tronçon.

e) Mise en oeuvre de la couche de revêtement

Avant de procéder à l'enduit proprement dit, on mettra d'abord la couche d'imprégnation. La couche de base devant recevoir le liant doit être nettoyé proprement au balai rotatif, Piassava ou au balai métallique. Ce nettoyage a pour objet d'enlever tous les débris organiques, poussière, croûte superficielle, etc. Après nettoyage, on procédera à une légère humidification par arrosage facilitant ainsi la dispersion du bitume fluidifié évitant alors sa concentration en gouttelettes.

e₁) Répandage du liant

Le répandage se fait à l'aide d'une répandeuse automatique. Cet engin est équipé d'une roue tachymétrique permettant le contrôle de la vitesse connaissant le débit. Pour éviter un répandage défectueux, à chaque départ de l'engin, on disposera sur la chaussée une bande de papier Kraft sur laquelle on ouvrira la rampe. Cette bande de papier est disposé immédiatement avant le début du tronçon à traiter. Certains liants sont répandus à chaud (bitumes fluidifiés visqueux) d'autres à froid (émulsions). Lorsque le liant répandu est en excès on l'enlève par sablage puis balayage.

e₂) Répandage des gravillons

Il se fera immédiatement après le répandage du liant en quantité suffisante. Le gravillonnage peut être effectué soit par camions spécialement conçus pour cette opération soit par camions - benne équipés à l'arrière de trémies amovibles.

On procédera à une vérification préalable de l'appareil en faisant un essai de gravillonnage sur un carré de surface connue. On ramassera les gravillons contenus dans le carré que l'on pèsera pour déterminer la quantité que l'appareil libère à chaque unité de surface. Une répartition plus correcte des gravillons sera effectuée par une équipe d'ouvriers complétant ainsi le travail des engins gravillonneurs.

e₃) Le cylindrage

Il est effectué aussitôt après gravillonnage. Il a pour but d'assurer un contact étroit du liant et du gravillon. Deux engins sont généralement utilisés :

- le compacteur automoteur à pneus,
- le cylindre à jantes lisses (8 à 12 t) ; le gravillon aura alors un coefficient Los Angeles $\leq 30 \%$

Le nombre de passages exigés est d'au minimum trois. Aucune circulation de trafic n'est permise sur la première couche dans le cas d'enduit bicouche. Après exécution du gravillonnage de la deuxième couche et après cylindrage, le tronçon est ouvert à la circulation routière, mais toutefois les véhicules lourds sont à exclure.

La vitesse de circulation sera généralement limitée à 40 km à l'heure. Le cylindre sera effectué comme le compactage à partir des côtés en allant progressivement vers l'axe.

3230 La technique de l'amélioration

L'idée de l'amélioration qui est née aux U.S.A. vers les années 1930 avait pour but de conférer aux sols sur place les qualités routières qui leur manquaient. De nos jours, en plus de ce but recherché, la technique de l'amélioration aura pour objectif aussi d'augmenter les qualités premières du matériau. Ainsi, pour les chaussées à grand trafic utilisera-t-on cette technique avec de bons matériaux. Plusieurs méthodes d'amélioration verrons donc le jour. On en distingue deux grandes catégories, la stabilisation mécanique et la stabilisation chimique.

3231 La stabilisation mécanique

Elle consiste en une modification de la granulométrie du matériau ou du sol, par apport d'un autre matériau inerte soit par criblage c'est-à-dire une élimination des tranches excédentaires, soit par reconstitution. La stabilisation mécanique est très peu répandue en Afrique. Nous noterons cependant l'expérience faite sur les routes Douala-Edéa, Douala-Loum en plateformes et celle faite en Côte-d'Ivoire sur la route Abidjan-Grand Bassam en fondation. Dans les rares cas où la stabilisation mécanique a été adoptée, il s'agit de la méthode de reconstitution. Il fallait augmenter la stabilité ou la portance du matériau de base. Pour cela le matériau inerte devait présenter des caractéristiques granulométriques ou de plasticité différentes de celles du matériau de base. Deux cas se présentent généralement :

- Pour le cas où le matériau a un indice de plasticité élevé, la fin du mélange sera de diminuer cet indice de plasticité ;

Aussi, seules ces deux méthodes seront évoquées dans le cadre de cette étude.

a) Les sols-bitume

Les études de mélange sont généralement basées sur l'obtention d'un critère de stabilité. Ce critère est le plus souvent exprimé soit par les résultats de l'essai Hubbard-Field, soit par la résistance à la compression simple.

Cette méthode s'adapte bien aux sables fins plus ou moins argileux et aux limons. La plasticité du matériau de base est généralement inférieure à 20. Pour les liants, on peut utiliser soit des émulsions surstabilisées, soit des cut-back, soit des bitumes fluxés ou non au pétrole. Après mélange on obtient en général une teneur en bitume résiduel situé entre 2,5 % et 6 %.

Pour le choix du liant, on retiendra en règle générale que la rapidité de séchage du liant à choisir diminuera quand la plasticité augmente. Toutefois, pour les sites où la température diurne risque d'être élevée ce qui est généralement le cas dans les pays tropicaux et désertiques, on préférera des liants particulièrement visqueux (bitume fluxé de pénétration 80/100 ou même 60/70). Le tableau suivant (3.9) donne le liant à choisir selon les conditions climatiques et des caractéristiques du matériau à stabiliser.

Tableau 3.9 : choix du liant

Liant	Conditions d'environnement et ou caractéristiques du matériau de base
bitume de pénétration 180/200, 80/100, 60/70	matériau grenus (sables et graves) poste de centrale d'enrobage à chaud
bitume fluidifié	teneur en eau du matériau faible à 2 % possibilité de chauffage des bitumes existante
Cut-back 10/15	Sols riches en éléments fins - moyen de malaxage peu puissants (charme, pluvi-rixer)
Cut-back 50/100 et 150/200	Sols sans cohésion - mélange en central ou au travel-plant ou travelling-plant.
émulsions surstabilisées à rupture retardée	Sols humides - impossibilité de séchage préalable teneur en eau 4 à 7 %
Cut-backs dopés ou bitume fluidifié contenant de faibles pourcentages (1%) d'adhésiphores	régions très humides - nappe phréatique très proche de la couche à traiter (moins d'un mètre).

- Pour le cas des sols fins, la fin du mélange sera de conférer une certaine cohésion et une plasticité suffisante au matériau initial. Les proportions du mélange sont déterminées au préalable en laboratoire. Le mélange peut s'effectuer soit en central soit insitu. Cependant, pour atteindre le but recherché, il faudra respecter un certain nombre de critères d'étude et de mise en oeuvre. On définira donc les proportions optimales de mélange tout en respectant les conditions suivantes :

- faible pourcentage de vide,
- indice de plasticité située entre les valeurs 5 % et 15 % ;
- respect de la teneur en eau de l'optimum Proctor lors du compactage ;
- procéder lors du compactage par couche de 15 cms maximum.

3232 La stabilisation chimique

Cette stabilisation comme son nom l'indique nécessite l'adjonction d'un produit faisant réaction avec le matériau de base. Selon le but recherché, on distingue le traitement consistant à

1°) conférer de la cohésion au matériau de base ; c'est le cas des graves maigres traitées au ciment ou au bitume.

2°) hydrophober des matériaux sensibles à l'eau.

3°) Neutraliser par échange ionique les fines argileuses nocives ; cette neutralisation s'obtient par adjonction de chaux ou de ciment au matériau de base.

4°) augmenter la compactibilité des fines par utilisation d'agent dispersants.

Ces différentes méthodes de stabilisation chimique ne sont pas toutes utilisées en Afrique. Parmi celles certifiées, nous distinguons principalement en terme du produit obtenu : les sols-ciments, les sols-bitumes. Sur à peu près 1321 km (Etude C E B T P 1972) où l'on a appliquée la méthode d'amélioration, pour 45 % on a appliqué la méthode des sols-bitume et pour 20 % on a appliqué la technique du sol-ciment.

Il ne suffit pas de bien choisir son liant pour obtenir un bon mélange. Le matériau à améliorer doit posséder certaines caractéristiques, pour pouvoir être stabilisé au bitume. Le C E T P dans son manuel consacré à l'emploi des sols fins dans les travaux routiers en Afrique donne comme critères d'acceptabilité les valeurs suivantes :

- LL ≤ 35
- IP ≤ 18 (ou mieux < 15)
- % de fines ≤ 50 (ou mieux < 30)

Dans tous les cas, la teneur en eau optimale sera celle permettant un compactage adéquat et une pulvérisation maximale du mélange.

La mise en oeuvre comprendra les opérations suivantes :

- réalisation de la plateforme,
- scarification et pulvérisation au motograder,
- réalisation du mélange au motopaver ou au travelling-plant,
- compactage aux rouleaux à pneus,
- exécution d'une couche de scellement.

L'opération de compactage se fera un certain temps après la réalisation du mélange et par couches de 15 cm d'épaisseur maximale. La finition se fera le plus souvent au cylindre lisse. Enfin on évitera de réaliser des sols-bitume en période pluvieuse.

Les routes concernées par cette technique en Afrique francophones sont les suivantes :

- Douala-Edéa au Cameroun
- Bonabéri-Loum au Cameroun
- Abidjan - Grand-Bassam en Côte-d'Ivoire
- Brazzaville - Kinkala au Congo
- Tiadiaye - Kaolack au Sénégal
- La Transgambienne au Sénégal
- Fort-Lamy au Tchad
- Kango - Bifoun au Gabon
- Rosso - Nouakchott en Mauritanie.

b) Les Sols-ciments

Le traitement au ciment consiste à mélanger un matériau d'assise et un liant (ciment) dans des proportions définies en laboratoire. La quantité de ciment ajoutée est de l'ordre de 3 à 10 % en poids. Après un malaxage adéquat on obtient une répartition homogène du ciment.

Ce mélange est ensuite mis en place puis compacté.

Le ciment s'hydratant provoquera un durcissement du matériau.

a) Effets de l'addition du ciment

Le ciment aura certains effets avant et après durcissement du matériau les plus imminents sont les suivants :

- facilitation du compactage par apport d'éléments fins manquant dans le matériau de base ;
- imperméabilité ,
- augmentation du frottement interne (les éléments ne sont plus lisses) ,
- modification de la nature de la partie argileuse (partie rendue moins nocive).

En effet l'hydratation donne un dégagement de chaux ; les ions calcium par le phénomène d'échange de base viennent se fixer sur les particules d'argiles les transformant ainsi en argiles calciques moins sensibles à l'eau. Il en résulte des phénomènes électriques causant une floculation des particules argileuses. Cette floculation permettra alors une plus grande maniabilité du matériau.

- gain de rigidité : le matériau devient peu déformable.

Ainsi le matériau traité en durcissant change de propriétés mécaniques et acquiert une résistance à la rupture en compression simple et une résistance à la rupture en traction.

- gain de cohésion : hydratation du ciment feutrage cristallin (béton) immobilité des éléments les uns par rapport aux autres. Effets néphaste du retrait.

Les propriétés de résistances à la rupture et de modules de déformation du matériau sont grandement influencées par le rapport eau sur ciment (E/C) à l'image du béton et par la nature des granulats. Aussi, convient-il de faire un bon dosage au ciment et à l'eau (teneur en eau de compactage).

Le phénomène qu'il convient de retenir tout particulièrement pour les matériaux traités au ciment est que ceux-ci ont un comportement analogue à celui d'un béton hydraulique, et par conséquent les déformations admissibles dépendent peu du nombre de répétition de charges.

La méthode de dimensionnement à adopter serait alors celle du C E R.
Les épaisseurs suggérées seront celles comprises entre 20 et 25 cm selon l'importance du trafic pour un essieu de 13 tonnes.

b) recommandations pratiques

b₁) Choix du matériau de base

Selon l'étude faite par le C E B T P, un matériau est économiquement stabilisable au ciment lorsqu'il est conforme aux spécifications suivantes :
granulométrie

- dimension maximum des grains : 75 mm (de préférence 50 mm)
- % passant au tamis de 5 mm : 40 min
- % passant au tamis de 0.5 mm : 10 min
- % passant au tamis de 0.08 mm : 80 max
- % d'argile inférieure à 2 µ : 30 max
- coefficient d'uniformité $\frac{D_{60}}{D_{10}}$: 5 min

Plasticité

- Limite de liquidité : 40 max
- Indice de plasticité : 20 max (de préférence 15)
- Equivalent de sable : 0 - 50

Composition chimiques

- matières organiques : 2 % max
- teneur en sulfate : négligeable

Ciments : les ciments utilisés sont les ciments Portland ordinaires conformes aux spécifications courantes.

b₂) Etudes du mélange

Les études du mélange nécessitent les essais suivants :

- Essais d'identification du sol proposé,
- Essais de compactage Proctor modifié,
- Teneur en eau de pulvérisation,
- Essais de résistance à la compression simple,
- Essais de résistance à la traction,
- Mesures de modules d'élasticité,
- Etudes théoriques de l'épaisseur requise (épaisseur de mise en oeuvre).

.....

b₃) Précautions à prendre lors de la mise en oeuvre

Pour réaliser une bonne couche de chaussée traitée au ciment, il importe de prendre certaines précautions lors de la mise en oeuvre dont les principales sont les suivantes :

- assurer une plus grande homogénéité du mélange ; pour cela utiliser les modes de malaxage efficace (central) ;
- respecter les délais de compactage ; il se fera avant le manifestement des phénomènes de prises ;
- assurer un bon compactage de la couche inférieure ;
- assurer une bonne butée aux accotements en les réalisant avec un matériau ayant des qualités de cohésivité et de stabilité pour éviter le fluage latéral du sol-ciment ;
- interdire la circulation pendant au moins 48 heures après la mise en oeuvre ;
- Lorsque le mélange est fait en central la teneur en eau sera un peu supérieure à la teneur en eau optimum Proctor modifié pour tenir compte de l'évaporation lors du transport.

c) Exécution du mélange

Le mélange peut se faire de deux manières différentes.

- Au cas où le matériau de mauvaise qualité est déjà approvisionné, on disposera les sacs de ciment le long du tronçon suivant un espacement convenable. Un engin adapté au mélange insitu appelé plvix-mixer suivra pour faire le mélange.

- Au cas où le matériau de mauvaise qualité n'est pas approvisionné, le mélange se fera de préférence en central-plant. C'est un dispositif mécanique installé à la carrière et muni d'appareil permettant le réglage de la teneur en eau et en ciment.

d) Compactage - reprises de compactage

Après approvisionnement du mélange, les tas seront étalés suivant l'épaisseur requise et selon le profil en travers-type. On procédera ensuite au compactage aux rouleaux à pneus et aux rouleaux lisses pour atteindre la compacité fixée et ceci avant la prise du ciment.

Un chantier de route ne se termine jamais sans faire d'opération de reprise de compactage.

Cette opération est particulièrement délicate dans le cas de matériaux traités. Nous rappellerons auparavant que pour les matériaux traités, on n'admet jamais de grattage en vue de la diminution de l'épaisseur d'une couche déjà compactée. D'ailleurs, l'opération est très difficile sinon impossible à faire.

Ainsi, lorsque la compacité n'est pas atteinte, on fera un léger coup d'arrosage et on compactera de nouveau. Généralement on atteint la compacité après ce deuxième essai. Mais si la compacité n'est pas atteinte après le deuxième essai, l'opération de réalisation de couche traitée est à reprendre sur tout le tronçon. Tout le matériau approvisionné précédemment sera découpé et éliminé purement et simplement car la prise s'est déjà effectuée.

Ainsi l'on voit qu'il est important de garder habileté et rapidité d'exécution lors de la mise en oeuvre des matériaux traités au ciment.

Le traitement au ciment, eu égard à son action sur la nature de l'argile sera certainement bien adapté à la stabilisation de l'argile latéritique (région de Thiès au Sénégal)

Cette technique n'est pas inconnue en Afrique et plus de 300 km ont été déjà expérimentés en Afrique francophone. Les routes concernées sont les suivantes.

Guéoul - Louga	au Sénégal
Kaolack - Diourbel	au Sénégal
Kinkala - Boko	au Congo
Kinkala - Matoumbu	au Congo
Porto-Novo - Cotonou	au Dahomey (actuel Bénin)
Kaélé - Kalfou	au Cameroun
Bonoua - Aboisso	en Côte-d'Ivoire

.../...

IV - DETERIORATIONS DES CHAUSSEES DANS LA REGION DE THIES

Les innombrables éléments, divers et très variés contribuent à la détérioration d'une chaussée font qu'il est sans doute difficile sinon presque impossible de déterminer la cause exacte d'une quelconque détérioration. Elle peut être amorcée par une et être accentuée par une autre. Généralement, la seconde est plus facile à détecter et l'on serait alors tenté de la retenir comme étant la principale ce qui n'est pas exact. Ainsi, vouloir donner la cause d'une détérioration par simple observation est-il chose très présomptueuse, voir même illusoire. Dès lors, serait-il plus prudent de donner par simple observation les causes probables des détériorations des chaussées. Mais pour bien analyser la détérioration d'une chaussée, il faudrait peut être tout d'abord connaître son âge et sa structure. C'est dans cet esprit que nous présenterons au début de cette partie, l'ensemble des routes revêtues de la région de THIES.

Si l'âge de la chaussée et sa structure jouent un rôle important dans les dégradations observées, il ne reste pas moins qu'une mauvaise exécution ou réalisation des différentes phases d'un projet de route conduit souvent à des déboires. Ces différents échecs seront regroupés sous le terme causes internes parce que spécifiques à la construction de la route elle-même. D'autres effets, s'éloignant certes de la route dans son essence ont une influence non négligeable sur le comportement de la route, nous les désignerons sous le terme causes externes.

4. 1 Réseau routier de la région de Thies.

En observant les tableaux suivants, on peut faire les constatations suivantes :

- En général la chaussée était initialement étroite et ensuite élargie de part et d'autre de la bande centrale ;
- les bords sont donc plus récents et servent de zones de roulement mais ils sont construits sur les accotements anciens non bien stabilisés ;
- les plateformes sont souvent en sable légèrement argileux et quelquefois en marnes ou argiles latéritiques ;
- il n'a presque pas été procédé à une utilisation de sous-couche anticontaminante ;

- Les sols de plateforme en argile latéritique ou en marne n'ont pas été améliorés ;
- le trafic bien que faible, augmente très rapidement.
- La plupart des routes a atteint sa durée de vie (15 ans)

Bien souvent, les déformations observées seront les conséquences de ces constatations et eu égard à l'élargissement, nous observerons surtout sur la bande centrale des chaussées, des détériorations dues à la fatigue et au vieillissement du revêtement.

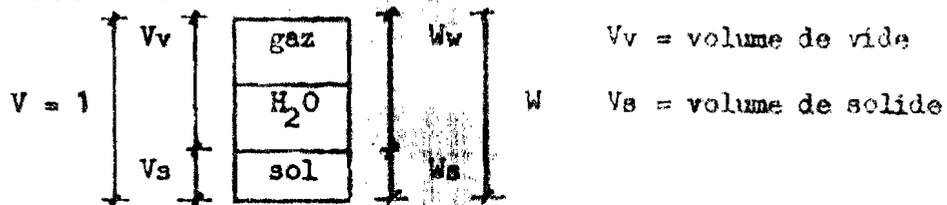
.../...

tronçon	km	Année de construction	Constitution de la chaussée	Trafic en véhicule/j	Sol de plateforme
Diam Niayes Sébikotane - Thiès sur N ₂	32	1950/51	Couche de base = empierrement 50/70 calcaire ou basalte. Revêtement initial = bicouche (gravillons basalte et cut-back 150/200 ou tricouche.		Marnes ou sable et latérite
THIÈS - PONT DE M'BABA sur N ₂	29	1950/52	Fondation 15 cm latérite Couche de base = gravillons tout venant latéritique Imprégnation au cut-back 0/1 Revêtement = bicouche (gravillons basalte et émulsion)	300 en 1954 55 530 en 1961	Sable légèrement argileux IP # 5 CBR 30-80 d # 50% PM fin et très imperméable peu capillaire
PONT DE M'BABA - MECKE sur N ₂	12	1957/58	Couche de base 15 cm latérite Imprégnation 0/1 Revêtement = bicouche (gravillons basalte et cut-back 150/200)	300 1954 - 312 1961	Sable limoneux 1.83 < d < 2.08 1.3 < w < 3.4
MECKE-PEKESSE-THIL MAKHA sur D 703	44	1956 à 59	MECKE-PEKESSE (22 km) Couche de base = latérite de Lam-Lam + ciment - Imprégnation cut-back 0/1 Revêtement = Monocouche basalte et cut-back 150/200 PEKESSE-THILMAKHA (22 km) Couche de base = sol-ciment Revêtement = Tapis Sheet-asphalt (45 kg/M ²)	192 en 1968	Sable limoneux non plastique d max 1.80

tronçon	km	Année de construction	Constitution de la chaussée	Trafic en véhicule/j	Sol de la plateforme
THILMAKHA - LIMITE région DIOURBEL (DAROU MARNANE) sur D 703	5	1962	Couche de base = latérite Revêtement = Monocouche (basalte)		
MÈCKE - KELLE sur N ₂	10	1958	Couche de base 15 cm latérite Imprégnation 0/1 Revêtement = bicouche (gravillons basalte et cut-back 150/200)		
THIES - EMBRANCHEMENT de GOUNDIANE (FK 8.66) sur N ₃	22	1951/52	Couche de base = latérite Revêtement initial = gravillons latérite et cut-back 50/100 Elargissement à 6 m en 63 - 64 - 65 Revêtement bicouche (basalte + émulsion)	723 en 1961	Sable légèrement argileux
Embranchement COU-DIANE - KHOMBOLE (FK 8.66 à 14.36) sur N ₃	6	1960	Couche de base = latérite + 3% ciment Imprégnation 0/1 Revêtement = Monocouche (basalte + émulsion)		Sable argileux
DU FK 14.36 au FK 21.5 sur N ₃	7	1960	Couche de base = latérite + 3% ciment Imprégnation 0/1 Revêtement = basalte + cut-back 150/200 bicouche		Sable argileux

tronçon	km	Année de construction	Structure de la chaussée	Trafic en véhicule/j	Sol de plateforme
M'BOUROUCK - MBOUR sur N ₁	40	1951/52	Couche de base = 10 à 15 cm latérite Imprégnation au 0/1 Revêtement = 3 à 4 cm tapis enrobés (gravillons de grès ou basalte) Tapis fermeture ou consol.	400 1954-55 814 1967	Sable fin légèrement argileux 3 < IP < 12 90% < d < 96% PM CBR initial de l'ordre de 15%. Quelques fois groupes latéritiques (argile latéritique)
M'BOUR - THIAZIAYE sur N ₁	28	1950/51	Macadam calcaire - semi-pénétration au cut-back 150/200 Tricouche (gravillons calcaire et cut-back 150/200)		
SINDIA - POPENCHINE D 701	9	1962	Couche de base = latérite Imprégnation 0/1 Revêtement = bicouche (basalte et cut-back 150/200 + sablage)		
KEUR MOUSSA - KAYAR D 700	21	1957	Couche de base = blocage latéritique. Revêtement = tricouche gravillon latéritiques + émulsion + sablage Tapis d'entretien = basalte + émulsion (1954)		
M'BOUR - JOAL	34	1954 Reconstruction et élargissement en 1972/74 voir fin	Couche de base = 15 cm latérite Imprégnation 0/1 Revêtement = enrobés de basalte (40 kg/m ²) et Cut-back 150/200		

On a le schéma suivant



En raisonnant sur un échantillon de volume égal à l'unité on aura

$$\Delta w = w_{OPM} - w_n$$

$$W_s = d \times V$$

$$\text{on a } \Delta w = \frac{\Delta W_w}{W_s} \Rightarrow \Delta W_w = \Delta w \times W_s$$

$$W_w = \Delta w \times d \times V = \text{quantité d'eau à ajouter}$$

le temps nécessaire pour vider cette eau = t

$$t = \frac{\Delta W_w}{Q}$$

Connaissant la longueur L du tronçon alors on a la vitesse $U = \frac{L}{t}$

d'où

$$U = \frac{L \times Q}{\Delta W_w} = \frac{L \times Q}{V d \Delta w}$$

c₂) Teneur en eau naturelle > à la teneur en eau de l'O P M

L'opération à faire dans ce cas est la diminution de la quantité d'eau contenue dans le matériau. On essaiera donc de faire évaporer cette eau. L'opération est d'autant plus délicate que le contexte climatique concerné est favorable aux orages. C'est le cas des pays de l'Afrique équatoriale où la saison des pluies dure environ 9 mois sur 12.

On pourrait remédier à cet inconvénient en construisant avec un matériau d'apport plus sec ou traité en central, mais la rareté de ce matériau en climat humide, le coût de l'emprunt, du transport et de la fabrication du matériau traité rendrait certainement cette solution trop coûteuse. Aussi adopte-t-on des solutions certes rustiques mais plus rentables pour les pays en voie de développement.

Ainsi on pourra augmenter la largeur de la bande à débroussailler afin d'augmenter l'aération facteur accélérant l'assèchement du terrain. La largeur de débroussaillage à augmenter est généralement égale à la hauteur moyenne des arbres. Une autre technique consiste à faire un traitement du sol à la chaux vive particulièrement intéressant dans les terrains

4. 2 Echecs sur les différentes phases d'un projet ou causes internes des détériorations

4.2.1 Conception

- épaisseur insuffisante

Elle peut causer un affaissement de la chaussée. Cet affaissement peut entraîner des désordres au niveau de la couche de revêtement selon sa rigidité (peau de crocodile).

- rayon de courbure faible

Il y a augmentation de la force centrifuge donc augmentation des forces de frottement. Ces forces de frottement accentuent l'usure des revêtements. Il en résulte un polissage et une glissance de la chaussée. L'épaisseur de revêtement diminuant, il devient surchargé alors et cède sous le poids des véhicules.

- largeur d'accotement insuffisante

Les poids lourds stationnent alors sur la chaussée. Or une chaussée se détériore plus pour une charge statique que pour une charge roulante.

- largeur d'imprégnation insuffisante

Le ravinement produit par l'eau de ruissellement atteint vite la chaussée proprement dite. Il s'ensuit des cassures sur les bords du revêtement.

- fossé sous-dimensionné

L'eau déborde et attaque la chaussée sensible à l'eau après avoir détruit les accotements. Les couches inférieures peuvent alors être imbibées ce qui aura comme conséquence un tassement de la chaussée.

Diverses détériorations apparaîtront alors (gonflement puis cassure après assèchement, ravinement sous chaussée, chute de portance)

- pente transversale trop forte

La vitesse de l'eau augmente d'où une augmentation de la force créant le ravinement des accotements.

- matériaux de mauvaises qualités routières

- mauvais drainage profond produisant des cassures au niveau du revêtement par suite d'affaissement.

- couche de base déformable ou manque de rigidité

Quand la couche de base est déformable, il en résulte des cassures superficielles et un faïençage du revêtement.

tronçon	km	Année de construction	Structure de la chaussée	Trafic en véhicule/j	Sol de plateforme
M'BAYACK - M'BORO	47.5	1962/63/ 64	Couche de base PK0 à 20 : calcaire lac tan na PK20 à 43 : latérite de Mt- ROLLAND PK 43 à 47.5 : Phosphate de Taïba N'DIAYE Imprégnation 0/1 Revêtement = bicouche basalte + émulsion + sablage	de l'ordre de 50 en 1962	Sable légèrement ar- gileux
M'BORO - DIOGO R 70 bis	19	1962/63/ 64	Couche de base = phosphate Taïba N'DIAYE Imprégnation 0/1 Revêtement = Monocouche ba- salte émulsion + sablage		
TIVAOUANE - M'BORO MER	29	1957/58	Couche de base = latérite de Lam-Lam Imprégnation 0/1 Revêtement = Monocouche (basalte émulsion + sablage)		Sable légèrement ar- gileux
M'BOUR - JOAL	33.2	Recons- truction 1972/73/74	M'BOUR - NIANING (11,24 km) Couche de base = 15 cm la- térite de gandigal amélioré à 3% de ciment Imprégnation au 0/1 Revêtement : bicouche basal- te cut-back 200/6000 Nianing - M'Bodiène (10,16 km) de gandigal amélioré à 2,5 % de ciment - Revête- ment enrobé bitumineux	34 en 1966	Voir Annexe en coupe de chaussée

- absence de butée de bord
- absence de couche anticorrosive.

Il y a alors pollution du corps de chaussée ; il en résulte la création de flaches et nids de poule.

422 Mise en oeuvre

- défaut de compacité aux accotements.

Il y a affaissement sous la charge des poids lourds ; il en résulte après un fluage de la couche de base.

- poches de points faibles en couche de base

Il en résulte une cassure du revêtement plus rigide et il y a formation de nids de poule ou de flaches.

- Défaut de compacité sur les couches de base, de fondation et sur la plateforme.

La conséquence immédiate est l'existence de poches de points faibles.

Il y a orniérage ou pelade.

- mauvais accrochage du revêtement sur la couche de base

Il peut donner lieu à un fafençage de la chaussée, à une palade du revêtement.

- surcompactage des couches de chaussées.

Il peut donner lieu à des ornières dans les routes non revêtues et est souvent la cause de chute de portance.

- Stabilité insuffisante des enrobés

Il y a création d'ornièrages.

- dosage faible

Il n'y a pas suffisamment de cohésion, il y a alors arrachement des gravillons.

- excès de liant hydrocarboné

On assiste alors à une remontée du liant.

- Ségrégation à la mise en oeuvre

Il y a alors plumage c'est-à-dire arrachement des gravillons du revêtement.

- température de mise en oeuvre insuffisante ou trop grande

On assiste à une remontée du liant, à un réssuage c'est-à-dire une apparition d'un excès de liant en surface.

4.3 Causes externes

- Croissance accrue du trafic

Avec l'évolution du mode de vie, le parc automobile du Sénégal connaît une très forte croissance ; bien souvent le taux de croissance estimé a été largement surpassé.

- Surcharge des poids lourds

Les poids lourds circulant sur les chaussées n'ont pas été prévus lors du dimensionnement. En effet la charge utile des camions ne cesse d'augmenter en fonction de l'évolution technologique. Même si ces poids lourds ont été prévus (ce qui est peu probable) il n'est pas rare de rencontrer des poids lourds en surcharge reconnaissable à la forme des pneus. Les camions de la Compagnie Sucrière et ceux de la Mine de Taïba en sont des exemples frappants.

- Âge des chaussées.

L'âge des chaussées a sans doute une incidence sur les détériorations actuelles observées. Malgré une intervention d'entretien systématique (ce qui est très rare au Sénégal), on ne peut pas éliminer cet effet ; tout au plus on ne pourrait qu'allonger la durée de vie de la chaussée et cela de quelques années. La plupart des routes a donc dépassé la durée de vie de 15 ans et l'on s'achemine peu à peu vers la ruine. Beaucoup de détériorations résultant du vieillissement seront-elles alors souvent observées sur le réseau.

- Effet de la pollution

Selon les études de sols qui ont été faites lors de l'élaboration de ces routes, la plupart des plateformes sont constituées de sable légèrement argileux ou argileux. Aussi peut-on penser à une éventuelle contamination de la couche de base par les argiles nocives. Les fines argileuses remontant dans la couche de base lorsque humidifiées créent des affaiblissements et des points faibles qui sont souvent à l'origine de nids de poule.

- Action de l'eau

Les fines argileuses humidifiées affaiblissent le frottement interne ; il en résulte alors une déformation de la plateforme comme un liquide visqueux. La latérite argileuse souvent trouvée en plateforme ou utilisée en remblai dans la région de Thiès est très sensible à l'eau.

En effet, elle gonfle en présence de l'eau et donne lieu à des zones de faiblesse en saison sèche. Aussi, il n'est pas rare de constater des zones défoncées ou des zones où il y a fluage de la latérite. Nous donnons en annexe en guise d'exemple des coupes de chaussées et des remarques faites cinq ans après la construction de la route M'Bour - Joal au Sénégal. Ces coupes permettent de constater que les échecs n'ont lieu que là où la latérite argileuse a été utilisée. En effet, comme l'argile acquiert quelques charges négatives en présence d'eau, elle n'est plus alors stable et l'on enregistre dès lors des déformations sous la chaussée.

- élargissement des chaussées

Les parties récentes des chaussées élargies atteignent rarement la durée de vie escomptée. En effet ces élargissements sont faits sur les accotements qui n'avaient pas été préparés pour.



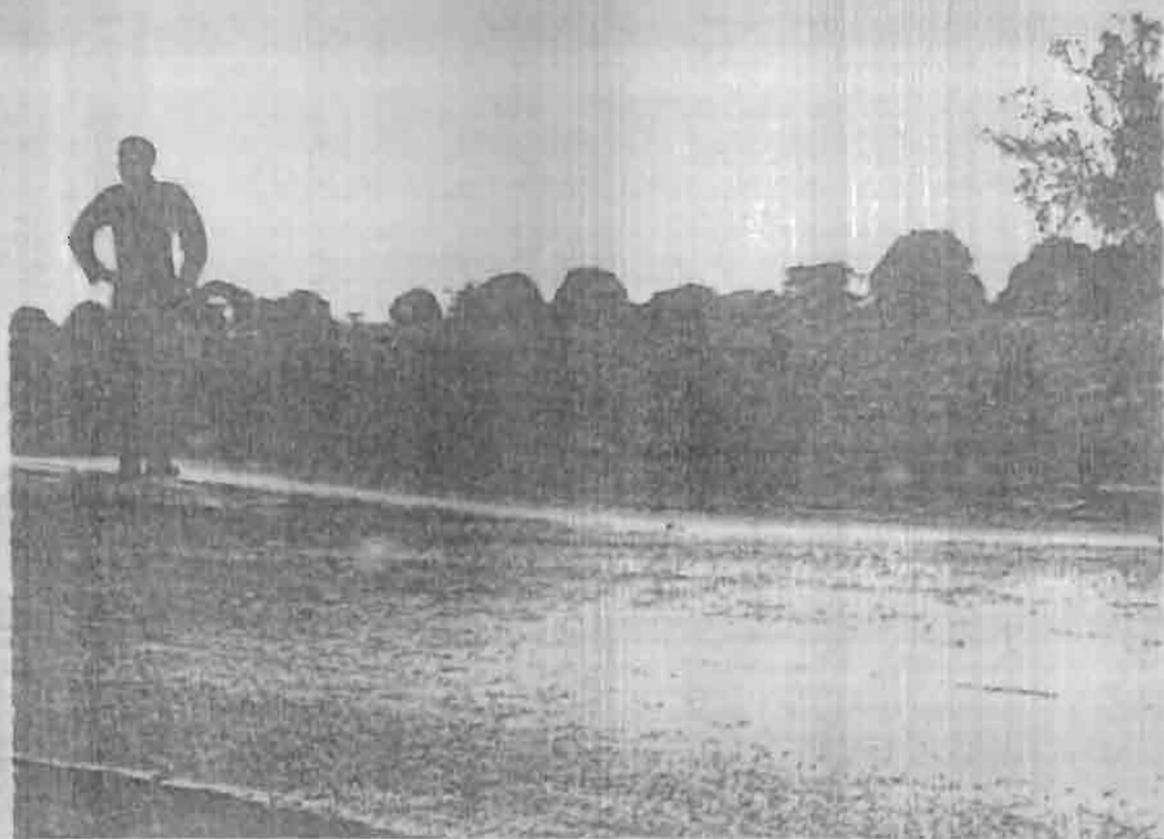


Fig : 4.1 Affaissement de la chaussée sur une très grande profondeur. Pas de cassure du revêtement qui doit alors être très flexible.

Causes probables : - défaut de compacité des couches inférieures.

- trafic trop lourd

(Route Tivaouane - M'Boro)

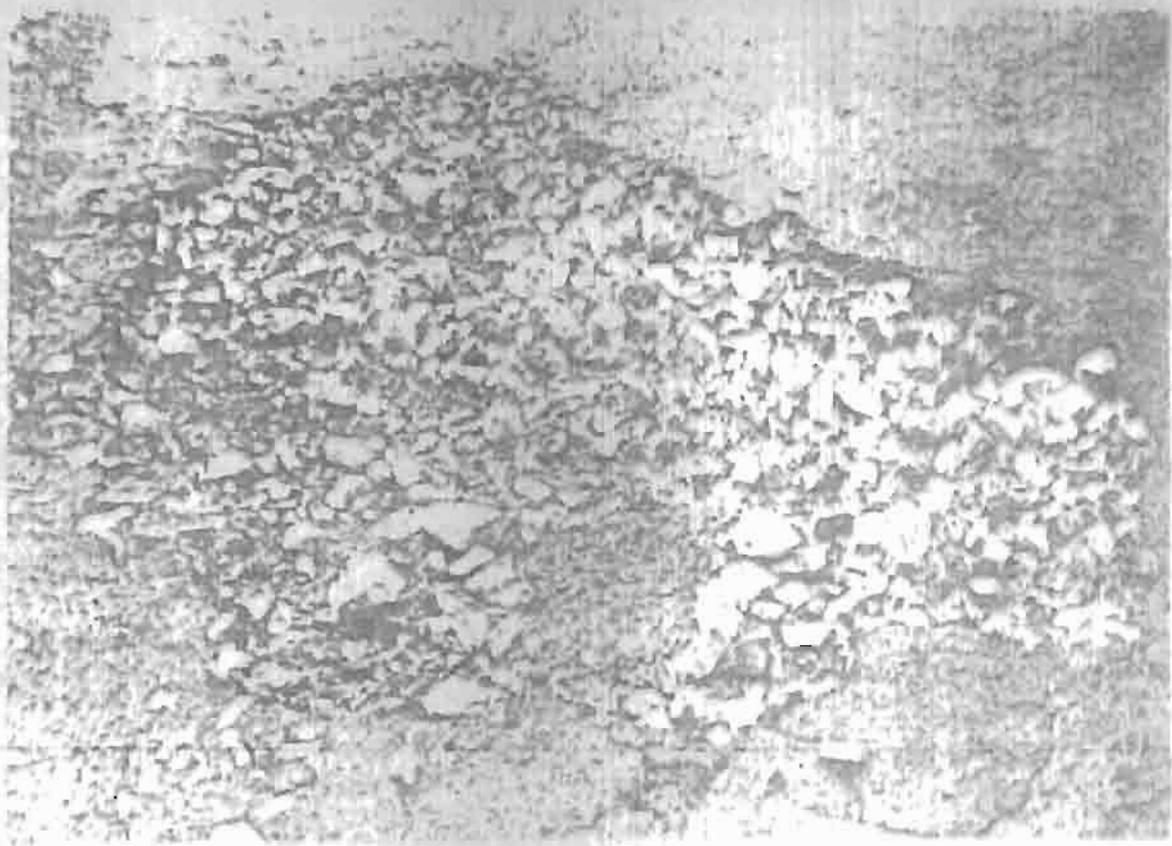


Fig : 4.2 - Nid de poule peu profond

Causes probables : désenrobage du calcaire par suite de l'évaporation des éléments volatils du liant hydrocarboné - détérioration accentuée par le vieillissement.

(Route Ecole Polytechnique - Base Aérienne de Tignes)

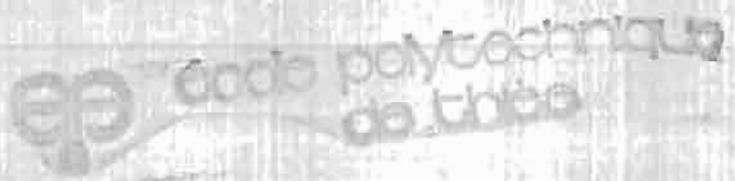




Fig. 4.3 - Coupe de l'érosion

Causes probables à l'origine de l'érosion de la berge utilisée :

- chute de matériaux à la suite de fortes pluies
- action directe de l'érosion des graviers (sans de plus hauts en carrière)
- action de l'eau sur le sol

(Bata Trevigne - 1992)

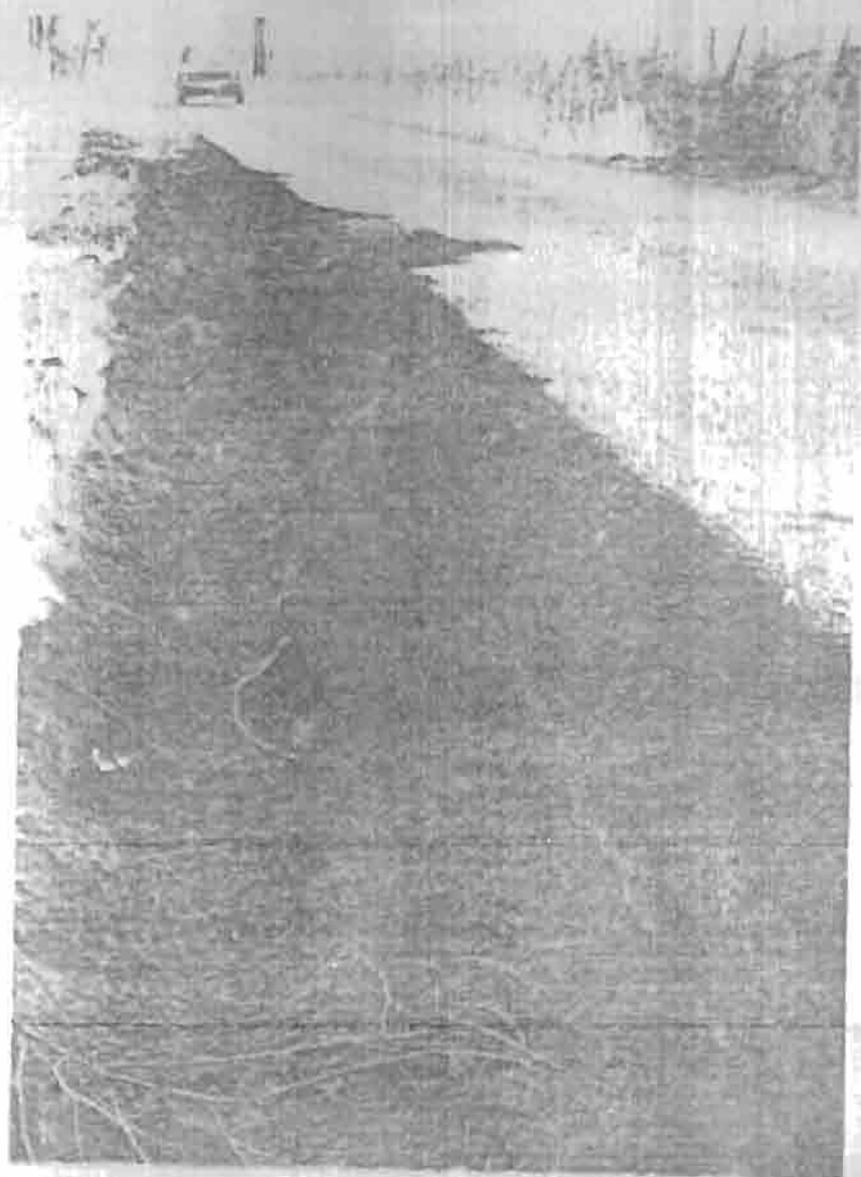


Fig : 4.5 - Usure du bord de la chaussée

Causes probables : - absence de fossés pour évacuer l'eau
d'où ravinement.

(Route Ecole Polytechnique - Annexe du génie)

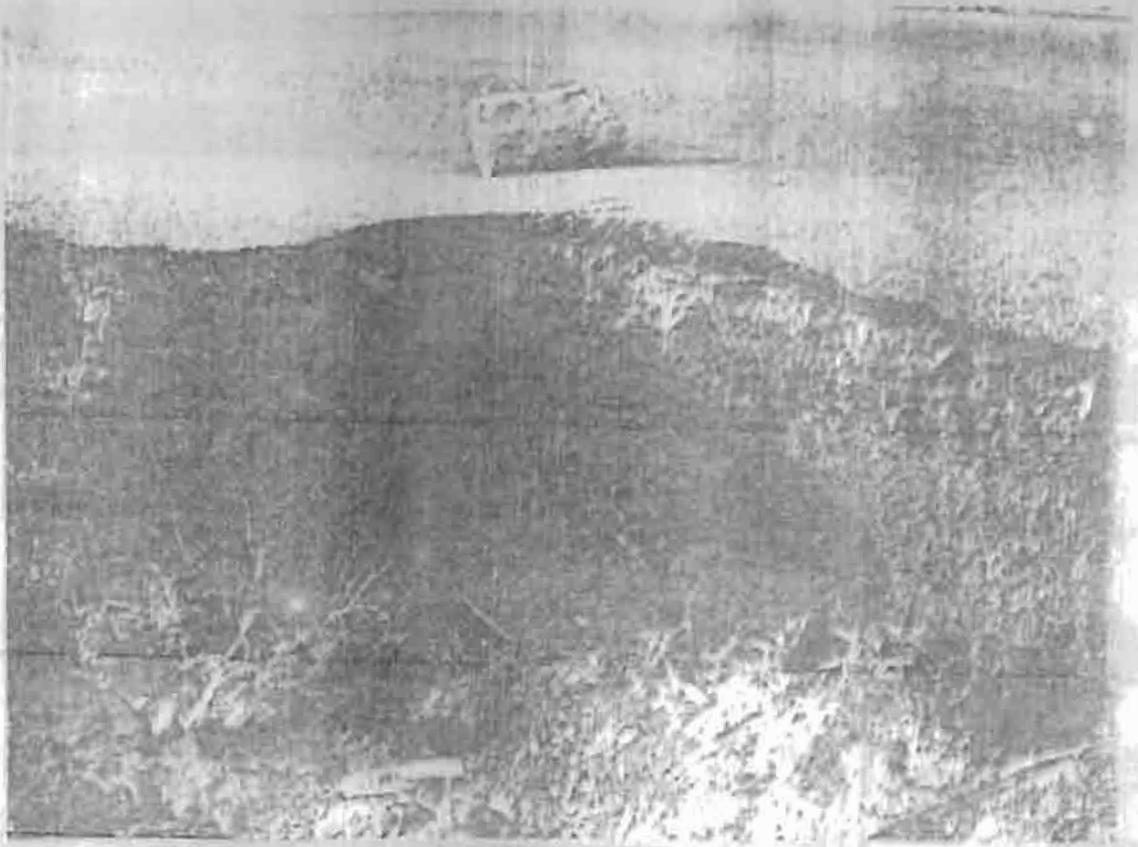


Fig : 4.7 - Ravinement interne

Cause probable : - infiltration causant un charriage interne
des fines.

- couches inférieures perméables.

(Route Ecole Polytechnique - Barré Aérienne)

.../...

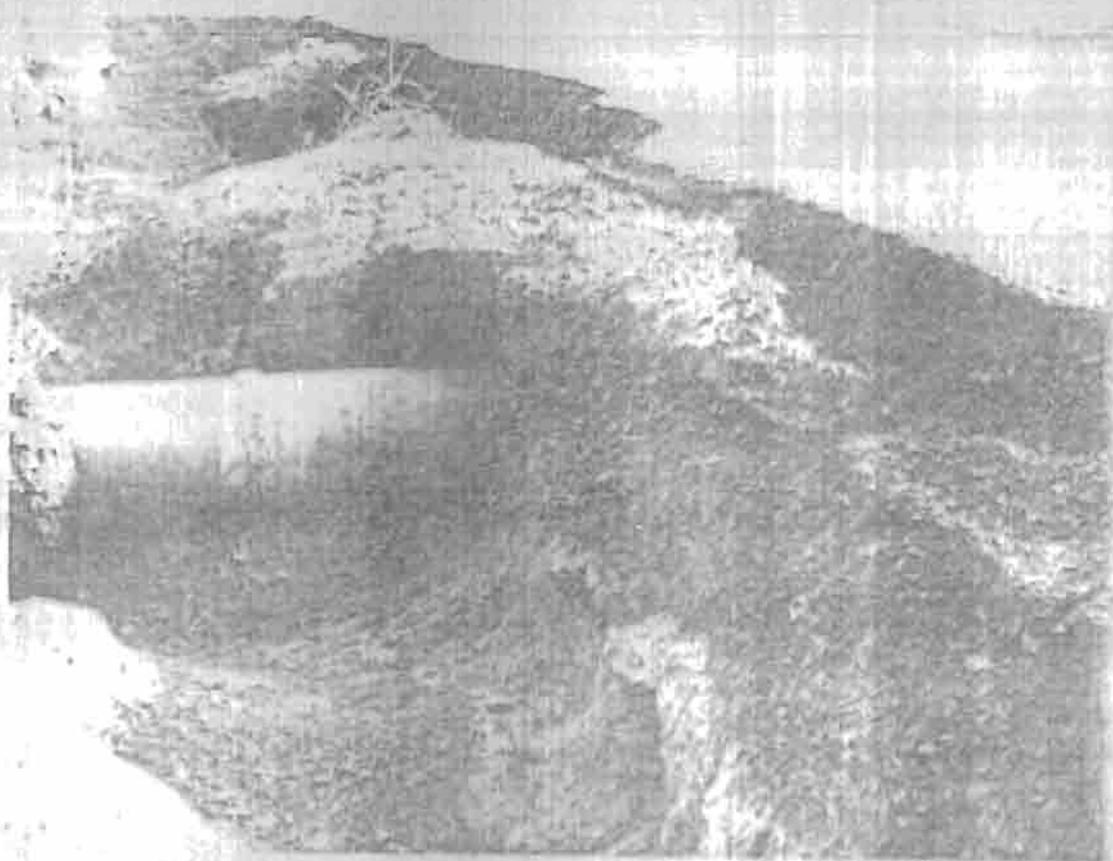


Fig : 4.6 - Ravinement par l'eau de pluie

Cause probable : - base sous-chaussée sous-dimensionnée
- fossé sous-dimensionné

(Route Ecole Polytechnique - Base Aérienne)

.../...

C O N C L U S I O N

Si l'Afrique veut avoir de bonnes chaussées, si l'Afrique veut préserver son équipement (voiture, matériel roulant) qu'elle paie très cher, si l'Afrique veut préserver des vies humaines, elle a intérêt à abandonner la solution de fortune qui consiste à construire des chaussées dites économiques. D'ailleurs ces types de chaussées sont loin d'être économiques à long terme. En effet, l'élargissement d'une chaussée nécessite un travail coûteux et très difficile pour un succès incertain.

Cependant, cela ne constitue pas le seul handicap de l'Afrique en matière de conception de route. En effet, aucune des méthodes ou techniques de construction routière n'a été conçue pour elle. Et malgré les adaptations que l'on essaie toujours de faire, certains problèmes se posent encore en ces termes :

- En Afrique, la recherche en géotechnique routière n'est pas encore très avancée et les rares laboratoires existants, ne disposent pas encore de planches d'essai ;

- Il manque encore au continent africain un équipement moderne pour pouvoir mener à bien l'exécution des travaux ; le compactage se faisant encore à 95 % de l'O P M.

- L'Afrique ne dispose pas de lient hydrocarboné spécialement fabriqué pour les matériaux en place et pour son climat ; les liants utilisés répondant à des critères et normes spécifiques au pays d'origine ; ils sont dès lors soit trop fluides, soit trop visqueux pour le climat qui prévaut ; en effet, l'Afrique connaît généralement de grands écarts de température et ces variations ne sont pas certes sans incidences sur le comportement du liant.

- L'Afrique ne possède pas souvent les ressources financières nécessaires pour améliorer tous les mauvais sols de plateforme ou de fondation et doit alors se contenter de ce qu'il y a sur place. La résolution de ces problèmes est de beaucoup surbaissée à la recherche. Cette recherche ne peut être effectuée qu'en Afrique car elle doit respecter des normes de trafic et d'environnement. Dès lors, le concours des Universités, Ecoles Professionnelles et Laboratoires africains seraient d'un apport considérable.

Enfin, la remarque pertinente qu'il faudrait sans doute faire après lecture de cette thèse serait peut-être la suivante ; l'Afrique aura à travers tous les pays qu'elle comprend, expérimenté la presque totalité des différentes techniques de construction routières déjà mises au point dans le monde entier. Dans certains cas, cette expérimentation aura été couronnée de succès, dans d'autres, elle se sera soldée par des échecs. Si les nouvelles méthodes de dimensionnement sont bien adaptées à l'état de l'Illinois aux U.S.A., elles sont loin de l'être pour le continent africain car faisant intervenir un coefficient régional qui du reste est jusqu'à présent indéterminé pour l'Afrique ; la méthode a été purement et simplement injectée sans modifications dans le contexte africain. Dès lors, il est sans doute très difficile de parler de méthode africaine de dimensionnement des chaussées et cela constitue a priori une des plus grandes faiblesses de la technique africaine de construction routière. Ainsi, les techniques et recommandations rassemblées dans cette thèse sont loin de constituer une bible quant à la construction de route en Afrique, mais plutôt un recueil de référence et de comparaison, synthèse de l'expérience africaine en matière de construction routière. Il reste beaucoup à faire. La route est encore longue.

B I B L I O G R A P H I E

- H. ERHART - La genèse des sols en tant que phénomène géologique (2e édition Masson et Cie) 1967
- Philippe DUCHAUFOUR - L'évolution des sols - essai sur la dynamique des profils (Masson et Cie, Editeurs) 1968
- Jean GOGUEL - Application de la géologie aux travaux de l'ingénieur (Masson et Cie, Editeurs) 2e édition 1967
- P. BELLAIR et C. POMEROL - Eléments de géologie ; collection U (3e édition) 1971
- J. LETOURMEUR et R. MICHEL - Géologie du génie civil ; collection U 1971
- B C E O M - C E B T P (Bureau central d'études d'Outre-mer - Centre d'études du bâtiment et des travaux publics-France)
- Manuel sur les routes dans les zones tropicales et désertiques.
- Tome 1 : conception et économie des projets routiers-1972
- Tome 2 : Etudes et construction - 1975
- Tome 3 : Entretien et exploitation de la route - 1972
(publication du Secrétariat d'Etat Français aux Affaires Etrangères)
- Georges JEUFFROY - Conception et construction des chaussées
tome 1 et 2 (2e édition - EYROLLES) 1970
- UNESCO - Routes dans les pays en voie de développement
conception - construction - entretien (2e édition EYROLLES) 1968
- L C P C (Laboratoire central des ponts et chaussées) - Ciments et chaux dans les assises de chaussées - (diffusion EYROLLES) 1968
- H. GRIMOND et G. SAIAS - Revêtements bétonnés aux U.S.A (EYROLLES éditeur) 1956
- R. L'HERMINIER - Mécanique des sols et des chaussées (édition EYROLLES) 1967
- C E B T P - Manuel de dimensionnement de chaussées pour les pays tropicaux (publication du secrétariat d'état français aux affaires étrangère)

SETRA - L C P C - Catalogue de détérioration de chaussées (2^e édition 1972)
(publication du Ministère Français de l'équipement et
du Logement)

L B T P (Laboratoire du bâtiment et des travaux publics - Sénégal Dakar)
Reconnaissance des routes revêtues du Sénégal - Etude sur les
problèmes de renforcement.

L B T P - Inventaire des routes au Sénégal

R. JONEAUX - Possibilité comparées des routes non revêtues et des routes
revêtues dans les pays africains - 1975
Revue générale africaine de l'industrie, des mines et des
travaux publics
Revue générale des routes et aéroports

POCLAIN - construction des routes et autoroutes.

(A N N E X E)

Coupe de chaussée Route M'Pour - Joal (étude C E B T F 1959)

Joal	tronçon 1 4 km	tronçon 2 6 km	tronçon 3 22 km	tronçon 4 12 km
	tapis bitumeux	2 à 3 cm	2 à 3 cm	2 à 3 cm
Latérite	60-70% gravier 15-20% sable 20 CBR 25 15-20% argile 24 IP 34 sable coquillier 8 IP 10 sable IP = 0	55-65% gravier 10-20% sable 20 CBR 50 25% fines latérite et sable argileux 18 IP 24 CBR voisin de 6	65-70% gravier 15-20% sable fin 15% fines 27 IP 40 sable argileux 13 IP 22 parfois organique	45-60% gravier 30-45% sable 10-20% fines 11 IP 18 sable argileux insitu CBR 35%

Remarques en 1959

Remblai 1,00 - 1.50 m Accotement 1.50 - 2.20 latérite argileuse zone défoncée	Remblai 0.50 m accotement 1.50 m la- térite argileuse très très défoncée sauf sur coupes latéritiques	Remblai de 0 - 2.00 m CBR base générale- ment supérieur à 50 Fluage de la latérite plastique
Causes : Imbibitions in situ CBR base 20 - 35 insuffisant CBR fondation 30 OK Fluage de la Latérite	Causes : Absence totale de sable grossier dans la latérite et IP éle- vé CBR insuffisant en couche de base. Epaisseur requise 30cm	chaussée à redimen- sionner 15 cm supplémentai- re Talus à protéger Déformations seu- lement localisées.

PROJET DE RECHERCHES ET D'ETUDES... (faint text)

LABORATOIRE DU B.T.P. ET DES TRAVAUX PUBLICS

DAKAR
BOULEVARD DE L'INDUSTRIE
C.C.P. 1000
T. 3.175

ROUTE NATIONALE

DAKAR - DEAN NIAYIS - ...

KAOLACK - EMIRINE - ...

Tronçon	Année Construction	Entreprise	Tranche	Coûtant Frs CFA	Constitution de la chaussée
DAKAR DIAM - NIAYES	57	1948			C de base et empierrement calcaire Revêtement : Enrobés (nombreux élargissements et renforcements)
DIAM - NIAYES M'BOUR	23	1951/52	Jean Lefebvre N° 25 du 17/12/51 Approuvé le 28/12/51	200 000 000 40 000 000 10 000 000	C de base : 10 à 15 cm Latérite Impregnation au 0/1 Ferdiment : 3 à 4 cm lapis enrobés (gravillons de grès ou basalte) Lapis remblais au conseil
M'BOUR THIADIAYE	28	1950/51	Solidilit N° 25 Approuvé le 14/12/50 Avenant del 2	100 000 000 10 000 000	Macadam calcaire - Semi-pénètre 1 cm au 150/200. 3 couches Lap. calcaires et CB 150/200
THIADIAYE KAOLACK	82	51/52/53	Solidilit	Idem	C de base - sub-bitume 15 EA - CB 50/100 ou de sciement au 150/200 Revêtement : Macadame (gran. basalte et CB 150/200)
KAOLACK N'GATCH	17	1959	Lefebvre SIEDIC	N° 24 du 17/12/59 Approuvé le 24/12/59	C de base - Latérite + 5% ciment Impregnation au 150/200 Revêtement : Macadame (gravillons basalte et CB 150/200)
N'GATCH BIRKELANE	20	1963	Colas, SOTRAAFOM Soc de construction au Sénégal (1911)	N° 160 du 12/12/63 Approuvé le 20/12/63	C de base - Latérite + 7% ciment Impregnation au 0/1 Revêtement : Bricque gravillons basalte et CB 150/200
BIRKELANE KAFFRINE	25		Idem		Idem
BIRKELANE MALEME HODAR	34	1964	Genie		C de base - Latérite Revêtement : Grav. en basalte

ROUTE NATIONALE 2

DIAN NIAYES - THIES - ...
RICHARD-TOLL - BAGANA - ...

Tronçon	Km	Année Construction	Entreprise	Marché	Montant des (FA)	Constitution de la chaussée
DIAM NIAYES THIES	32	1950/51	Solidité S.F.I.O.T.P.	N° 66/1 P approuvé le 18 III/51	201.000.000	C. de base : empierrement en 50/70 Calcaire ou basalte Revêtement initial : Bicouche (gravillons basalte et CB 150/200) ou Tricouche. Ultérieurement : Ren- forcements en enrobés
THIES_Pont de M'BABA	29	1950/52	STÉ - AXME et JULLIAN DES PLATS LEFEBVRE (groupement "GETRAS")	N° 24/1 P approuvé le 11/III/52	296.000.000	Fondation : 45cm latérite C. de base : gravillons IX latéritique Impregnation au Oil Revêtement : Bicouche (grav. basalte et émulsion)
Pont de M'BABA MECKE	13	1951/56	LEFEBVRE	N° 72/1 P/11 approuvé le 15/II/51	100.000.000	C. de base : 15cm latérite Impregnation Oil Revêtement : Bicouche (gravillons basalte et CE 150/200)
MECKE_KELLE	40	1960	LEFEBVRE	N° 51/1 P/26 b/1 P approuvé le 5/III/58	56.000.000	Idem
KELLE_N'DANDE	40	1958/59	LEFEBVRE	N° 62/1 P/23/1 P approuvé le 12/II/58	100.000.000	Idem
N'DANDE KEBEMER	43	1960	LEFEBVRE - HERSENT	N° 58/1 P/37/1 P approuvé le 3/III/60 Accord n° 4	139.000.000	Idem
KEBEMER GUEOUL	48	1960	LEFEBVRE - HERSENT	Idem Accord n° 6	156.000.000	Idem

Commune	Km	Année Construction	Entreprise	Marché	Montant (M.A.)	Constitution de la hausse	Rem.
GUEOUL-LOUGA	17	1960	LEFEBVRE - MERSENT	120m. Avenant n° 2	428 000 000	C de base : Sol. ciment (5%) 10% d'interrochage Emulsion Revêtement : Brouche (granulats basalte et CB 150/200) Renforcement : Sand Asphalt (crist.)	
LOUGA-BARALE	28	1960	COLAS - DUMÉZ	120m. Avenant n° 2	438 000 000	C de base : Sol. ciment (8%) Enduit d'interrochage : Bitume Revêtement : Sand Asphalt (cristallin) Renforcement : Idem	
BARALE - RAO	26	1960	COLAS - GIE	120m. Avenant n° 2	810 000 000	C de fondation : Banch. coquillage C de base : Banch. coquillage + 4% ciment - Litm supérieurs traités au selsol. Revêtement : Sand Asphalt (cristallin) Renforcement : Idem	
RAO	19	1958/59	COLAS	N° 57 / TP / LL / FM approuvé le 6/11/58	104 000 000	C de base : Banch. coquillage + 4% ciment. Imprégnation au 0/4 Revêtement : 3cm enrobés (cra craissés) s de base sur place	
SAINT-LOUIS	25	1965/64	DUMÉZ	N° 248 - 24/9/60 - FM approuvé le 23/11/60	100 000 000	C de base : Banch. coquillage + 4% ciment. Imprégnation au 0/4 Revêtement : 3cm enrobés (cra craissés) s de base sur place	
ROSSO						100 PKT / m. g. au PK 45. Banch. coquillage - Litm supérieurs Traités à la selsol. C de base : Banch. coquillage + 4% ciment + 2% ciment Imprégnation au 0/4 Revêtement : Brouche (granulats basalte, émulsion et CB 150/200)	

Tronçon	Année Construction	Entreprise	Marché	Montant (Fr. CFA)	Composition de la chaussée
ROSSO_DAGANA	52 1964	DUMEL	N° 2181/P/1964	500 000 000	C de base : latérite + 2% ciment Imprégnation 0/1 Revetement : Bicouche (émulsion basaltic et CB 150/200)
DAGANA_N'DIOUM	99 1967/68	SOFRATP COLAS	N° 461/P/69/EM approuvé 13/12/69	500 000 000	C de base : latérite + 3% ciment Imprégnation 0/1 Ensemblement : Bicouche émulsion et basaltic
N'DIOUM_MATAM	153 1969/2010	DUMEL	N° 0241/P/1969/EM approuvé le 26/12/69	400 000 000	C de base : latérite + 3% ciment Imprégnation 0/1 Revetement : Bicouche 10/20 - 5/10 gravillons, sauts (latérite), quartz, quartzite lavée bitume 80/150 dure + sautoir

ROUTE NATIONALE 3

THIES - NIENBOLE - BAKEL -

NIENBOLE - DIARRA - NIENBOLE

Tronçon	Km	Année de construction	Entreprise	Montant	Coût (C.B.)	Observations
THIES - Embranchement de GOUNDIANE (PK 8,66)	22	1951-52		1416.000.000 1000000.000/1416		Travaux de base réalisés Relevement initial par rapport à l'altitude et C.B. de 200 L'argissement de 6m en C.B. 66,65 Renassements SOM - Relevement: Bacchette par suite de déviation
Embl GOUDIANE - KHOMBOLE (PK 8,66 à 14,36)	6	1950	COLAS	1550.700.000 1000000.000/1550.700 1000000.000		(de base - altitude + 3% ciment Impregnation C/I Relevement - Montée par suite de déviation
DUPK 14,36 ou PK 24,5	10	1950	SOFAA TP	11000.000 1000000.000/11000 1000000.000		(de base - altitude + 3% ciment Impregnation C/I Relevement - hausse de C.B. 150/200 accusée
DUPK 24,5 ou PK 35,0	10,5	1950	SOFAA TP	11000.000 1000000.000/11000 1000000.000		(de base - altitude + 3% ciment dans toute sa longueur Impregnation C/I Relevement - hausse de C.B. 150/200 accusée
DUPK 35,0 ou PK 45,0	10	1950	SOFAA TP	11000.000 1000000.000/11000 1000000.000		(de base - altitude + 3% ciment dans toute sa longueur Impregnation C/I Relevement - hausse de C.B. 150/200 accusée
DUPK 45,0 à TOUBA	58	1950-51	SIEDIP	2141.000.000 1000000.000/2141 1000000.000		Travaux de base réalisés de base - altitude + 2% ciment Impregnation C/I Relevement - Bacchette par suite de déviation C.B. 150/200
TOUBA - DAHRA	13	1950-51	J. LEBLANC	1550.700.000 1000000.000/1550.700 1000000.000		(de base - altitude + 3% ciment Impregnation C/I Relevement - hausse de C.B. 150/200 accusée

Tronçon	Km	Année Construction	Entreprise	Marché	Fus (CMA) Constitution de la Chaussée
DAHRA-LINGUERE	40	1973	COLAS	N° 446/79/127 FM approuvé le 26/6/73	Couche de base : latérite Incorporation : 0,4 Revêtement : Brouche basalt. émulsion.

ROUTE NATIONALE 4

KAOLACK - GAMBIE - ZIGI INDIOR

2° Tronçon en territoire gambien (KEUR AYIP_SENOBA)

Tronçon	Année Construction	Entreprise	Marché	Montant (FCFA)	Composition de la chaussée
KEUR AYIP_SENOBA	25 1957/58	SOLIDITA - COLAS	N° 437/TF approuvé le 22/11/57 N° 54/TF (A) 471 approuvé le 6/12/58 avenant n° 4	50 000 000 128 000 000	C de base : 15cm latérite + 3% ciment Impregnation 0/1 Revêtement : Du P.M.O à 9,5 - 11mm : 100mm basalte, émulsion Du P.M. 9,5 à 20,0 - 11mm : 100mm basalte, émulsion + sablage

3°) Tronçon Sud : ZIGUINCHOR - SENOBA (frontière gambienne)

Tronçon	Année Construction	Entreprise	Marché	Montant (les CFA)	Constitution de la chaussée
Chaussée de TOBOR	1960 1966-67	BETAL J. LEBEVRE	N° 180/77/335/EM		Digue Tobor (PK 0 - PK 7) C de base = 15cm coquillage brut Pénétration émulsion Revetement = Mastiche de caoutchouc CB 100/100 sable Tobor Transgambienne (A7) PK 0-2 C de base latérale = 15cm ciment Imprégnation de la même épaisseur sable
Du PK 14,5 au PK 50,5	36 1952, 51, 52 1967	OBSUDE J. LEBEVRE	N° 10/18 approuvé le 11/12/50 Avenants 1 et 2 N° 100/13P/108/EM approuvé le 19/12/60	215 000 000	C de fondation : Sol bitume Exécute par OBSUDE en 1952 CB 100/100 C de base = 15cm latéralement Imp 1 - Revêtement = Sup 100 kg/m ² après latéralique concasse et enrobé sur 10cm de sol
Pont de KOULIKAN SENOBA	28 1961, 62	DJMEZ (COLAS) (LEBEVRE)			C de base latérale ciment Imprégnation Revetement = Mastiche caoutchouc caoutchouc

ROUTE NATIONALE 5

KAOLACK - FASSY - SOKONE - KARANG

Nom	Date construction	Entreprise	Adresse	Montant (M\$ CFA)	Composition de la chaussée
KAOLACK - PASSY	24 1957 158-59	SIFOTI	N° 22/TP/28/1M Approuvé le 7/II/57	52.000.000	C. de base : latérite + 5% ciment Impregnation au O/S Revêtement = Monocoque basalte et CB 150/200 et sablage
PASSY - SOKONE	19 1963/64	SOFRA TP	N° 440/TP/130/1M Approuvé le 30/II/64 N° 493 7/1255 km Approuvé le 15/II/64	175.000.000 100.000.000	C. de base : latérite + 5% ciment Impregnation au O/S Revêtement : Bicouche basalte emulsi- et basalte Revêtement mono-couche (sable)
SOKONE - KARANG	20,5 1966/67	SOFRA TP - DUMET	N° 750/TP/140/1M Approuvé le 3/II/67	215.000.000	C. de base : latérite Impregnation au O/S Revêtement : Monocoque basalte, emulsi- et sablage

ROUTES REGIONALES, DEMARCS LIMITES

ET REPERIQUES



S. NDIA _POPENGINE
 D 701
 53 000 000
 21 CB 150/200 + 50/100

K. MOUSSA _KAYAR
 D 700

M. BOUR _JOAL
 D 711
 24 000 000
 21 CB 150/200 + 50/100

RUFISQUE _SANGAL...
 _CAM _M'BAYACK
 R 10

M'BAYACK _M'BORO
 R 70
 24 000 000
 21 CB 150/200 + 50/100

COAR...
 24 000 000
 21 CB 150/200 + 50/100

Tintcon	Am- Construction	Surprise	Mortgage	Mortgage
M'BORO - DIOGO R 70 bis	19	1962-1963	M'BORO - DIOGO R 70 bis	Cedebest - phosfonate de fer Impression 2 t Nerdlement - monocouche emulsion + sablage
TIVAOUANE - M'BORO MER D 702	19	1962-1963	TIVAOUANE - M'BORO MER D 702	Cedebest - phosfonate de fer Impression 2 t Nerdlement - monocouche emulsion + sablage
KEBEMER - LOMPOULE MER R 30	19	1962-1963	KEBEMER - LOMPOULE MER R 30	Cedebest - phosfonate de fer Impression 2 t Nerdlement - monocouche emulsion + sablage

Tronçon	Km	Année (Construction)	Entreprise	Matériau	Montant (en CFA)	Constitution de la chaussée	Rem.
MEKHE - PEKESSE THILMAKHA D.703	26	1956 à 59	J. LÉFEBVRE	N° 121/17/143/147 M approuvé le 11/11/56 N° 16/17/18/14 M approuvé le 07/11/58 avenant n° 1 approuvé le 16/11/59 N° 31/17/18/14 M approuvé le 2/12/59	50 000 000 27 000 000 28 000 000 91 000 000	MEKHE - PEKESSE (22 km) C de base : Latérite de Lam. Lam Ciment. Impregnation 0/14 Revêtement : Mince couche basalte et CB 150/200 PEKESSE - THILMAKHA (22 km) C de base = Sol. Ciment Revêtement : Topix Sheet asphalt 12,5 kg m ²	
THILMAKHA DAROU MARIANE D.703	40	≈ 1962				C de base : Latérite Revêtement : Mince couche (12,5 kg m ²)	
KEBEMER - SAGATTA R.30	30,5	1961/65	LEFEBVRE - HERSENT J. LÉFEBVRE	N° 58/17/151/15 M Avenant n° 1 approuvé le 14/11/61 N° 23/17/151/15 M Avenant n° 1 approuvé le 30/11/64	30 000 000 150 000 000	C de base : PK 0 à 0,5 : Latérite de Lam. Lam. PK 0,5 à 30,5 : 16cm sable Ecoule maillage 16cm supérieurs stabilisés au ciment Revêtement : Mince couche basalte et CB 150/200	
TOUBA DAROU MOUSTY - SAGATTA R.30	61	1963/64	FRAT. HERSENT LÉFEBVRE	N° 228/17/143/147 M approuvé le 01/12/63	150 000 000	PK 0 à TOUBA PK 0 à 15 C de base : Latérite de N. Digne 15cm Impregnation au bit. 12,5 kg m ² Couche de base 16cm sable - Latérite Tâches Stabilisation de 5cm supérieurs à 2° émulsion Totalité du revêtement : Bicouche basalte et CB 150/200	

Commune	Année	Commis	Mariage	Montant (F.C.F.A.)	Consolidation de la commune
M'BACKE-COLOBANE - KAFFRINE R 60	1962/65	DUMEZ COLAS-LEFFEVRE SFEDTP	N° 156/TP/153/FM approuvé le 19/5/64 N° 102 app le 22/5/64 N° 219/TP/301/FM approuvé le 40/11/64	100 000 000 185 000 000	C de base : 15cm latérite Impregnation O/A Revêtement : Bicouche basalte - émulsion + sablage
M'BAR-GOSSAS D 610	1962/65	MERSENT	N° 153/TP 121/FM approuvé le 19/5/64 N° 104 app le 22/5/64 approuvé le 22/5/64	135 000 000	C de base : 15cm latérite Impregnation O/A Revêtement : Monocouche basalte et C.B. 150/200 + Sablage
GUEOUL-NGOURA - NE P 300	1962	COLAS	N° 16/TP 36/FM approuvé le 13/11/61	47 000 000	C de fondation : 10cm S caire-marne C de base : 10cm mortier safranée - 10cm supérieurs stabilisés au calcaire MP 1/2 Revêtement : Bicouche basalte émulsion + sablage
KAVIL-KEUR - MADIABEL D 600					C de base latérite Impregnation O/A Revêtement : Bicouche basalte émulsion + sablage

N° de l'ouvrage	Année de construction	Entrepreneur	Marché	Montant (F.C.F.A.)	Composition de la chaussée
KOLDA DIANA MALARY R 21	1952	LEFEBVRE - SOFRA	N° 483 / TP / 188 / FM approuvé le 11.07.62 102.000.000		Terressements : 50M (1957-58) C. de base : latérite Imprégnation au CIA Revêtement : Bicouche basalte et CB 150/200