

REPUBLIQUE DU SENEGAL

—
ECOLE POLYTECHNIQUE
DE THIES

—
PROJET GC 0306
DE
FIN D'ETUDES

TITRE: ETUDE DU COMPORTEMENT DES CHAUSSEES
SUR SOLS LATERITIQUES.

AUTEUR: ADAMA GUEYE

GENIE CIVIL

DIRECTEUR: Mr A. PARIS

DATE: JUIN 1985

17.6.85

je dedie ce travail
à mes parents
à mes amis

REMERCIEMENTS

Avant tout je voudrais qu'il me soit permis de remercier très sincèrement mon directeur de projet Mr ANDRÉ PARIS qui m'a été d'un grand secours par sa disponibilité, ses conseils précieux et pour la documentation fournie, Mr NGOM Demba ingénieur du CÉARECA, Mr NIASS Sakhir, ingénieur à la DEP dont la disponibilité et les recommandations nous ont permis de contourner les difficultés rencontrées.

Mes remerciements vont aussi à l'ensemble des autorités administratives et militaires de l'école et aussi à l'ensemble des Elèves Ingénieurs pour leur grand soutien moral.

Enfin je ne terminerai pas sans exprimer ma profonde gratitude à ma famille et à tous mes amis pour leur soutien affectif.

SOMMAIRE

L'étude du sujet grâce au schéma linéaire, document de synthèse de la méthodologie d'aurcultation est intéressante pour l'évaluation de la qualité résiduelle des chaussées. En effet on a pu constater que le réseau routier du Sénégal se caractérise par un comportement satisfaisant dans son ensemble et la durée résiduelle est loin d'être atteinte. Sur le plan de la technique routière proprement dite, il convient d'attirer l'attention sur les limites imposées pour l'emploi des matériaux routiers africains. En effet les latérites n'appartenant aux roches dites évolutives en ce sens qu'elles n'ont pas d'état granulaire stable, ont tendance à former une structure dont la forme est influencée par les conditions d'altération et l'origine génétique du sol.

La déflexion généralement acceptable constitue un excellent moyen d'indication de mauvaise qualité, car traduisant ponctuellement une défaillance dans la structure ou au sol. En plus les dégradations évoluant depuis le revêtement vers la plateforme permettent de déduire que le vieillissement des chaussées se fait par usure.

Enfin nous jugeons essentiel que des recherches soient entreprises pour mieux connaître nos matériaux, et si l'on veut faire progresser nos méthodes de dimensionnement il faut sortir d'un empirisme qui pour excellent qu'il fut, risque de manquer de recul lorsqu'il faudra réaliser des chaussées à grand trafic.

Table DES MATIERES

	page
<u>Preliminaires</u>	
Remerciements	iii
Sommaire	iv
Table des matieres	v
<u>Chapitre I</u> : INTRODUCTION	1
<u>Chapitre II</u> : Connaissance du Reseau	4
<u>Chapitre III</u> : Methodologie de l'auscultation	7
<u>Chapitre IV</u> : Choix de tronçons caractéristiques	12
<u>Chapitre V</u> : Presentation des Laterites & Classification	14
5.1 processus d'alteration tropicale	15
5.2 Conditions de formation des laterites	16
5.3 Laterisation	18
5.4 Caracterisations des laterites	19
5.5 les différents types de laterites	20
5.6 Comportement des laterites par rapport aux essais standards	21
5.6.1 granulometrie	21
5.6.2 Plasticite	22
5.6.3 Compactage	22
5.7 Les laterites à problèmes	23
5.8 Classification des laterites	24
5.9 Les Laterites au Senegal	25
<u>Chapitre VI</u> : Analyse des Composantes de la Chaussée	27
6.1 les sols de plateforme	28
6.2 le trafic	31
6.3 les déflexions	33

<u>Chapitre VII</u> : Analyse Structurale de la chaussée	38
7.1 propriétés des matériaux	39
7.2 étude Théorique	39
7.3 Caractéristiques de la charge agissante	41
7.4 Exemple de Calcul	41
<u>Chapitre VIII</u> : Relevé des dégradations, analyse	47
8.1 Relevé	48
8.2 Analyse	48
8.2.1 : dégradations de surface	50
8.2.2 : dégradations de structure	50
<u>Chapitre IX</u> : RECOMMANDATIONS	54
9.1 Age de la chaussée	55
9.2 Etat Visuel	55
9.3 trafic	56
9.4 déflexions	56
9.5 sondages	57
9.6 les matériaux	57
9.7 Evaluation de la qualité de la chaussée	59
9.8 la maintenance du réseau : objectifs	61
<u>Appendices</u>	
appendice I	63
appendice II	66
References	67
Annexes	71

CHAPITRE I

INTRODUCTION

I

INTRODUCTION

Le vieillissement des réseaux routiers plus rapides sous les climats africains que dans tous les autres continents, toutes choses égales par ailleurs a été certainement accentué par un développement du trafic supérieur à celui qu'on s'attendait lors de l'établissement des projets. De plus le respect des limites légales de poids par essieu est trop souvent inexistant et on voit à quel point les charges élevées agissent les structures routières. Parallèlement les ressources disponibles étant généralement consacrées à la construction et souvent les autorités responsables tendent à négliger les tâches d'entretien aussi bien courants que périodiques.

L'objet de cette présente étude est de faire une analyse du comportement des chaussées sur les sols latéritiques. Enfin nous passerons en revue les paramètres que sont :

- l'état visuel.
- les mesures de déflexions.
- les sondages dans les chaussées.
- les matériaux de construction.

En fait l'évaluation systématique et périodique du comportement des chaussées en service fournit les renseignements nécessaires à la programmation des investissements et de l'entretien en précisant les sections déficientes du réseau routier, pour que ces besoins de reconstruction soient bien identifiés. Elle fournit en plus l'information permettant d'améliorer

les techniques de conception, de construction et de gestion d'un patrimoine routier.

En outre l'identification des meilleurs sols de plateforme permettra de favoriser le choix ultérieur de tracé de route en vue de minimiser les coûts d'investissements dans les projets de désenclavement des régions intérieures.

CHAPITRE II

CONNAISSANCE DU

RESEAU

II CONNAISSANCE DU RESEAU

Le réseau routier du Sénégal comporte 4 catégories de routes :

- routes Nationales : liaison à grande distance entre régions administratives
- routes Régionales : liaison entre départements.
- routes Départementales : liaison interne au département, permettant l'écoulement de la production.
- Pistes : simplement répertoriées, elles relient le réseau de base aux centres de production.

Cette classification s'applique aux routes revêtues et non revêtues.

En 1983 le réseau comporte au total 13 944 km de routes dont 3682 km (soit 26%) de routes revêtues.

La décomposition par catégorie est la suivante :

	Longueur en km		Total
	bitumées	non revêtues	
Routes Nationales	2299	998	3297
Routes Régionales	493	662	1155
Routes départementales	551	4880	5431
Pistes répertoriées	73	3656	3769
voies diverses	226	26	292
totaux	3682	10 262	13 944

En 1983 le réseau bitumé était en assez bon état grâce aux travaux de renforcement et de bitumage. Par contre le réseau non revêtu était dans un état médiocre.

Environ 10% des routes en terre avaient des caractéristiques améliorées. Presque la totalité des pistes avait des insuffisances de conception de telle sorte qu'elles étaient impraticables durant l'hivernage. L'âge de routes bitumées compte tenu

des renforcements déjà réalisés peut se répartir comme suit :

- 7% du réseau a plus de 20 ans.
- 24% du réseau a 15 ans ou plus.
- 20% du réseau a plus de 10 ans.
- 49% du réseau a moins de 10 ans.

CHAPITRE III

METHODOLOGIE DE

L'AUSCULTATION

III METHODOLOGIE DE L'AUSCULTATION

Cette auscultation a été menée par le CEREEQ avec un deflectographe LACROIX soit au moyens de 3 domaines:

1. auscultation visuelle.
2. campagne de mesure de deflexions.
3. tranchées ou chaussées murées d'essai de laboratoire.

- ausculter visuellement un tronçon de route consiste à le parcourir afin de procéder au relevé des dégradations et déformations observées, ces dernières pouvant être de différentes natures:

- déformations, affaissements, flèches, toile ondulée etc..
- fissuration ou faïençage.
- arrachements, nids de poule, pelades etc..
- remontée d'eau, de liant ou de mortier.

Pour chaque dégradation la cause probable est dégagée en vue d'apporter une solution pour la réparation du tronçon considéré.

- Une donnée de base du dimensionnement des chaussées est le trafic que la route est censée supporter.

Un trafic de poids lourds abusif entraîne une fatigue du tronçon considéré ce qui est à l'origine des dégradations et des usures souvent prématurées.

Les mesures de deflexions permettent de quantifier cet état de

fatigue, donc de prévoir un dimensionnement compatible avec l'évolution prévisible du trafic. Le principe consiste à simuler un trafic lourd sur la chaussée à l'aide d'un camion lesté (13 tonnes sur l'essieu arrière). Au fur et à mesure que le véhicule avance, les déflexions (déformations verticales) engendrées par le poids de la charge des essieux sont enregistrées au centième de millimètre. L'enregistrement se fait sur :

- bande graphique pour une exploitation manuelle ou une appréciation visuelle de l'état de fatigue.
- bande perforée pour une exploitation sur ordinateur.
- Il est indispensable pour comprendre l'évolution des dégradations observées sur une route, d'établir une coupe de sondage du terrain porteur, et d'avoir ses caractéristiques géotechniques par des analyses de laboratoire.

Ces différentes méthodes nous permettent d'avoir une idée du comportement de la chaussée.

L'augmentation nécessite une certaine quantité d'investigations, toutes nécessaires au diagnostic des divers défauts. Si les essais rapides permettent d'examiner une grande longueur de chaussée, en revanche les essais ponctuels et lents ne permettent pas en général d'effectuer un balayage général de l'ensemble de l'itinéraire. En conséquence un jugement précis ne peut être effectué de façon efficace que sur des sections de quelques kilomètres de longueur. La méthode d'analyse consiste donc

- dans un premier temps à utiliser des informations globales ou à caractère continu pour sélectionner des sections homogènes.
- dans une seconde phase à évaluer ces sections homogènes par des diagnostics opérés sur des sections témoins.

- dans une troisième phase à procéder à une vérification de la représentation de la section témoin dans la zone homogène. La méthode d'auscultation repose sur l'examen de trois points fondamentaux qui interviennent à des degrés dans le cadre de l'analyse.

a) l'histoire de la chaussée

b) l'état de surface

c) la connaissance de la structure de chaussée, de l'état de ses matériaux et de celui de son fonctionnement.

a) L'histoire de la chaussée: la recherche d'une exploitation logique du comportement d'une chaussée et de son évolution est grandement facilitée par la connaissance des conditions de sa construction et de son entretien. Les informations disponibles influenceront à deux niveaux:

- en augmentant la fiabilité des études par un meilleur choix de sections homogènes.

- en réduisant les moyens d'investigation à mettre en œuvre.

Les quatre niveaux d'informations possibles sont les suivants:

- connaissance du sol support ou de l'ancienne chaussée.

- connaissance des études de dimensionnement; structure théorique.

- connaissance de la qualité des matériaux (étude de formation et de comportement, essai de fatigue etc.).

- schéma linéaire de contrôle.

b) L'état de surface: Il relève de mesures, ou d'observations portant sur deux points: Le comportement structural et les désordres de surface propres à la couche de roulement (cauchements, usures etc.) qui affectent la sécurité et le confort de l'usager.

le prélèvement de carottes permettra de se fixer sur la nature des dégradations superficielles ou structurelles. Ainsi donc on pourra suivre l'évolution de l'état de surface dans le temps.

c) Connaissance de la structure de chaussée et son fonctionnement. C'est le point clé de la méthode qui consiste à situer le comportement de la chaussée réellement en place par rapport au schéma théorique de fonctionnement.

Pour cela on dispose

- d'observations extérieures non destructives directement liées à la structure telles que les mesures de deflexion.
- d'essais sur matériaux prélevés par carottage afin d'une part de vérifier si les informations recueillies sur l'historique de la chaussée sont suffisantes (teneur en liant, granularité de l'enrobé..) d'autre part de collecter les données nécessaires pour évaluer la qualité résiduelle de la chaussée; épaisseur, caractéristiques mécaniques des matériaux etc...

CHAPITRE IV

CHOIX DE TRONÇONS
CARACTERISTIQUES

IV CHOIX DE TRONCONS

Conformément à tous ces critères précités, nous choisissons dans le cadre de ce travail des tronçons caractéristiques qui serviront de référence pour l'analyse.

les routes retenues sont:

- RN1 Bargny - Diam Niadio
- RN2 kaolack - kaffine (Nalem Hodar)
- RN3 Podor - Ourossogui
- RN4 Gropakh - Niuro.

La fonction de ces routes est multiple. Elles permettent l'écoulement des produits d'une région à une autre. Il s'agit de l'arachide, du riz, du coton, du sel, du bois ou des produits de la pêche pour ne citer que ceux là. On ne saurait passer sous silence l'approvisionnement qu'elles permettent aux régions, en produits de la capitale dans la plupart des cas: (notons certains produits alimentaires, les hydrocarbures, les matériaux de construction et j'en passe..).

Des tableaux fournis en annexe nous donnerons certaines caractéristiques de ces tronçons.

CHAPITRE V

PRESENTATION DES

LATERITES ET

CLASSIFICATION

̄ PRESENTATION & CLASSIFICATION

Nous présentons ici quelques notions relatives à la description des laterites et leur mode de formation.

Avant nous remarquons que les analyses créés pour les sols des climats tempérés doivent parfois être modifiés lorsqu'il s'agit de sols tropicaux. En effet les propriétés géotechniques des sols tropicaux diffèrent en général de celles pour les sols tempérés ayant une composition granulométrique analogue. Il n'est pas possible de classer un sol, d'en évaluer son comportement ou d'en mesurer les propriétés physiques et mécaniques sans tenir compte du processus responsable de sa formation et regroupé sous le terme d'altération.

Par définition on appelle laterites tout sol résiduel rougeâtre et tous les sols non résiduels ayant subi le processus d'altération tropicale. Elles se situent dans une chaîne de matériaux allant de la roche de composés aux argiles et aux cuirasses (crautes indurées) riches en sesquioxides.

5.1 Processus d'altération tropicale.

On distingue deux types d'altération :

- une altération physique ou mécanique
- une altération chimique.

Dans le premier type les agents responsables sont :

- les changements périodiques de température qui provoquent un éclatement des roches par fatigue.
- l'action organique : les racines des plantes à la recherche d'eau et de nourriture n'introduisent dans les petites fissures et les ouvrent.
- l'érosion agit par une action abrasive des éléments

transportés (sable, gravier etc) ou les formations rocheuses. L'action de ces différents facteurs contribue à une fragmentation de la roche en place et il en résulte des éléments allant des blocs aux particules de dimension argileuse en passant par les graviers, sables, mlt. La minéralogie d'origine de la roche attaquée reste encore inchangée mais néanmoins on assiste à une multiplication des surfaces fraîches qui sont alors exposées aux agents d'altération chimique.

Le second type d'altération consiste en la décomposition des minéraux de la roche mère pour en reconstituer d'autres. Les principaux facteurs sont :

- l'eau qui agit par hydratation, hydrolyse ou dissolution.
- l'oxygène qui favorise l'oxydation.
- le dioxyde de carbone qui active la carbonatation.
- les acides organiques qui influent sur le pH.

Le processus de décomposition est d'autant plus facilité que la structure cristallographique des minéraux présente des plans de clivage et de microfissure. Par ailleurs la mobilisation de tous ces agents dépend de caractéristiques du milieu environnant qui sont : températures, régimes de précipitations, végétation, topographie, drainage, ainsi que des caractéristiques de la roche attaquée : climat, relief, nature des formations.

5.2 : CONDITIONS DE FORMATION DES LATÉRITES

La formation des latérites est soumise à des conditions particulières dans le milieu. Ainsi du point de vue du climat on constate la prédominance des latérites dans les régions où les températures sont chaudes. En outre ces régions ont une saison humide particulièrement chaude. Par ailleurs on a pu identifier la

la formation des laterites sous divers couverts végétaux allant de la forêt dense à la marane herbeuse, chaque type de végétation étant toutefois intimement lié à la nature de la laterite formée dans son milieu.

Pour ce qui concerne la roche mère notons qu'elle ne semble pas avoir une incidence sur l'existence du phénomène de laterisation puisque celle-ci se retrouve aussi bien sur des roches basiques, ignées type basalte, que sur des roches acides type granite, gneiss ou que sur d'autres roches sédimentaires type grès, schistes, calcaires. Par contre elle joue un rôle sur le type de réaction et la nature du constituant argileux. Les roches cristallines basiques comme les basaltes sont peu riches en silice et composées en partie d'olivine qui s'altère en montmorillonite; les roches cristallines acides telles que les granites et gneiss s'altèrent principalement en kaolinite ou halloysite, les roches sédimentaires argileuses telles que les schistes et les grès en illite.

Enfin la topographie: le processus de laterisation; échange ionique en milieu aqueux nécessite de l'eau et du temps. La topographie influe sur ce processus dans la mesure où elle favorise ou non l'accumulation d'eau. Une zone plate permet l'accumulation d'eau et évite l'érosion mécanique alors qu'une pente permet le ruissellement.

Les cuirasses ou cuirassons lateritiques se trouvent généralement dans des zones plates, rarement sur des pentes, sauf lorsque la formation de celles-ci est postérieure au phénomène de laterisation et l'on remarque alors les fragments de carapaces dans les éboulis de pente. Ces conditions déjà définies donnent

donc à l'altération physico-chimique une forme qui lui est spécifique : la laterisation.

5.3 : La Laterisation

C'est un processus qui conduit à une transformation des minéraux originels de la roche mère en matériaux riches essentiellement en minéraux argileux en constituants dits lateritiques (fer, aluminium, titane, manganèse).

On distingue trois étapes de transformation :

a) c'est l'étape de décomposition qui est caractérisée par le démantèlement de minéraux primaires et la libération des constituants tels que la silice, les oxydes de fer et d'aluminium, les oxydes de calcium, de magnésium, potassium et sous forme ionique simple.

b) Dans la seconde étape a lieu le lessivage sous des conditions de drainage appropriées de la silice et des bases. Son niveau dépend du type et de l'intensité de l'altération chimique des minéraux primaires. Le processus peut continuer de façon cyclique par désagrégation des éléments ainsi indurés pour conduire à une nouvelle mobilisation des sesquioxides.

c) Quant à la troisième étape c'est une de dérication qui mène à une déshydratation partielle ou complète de matériaux riches en sesquioxides et des minéraux secondaires. La déshydratation des colloïdes d'oxydes hydratés de fer occasionne une perte d'eau et par suite une concentration des colloïdes de fer amorphes en minéraux à réseau cristallin dense dans une séquence limonite-goethite, goethite-hématite, hématite. On assiste alors à une formation de

concrétions qui marquent le début du cuirassement.

5.4 : CARACTÉRISATION DES Laterites

Nous avons remarqué que le processus de cuirassement consiste pratiquement à un lessivage de silice et une accumulation d'oxyde d'aluminium et de fer ou sesquioxydes. L'intensité du processus de laterisation est mesurée en tenant compte de son rapport SiO_2 (ce qui reste dans le sol résiduel) aux oxydes de fer et d'alumine (Fe_2O_3 et Al_2O_3) accumulés. Ce rapport permettra de classer un sol résiduel rouge donné comme laterite ou non. En général pour les sols étudiés par rapport à ce critère sont :

- de vraies laterites si le rapport $\frac{\text{silice}}{\text{sesquioxydes}}$ ie $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3}$ est inférieur à 1.33.
- des sols lateritiques si il est compris entre 1.33 et 2.
- des sols non lateritiques si il est supérieur à 2.

Ce critère même si il a le mérite de tracer une séparation nette entre les laterites et les argiles communes en particulier la kaolinite qui a un rapport silice/sesquioxydes de 2, est loin d'être satisfaisant dans la mesure où il conduirait à classer comme laterite le minerai de fer, la bauxite ainsi que ces certains grès ferrugineux qui ne présentent pas les mêmes propriétés.

C'est pourquoi beaucoup de praticiens, pour classer comme laterite un matériau ayant répondu au critère du rapport des sesquioxydes, vérifient si il présente les caractéristiques soulignées par J. Dreyfus dans sa définition des laterites qu'il décrit comme étant des matériaux à structure vacuolaire, souvent banniolés, constitués par une croûte continue d'épaisseur et de dureté variables et ayant l'aspect de

rochers ou encore comme des matériaux contenant des concrétions isolées de forme oolithique ou pisolithique plus ou moins recristallisées dans une matrice argileuse.

J. Daeyfus ajoute également que sous l'horizon de la croûte ou des concrétions, on trouve fréquemment un sol bariolé lui aussi et de structure vacuolaire, moins riche en éléments durs et moins rouge de couleur. [10].

5.5 : LES DIFFÉRENTS TYPES de Laterites

Nous avons vu en étudiant le phénomène d'altération tropicale que les différents facteurs selon leurs caractéristiques et leurs combinaisons influencent de façon diverse sur la nature des sols tropicaux formés. Les classifications pédologiques distinguent deux grands groupes de laterites correspondant aux deux zones climatiques dominantes entre les tropiques.

- les sols ferralitiques ; se forment dans les zones à climat équatorial à deux saisons de pluie, une végétation de forêt et un drainage médiocre.

les sols ferrugineux : l'altération ferrugineuse a lieu dans les zones à climat tropical à longue saison sèche avec des précipitations comprises entre 500 mm et 1500 mm par an, une végétation de savane boisée à herbacée. Les sols qui en résultent sont caractérisés par une abondance de minéraux argileux altérables de type kaolinite ou illite par une absence de gibbsite. À l'approche de la surface les hydroxydes mobilisés par l'évaporation intense et les remontées capillaires de la saison sèche sont transformés par déshydratation en oxydes (alumine, hématite) qui donnent leur couleur rouge brique aux laterites ferrugineuses. La valeur du rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ est

pres de 2 tandis que celui de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ est généralement très inférieur à 2.

Du point de vue des propriétés physiques, les laterites ferrugineuses se distinguent des rols ferrallitiques par une teneur en minéraux argileux et des limites d'Atterberg plus basses, par une densité de compaction et une valeur de CBR plus élevées. La puissance des formations est aussi assez faible (rarement supérieure à 2.5 m). [19]

5.6 : COMPORTEMENT DES LATERITES PAR RAPPORT AUX ESSAIS STANDARDS

Tout d'abord c'est l'effet des sesquioxides qui se manifeste au niveau des résultats d'analyses géotechniques. En effet on a un recouvrement des particules triloculaires (argiles secondaires) d'un manteau d'aspect gélatineux, ce qui les rend moins sensibles à l'eau. Par ailleurs on pourrait noter l'extrême sensibilité de certaines laterites au remaniement.

C'est pourquoi il est de rigueur d'adapter la plupart des essais standards pour une meilleure analyse de ces rols.

5.6.1. Essai de granulométrie :

Deux fonctions sont responsables de l'inconstance des résultats d'analyse :

- La vulnérabilité à la dégradation des agrégats de faible résistance dans le cas des rols à grains grossiers.
 - L'effet liant des sesquioxides qui favorisent un regroupement en fractions plus grosses des parties fines argileuses et limoneuses.
- On retiendra comme solution le tamisage par la "méthode humide" pour la fraction grossière et l'utilisation d'un dispersant très puissant pour la sédimentométrie. Le meilleur dispersant

utilisé actuellement après étude comparative est l'hexamétophosphate de sodium.

5.6.2 : Plasticité

Ici on peut relever l'existence de deux facteurs qui provoquent des changements de propriétés lors du séchage d'un échantillon :

- la tendance à former des agrégats.
- la perte d'eau des matériaux hydratés.

D'où la recommandation d'éviter le plus possible le séchage artificiel avant les analyses de plasticité.

5.6.3 : Compactage

Ici on peut souligner l'effet du séchage préalable à l'étuve qui abaisse la teneur en eau optimale à l'essai, augmente la densité maximale et influence également le gonflement de l'échantillon. A cause de cela on utilise de préférence

l'échantillon à l'état naturel ou à la rigueur séché à l'air.

Par ailleurs il faut noter l'effet du damage qui brise les grains grossiers en particules plus fines. Il s'ensuit une augmentation de la densité maximale en cas de réutilisation du même sol. Il est donc préférable d'employer un échantillon frais pour chaque point de la courbe Proctor, ce qui d'ailleurs reflète beaucoup plus la réalité sur le chantier. Enfin on se doit de signaler l'effet de la présence de micas dans certaines latérites (biotite et muscovite provenant de l'altération des roches métamorphiques et sédimentaires). En effet les paillettes de mica caractérisées par de grandes surfaces par rapport à leurs volumes isolent des vides en formant des ponts entre les grains et contribuent par suite à faire décroître la densité maximale et à faire croître la teneur en eau. Leur réticence les fait réagir de

façon élastique au damage et rend ainsi leur compactage particulièrement difficile. Sur le chantier on prescrit pour ces types de sols une méthode de compactage par vibration.

5.7 : LES Laterites à problèmes

Ce sont les laterites qui ne peuvent être classées selon les méthodes normalisées et dont le comportement ne peut être prévu selon les essais habituels. Bien que pour la majorité des sols il est suffisant de connaître la granulométrie et les propriétés plastiques pour les classer et par ce fait prédire leur comportement et leurs propriétés géotechniques il n'en est pas de même pour certaines laterites.

Une des caractéristiques de ces laterites, c'est qu'à l'analyse normalisée, elles ne donnent pas de résultats normalisés. Ainsi les analyses granulométriques et de plasticité peuvent varier de façon erratique selon :

- le degré de recharge avant l'analyse.
- le type de dispersant utilisé.
- le temps de malaxage.
- la perte d'oxyde de fer libre pendant l'analyse.

On peut identifier ces laterites et en évaluer les propriétés géotechniques donc prévoir le comportement en se basant sur :

- la sensibilité au recharge et au remaniement.
- le potentiel au gonflement.

Même qu'à maintenant il n'est pas possible de déterminer des critères plus complets permettant l'identification des caractéristiques géotechniques de ces laterites à problèmes. C'est déjà un pas de pouvoir distinguer ces laterites de celles qui ne causent pas ou peu de problèmes.

5.8 : Classification des Laterites

Tout comme pour les essais on a pu adapter des classifications fondées sur la granulométrie et la plasticité pour la plupart des laterites dites normales. Et parmi celles-ci, celle qui n'applique le mieux est la classification unifiée des Etats Unis. [Gidigazu]. On y ajoute en general des sous classifications liées à la durabilité pour les sables et graviers. La durabilité qui rend ici compte de la resistance des éléments sableux ou graveleux à se briser en particules de la taille des argiles ($< 0.002 \text{ mm}$) s'évalue par le California-coarse/fine durability test qui nécessite un équipement spécialisé. Par ailleurs il est aussi indiqué de compléter la classification d'une laterite donnée en spécifiant :

- son mode d'alteration ie si elle est de type ferallitique ou ferrugineux.
- son origine géologique en précisant la roche mere.
- le niveau de l'horizon de prelevement (A, B, C) voir figure 5.1. [11].

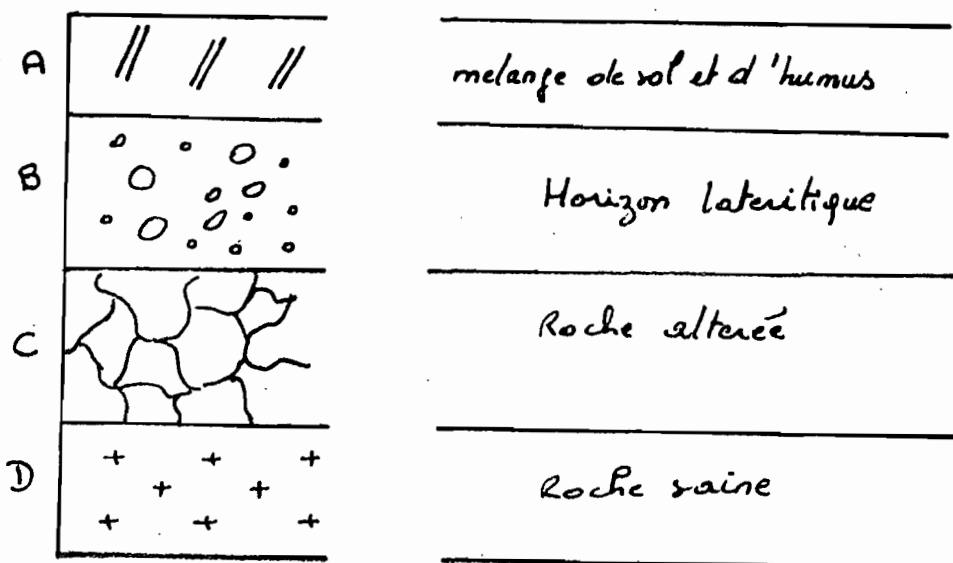


Fig 5.1 : les différents horizons dans un profil lateritique

5.9 : LES LATERITES DU SENEGAL

les laterites sont presentes pratiquement sur tout le territoire et cela peut etre justifie par le climat tropical à deux saisons. Les specialistes parlent de ces matériaux sous le vocable de cuirasses ferrugineuses. C'est l'alteration ferrugineuse qui a lieu dans la zone à longue saison seche et la forte evaporation qui l'accompagne qui accentue le processus de derivation et favorise la cimentation par les perqui oxydes des particules de sol en elements plus grossiers. Les formations lateritiques soumises à une telle transformation tendent à devenir de plus en plus compactes d'où le phenomene de cuirassement.

En Senegal trois grandes zones d'affleurement de cuirasses lateritiques prevaillent:

- du Senegal Oriental: ici les affleurements consistent en surfaces d'aplanissement presentes à des altitudes entre 500 et 150 m et en une alternance de glacis et de terrasses entre 150 m et le niveau de la mer.
- Les Cuirasses du continent terminal: On les trouve sur une bande N-S passant par le centre du pays et joignant la steppe du futaie au Nord de la foret de Casamance. Elles sont recouvertes par des formations plus ou moins epaisses de sable eolien, de gres calcaireux (futaie) ou de sable argileux (Casamance).
- Le Plateau de Thiès et le massif de Diass: à l'W du pays ce sont des zones remarquablement accidentees par rapport aux regions avoisinantes. Là les cuirasses affleurent sur une puissance importante plus que partout ailleurs. Les facies sont spongieux, conglomératiques, compacts ou en surface, gravillonnaires avec matrice sable-argileuse. [voir carte]: fig 2.1 et 2.2.

On peut les utiliser à des fins diverses:

- les curanes compactes ou légèrement demantelées fournissent localement de bons moellons pour la construction.

- Certaines concrétions de dureté appréciable sont souvent utilisées comme agrégats de béton armé et aussi comme béton bitumineux.

Mais l'utilisation la plus fréquente est dans l'édification des pistes en terre et des couches de base de routes. Parmi les formes le mieux adoptée est la forme gravillonnaire meuble dont le liantement est relativement simple.

Cette leur utilisation ne va pas sans poser des défauts non négligeables que nous tenterons d'analyser plus loin. Parmi nous

citons un tableau récapitulatif de la composition en matériaux des superstructures routières au Sénégal.

Couche de base	% de longueur totale du réseau
Macadam calcaire	6
latrite améliorée au ciment	33
graveaux latéritiques naturels	50
sable calco-marneux stabilisé en surface	6
Phosphates de Thiéba	2
sol - ciment	3

Tableau 5.1 Matériaux utilisés en couche de base
au Sénégal

CHAPITRE VI

ANALYSE DES COMPOSANTES
DE LA CHAUSSEE

VI ANALYSE DES COMPOSANTES DE LA CHAUSSEE

6.1 Sols de Plateforme

du Senegal dans la majorité des cas et sur de grandes étendues le sol support des chaussées est un sable plus ou moins limoneux ou argileux. Sa densité en place varie de 1.55 à 1.90. Sauf dans les cas particuliers où le sol support est une cuirasse latéritique avec des densités de l'ordre de 2 à 2.1, avec une teneur en eau naturelle de l'ordre 1 à 2% et allant jusqu'à 8% pour le sable. Cependant on note des particularités notamment au sud de Kaolack où on a une tendance à des teneurs en eau plus fortes de 2 à 12%. Les CBR varient de 10 à plus de 40% pour des teneurs en eau à l'OPN allant de 7 à 11%. Les indices de plasticité sont fréquemment inférieurs à 10. Ces sols généralement perméables sont de bons sols de plateforme. Et pourtant on note des fois des points particuliers de faible étendue certes mais non négligeables où l'exécution des travaux est particulièrement difficile. C'est le cas dans la région de Ziguinchor par la chaussée de Tobor, au niveau de Bargny. Ces sols de nature compressible présentent des qualités médiocres et souvent des merues énergiques sont nécessaires pour en venir à bout. Pour ces sols on note des densités in situ de 1.35 à 1.75 avec des teneurs en eau naturelles de 28 à 14%. Les CBR qu'on y rencontre sont inférieurs à 5% à l'OPN et les indices de plasticité supérieurs à 40. Pour certains de nos échantillons nous avons l'identification suivante :

Section de Route		RN2 Podor- oussouqui	RN1 Keolack - Nalem Hodou		RN1 Quésique Diam Nadio
pk du sondage		356	2	38.1	
Limites d'Atterberg	W _L	27.5	-	-	130.0
	W _p	17.5	-	-	53.0
	I _p	10	-	-	77
ES		-	14	48	-
δ _d in situ		2.05	1.73	2	1.37
W _n %		1.5	1.0	1.815	26.9

Tableau 6.1: Caractéristiques de nos échantillons

Parallèlement nous proposons ci après les limites proposées par le manuel de dimensionnement des chaussées pour les pays Tropicaux. Les sols généralement considérés comme instables et non propices à la constitution des plateformes ont les caractéristiques géotechniques suivantes:

- limite de liquidité 70 min
- Indice de plasticité 40 min
- gonflement linéaire 3% min (mesuré dans le moule CBR)

Nous compilons en plus les caractéristiques de nos échantillons:

Caractéristiques	Echantillon de			
	Podor - oumouop.	kaolack - kaffrine ①	②	Rque - Bagny
diamètre max des grains (mm)	50	2	1	-
Passant à 0.08 mm (%)	14	35	23	-
Indice de plasticité IP (%)	10	< 10	< 10	77
Gonflement (%)	-	< 0.25	< 0.25	-
δ_{dmax} (%)	-	1.935	1.88	-
CBR (%)	> 60	39	23	< 5
$\delta_{d in situ}$	2.05	1.73	2	1.37
W_n (%)	1.5	1.0	1.615	26.9
W_{opt} (%)	-	7.5	9.0	-
ES	-	14	48	-
Classification Unifiée	GW	SW	SW	OH
Classe selon guide CEBTP	S5	S5	S4	S1
Classe du trafic	T1	T3	T3	T5

Tableau 6.2: Caractéristiques de nos échantillons.

Nous présentons en annexe une carte du Sénégal positionnant les sols de nature différente à l'échelle 1:200000.

Les autres couches

- les graveleux latéritiques:

Améliorée ou non au ciment, c'est la couche de base la plus répandue sur la majorité des routes. L'épaisseur des couches varie de 10 à 25 cm, le plus souvent compris entre 15 à 20 cm; leur CBR à l'OPM varie de 60 à 90%, dix fois plus, leurs teneurs en eau naturelle relevées dans les

rondages effectuées de 3 à 8% le plus souvent inférieures de quelques points à celles de l'OPN pour des densités en place allant de 1.8 à 2.2. le pourcentage de fines est inférieur à 15%, cependant on rencontre quelques échantillons qui ont jusqu'à 30% de fines. les indices de plasticité de ces graveleurs latéritiques varient de 8 à 15% et peu au dessus.

les épaisseurs des corps de chaussées sont définies comme indiquées dans le manuel de dimensionnement en pays tropicaux en fonction du trafic et le CBR de la plateforme pour la couche de base.

Traffic CBR Plateforme	T1	T2	T3	T4
5 - 10	15	15	20	20
10 - 15	15	15	20	20
15 - 30	15	15	20	20
30 - 80	15	15	20	20
>80	0	0	0	0

Tableau 6 3: Epaisseurs de la base.

6.2 : Le trafic

La nécessité de procéder à une évaluation du trafic régional et interrégional est sans aucun doute l'un des facteurs clés qui président aux destinées de la construction routière. Il est inutile de rappeler ici tous les aspects de l'importance d'un réseau routier en bon état sur l'économie d'un pays quel qu'il soit. Dans cette optique une évaluation du trafic se justifie par l'objectif visé et les buts qui sont essentiellement :

- définir les tâches d'entretien et leur fréquence en fonction de la composition et du volume du trafic sur les différents tronçons :
- faire une estimation sur les coûts d'exploitation des véhicules afin de pouvoir apprécier la valeur économique d'un projet routier.
- faciliter les études de faisabilité routière.

Dans le cadre de notre étude nous disposons des résultats de comptage depuis 1975 jusqu'à 1984.

Dispositions générales : la dernière campagne a lieu pendant les mois de juin et juillet. les véhicules étaient recensés aux postes de comptage pendant une semaine complète de jour comme de nuit. les enquêtes OD étaient aussi effectuées pendant une semaine complète mais uniquement de 6 h à 18 h soit 12 h. les effectifs de recenseurs par poste de comptage varient suivant l'importance du trafic. la disposition était la suivante :

$$TNS < 2000 \text{ veh/j} = 4$$

$$2000 < TNS < 10000 \text{ veh/j} = 6$$

$$TNS > 10000 \text{ veh/j} = 7$$

Nous produisons en annexe les données de trafic sur les tronçons de référence. Les trafics ont été estimés en fonction du nombre cumulé de poids lourds pour la durée de vie de 15 ans et pour l'essieu de 13 tonnes :

$$T_1 < 5 \cdot 10^5$$

ou

$$T_1 < 300$$

$$5 \cdot 10^5 < T_2 < 1.5 \cdot 10^6$$

$$T_2 \text{ de } 300 \text{ à } 1000$$

$$1.5 \cdot 10^6 < T_3 < 4 \cdot 10^6$$

$$T_3 \text{ de } 1000 \text{ à } 3000$$

$$4 \cdot 10^6 < T_4 < 10^7$$

$$T_4 \text{ de } 3000 \text{ à } 6000$$

$$10^7 < T_5 < 8 \cdot 10^7$$

$$T_5 \text{ de } 6000 \text{ à } 12000$$

le pourcentage moyen de poids lourds est supposé de

de l'ordre de 30% du trafic total.

6.3 : LES DEFLEXIONS

La déflexion joue un rôle important dans le découpage de l'itinéraire en sections homogènes d'une part parce qu'il s'agit de mesures en continu qui permettent de tester le critère d'homogénéité, d'autre part parce qu'elle est un indicateur de mauvaise qualité.

Le résultat de la mesure de la déflexion d'une portion de chaussée est lié à un nombre de facteurs (nature et épaisseur de la structure de chaussée, drainage, typologie du trafic routier etc.).

Pour les chaussées multiples considérées comme un système bicouche avec une couche de base non traitée, le rapport entre la déflexion mesurée en surface et la déformation verticale au niveau du sol de fondation ne varie que très peu en fonction des caractéristiques mécaniques de la chaussée, quand l'épaisseur de cette dernière reste constante. Or on peut admettre que la fatigue du sol de fondation est essentiellement due à cette déformation verticale. La déflexion constitue donc un bon indicateur d'état du mode de fonctionnement de ces chaussées qui périssent des fois par poinçonnement du sol de fondation.

L'étude de la déflexion a son importance capitale dans le cas des chaussées existantes.

Les considérations théoriques qui ont été développées sur les mesures de déflexion sont schématiques. Elles supposent un comportement élastique de la chaussée; elles ne prennent pas en compte certains types de dégradations telles que l'ornièrage de la 2^e couche de roulement. Il faut néanmoins remarquer que les dimensionnements des renforcements sont actuellement prévus de telle sorte que ce dernier mode de

fatigue ne joue en principe qu'un rôle secondaire vis à vis de la fatigue par déformation de traction à la base des couches de renforcement. Les considérations théoriques montrent cependant l'intérêt fondamental de ce type de mesure. Les études expérimentales, i.e. des mesures de déflexions ou autres confirment également l'intérêt de ces mesures.

Les résultats de dièts de l'observation de planches expérimentales sont indispensables pour "caler" les résultats du calcul et définir ainsi les seuils admissibles. Parallèlement, le manuel de dimensionnement en pays tropicaux considère la déflexion caractéristique : $D_m + 1.35$ entre 50 centième et 150 centième de mm pour un trafic de T_3 et T_1 .

Le calcul ne permet pas de les définir avec certitude à cause de l'impossibilité de prendre en compte tous les paramètres intervenant dans le comportement de la chaussée. Il permet cependant de définir quantitativement l'influence relative de ces paramètres.

Il faut noter enfin qu'une déflexion de valeur importante est généralement l'indice d'une résistance mécanique insuffisante. Au contraire une faible valeur de la déflexion ne constitue pas toujours la garantie d'un comportement satisfaisant. C'est d'ailleurs le cas que l'on rencontre lorsque la dégradation attaque la couche de base au point de nécessiter un renforcement et avec un sol support restant toujours porteur.

La mesure de la déflexion joue aussi un rôle important dans le choix de la solution de renforcement d'une chaussée dans certains cas, elle traduit fidèlement le comportement mécanique d'une

chaussée souple; cependant ce serait une erreur de l'utiliser
 seulement pour décider du renforcement à réaliser car d'une
 part elle traduit un état mais ne l'explique pas et
 d'autre part dans d'autres cas elle n'est que peu ou pas
 liée au comportement mécanique de la chaussée. In effet
 une étude de renforcement d'une chaussée doit être complète et
 pour cela comprend:

- une estimation de la portance de la chaussée par la mesure
 de la déflexion.
 - le relevé des dégradations de surface par examen visuel.
 - l'étude de la constitution du corps de chaussée et du sol-sup.
 port par des sondages.
 - l'analyse de l'entretien pratiqué sur la chaussée depuis
 sa construction ou son dernier renforcement.
 - la typologie du trafic routier (nombre et charge des véhicules)
- Ces paramètres sont reportés sur le document de synthèse:
 le schéma linéaire.

Enfin précisons que la déflexion est donnée pour l'axe et la
 rive de la route, généralement sur la voie la plus chargée,
 pour les itinéraires plus importants - chaussée à trois voies
 de circulation. la déflexion a été mesurée sur deux voies
 extérieures de la chaussée.

déflexion sur nos références.

- tronçon de la RN4: Gapakh - Niro du Rip
- | | | | |
|-------------------------|---|---------|------------|
| Routier Benkenman | } | maximum | 85/100 mm |
| déflexions enregistrées | | minimum | 15/100 mm |
| deflectographe Lacoix | } | maximum | 110/100 mm |
| mesures | | minimum | 50/100 mm |
| trafic T3 (TNSA1000) | | | |

- Tronçon RNA : Bargny Diam Niadio
 - def. Lacroix $\left\{ \begin{array}{l} \text{max } 180/100 \text{ mm} \\ \text{min } 70/100 \text{ mm} \end{array} \right.$
 - Trafic T5 (TNSA 6000)
- Tronçon RNA : kaolack - kaffrine
 - def. Lacroix $\left\{ \begin{array}{l} \text{max } 125/100 \text{ mm} \\ \text{min } 50/100 \text{ mm} \end{array} \right.$
 - Trafic T3 (TNSA 1200)
- Tronçon ANE Podor - Ouorougui
 - pas de mesures disponibles
 - Trafic T2 (150 à 300 TNSA)

Pour cette campagne de mesures les extremums obtenues ne définissent de la manière suivante avec le deflectographe Lacroix

maximum 250/100 mm ponctuellement
 minimum 25/100 mm

Et la deflexion caractéristique soit $D_m + 1.35$ qui vaut 80/100 mm.

Interpretation des mesures.

On a constaté une bonne corrélation entre les deflexions et l'examen visuel. Cependant à part quelques zones de faible étendue où le sol de fondation est de mauvaise qualité (ex sols compressibles) la deflexion reste faible, souvent comprise en 50 et 75/100 mm sur de grandes étendues. Ces faibles deflexions s'expliquent:

- d'une part par la structure de certaines chaussées (sol. ciment, graveleux latéitiques améliorés au ciment).
- d'autre part, lorsque les couches de chaussée ne sont

pas améliorées aux liants hydrauliques, par le bon comportement du sol support et sa grande homogénéité. En effet on rencontre sur de longues étendues des sols de plateforme en sable peu limoneux ou argileux qui ont une grande perméabilité et constituent des sols supports de bonne qualité.

CHAPITRE VII

ANALYSE STRUCTURALE DE
LA CHAUSSEE

VII ANALYSE STRUCTURALE DE LA CHAUSSEE

7.1 : Propriétés des matériaux

Le calcul de la répartition des sollicitations dans la superstructure montre que les contraintes sont les fortes dans la partie supérieure et qu'elles diminuent sensiblement avec la profondeur de façon non linéaire.

Les propriétés des matériaux devront être adaptées à ces contraintes i.e. que la qualité des couches successives ira en croissant du bas vers le haut.

Le comportement d'un matériau homogène et élastique est essentiellement caractérisé par son module élastique E . Les valeurs des portances pour les 5 classes de sol permettent par la corrélation $E = 100 CBR$ [1]

de définir les modules élastiques des sols tropicaux et les coefficients de Poisson sont souvent de l'ordre de 0.35 à 0.5.

Les revêtements hydrocarbonés n'ont pas un comportement élastique mais plutôt plastique ou visco-élastique. Le module élastique varie donc considérablement avec la température, la durée d'application des charges et la répétition de ces charges.

7.2 Étude Théorique.

On est tentant d'appliquer les théories de la mécanique rationnelle au calcul des chaussées, mais malgré les efforts des chercheurs il n'existe pas à l'heure actuelle de méthode théorique du calcul des chaussées tout à fait satisfaisante à plus forte raison pour les matériaux tropicaux. Ceci est dû d'une part à la complexité des

phenomenes physiques et d'autre part à la difficulté des solutions mathématiques de ce probleme même tres simplifié. Cependant nous nous devons de signaler que dans le livre Principles of Pavement Design de Yoder, des methodes s'appuyant sur les abaques de Jones et Peattie sont utilisées pour determiner ces contraintes et dont la recherche pour la transposition aux matériaux tropicaux devrait etre poursuivie.

Nous notons quelques specifications pour ces matériaux:

- la contrainte de traction σ_t à la base des couches rigidifiées doit etre inférieure à une limite admissible R_t fixée à partir des constatations experimentales sur les sections d'essais; on devra verifier que $\sigma_t \leq 0.7 R_t$. [1]

- L'influence de la fatigue des matériaux sous l'effet de la répétition des charges dues au trafic se traduit par la relation: $\log \frac{\sigma}{\sigma_0} = \alpha \log \frac{N}{N_0}$ [1]

avec σ : valeur de la contrainte pour N cycles

σ_0 : valeur de la contrainte pour N_0 cycles

α vaut 5 pour les bétons bitumineux.

- la verification pour l'estimation des deformations relatives des couches d'enrobés bitumineux se fera en considerant que le logarithme de la deformation relative due à la contrainte provoquant la rupture d'un revêtement en enrobé bitumineux est proportionnel au logarithme du nombre d'application de la charge; la deformation relative pour cet enrobé soumis à environ 10^6 passages d'équivalents de 13 tonnes, est considérée comme admissible si elle reste inférieure à $5 \cdot 10^{-4}$.

7.3 : Caractéristiques de la charge agissante:

La littérature [1] propose pour le calcul des contraintes avec un essieu à roues jumelées de 13 tonnes, soit une charge de 3.25 tonnes par roue, la charge qui s'exerce sur deux cercles de rayon a distants de l les caractéristiques suivantes :

$$q = 6.62 \text{ bars} = 6.62 \text{ kg/cm}^2$$

$$a = 12.5 \text{ cm}$$

$$l = 3 \times a = 37.5 \text{ cm.}$$

7.4 Exemple de Calcul.

les hypothèses sont:

- une chaussée bicouche, constituée d'une couche supérieure, couche de roulement et couche de base et d'une couche inférieure d'épaisseur infinie, couche de fondation et sol de plateforme.
- On peut ramener l'ensemble des deux couches supérieures en une couche unique par la formule [1]:

$$h' = h_b + 0.3 h_a \sqrt[3]{\frac{E_a}{E_b}}$$

en adoptant E_b comme module unique, avec

h' épaisseur équivalente

h_b, E_b épaisseur et module de la couche de base

h_a, E_a épaisseur et module du revêtement.

les abaques ci jointes fig 7.1, 7.2 permettent de déduire la contrainte σ_z [1] de compression du sol et le module du sol sera déterminé par l'expression $\bar{E} = 100 \text{ CBR}$ déduite des expériences dynamiques in situ [1].

Par une inversion de la formule de DORTON et KERKHOVEN [1]

$$\sigma_z = \frac{0.3 \text{ CBR}}{1 + 0.7 \log N} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

on détermine la valeur N du nombre d'essais de 15 tonnes.

Notons d'ailleurs que cette formule est très sécuritaire pour les latérites.

En sénégal les CBR des plateformes varient de 10% à 30% [7], l'épaisseur des couches de base de 10 à 25 cm le plus souvent entre 15 et 20 cm, les CBR des matériaux de la couche de base sont de l'ordre de 60 à 90%, pour les revêtements on utilise du béton bitumineux avec 5 cm d'épaisseur, avec des modules variables en fonction de la température. les plus critiques étant 20°C et 50°C on considérera :

$$E_a = 5000 \text{ bars à } 50^\circ\text{C}$$

$$E_a = 50000 \text{ bars à } 20^\circ\text{C}.$$

Pour une application à ces deux températures :

$$\theta = 20^\circ\text{C}$$

$$h_a = 5 \text{ cm}$$

$$E_a = 50000 \text{ bars}$$

$$h_b = 20 \text{ cm}$$

$$E_b = 8000 \text{ bars}, \quad E_c = 2000 \text{ bars}$$

$$h' = 20 + 0.9 \times 5 \sqrt[3]{\frac{50000}{8000}} = 28 \text{ cm}$$

$$\frac{E_b}{E_c} = \frac{8000}{2000} = 4.$$

la lecture sur l'abaque

$$G_z = 1 \text{ bar}$$

$$\text{avec la formule de Dorton} \quad N_{sol} = 10 \frac{(\frac{0.3 \times 20}{1} - 1)}{.7} = 13.9 \text{ EG}$$

$$\theta = 50^{\circ}\text{C}$$

$$h' = 20 + 0.8 \times 5 \sqrt{\frac{5000}{8000}} = 24 \text{ cm}$$

$$\frac{E_i}{E_c} = \frac{E_b}{E_c} = \frac{8000}{2000} = 4$$

$$\text{On a } \sigma_2 = 1.4 \text{ bars}$$

$$N = 10^6 \left(\frac{0.3 \times 20}{1.4} - 1 \right) / 0.7 = 0.5 \cdot 10^5$$

Avec nos références on détermine N_{ref} de la même manière et sous forme de tableau.

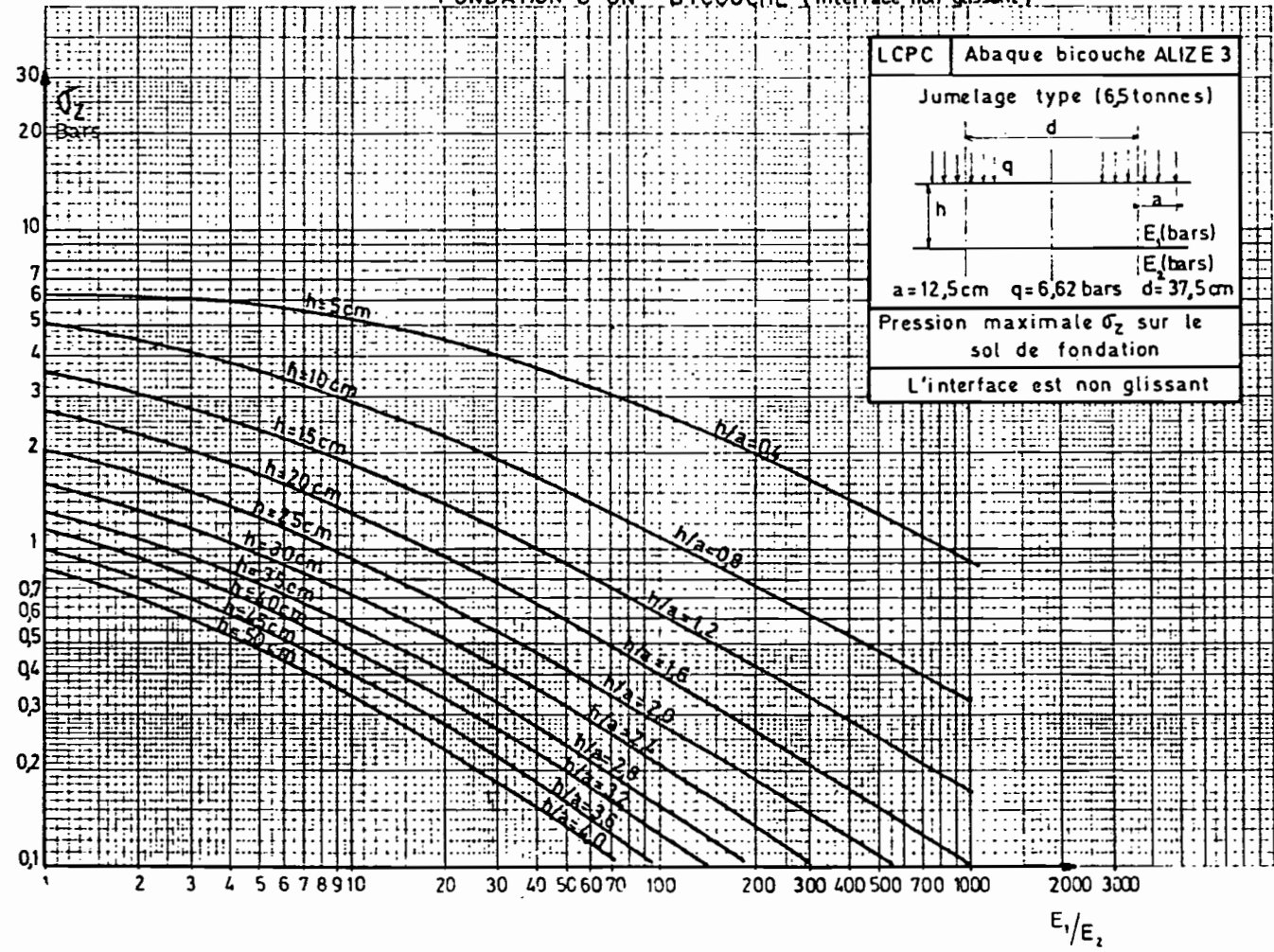
En outre nous notons que même dans le cas d'une interface glissante les résultats seront sensiblement les mêmes.

section Paramètres	Valeur de l'exemple	RN1 Kaolack Kaffrine	RN2 Podor-Duon vogui	RN4 Gaspakh Nioco
R_b (cm)	20	30	20	25
CAR plateforme %	20	25	60	20
OSR c. base %	80	80	80	80
$\theta = 20^\circ\text{C}$				
E_1/E_2	4	3.2	1.33	4
R' (cm)	28	38	28	33
σ_z (bars)	1	0.82	1.5	0.85
N_{ul}	13.8E6	4.34E11	5.18E15	3.9E7
$\theta = 50^\circ\text{C}$				
E_1/E_2	4	3.2	1.33	4
R' (cm)	24	34	24	29
σ_z (bars)	1.45	0.8	2	1.1
N_{ul}	0.3E5	3E10	2.7E11	2.3E6

Tableau 7.1

Figure 7.1

ABaque LCPC POUR L'ÉVALUATION DE LA CONTRAINTE DE COMPRESSION σ_z SUR LE SOL DE FONDATION D'UN BICOUCHE (Interface non glissant)



ABaque LCPC POUR L'EVALUATION DE LA CONTRAINTE DE COMPRESSION σ_z SUR LE SOL DE FONDATION D'UN BICOUCHE (Interface glissant)

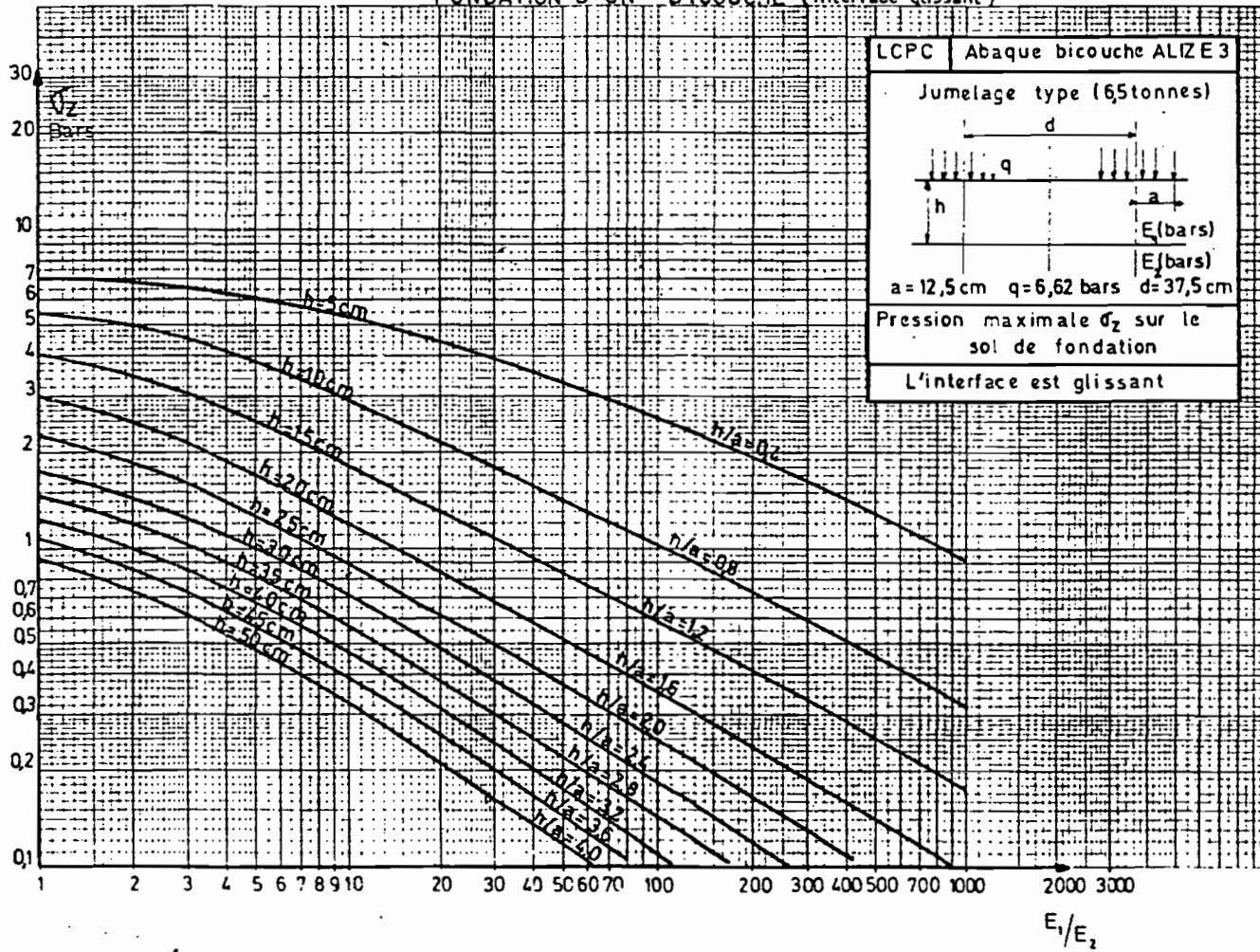


Figure 1.2

CHAPITRE VIII

RELEVÉ DES

DEGRADATIONS

ET ANALYSE

VIII RELEVÉ ET ANALYSE DES DEGRADATIONS

8.1 : Relevé

Sur nos différents échantillons nous avons les dégradations suivantes:

RN1 : Bargny - Diam Niadio

- Ornières et flèches - fissurations importantes: biaisées et longitudinales - faïencage prononcé sur de grandes longueurs.

RN1 Kaolack - Kaffrine

- fissurations importantes avec évolution en faïencage - ornières et flèches - épaulements importants - accotements dégradés - défaut de joint

RN2 Fodor - Ourossogui.

- pelage - pelade - fissuration de peu d'ampleur - nids de poule - épaulements.

RN4 Kaolack - Nioro du Rip (Gaspakh - Nioro).

- fissurations longitudinales et mailleées importantes - ornière marquée et continue - épaulements - accotements dégradés.

8.2: ANALYSE

L'examen visuel a permis de repertorier l'ensemble des dégradations sur l'ensemble du réseau. Ainsi donc il est apparu nécessaire de rechercher le motif de ces dégradations. Et pour cela deux questions méritent d'être posées:

- la dégradation vient-elle du dessous?

Le processus serait alors le suivant: par suite d'une pression excessive au niveau du rol à travers une chaussée insuffisamment épaisse, le rol support se dégrade ou peut être les couches de chaussée et l'on finit par voir arriver la dégradation dans la couche de roulement. Dans ce cas cela sera mis en évidence par une valeur élevée et hétérogène de la deflexion et par les analyses dans les couches constitutives de la chaussée.

- la dégradation vient-elle du dessus?

Le processus serait alors le suivant: par suite d'un défaut de la couche de roulement (défaut de mise en œuvre ou tout simplement usure par vieillissement) l'eau pénètre dans la chaussée et la dégrade progressivement de haut en bas sous l'action du trafic.

Dans le premier cas il faut renforcer la structure par un additif dont l'épaisseur dépend de la faiblesse de cette dernière, dans le second cas deux hypothèses se présentent: ou bien le processus n'est qu'à peine entamé et le renouvellement de la couche de roulement étanche suffit à le stopper, ou bien la dégradation a atteint gravement les couches de chaussée et le renforcement est alors également nécessaire.

Ainsi donc on constate qu'il se présente deux types de dégradations : une d'ordre superficiel et une autre d'ordre structurel.

8.2.1 : Dégradations de surface

Ces dégradations ne concernent que la surface de roulement traitée au liant hydrocarboné. Elles sont de trois natures :

- peignages
- plumages et pelades
- ravalement.

Les peignages :

sont fréquents et dans la majorité des cas profonds. Il est donc logique d'attribuer leur cause à une mauvaise mise en œuvre du liant hydrocarboné lors de l'exécution du revêtement. Ce défaut n'est observé fréquemment que sur les enduits réalisés entre les années 1967 et 1970, période pendant laquelle l'utilisation du bitume fluidifié 400/600 est apparue au Sénégal en remplacement du 150/250. Les revêtements les plus récents ne présentent pas ce défaut.

Les plumages et pelades :

Ils ont pour cause soit la vétusté du revêtement qui a atteint le stade final d'usure (cas des départementales) soit une mauvaise qualité du granulat utilisé (friabilité et propreté).

Ces défauts sont très souvent à l'origine des dégradations de structure par nids de poule et accentuation de la fissuration.

8.2.2 : Dégradations de structure

Pour celles qui intéressent les corps de chaussée notons :

- firmation de retrait
- nids de poule
- epaulements des rives - accotements .
- legers ornièrages
- firmation longitudinale ou biaisée .
- faiçage
- ornièrages et flaches profondes .
- La firmation de retrait:

Elle est très fréquente et d'autant plus importante lorsque la couche de base est améliorée par un liant hydraulique. Dans ce dernier cas elle se présente sous forme maillée et regne en pleine largeur de la chaussée. Cette firmation est en règle générale fermée à l'exception des zones où le revêtement ayant perdu son rôle protecteur, la teneur en eau résiduelle de la couche de base subit de grandes variations au cours de l'année.

- Les epaulements de rives.

Sont très courants et ont pour origine une usure importante des accotements et également des largeurs de chaussées insuffisantes eu égard au trafic.

Les nids de poule

sont très nombreux mais sont toujours la conséquence d'une déficience du revêtement. Dans les zones de peignage ils se situent en chapelet.

- Le léger ornièrage.

Ne concerne que les chemins de roulement adjacents aux rives de chaussée et s'en situe à environ 0.30m. Dans le cas des chaussées comportant une couche de base

en matériaux naturels, cette déformation correspond à une mise en place et à une densification des matériaux de la couche sans rupture, il regne alors sur des tronçons de longueur variant entre 100 et 300 m. Dans le cas des chaussées avec une base améliorée en ciment, cette déformation est ponctuelle et correspond vraisemblablement à des défauts localisés de compactage à leur mise en œuvre.

- La fissuration longitudinale ou biaisée.

Elle se situe dans la majorité des cas dans les chemins de roulement des véhicules et denote une déformation irréversible de la chaussée avec rupture. Cette dégradation se présente sous forme d'une fissuration multiple et parallèle et ouverte.

- Le faïençage

Il se concerne que faibles sections de chaussées très anciennes. Bien qu'il soit rigne d'une rupture généralisée de la chaussée, il n'est pas toujours accompagné de fortes déformations.

- Les ornières et flèches

Se présentent sous forme de déformations profondes $0,05 < h < 0,3$ (mm), sont dans la quasi totalité des cas combinées à une fissuration longitudinale mais rarement accompagnées de bourrelets. Ces ornières et flèches se retrouvent plus particulièrement étendues et de forte amplitude sur les chaussées établies au niveau du terrain naturel ou encore dans toutes les zones sur lesquelles les ouvrages d'assainissement latéraux sont insuffisants. Elles denotent une carence de portance au niveau des rols

de fondation qui peut être attribué au mauvais assainissement de ces sols lors de la saison des pluies. Ces dépressions sont fréquentes dans les sentiers des roues des véhicules. Elles sont dues à un tassement plus grand en ces endroits, causé par une circulation concentrée par rapport aux autres endroits de la chaussée.

CHAPITRE IX

RECOMMANDATIONS

RECOMMANDATIONS

9.1 : L'âge de la chaussée

Le réseau revêtu du Sénégal peut être considéré comme étant jeune dans son ensemble. Et cela nous amènera à penser qu'une différence d'âge expliquerait une différence de comportement. Cependant on constate que sur certains tronçons le taux de dégradations est beaucoup plus important que sur des sections de constructions portées. C'est le cas par exemple de l'autoroute construite en 1951 et qui avec une couche de base de 15 à 20 cm de graviers latéitiques et un trafic T5, présente un comportement très satisfaisant jusqu'à présent alors que d'autres sont souvent sujets à de multiples problèmes.

En conclusion donc on peut affirmer qu'au Sénégal cet exemple peut se multiplier et par conséquent déduire que l'âge de la chaussée n'est pas un facteur suffisant pour déterminer un ordre de priorité dans les travaux d'évaluation du comportement des chaussées.

9.2 L'Etat Visuel

La dégradation a été dans cette étude un bon critère d'alerte. On ne rencontre pas de sections non dégradées nécessitant qu'on s'y penche sérieusement compte tenu des autres caractéristiques. Cela peut s'avérer normale dans la mesure où nous avons vu que toujours la dégradation se développait du dessus vers le bas. Par contre il faut souligner que c'est un critère qu'on ne peut utiliser seul, puisqu'à l'intérieur d'un groupe de chaussées dégradées

les caractéristiques de portance du couple chaussée-sol support et les qualités géotechniques déterminées après sondages, jouent également un rôle important.

9.3 : LE trafic

En matière de dimensionnement, outre les problèmes de conception pure, les projecteurs sont confrontés à des choix difficiles liés à l'évolution du trafic.

En effet une action apparaît nécessaire pour un contrôle effectif des surcharges. Celle-ci doit se révéler efficace, être bien orchestrée et s'appuyer sur la force publique et les différentes autorités concernées. Il n'y a en effet aucune raison pour que l'escalade des surcharges s'arrête d'elle-même à un niveau raisonnable. C'est pourquoi nous proposons la réutilisation du pont bascule qui se situe sur la RN1 entre Bargny et Diam Niadio. Et cela deviendra d'autant plus indispensable que bientôt de très grandes liaisons routières telles que définies par la V^e conférence Routière Africaine, verront le jour en traversant presque toute la région.

Sur un autre plan nous notons que la recherche ne faisant de plus en plus menaçante, une consultation au niveau des principales entreprises de transport ou de transformation permettra de mieux apprécier le trafic en fonction des raisons : on peut citer les phosphates de Taïba, de Thiès, la SOCOIM, la SODEFITEX, la CSS de Richard Toll etc...

9.4 : La déflexion

Par suite des observations de notre étude on peut dire :
- que la déflexion ne peut être utilisée comme seul critère

de décision. Ce facteur est insuffisant compte tenu des modes de dégradation de nos chaussées.

- C'est par son côté qualitatif plutôt que quantitatif qu'elle peut nous amener son concours, car c'est la base du découpage en sections homogènes à l'intérieur d'un même itinéraire.

3.5 : LES sondages

Le rôle de ces sondages est souvent d'expliquer des singularités ou des différences de comportement entre deux sections. Par conséquent il y a lieu de penser que leur nombre dépend beaucoup des pics de deflexion rencontrés pour savoir s'il s'agit de point singulier ou non. Ainsi donc on ne saurait négliger l'influence qu'ils engendrent en les considérant avec les autres paramètres.

3.6 : Les Matériaux

Les graviers latéritiques restent les sources prioritaires de matériaux pour les couches de base et les escotements. Ils sont souvent employés crus lorsque leur indice portant CBR est supérieur à 80% et améliorés au ciment lorsque leur CBR est inférieur à cette valeur. Les mélanges latérite-ciment se font en centrale sauf dans des cas où la quantité requise est faible.

Concernant aussi ces mélanges, la méthode d'amélioration ne va pas transposer certains problèmes de mise en œuvre. Ainsi on insistera sur la difficulté d'obtenir un mélange homogène, imputable au matériau, au matériel de fabrication et de repandage, c'est en fait la

tendance à former des mottes pour les matériaux plastiques. Au Sénégal où le pourcentage de fines des graveurs latéritiques est faible en général mais où nous subissons la rigueur climatique sahélienne, un contrôle constant doit être fait sur la teneur en eau du mélange.

En outre nous proposons une réévaluation des courbes de "calage" de la granulométrie car les expériences ont montré que les courbes enveloppes du guide de dimensionnement ne sont pas respectées et surtout que dans l'ensemble le comportement mécanique des matériaux est acceptable. Certes il ne dépend pas uniquement de la granulométrie mais aussi la durée de l'imbibition pour l'essai de pompage méritait aussi d'être revue. En effet les conditions de mise en œuvre de l'essai ne font pas l'unanimité la durée de 96 heures et peut être même que le CBR qui en sera issu conduirait à surdimensionner la chaussée. Or une étude plus poussée sur l'utilisation de ce critère permettrait des gains appréciables.

Nous notons que le gonflement de nos graveurs latéritiques étant en général très faible et ceci est lié au pourcentage de fines, la firmation du ou retrait argileux serait atténuée par l'emploi de latérites plus squelettiques.

Dans le cas où on disposerait de sol compressible une action efficace doit se faire en surveillant le drainage. Or donc nous insisterons sur la tenue des fossés en bon état, dans la mesure du possible, le revêtement des fossés d'une

mince couche de béton de forme ou bien en élargissant la plateforme au delà d'une certaine emprise pour mieux évacuer les eaux de ruissellement. Ce procédé permettra de contrôler la teneur en eau du sol et d'éviter les effets de pompage de la chaussée donc la fissuration.

Notons finalement que les gravels latéritiques s'apparentent aux roches dites évolutives en ce sens qu'elles n'ont pas d'état granulaire stable. Sous l'action mécanique ne serait ce que celle du malaxage elles se fragmentent et mises à tremper elles se dilatent.

Une méthode d'amélioration de la latérite mérite aussi une attention. En effet pour une latérite de qualité médiocre on peut l'associer à un autre matériau pour améliorer ses propriétés. C'est un procédé qui a donné de bons résultats notamment en Haute Volta, en Guyane...

3.7 : Evaluation de la qualité de la chaussée

La principale caractéristique opérationnelle d'une chaussée réside dans sa qualité ou dans le niveau de service qu'elle procure aux usagers. La variation de ce niveau de service dans le temps sert à mesurer le comportement de la chaussée. Pour cela on utilise souvent l'indice de roulement IR ou l'indice de confort.

Par définition l'indice IR est une mesure subjective de la qualité de roulement d'une chaussée. Cet indice représente le jugement de l'usager moyen. On le mesure à l'aide d'un échantillonnage représentatif d'usagers. Elle se fait également par des mesures mécaniques de rugosité, qui en plus d'être forcément


objectives. Elles peuvent être mises en corrélation avec les cotes du groupe précité de sorte qu'elles constituent un moyen rapide de déterminer ces cotes sans l'aide effectivement de ces individus. Nous citerons comme appareils de mesure de rugosité :

- le roulemètre.
- le profilomètre.
- La règle roulante.

La rugosité d'une section de chaussée pouvant varier considérablement avec la saison, nous considérerons une époque où la température est stable pour procéder aux mesures périodiques afin d'établir la corrélation entre l'indice IR et le roulemètre.

On peut également mesurer l'IR par groupe évaluateur. Chaque membre du groupe note son opinion sur une fiche telle que la montre le schéma :

Fig 3.1 Fiche d'évaluation

10		TRES BON	Identification Route Section date qualité du revêtement. Remarques
9		TRES BON	
8		BON	
7		BON	
6		MOYEN	
5		MOYEN	
4		MAUVAIS	
3		MAUVAIS	
2		TRES MAUVAIS	
1		TRES MAUVAIS	
0			

On désignera l'évaluation de chaque membre par l'expression "IR individuel" et l'évaluation moyenne de tout le groupe par "indice de roulement". L'adaptation de cette méthode pour toute condition de circulation est possible. La méthode de formation des groupes suggérerait au tout début le recours à des ingénieurs routiers uniquement. Et ensuite l'élargissement se fera au niveau d'un échantillon représentatif des usagers de la route, de tous les milieux sociaux et des deux sexes pour remplir le rôle d'évaluateurs. L'échelle IR est divisée en cinq parties, chacune comportant une formulation appropriée. Elle doit être utilisée de sorte que l'évaluateur ne prête d'abord attention qu'aux termes descriptifs, l'évaluation numérique n'est établie que par la suite.

Ces méthodes qu'on a décrit ci-dessus permettent de suivre l'évolution qualitative de la chaussée.

3.8 : La maintenance du Réseau: objectifs

Pourqu'un pays a consenti un effort important d'investissement pour la construction de routes ou la rénovation des chaussées existantes, il est naturel qu'il se préoccupe de la conservation de ce capital surtout si on sait qu'une bonne construction revient à un placement qui rapporte des dividendes à cause des économies d'entretien qu'elle permettra de réaliser.

Et ainsi on ne saurait limiter notre étude au comportement des laterites, il n'a donc pas été nécessaire de faire des projections sur les opérations d'entretien ou de renforcements ultérieures.

APPENDICE I: Etude du Trafic de Marchandise.

A partir des enquetes on a calculé un tonnage moyen par produit transporté pour chaque poste et pour les 3 types de vehicules suivants:

- camionnette
- camion
- Ensemble articulé.

On a aussi déterminé le chargement moyen pour les vehicules chargés et pour l'ensemble des vehicules, sauf pour les camionnettes, ce qui aurait demandé de distinguer celles affectées au transport de passagers et celles affectées au transport de marchandises.

- Une des caractéristiques de pays en voie de développement est que si les trafics routiers y sont faibles en general, leur taux de croissance est élevé; c'est cette particularité qui différencie les routes de ces pays d'avec les routes secondaires des pays développés.
- Une autre caractéristique concerne la proportion que représente les vehicules commerciaux.

Type de véhicule Marchandise	Camionnette	%	Camion	%	EA (Ensemble articulé)	%
Arachides	0.07	2.5	7.34	2.3	19.67	9.8
huiles et tourteaux						
Coton						
mil et sorgho			21.65	6.7	18.37	9.2
Riz maïs	0.81	15.4	25.40	7.9	64.85	32.5
autres produits agé.	0.54	10.3	22.58	7.1	17.34	8.7
sucré	0.14	2.6	3.95	1.2		
sel			15.80	4.9		
autres aliments	2.31	43.6	14.11	4.4	7.76	3.9
Phosphates						
Hydrocarbures	0.07	2.5	37.82	11.8	17.85	8.9
Ciment et mat. de construction	0.44	8.6	8.18	2.6		
engrais et mat. agricole			17.50	5.5	40.62	20.3
Bois et charbon	0.41	7.7	124.17	38.9	2.26	0.1
autres produits	0.68	12.8	11.73	3.6	13.20	6.6
Total	5.17	100.0	320.03	100.0	200.02	100.0
Chargent moyen						
véhicules chargés	0.6	36.1	7.6	62.4	16.4	77.5
tous véhicules	0.2	12.0	5.2	42.7	9.7	45.9

Tableau 1

Trafic de Marchandises

Poste d'enquete		vehicules particuliers	Taxi interurbain	Camionnette passagers	Camionnette marchandi se	Autocars	Camions	Ensemble Articulé
(1) Nbre de passagers		2.73	7.03	10.55	3.02	16.91	3.95	2.59
(2) Nbre de places		5.00	9.00	14.00		21.19		
(3) taux d'occupation		0.56	0.86	0.75		0.79		
Moyenne sur les 7 postes	(1)	2.92	7.33	11.77	3.60	17.97	3.01	2.59
	(2)	5.00	9.00	14.00		22.50		
	(3)	0.58	0.81	0.81		0.80		

Tableau 2
Trafic voyageurs - Poste de Birkilane RN4.

APPENDICE II

GRANULOMETRIE : Courbe Enveloppe.

Fuseau	Exigences CESTP % passant	Nos échantillons % passant
50 mm	100	100
40 mm	95 - 100	96 - 100
31.5 mm	85 - 100	92 - 100
20 mm	60 - 100	83 - 100
10 mm	35 - 90	66 - 100
5 mm	20 - 75	60 - 100
2 mm	12 - 50	58 - 100
1 mm	10 - 40	58 - 100
0.5 mm	7 - 35	52 - 96
Fines 80 µm	20	12 - 46.

Tableau 3.

Nous avons obtenu une courbe enveloppe complètement différente des spécifications du manuel de dimensionnement, courbe que nous jugeons trop sévère si on sait que dans l'ensemble les graveleurs latéritiques du Sénégal se comportent bien en ce qui concerne les mesures de déflexion, les dégradations relevées.

En annexe nous produisons ces courbes.

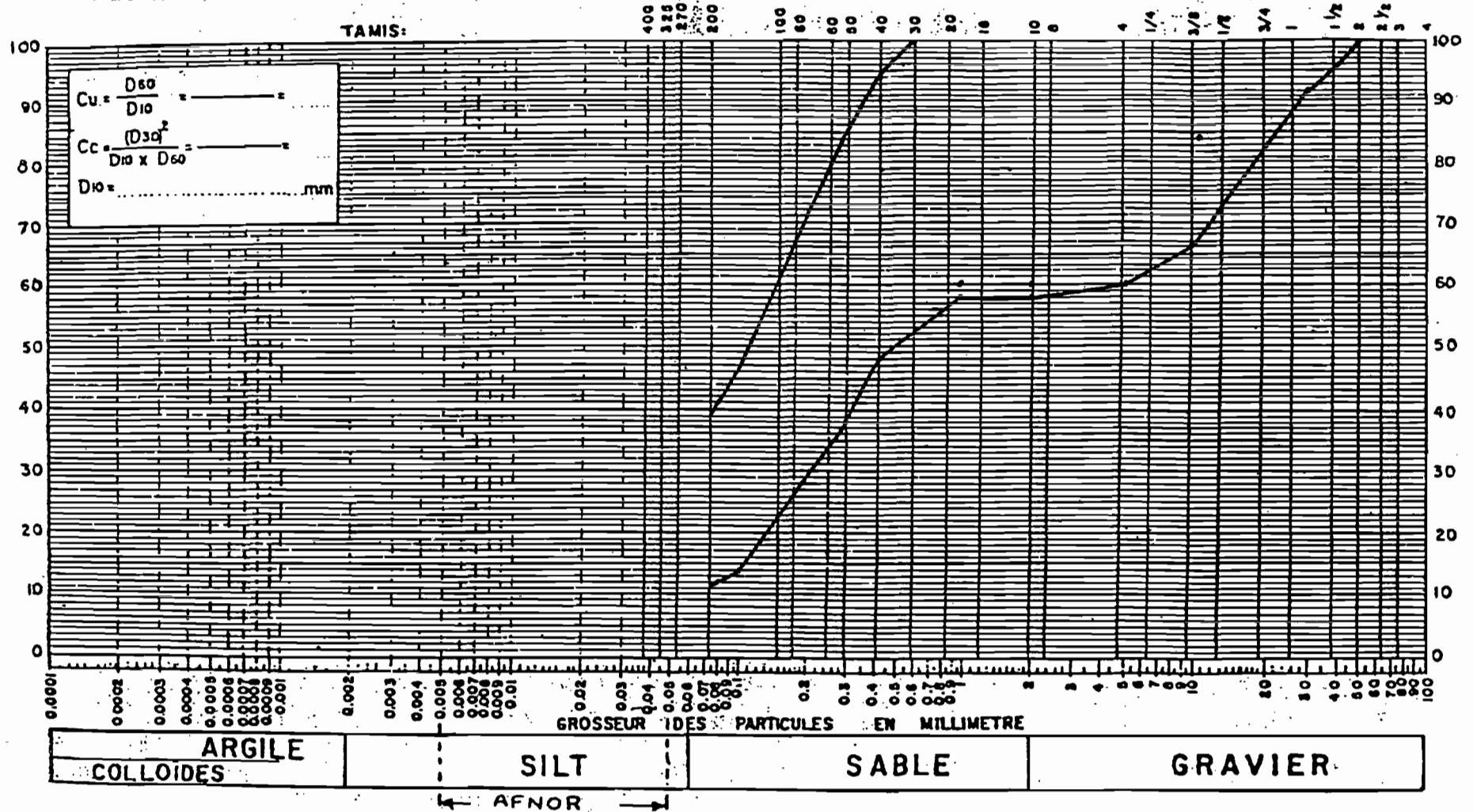
ANNEXES



DATE _____

ECHANTILLON NO. _____ 89

COURBE GRANULOMETRIQUE



Description Fig. 1. Courbe Enveloppe des matériaux utilisés dans la couche de base. Concolation.

Remarques :



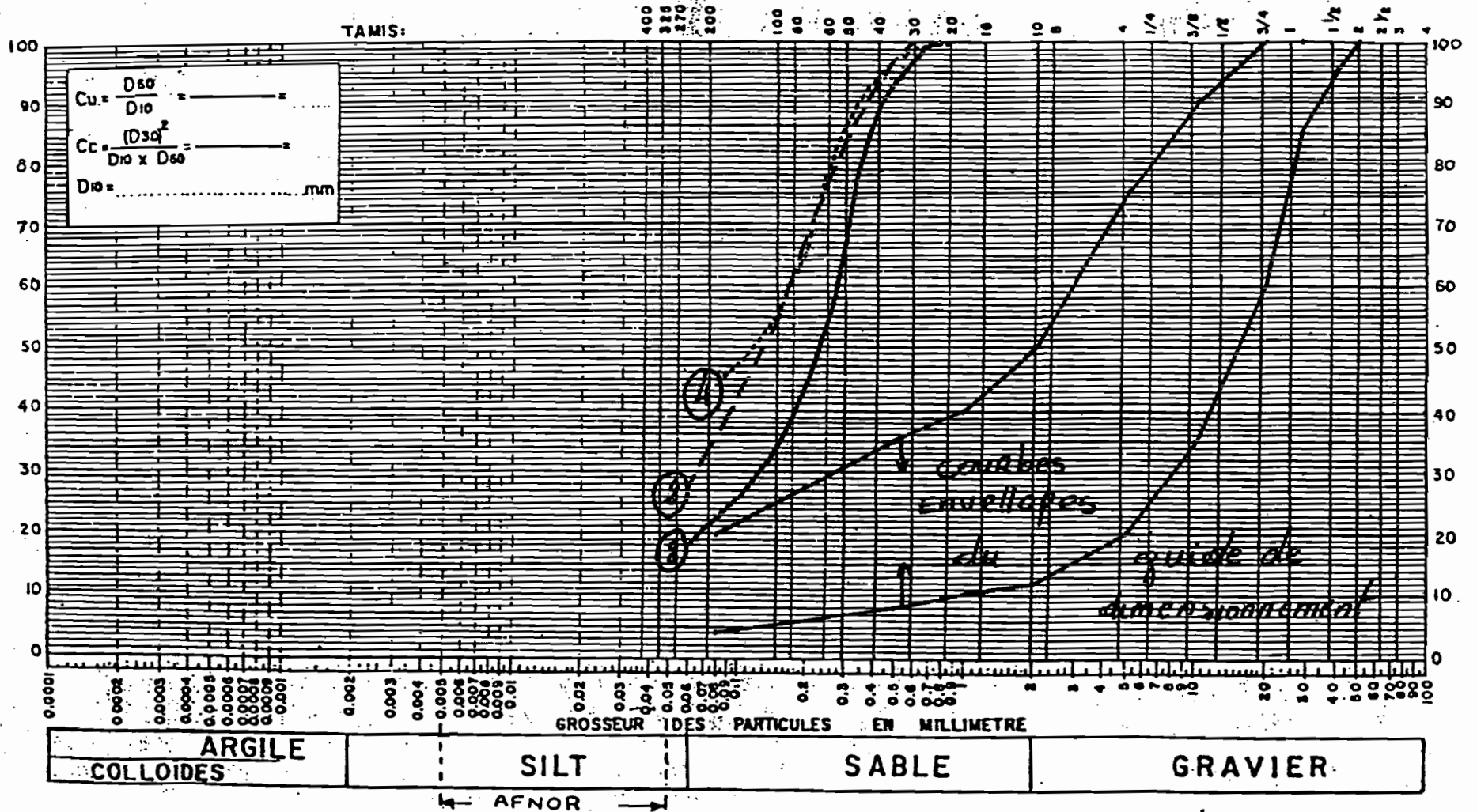
école polytechnique de thiès

Boîte Postale 10, Thiès, République du Sénégal

DATE _____

ECHANTILLON NO. _____

COURBE GRANULOMETRIQUE



Description Figure 2 Keolock - Keffrine Plateforme

Remarques : RN1



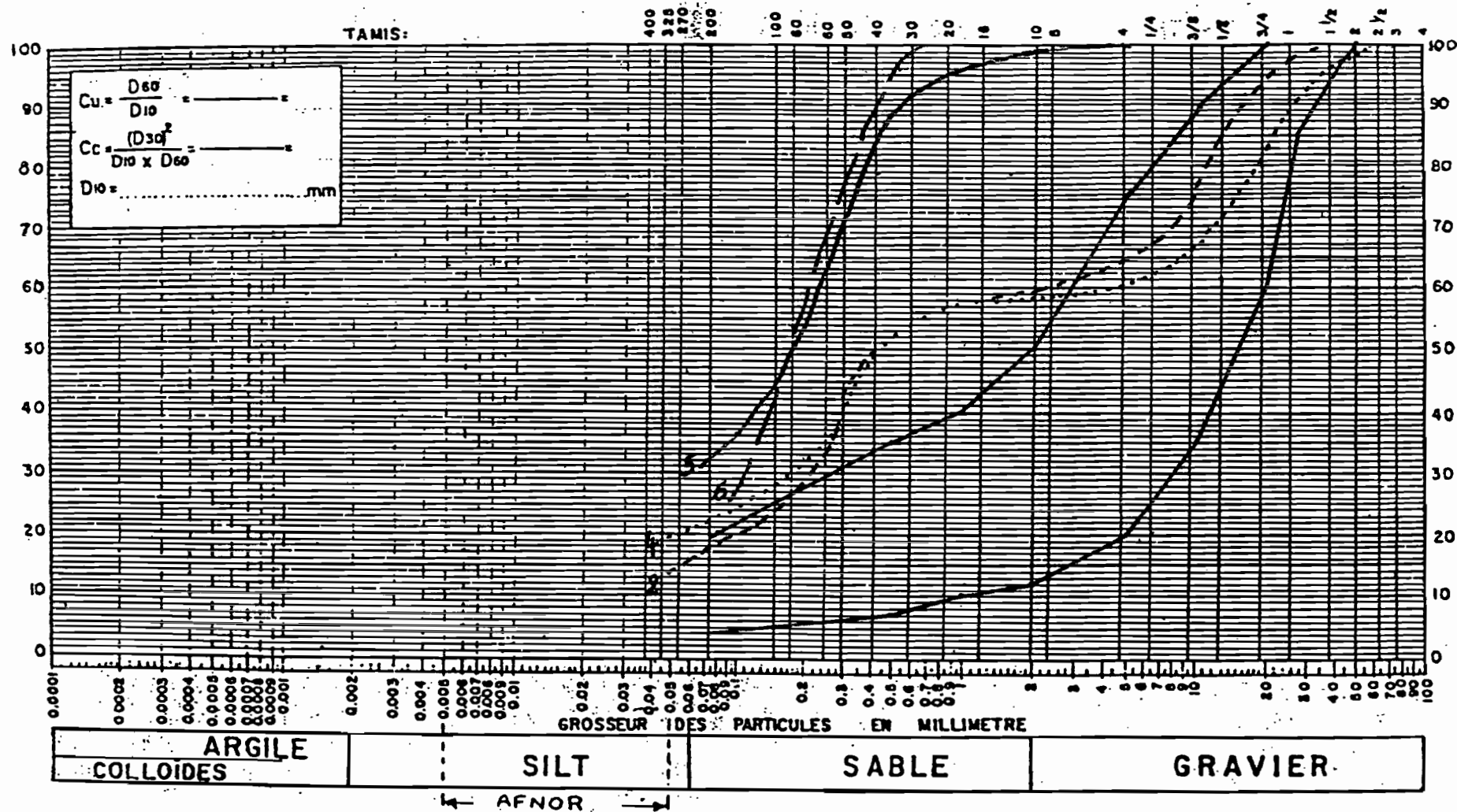
école polytechnique de thiès

Boite Postale 10, Thiès, République du Sénégal

DATE _____

ECHANTILLON NO. _____

COURBE GRANULOMETRIQUE



Description figure 3 Kroloch, Keffrine - couche de fondation

Remarques : RN1



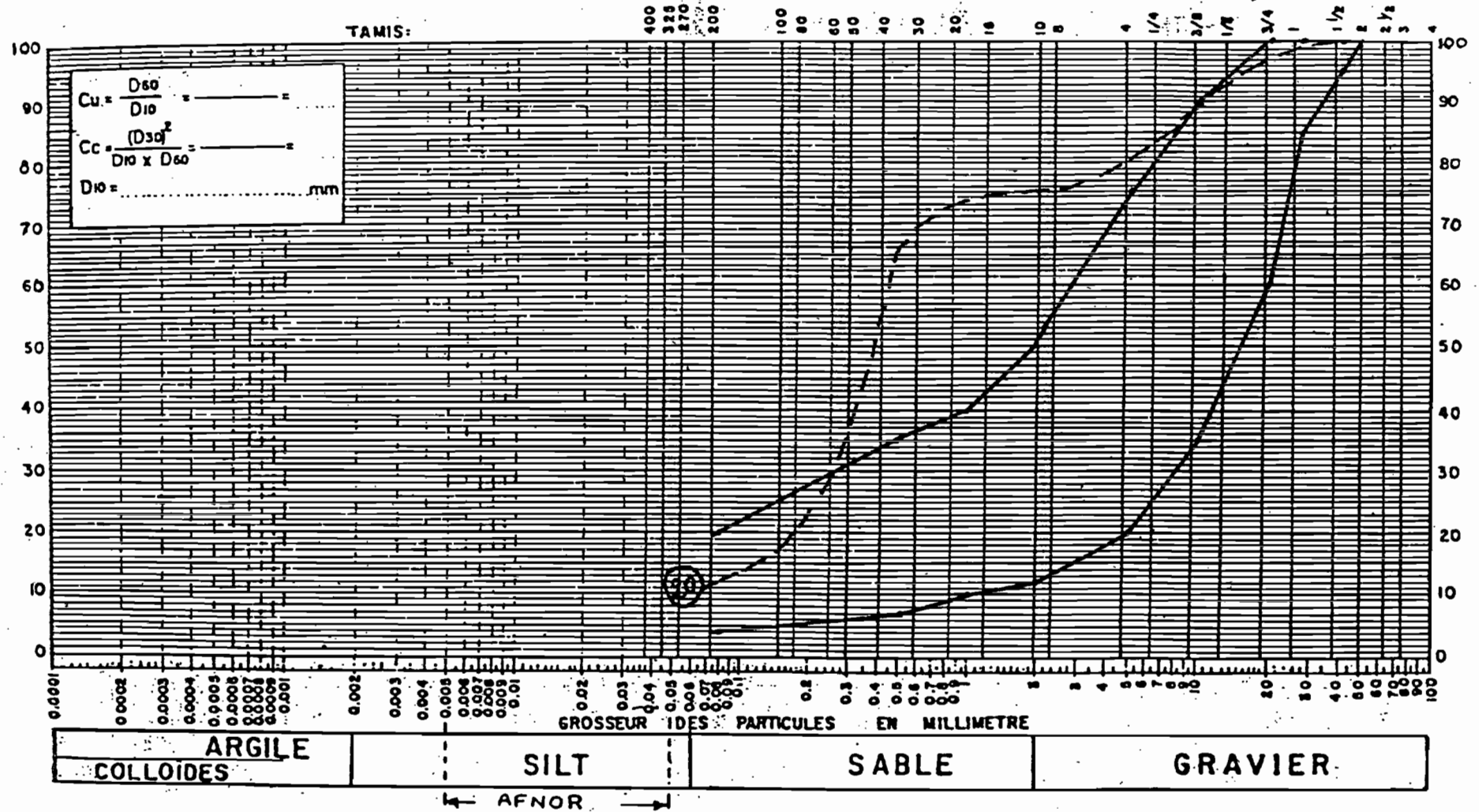
école polytechnique de thiès

Boite Postale 10, Thiès, République du Sénégal

DATE _____

ECHANTILLON NO. _____

COURBE GRANULOMETRIQUE



Description Figure 4 : Podor Ourossoqui - sondage n° 20 au pk 356

Remarques : RN2



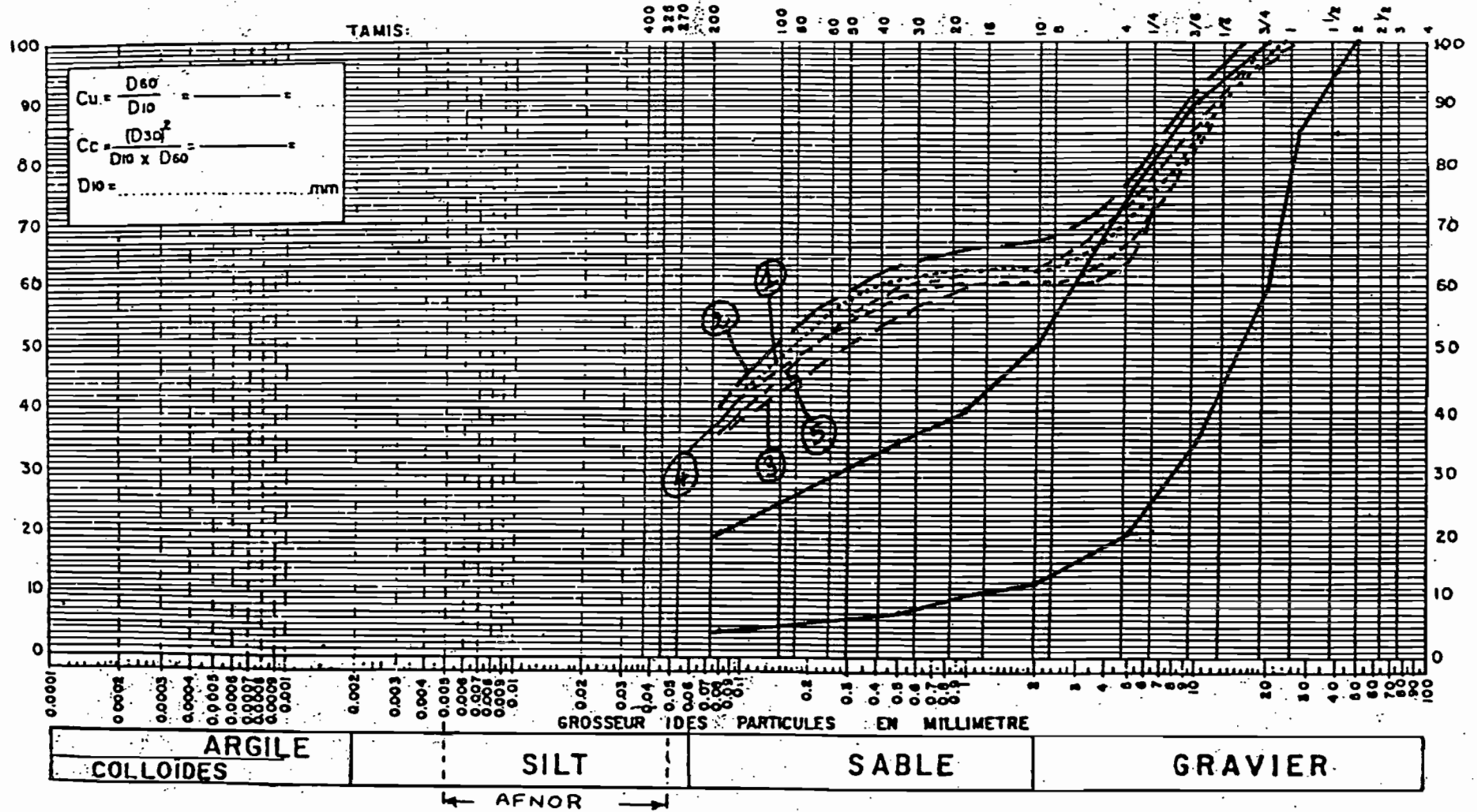
école polytechnique de thiès

Boîte Postale 10, Thiès, République du Sénégal

DATE _____

ECHANTILLON NO. _____ 79

COURBE GRANULOMETRIQUE



Description Figure 5: Gepak - Niveo du Rip - Couche de base

Remarques: RN4

Etude du comportement des routes sur les sols latéritiques
par Adama GUEYE

ROUTE : RN1

P.K. : 8

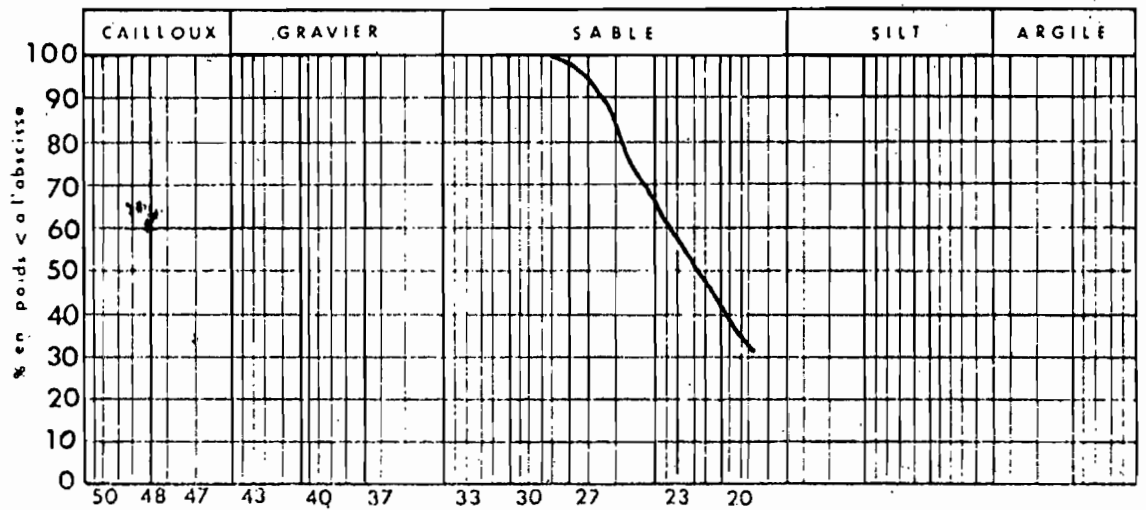
TRONCON : Kaolack Nalem Hodar

SONDAGE N° : 1

Figure 5

Ech.	Couche étudiée	Limites d'Atterberg			ES	Classification
		WL	WP	IP		
1 2	Plateforme	-	-	-	14	

GRANULOMETRIE



module A.F.N.O.R

dimensions en mm

désignation tamis A.S.T.M.

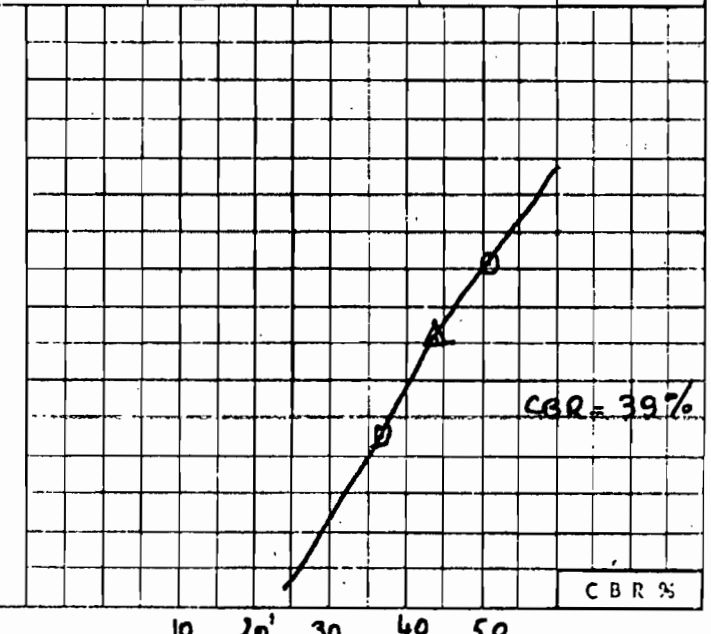
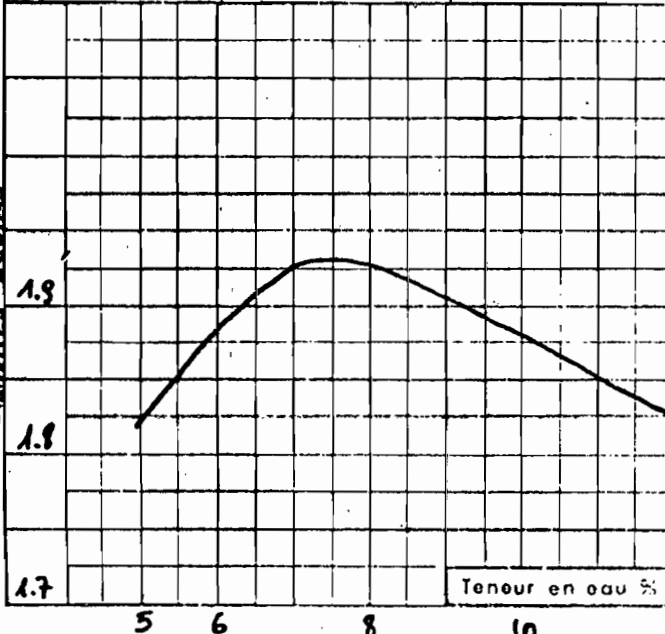
100	50	20	10	5	2	1	0.42	0.2	0.08	0.05	0.02	0.01	5 μ	2 μ
100.60	50	20	10	5	2	1	0.5	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	5 μ	2 μ
4"	2"	1 1/4"	3/8"	1/4"	10	20	40	60	80	200				

ESSAI PROCTOR

ESSAI CBR (après 96 heures d'imbibition)

Couche étudiée	Densité sèche maximum	Teneur en eau optimum %	Couche étudiée	N coups	δ_d	W% saturation	Gonflement %
Plateforme	1.935	7.5		O 55	193	10.7	-
				A 25	1.935	11.1	-
				□ 10	1.81	11.7	-
				O 55			
				A 25			
				□ 10			

densités sèches



Etude du comportement des routes sur les sols latéritiques
par Adama GUEYE

ROUTE : RN1

P.K. : 38.1

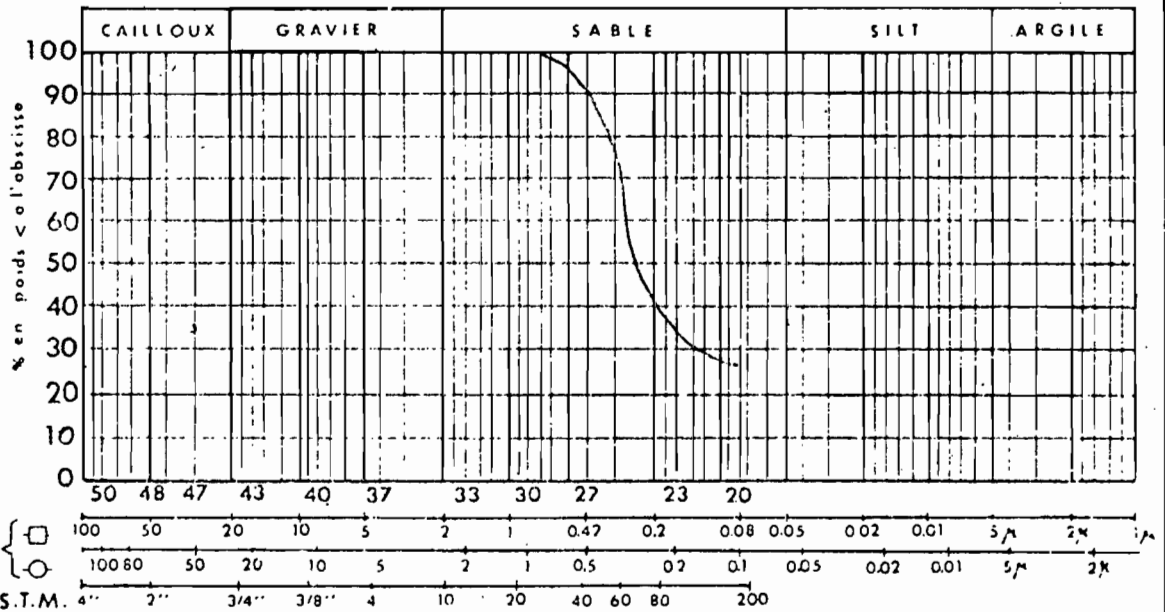
TRONCON : Kaolack - Nalem Hodou

SONDAGE N° : 8

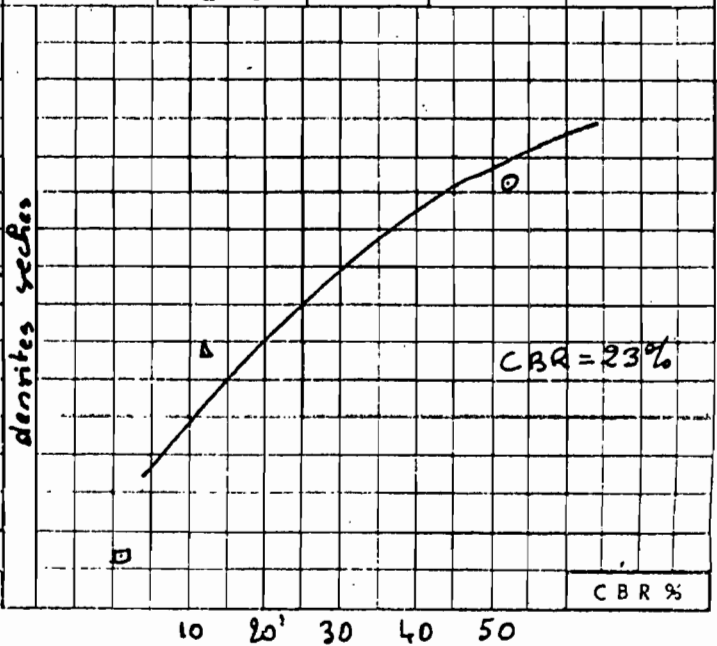
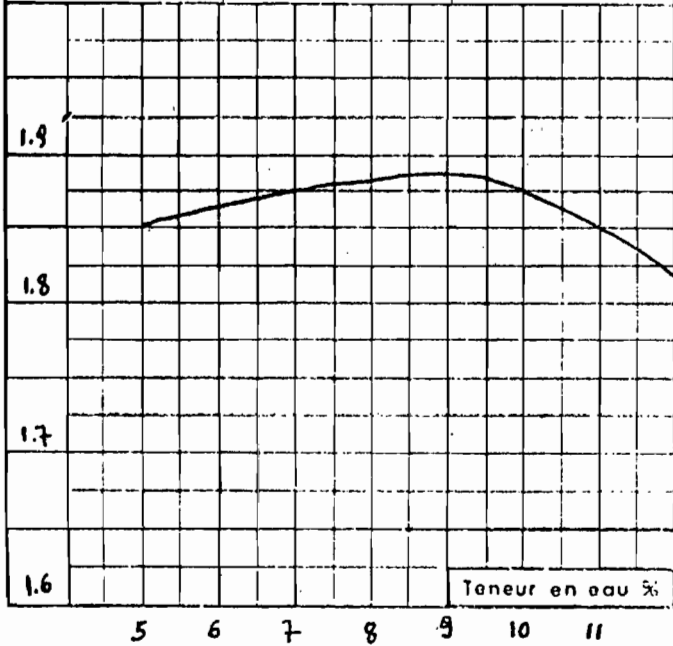
Figure 8

Ech.	Couche étudiée	Limites d'Atterberg			ES	Classification
		WL	WP	IP		
1 2	Plateforme	-	-	-	48	

GRANULOMETRIE



ESSAI PROCTOR			ESSAI CBR (après 96 heures d'imbibition)				
Couche étudiée	Densité sèche maximum	Teneur en eau optimum %	Couche étudiée	N coups	γ_d	W% saturation	Gonflement %
Plateforme	1.88	9.0		○ 55	1.88	10.7	-
				△ 25	1.735	12.3	-
				□ 10	1.635	13.5	-
				○ 55			
				△ 25			
				□ 10			



Etude du comportement des routes sur les sols latéritiques
par Adama GUEYE

ROUTE : RN4

P.K. : 1.750

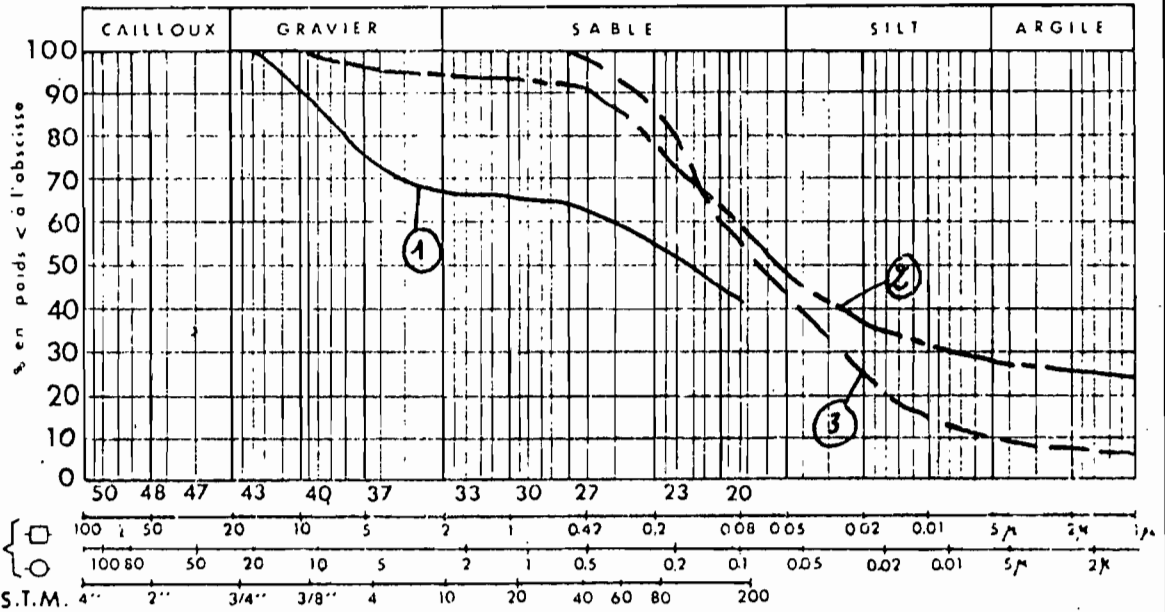
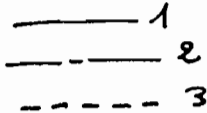
TRONCON : Gapakh - Nioero du Rip

SONDAGE N° : 2

Figure 10

Ech.	Couche étudiée	Limites d'Atterberg			ES	Classification
		WL	WP	IP		
1	Couche de base	29	14	15	-	GA
2	Plateforme 0.26-0.40m	23	11	12	-	SL
3	Plateforme 0.40-0.50	16	11	5	-	SL

GRANULOMETRIE

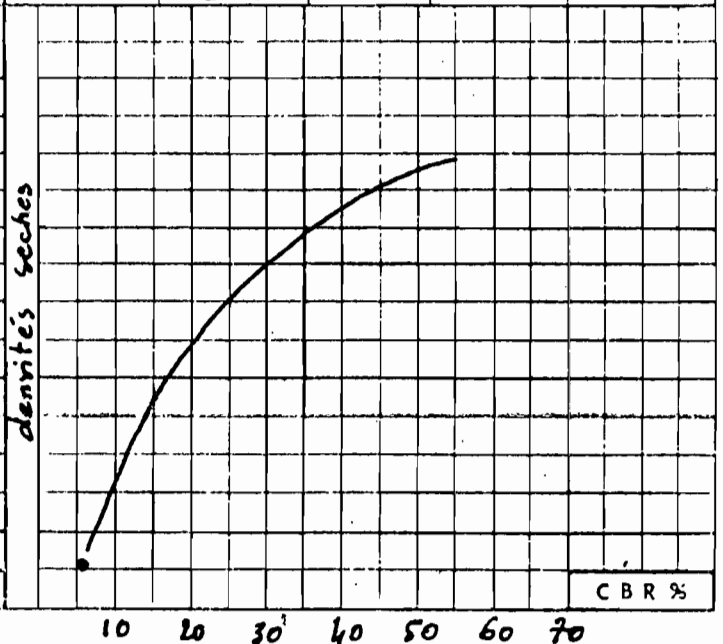
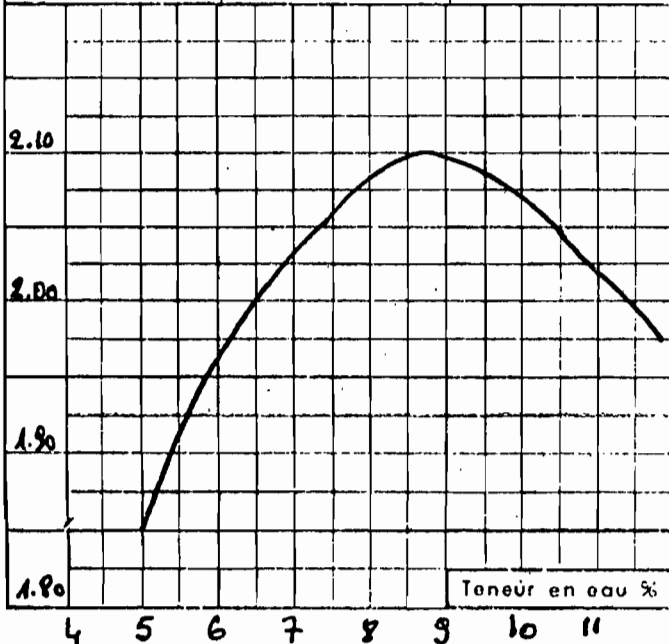


module A.F.N.O.R

dimensions en mm

désignation tamis A.S.T.M.

ESSAI PROCTOR			ESSAI CBR (après 96 heures d'imbibition)				
Couche étudiée	Densité sèche maximum	Teneur en eau optimum %	Couche étudiée	N coups	γ_d	W% saturation	Gonflement %
Plateforme 0.26-0.40m	2.10	8.5		O 55	2.10	9.6	0
				A 25	1.98	9.7	0.2
				□ 10	1.83	12.4	0.4
				O 55			
				A 25			
				□ 10			



Etude du comportement des routes sur les sols latéritiques

par Adama GUEYE

ROUTE : RN4

P.K. :

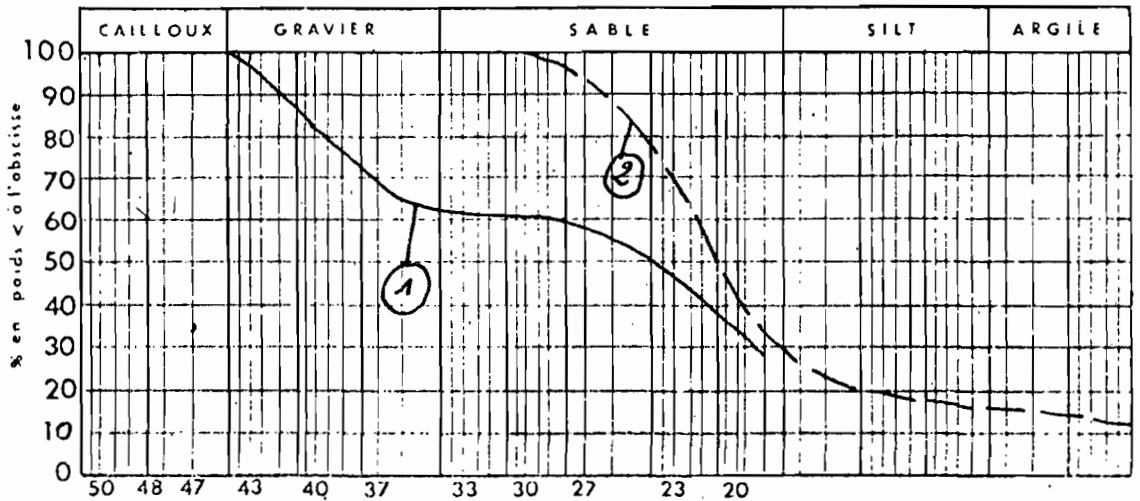
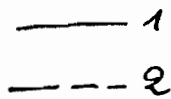
TRONCON : Gapa kh - Nioko du Rip

SONDAGE N° : 5

Figure 13

Ech.	Couche étudiée	Limites d'Atterberg			ES	Classification
		WL	WP	IP		
1	Couche de base	26	13	13	-	GA
2	Plateforme 0.30 - 0.60m	19	12	7	-	SL

GRANULOMETRIE



module A.F.N.O.R

dimensions en mm

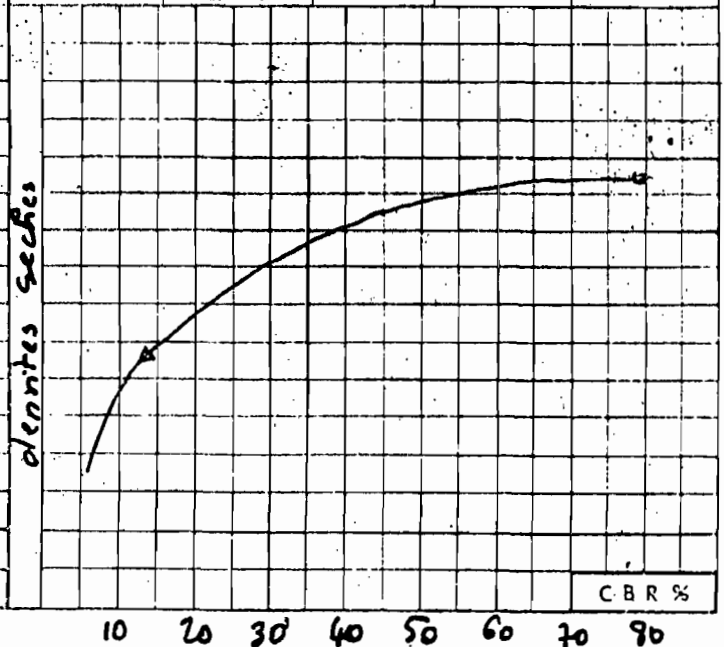
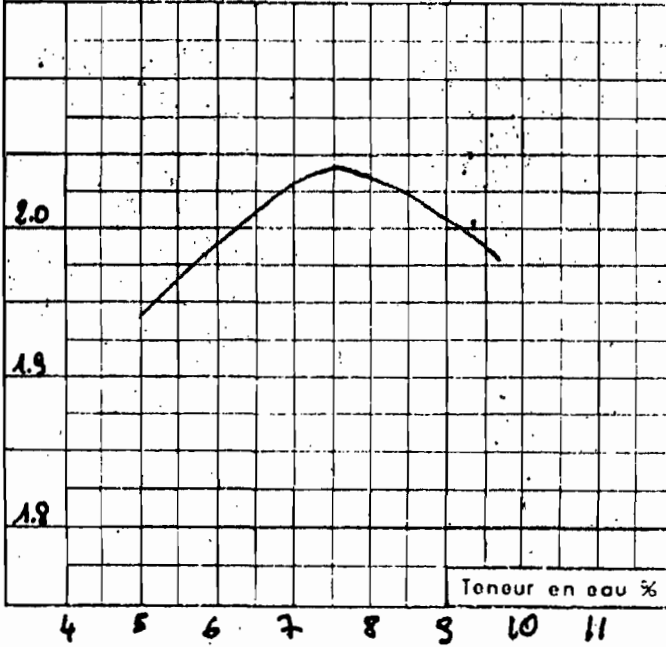
désignation tamis A.S.T.M.

100	50	20	10	5	2	1	0.47	0.2	0.08	0.05	0.02	0.01	5 μ	2 μ
10080	50	20	10	5	2	1	0.5	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	5 μ	2 μ
4"	2"	3/4"	3/8"	4	10	20	40	60	80	200				

ESSAI PROCTOR

ESSAI CBR (après 96 heures d'imbibition)

Couche étudiée	Densité sèche maximum	Teneur en eau optimum %	Couche étudiée	N coups	δ_d	W% saturation	Gonflement %
Couche de base	2.04	8.0		O 55	2.04	9.2	0.1
				A 25	1.94	11.4	0.2
				Q 10	1.94	12.8	0.3



densités sèches

Etude du comportement des routes sur les sols latéritiques
par Adama GUEYE

ROUTE : RN4

P.K. : 6.15

TRONCON : Gapakh - Nioko du Rip

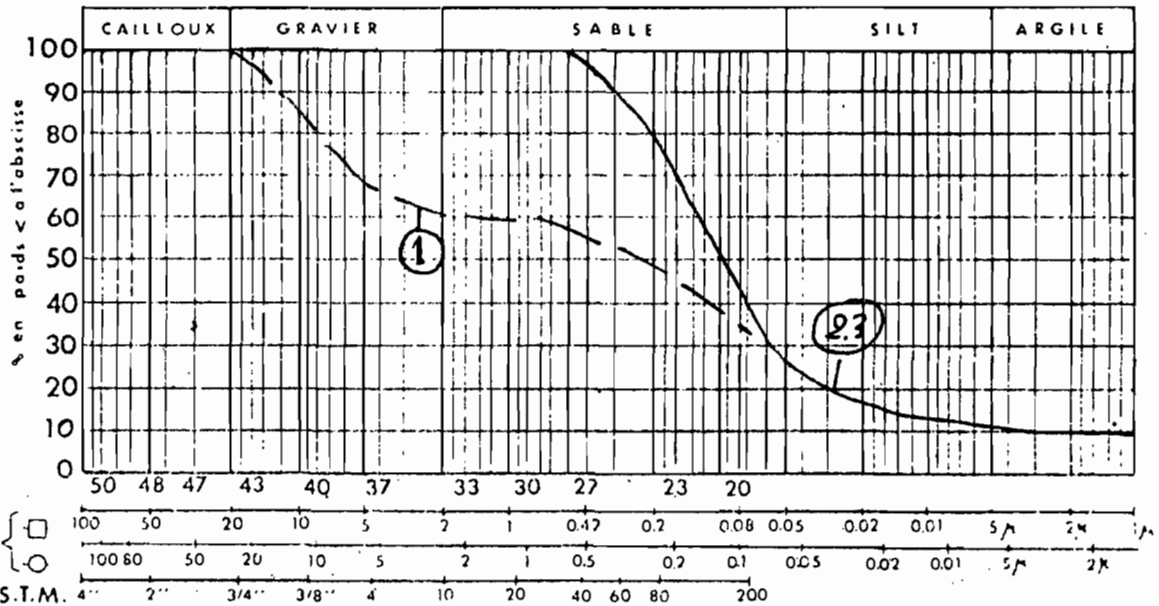
SONDAGE N° : 6

Figure 14

Ech.	Couche étudiée	Limites d'Atterberg			ES	Classification
		WL	WP	IP		
1	Couche de base	30	14	16	-	GA
2	Plateforme 0.25 - 0.40m	18	12	6	-	SL
3	u 0.40 - 0.50m	-	-	-	-	SL

GRANULOMETRIE

— 1
- - - 2.3



ESSAI PROCTOR			ESSAI CBR (après 96 heures d'imbibition)				
Couche étudiée	Densité sèche maximum	Teneur en eau optimum %	Couche étudiée	N° coups	γ_d	W % saturation	Gonflement %
				○ 55			
				△ 25			
				□ 10			
				○ 55			
				△ 25			
				□ 10			

Teneur en eau %

CBR %

Figure 22 SOLS NATURELS

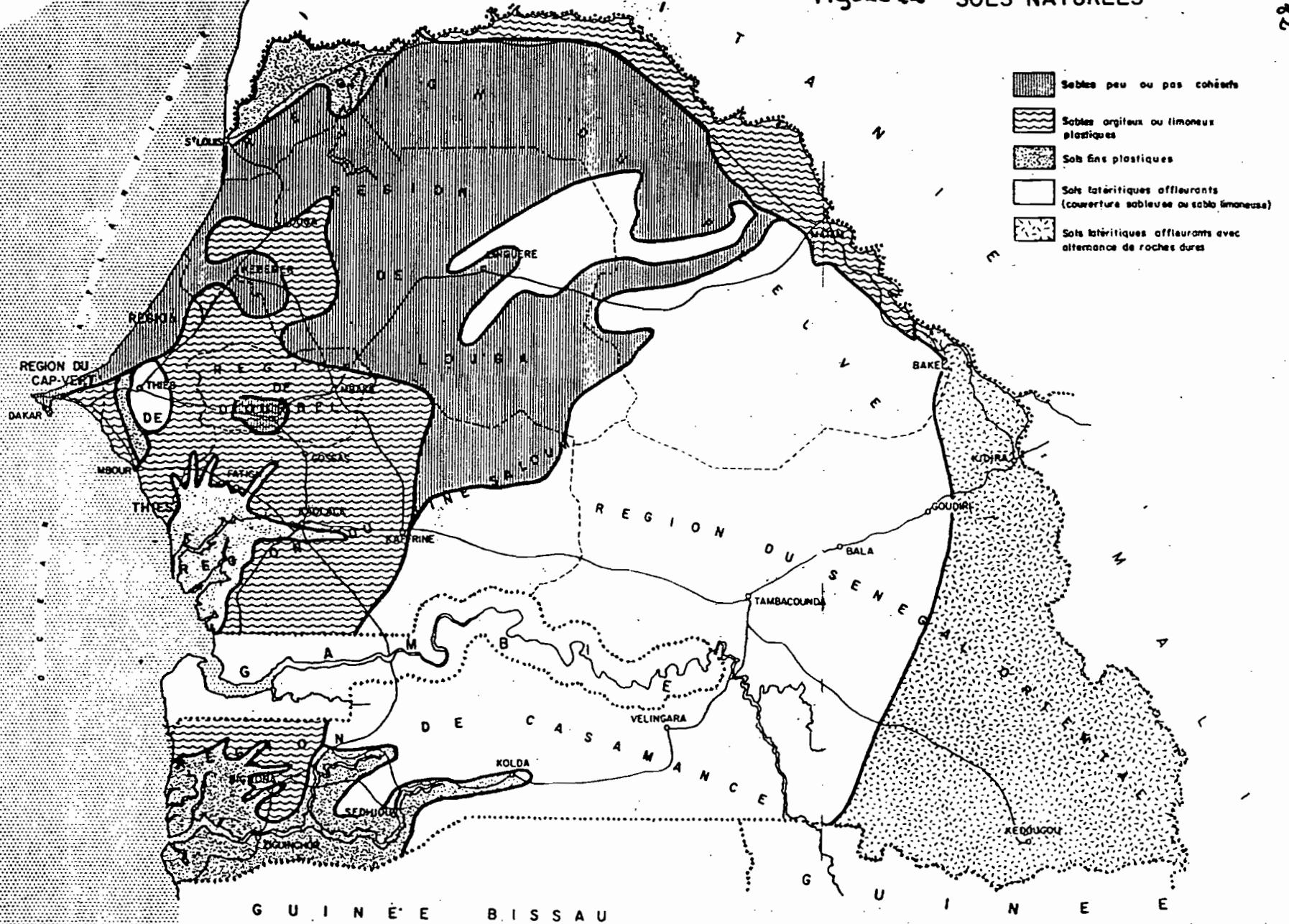
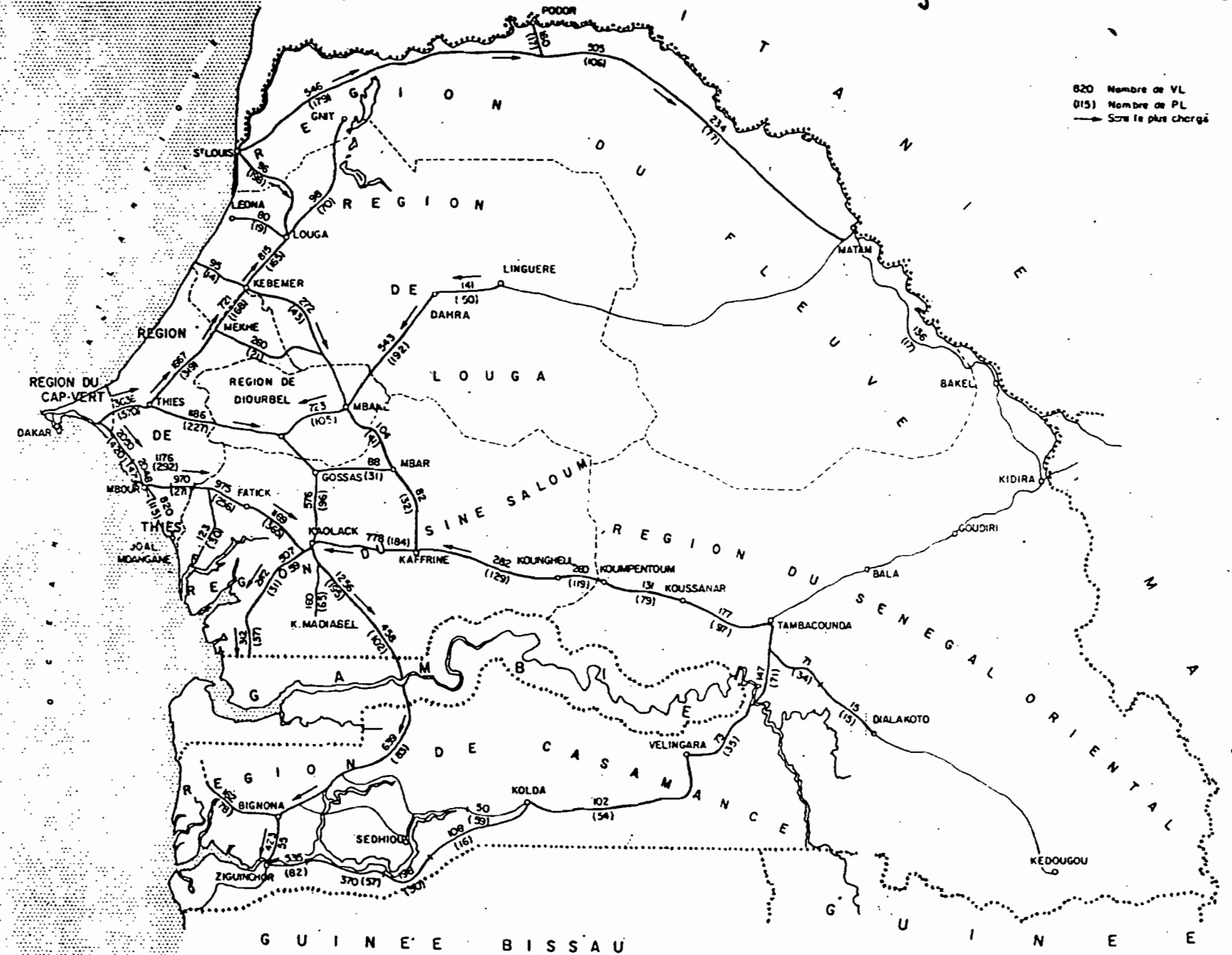


Figure 2.1 TRAFFICS 1981



ECHELLE 1/2 000 000

Route	Section	type pla- teforme	date de construction	Constitution	Initiale		Renforcement
					base	Revetement	
	(trafic)			base		Revetement	date. c. base - Revêtement
RN1	Kaolack - Kaffrine (T3)	S5	1959	grave latéritique + ciment 5%	Enduit superficiel mono couche		
RN2	Podor - Ouwo- sogui (T1)	S5	1968	grave latéritique + 3% ciment	Enduit superficiel mono couche		
RN1	Bangny - Diam Niaye (T5)	S1	1951	Empiement calcaire	Enduit superficiel tricouche		75 longueur 4.7 km 76 grave bitume 78 Enrobés denses
RN4	Gapakh Morodou Lip (T1)	S5	1952-53	graveleux latéritiques	gourillons de fabriques enrobés		74 76 Localement 78

Tableau 4 Historique des références.

RUFISQUE RUFISQUE DIAM NIAYES	RUFISQUE	BARGNY	AK 33	AK 34	AK 35	AK 37	DIAM NIAYES	DIAM NIAYES	ENI M 600	Largeur chaussée			Largeur accotement		
										29	30	31	32	33	34
250	225	200	175	150	125	100	75	50	25						
Détériorations Date : 7. 02. 83 Voie : D										Profil en long Déficit de fossé Dégradations ouvrages Surface Fissuration Déformations Epaulements Accotements Observations					
Etat visuel relevé 10. 8. 1. 83										0 3 flèche 2. réparé					
Sondages et coupes théoriques 3 4A										CBR 2 M 14.57			CBR 3 M 14.57		
Class. sol. plateforme (S-1)															
(S-1)															
(S-1)															
(S-1)															
(S-1)															
(S-1)															
(S-1)															

Tableau 3.1

RN1 KAOLACK Malem-Hodar		KAOLACK	Terrain avignon	non sortie ville	KAHONE	GUINGUINTO													
R.P.K		1	(1.6)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	(13.4)	15	16	17	
Largour chaussée		6.00		5.40															
Largour accotement	G D	1.50		1.50															
Déflexions	250 225 200 175 150 125 100 75 50 25	[Graph showing deflection profile across stations]																	
Date	6.05.83																		
Voie	G																		
Etat visuel relevé le 2.12.82		[Visual inspection notes and symbols]																	
Profil en long		R	TN								R	TN							
Déclat de fossé		[Diagram of ditch profile]																	
Dégradations ouvrages		[Symbols indicating degradation]																	
Surface		[Surface texture symbols]																	
Fissuration		Des coupes de fissuration du revêtement d'usage																	
Déformations		[Deformation symbols]																	
Epaulements		20	15	10	20	10	10												
Accotements		[Diagram of shoulder profile]																	
Observations		Rectification tracé et bords						Grandes ondulations du P.L.						Rectification du P.L. à étudier					
Sondages et coupes théoriques	[Diagram of boreholes 1A, 2A, 3A]	1 ^A		2 ^A								3 ^A							
		[Soil profile 1A: R.S., Lot, S.L., S.L.A., S.L., S.L.A., S.L.]		[Soil profile 2A: R.S., Lot, S.L., S.L.A., S.L.]		[Soil profile 3A: R.S., Lot, S.L.A., S.L.]						[Soil profile 3A: R.S., Lot, S.L.A., S.L.]							
Class. sol. plateforme		(S.5)		(S.5)								(S.5)							
Structure		R.S. bicouche (7.20 m)																	
Structure		Latière ciment 15cm																	
Structure		B.S. bicouche																	
Structure		Latière ciment 15cm																	

Tableau 3.2

Tableau 3.3

RN1 KAOLACK Malem Hodar		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34																	
Largeur chaussée		5.50										5.10				5.30																				
Largeur accotement		1.50										1.00				1.00																				
Déflexions																																				
Date : 6.05.83 Voie : G																																				
Profil en long		TN														R		TN		R																
Défaut de fossé																																				
Dégradations ouvrages																																				
Surface																																				
Fissuration																																				
Déformations																																				
Epauffrements		5					10					15					10					5					20					40				
Accotements																																				
Observations		<p>revêtement entretien revêtement entretien Nombreuses réparations Nombreuses réparations</p>																																		
Sondages et coupes théoriques		<p>4^Λ</p>					<p>5^Λ</p>					<p>6^Λ</p>																								
Class. sol. plateforme		(S.5)																																		
Surface		R 5 bicouche																																		
Lateralité		Lateralité: 15cm																																		

RN1 KAOLACK Malem-Hodar				BIRKELANE														DAGAYE	DENE
P.K.	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	
Largeur chaussée	5.40	5.50	5.20	5.00	5.00								6.00						
Largeur accotement	G			1.00									1.00						
	D			1.00									1.00						

Etat visuel relevé le 3-12-82	Détections	250																	
		225																	
		200																	
		175																	
		150																	
		125																	
	Date : 29.04.83	100																	
		75																	
		50																	
		25																	
Profil en long	R		TN		R		TN		R		TN		R		TN		R		
Défaut de fossé																			
Dégradations ouvrages																			
Surface																			
Fissuration																			
Déformations																			
Epaulements		10		20		30		20										50	
Accotements																		10	
Observations																			

Tableau 3.4

Renseignements sur la structure	Sondages et coupes théoriques	7 ^A 	8 ^A 	9 ^A 	10 ^A
	Class. sol, plateforme	(S.4)	(S.4)	(S.4)	(S.4)

Etat des ouvrages	Surface	R.S. bicouche	T.S.	R.S. monocouche
	Matériau	Matériau 15cm		
	G			

RN1 KAOLACK Maïem Hodar	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
	Largeur chaussée 5.40 5.50 5.20 5.30 5.00 6.00																	
Largeur accotement 1.00 1.00																		

Déflexions Date : 29. 04. 83 Voie : G	250	265	280	295	310	325	340	355	370	385	400	415	430	445	460	475	490	505
	Eclair. visuel relevé 10 3 - 12 - 82																	
Profil en long	R	TN	TN	R	TN	TN	R	TN	TN	R	TN	TN	R	TN	TN	R	TN	R
Defaut de fosse																		
Dégradations ouvrages																		
Surface																		
Fissuration																		
Déformations																		
Epaurements																		50
Accotements																		10
Observations	quelques nids de poule ondulations générales																	

Sondages et coupes théoriques	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
	Diagrams showing CBR values and soil types (R.S., L.C.C., L.C., S.L., A.L.) for various stations.																	
Class. sol, plateforme	(S.4)																	

Observations	R.S. monocouche																	
--------------	-----------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tableau 3.4

Tableau 3.5

RN2 PODOR OUROSSOGUI		348.5	350	352	354	356	358	360	374
Largeur échantillon		1.00		1.50		1.50		5.00	
Largeur accotement		1.00		1.50		1.50		1.50	
Déflexions		250		250		250		250	
Date		100		100		100		100	
Voie		75		75		75		75	
Voie		25		25		25		25	
Prêt en long		E	TN	R	TN	R	TN	R	TN
Défaut de fossé									
Dégradations ouvrages		*	*	*	*	*	*	*	*
Surface									
Fissuration									
Déformations									
Epaulements									
Accotements									
Observations		Ravinement dangereux		Ch. d'arête réparer avec dalle et plan revêtement dangereux		Ravinement dangereux latéraux		Ravinement importants	
Sondages et coupes théoriques		19		20		21			
Class. no. plateforme		(5.4)		(5.3)		(5.1)			
Em		bic. mono	bic. bicoche	monocoche		Entrelec		bicoche mono.	
lat.		lat. 20cm	lat. 20cm	lat. 20cm		lat. 20cm		lat. 20cm	

Renseignements sur la structure

Echelle 1/2000

ROUTE NATIONALE 4

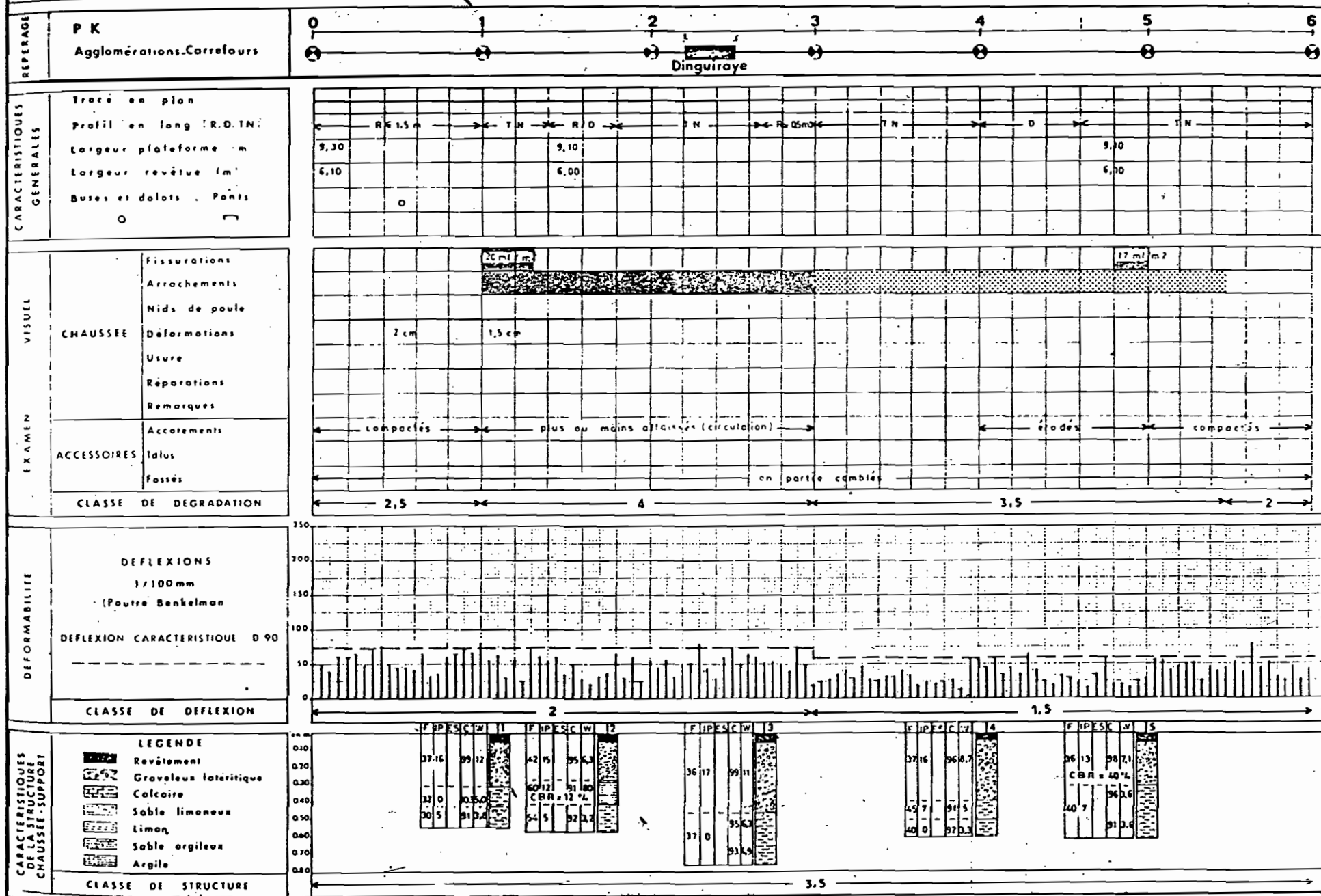
GAPAKH - NIORO DU RIP

PK 0

à PK 6

Date : janvier 1974

Tableau 3.7



SYSTÈME UNIFIÉ DE CLASSIFICATION DES SOLS

PRINCIPALES DIVISIONS	SYMBOLE		DESCRIPTION	COULEUR	COMPORTEMENT SI NON AU GEL			COMPRESSIBILITÉ ET DRAINAGE			ENGINES DE COMPACTAGE RECOMMANDÉS	POIDS SPÉC. SEC LESPO. 3	VALEURS-TYPES POUR PROJET		
	LETTRE	DESIGN			COMME MATÉRIEL DE SOUS-FONDATION	COMME MATÉRIEL DE FOND. INFÉRIEUR	COMME MATÉRIEL DE FOND. SUPÉRIEUR	GÉLIVITÉ	ET GONFLEMENT	DRAINAGE			LESPO. 3	C.B.R.	MODULE DE REACTION "E" LESPO. 3
SOLS À GROS GRAINS MOINS DE LA MOITIÉ DU MATÉRIEL PASSE LE TAMIS N° 200	GRAVIER À MOINS DE LA MOITIÉ DES GROS GRAINS PASSE LE TAMIS N° 4 GRAVIER PROPRES PEU OU PAS DE GRAINS FINS	GW	Gravier bien calibré, ou mélange gravier - sable. Peu ou pas de grains fins.	Rouge	Excellent	Excellent	Bon	Nil à très faible	Presque nuls	Excellent	Rouleaux vibrants, pneus multiples. Cylindres lisses.	125 - 140	40 - 80	300 - 500	
		GP	Gravier mal calibré, ou mélange gravier - sable. Peu ou pas de grains fins.	Rouge	Bon à excellent	Bon	Médiocre à bon	Nil à très faible	Presque nuls	Excellents	Rouleaux vibrants, pneus multiples. Cylindres lisses.	110 - 140	30 - 60	300 - 500	
		GM	*d) Si L.L. ≤ 25, I.P. ≤ 5 Gravier - silt, gravier - sable - silt ou Si L.L. > 25, I.P. > 5	Jaune	Bon à excellent	Bon	Médiocre à bon	Faible à appréciable	Très faibles	Médiocre à pauvre	Pneus multiples, pieds de mouton. Contrôle sévère de l'humidité	125 - 145	40 - 60	300 - 500	
		GC	Gravier argileux, mélange gravier - sable - argile.	Jaune	Bon	Médiocre	Mauvais à acceptable	Faible à appréciable	Faibles	Pauvre à imperméable	Pneus multiples, pieds de mouton.	115 - 135	20 - 30	200 - 500	
	SABLES ET SABLEUX MOINS DE LA MOITIÉ DES GROS GRAINS PASSE LE TAMIS N° 4 SABLES PROPRES PEU OU PAS DE GRAINS FINS	SW	Sable bien calibré, ou sable graveleux. Peu ou pas de grains fins.	Rouge	Bon	Médiocre à bon	Mauvais	Nil à très faible	Presque nuls	Excellent	Rouleaux vibrants, pneus multiples.	110 - 130	20 - 40	200 - 400	
		SP	Sable mal calibré, ou sable graveleux. Peu ou pas de grains fins.	Rouge	Médiocre à bon	Médiocre	Mauvais à acceptable	Nil à très faible	Presque nuls	Excellent	Rouleaux vibrants, pneus multiples.	105 - 135	10 - 40	150 - 400	
		SM	*d) Si L.L. ≤ 25, I.P. ≤ 5 Sable silteux, mélange sable - silt. ou Si L.L. > 25, I.P. > 5	Jaune	Médiocre à bon	Médiocre à bon	Mauvais à acceptable	Faible à grande	Très faibles	Médiocre à pauvre	Pneus multiples, pieds de mouton. Contrôle sévère de l'humidité	120 - 135	15 - 40	150 - 400	
	SOLS À GROS GRAINS PLUS DE LA MOITIÉ DU MATÉRIEL PASSE LE TAMIS N° 200	SABLES ET SABLEUX PLUS DE LA MOITIÉ DES GROS GRAINS PASSE LE TAMIS N° 4 SABLES PROPRES PEU OU PAS DE GRAINS FINS	SC	Sable argileux, mélange sable - argile.	Jaune	Mauvais à médiocre	Mauvais	Médiocre à acceptable	Faible à grande	Faibles à moyens	Pauvre à imperméable	Pneus multiples, pieds de mouton.	100 - 135	5 - 20	100 - 300
			ML	Silt inorg. et sable très fin, poussière de roche, sable très fin, silteux ou argileux, ou silt arg. de faible plasticité.	Vert	Mauvais à médiocre	Inacceptable	Inacceptable	Moyenne à grande	Faibles à moyens	Médiocre à pauvre	Pneus multiples, pieds de mouton.	90 - 130	15 ou moins	100 - 200
		SABLES ET SABLEUX PLUS DE LA MOITIÉ DES GROS GRAINS PASSE LE TAMIS N° 4 SABLES PROPRES PEU OU PAS DE GRAINS FINS	CL	Argile inorg. de faible plasticité, argile graveleuse, sableuse, silteuse, limon.	Vert	Mauvais à médiocre	Inacceptable	Inacceptable	Moyenne à grande	Moyens	Pratiquement imperméable	Pneus multiples, pieds de mouton.	90 - 130	15 ou moins	50 - 150
OL			Silt organique, et mélange silt - argile organique de faible plasticité.	Vert	Mauvais	Inacceptable	Inacceptable	Moyenne à grande	Moyens à grands	Pauvre	Pneus multiples, pieds de mouton.	90 - 105	5 ou moins	50 - 100	
MH			Silt inorganique, sol sableux très fin, ou silteux, micacé ou diatomacé, silt élastique.	Bleu	Mauvais	Inacceptable	Médiocre à acceptable	Moyenne à très grande	Grands	Médiocre à pauvre	Pieds de mouton, pneus multiples.	80 - 105	10 ou moins	50 - 100	
SABLES ET SABLEUX PLUS DE LA MOITIÉ DES GROS GRAINS PASSE LE TAMIS N° 4 SABLES PROPRES PEU OU PAS DE GRAINS FINS		CH	Argile inorganique de grande plasticité, argile limoneuse.	Bleu	Mauvais	Inacceptable	Inacceptable	Moyenne	Grands	Pratiquement imperméable	Pieds de mouton, pneus multiples.	90 - 115	15 ou moins	50 - 150	
		OH	Argile organique d'une plasticité moyenne à grande, silt organique.	Bleu	Mauvais à très mauvais	Inacceptable	Inacceptable	Moyenne	Grands	Pratiquement imperméable	Pieds de mouton, pneus multiples.	80 - 110	5 ou moins	25 - 100	
SOLS ORGANIQUES	PT	Terre noire et autres sols très organiques, tourbe.	Orange	Inacceptable	Inacceptable	Inacceptable	Faible	Grands	Médiocre à pauvre	Compactage impraticable					

RÉFÉRENCE : SOILS MANUAL - THE ASPHALT INSTITUTE (MS-10) SECOND EDITION APR. 14 1963
 *LES SUBDIVISIONS "d" ET "u" N'EXISTENT PAS DANS A.S.T.M.-D.-2487-69 POUR GM ET SM.

Tableau 5

REFERENCES

REFERENCES

Documents D'ORDRE GENERAL

- [1]: CEBTP, Guide Pratique de Dimensionnement des chaussées dans les Pays Tropicaux, Ministère Français de La Coopération. 1980
- [2]: GIDIGASU, N.D., Laterite Soil Engineering - Pedogenesis & Engineering Principles, Elsevier Scientific Publ. Co., 1976.
- [3]: JEUFFROY, G, Conception et Construction des Chaussées, Tome I et II, Eyrolles, 1967.
- [4]: BCEOM, Manuel Sur les Routes dans les zones Tropicales et Désertiques, Ministère Français de La Coopération, 1978
- [5]: G. ROBERT TESSIER, Guide de Construction Routière, Ministère des Transports du Québec, 1973.
- [6]: DEP, Etude de Renforcement des Routes Bitumées, programme d'urgence, Ministère de l'Équipement du Sénégal, 1983.
- [7]: DEP, Etude de Renforcement des Routes Bitumées, phase II programme, Ministère de l'Équipement du Sénégal, 1984.
- [8]: YODER, E.J., WITCZAK, N.W., Principles of Pavement design, John Wiley & Sons Inc, 1967.

- [9]: DEP , Plan National de transport, Ministère de l'équipement du Senegal , 1981 .
Cours - Congrès - Conférences.
- [10]: PARIS A., Route 4.11 EPT 1984 .
- [11]: MORIN F., Sols 4.11 EPT 1984
- [12]: CROTTAZ, R , PIGOIS N.L., Construction de la superstructure routière, tome I EPFL 1978.
- [13] LA V^e CONFERENCE ROUTIERE AFRICAINE, Decennie des transports , 1983 .
ETUDES - REVUES
- [14]: BCEON , Campagne de Comptages et d'enquetes de trafic , Ministère Français de La Coopération , 1984.
- [15]: THILLOUX H., REQUIRAND R., La route Tahoua - Aalit : Niger , Les matériaux de chaussée , Laboratoire central des ponts et chaussées , 1983.
- [16]: AUTRET P., Latexites et Graveleux Latéritiques, Laboratoire central des ponts et chaussées , 1983.
- [17]: AUTRET P., BROUSSE J.L , DUCROS D.M, GRINAUX J.P, REQUIRAND R. Comportement et Entretien des routes Revetues en zone Sahélienne : L'Exemple du Niger, Laboratoire central des ponts et chaussées , 1984
- [18]: AUTRET P., Auscultation des chaussées dans le cadre des études d'entretien et de renforcement: Transposition dans les pays en voie de développement, Bulletin de Liaison des laboratoires des ponts et chaussées, n°93, 1978.

[19]: DIENE H., Lateites et Stabilisation en Construction
Routiere; application à deux graveleurs du Senegal,
EPFL, 1984.