



école polytechnique de thiès

GC.0467

## PROJET DE FIN D'ETUDES

TITRE: Étude sur l'érosion par  
la pluie et le vent en  
bordure des routes au Sénégal  
et les moyens d'y remédier

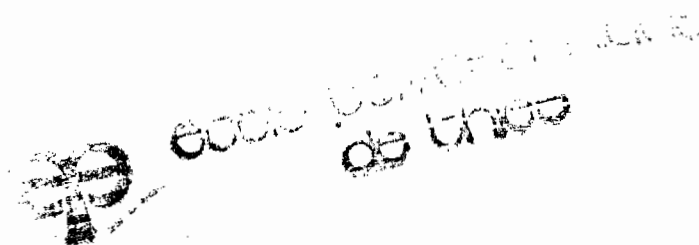
Auteur Léon DIOUF

Génie civil

Date 1978

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES

TITRE : ETUDE SUR L'EROSION PAR LA PLOIE  
ET LE VENT EN BORDURE DES ROUTES  
AU SENEGAL , ET LES MOYENS d'y  
REMEDIER .



DIRECTEUR DE PROJET : M. GAUTHIER

AUTEUR : L. DIOUF

GENIE : CIVIL

DATE : 1978

## REMERCIEMENTS

Je désire remercier tout particulièrement M. GAUTHIER, professeur à la Section Génie Civil de l'École Polytechnique de Thiès, pour avoir accepté d'être mon directeur de projet et rempli en la circonstance son rôle de façon exemplaire.

Je désire remercier, au même titre, M. GOUDREULT, pour m'avoir assisté sur le terrain et aidé à la prise des photographies en Annexe qui accompagnent le texte.

Je suis également reconnaissant envers toute l'équipe de la bibliothèque de l'École Polytechnique de Thiès et envers tous ceux-là qui, de près ou de loin, m'ont facilité la tâche de recherche bibliographique.

## SOMMAIRE

Le présent sujet de PROJET DE FIN D'ETUDES  
Comporte deux parties :

1<sup>re</sup> partie : Etude de l'érosion par la pluie et le vent en  
bordure des routes au Sénégal

Cette partie se subdivise en deux chapitres :

• Le premier chapitre introduit la notion d'érosion  
par une présentation du principal facteur causal du phé-  
nomène : la pluie - Cette présentation met l'ac-  
cent sur l'étude de l'action du facteur pluie,  
laquelle (étude) nécessite celle des relations entre  
les caractères de ce facteur (hauteur, intensité, fré-  
quence, etc...), le ruissellement et l'érosion.  
Ainsi on étudie l'influence de chacun de ces carac-  
tères sur l'érosion - Le chapitre se termine  
par une note sur un facteur secondaire d'érosion :  
l'harmattan cause de l'érosion éolienne.

• Le deuxième chapitre aborde la description  
de l'érosion en bordure des routes - Ici, l'in-

interprétation trouve son intérêt dans la présentation des différentes dégradations observées, sous forme de catalogue. Aussi, l'explication du phénomène est régie par l'étude des facteurs la conditionnant (l'état et la nature des sols et matériaux, de la pente, du bassin de drainage, de la végétation, etc.). Le tout est complété par des fiches de dégradations (photos d'érosion), en Annexe.

## 2<sup>e</sup> partie : Moyens de Lutte anti-érosion en bordure des routes

Cette dernière partie fait l'étude des solutions susceptibles de porter remède à l'érosion. Elle traite en trois chapitres ces différentes solutions.

Le premier chapitre développe les techniques de stabilisation (sol-ciment, sol-bitume, stabilisation mécanique) ainsi que deux procédés de stabilisation du sol (végétation, parres).

Le deuxième chapitre traite du renforcement des caractéristiques de drainage (pente, largeur d'écoulement, drainage sous-couche, ouvrages de protection).

- Le troisième chapitre aborde l'entretien courant et périodique nécessaire pour conserver à la route le caractère anti-érosif que lui a donné en général, son constructeur.

# TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS ..... ii

SOMMAIRE ..... iii

INTRODUCTION ..... i

## 1<sup>ère</sup> PARTIE

### ETUDE SUR L'EROSION PAR LA PLUIE ET LE VENT EN BORDURE DES ROUTES AU SENEGAL

CHAPITRE I - FACTEURS CAUSALS DE L'EROSION EN  
BORDURE DES ROUTES AU SENEGAL ..... 4

A- Le facteur causal de l'érosion  
ploviale : la pluie ..... 5

I- Influence de la hauteur des pluies... 6

II- Influence de l'intensité des pluies... 9

1. Action des gouttes de pluie : le battage du sol... 9

- 2- Primauté de l'influence de l'intensité des jets de pluie... 10
- III - Influence de la fréquence des pluies... 12
- IV - Variations chronologiques de l'érosivité pluviale . . . . . 13
  - 1- Variations saisonnières . . . . . 13
  - 2- Variations annuelles . . . . . 14
- B- Le facteur causal de l'érosion éolienne au Sénégal: l'harmattan... 15

CHAPITRE II - EROSION EN BORDURE DES ROUTES AU SENEGAL: CATALOGUE DES DEGRADATIONS... 17

- A - Les dégradations . . . . . 18
  - I - Quelques définitions . . . . . 18
  - II - Facteurs Conditionnant l'érosion en bordure des routes . . . . . 21
    - 1- Médiocrité des sols d'accotement.. 22
    - 2- Déficience du drainage . . . . . 24
      - a- Nature de la pente
      - b- drainage des couches de la chaussée et de l'accotement... 26



|  |    |
|--|----|
| C - Caractéristiques du bassin de drainage . . . . .   | 27 |
| 3 - Manque de végétation . . . . .   | 29 |
| III - Classement des dégradations . . . . .  | 29 |
| IV - Évolution des dégradations - Notions d'intensité . . . . .                                    | 31 |
| 1 - l'évolution d'une dégradation unique . . . . .   | 31 |
| 2 - l'évolution d'une dégradation unique,<br>cause de l'apparition d'autres dégradations . . . . . | 32 |
| B - FICHES de dégradations (Photos d'érosion) . . . . .  | 32 |

## 2<sup>ème</sup> PARTIE

### MOYENS DE LUTTE CONTRE L'ÉROSION PAR LA PLUIE ET LE VENT EN BORDURE DES ROUTES AU SÉNÉGAL

|   |    |
|---|----|
| CHAPITRE I - STABILISATION DES ACCOTEMENTS . . . . .          | 34 |
| A - Techniques de stabilisation . . . . .                     | 34 |
| I - sol - ciment . . . . .                                    | 34 |
| 1 - Considérations générales . . . . .                        | 34 |
| 2 - Choix du type de mélange<br>de sol et de ciment . . . . . | 35 |

- a- Mélange in situ . . . . . 35
- b. Mélange en Centrale . . . . . 36
- 3- Mécanisme de la stabilisation  
au ciment . . . . . 36
- 4- Etudes de laboratoire . . . . . 37
- II - Sol - bitume . . . . . 39
- 1- Sols stabilisés au bitume . . . . . 40
- a- Considérations générales . . . . . 40
- b- Etudes de laboratoire . . . . . 40
- c- Recommandations relatives  
à la mise en œuvre pour le compactage . . 42
- 2- Sables stabilisés au bitume . . . . . 43
- III - stabilisation mécanique . . . . . 44
- IV - Remarques générales sur les  
stabilisations . . . . . 45
- B - Revêtements : végétation et perrés . . . 46
- I - Couverture végétale . . . . . 47
- II - Perrés . . . . . 48
- 1- Définitions . . . . . 48
- 2- Accotements perrés . . . . . 49

|  |    |
|--|----|
| CHAPITRE II - RENTORCEMENT DES CARACTÉRISTIQUES    |    |
| DE DRAINAGE . . . . .                              | 53 |
| I - Correction de la pente et de la                |    |
| largeur des accotements . . . . .                  | 53 |
| II - Drainage des couches de la chaussée . . . . . | 54 |
| III - Ouvrages de protection . . . . .             | 55 |
| CHAPITRE III - ENTRETIEN . . . . .                 | 56 |
| I - Entretien courant . . . . .                    | 56 |
| 1. Entretien des accotements . . . . .             | 57 |
| 2. Accotements gazonnés . . . . .                  | 58 |
| II - Entretien périodique . . . . .                | 59 |
| 1. Rechargement des accotements . . . . .          | 60 |
| 2. Entretien des ponceaux . . . . .                | 62 |
| CONCLUSIONS . . . . .                              | 63 |
| APPENDICES . . . . .                               | 66 |
| -I - NORMALES 1931-1960 THIES .                    |    |
| PRECIPITATIONS : HAUTEURS en millimètres           |    |
| et dixièmes . . . . .                              | 67 |

- II - PLOUVIOSITES , RUISSELLEMENTS ET EROSIONS  
 ENREGISTRES PENDANT 5 ANS SANS CULTURE  
 DE MAIS ET "NAPIER" EN PENTE DE 3°  
 4.5% , 6° , VALEURS MOYENNES POUR  
 6 PARCELLES . . . . . 68

- III - PERTES DE TERRE ET RUISSELLEMENTS  
 ENREGISTRES POUR UNE MEME CLASSE DE  
 PLUIES EN 1956 A ADIOPODOUME , CENTRE  
 ORSTOM ( COTE D'IVOIRE ) . . . . . 68

- IV - NORMALES 1931-1960 - THIES  
 PRECIPITATIONS . Nombre de jours . . . . . 69

- V - GRAPHIQUE -1- : COURBE GRANULOMETRIQUE . . . . . 70

ANNEXE : PHOTOS D'EROSION . . . . . 71

BIBLIOGRAPHIE . . . . . 91

## INTRODUCTION

A celui qui parcourt l'ensemble des routes au Sénégal, il apparaît que la plupart de celles-ci présentent des dégradations en maintes endroits. Ces dégradations apparaissent aussi bien en surface qu'en profondeur. Très souvent elles détruisent l'esthétique de la route; elles la rendent difficilement praticable, surtout durant la saison des pluies avec les accumulations d'eau.

Parmi toutes ces déformations, les plus profondes sont généralement rencontrées en bordure des routes et s'étendent parfois sur une longueur de plusieurs mètres. Elles présentent un danger pour les véhicules circulant sur le bord de chaussée ou sur l'accotement; et surtout en bordure des routes de desserte, à grande circulation (routes Nationales), non suffisamment larges pour contenir un trafic dans les meilleures conditions, car les conducteurs sont parfois obligés, pour éviter la collision entre les véhicules qui se croisent, de serrer à droite en ayant ainsi le flanc droit de leur voiture sur le bord de chaussée ou sur l'accotement.

Ces dégradations en bordure des routes au Sénégal occasionnent une détérioration plus rapide que la normale, car le service "Entretien" n'intervient pas toujours et à temps ; et s'il est là, il se limite à un "reprofilage rudimentaire" qui ne fait qu'effacer temporairement la déformation ( il suffit l'arrivée de la prochaine saison des pluies pour que cette déformation réapparaisse )

Donc, une nécessité première s'impose si l'on veut assurer le bon état de la route Sénégalaise, et dans le même temps, assurer un optimum économique. Cette nécessité consiste à mettre au point des moyens pour limiter les dégradations. A mon avis, on peut limiter ces dégradations qu'en adaptant les techniques de construction routière aux conditions locales. En égard à ce fait, la condition climatique "Pluie", principal facteur causal de l'érosion en bordure des routes au Sénégal, avec le "Vent" dont les effets ne sont pas négligeables, mérite une attention et une étude particulières. Par conséquent, " expliciter le phénomène de l'érosion par la pluie en bordure des routes au Sénégal ", et en certain phénomène d'érosion par le vent, en déduire les

causes, et en tirer des remèdes convenables (moyens rationnels),  
tels sont les grands points du sujet d'étude que nous essaierons  
de développer.

PREMIERE PARTIE

ETUDE SUR L'EROSION PAR LA PLUIE  
ET LE VENT EN BORDURE DES ROUTES  
AU SENEGAL



## PREMIERE PARTIE

### CHAPITRE I

#### FACTEURS CAUSALS DE L'EROSION EN BORDURE DES ROUTES AU SENEGAL

Le principal facteur causal <sup>de l'érosion</sup> en bordure des routes au Sénégal est la précipitation atmosphérique. Ceci est très facile à prouver. Il suffit de procéder par une simple constatation. Et pour ceux-là qui s'en douteraient encore des exemples tout proches de routes nouvellement construites serviront à mieux saisir et confirmer l'évolution du phénomène de l'érosion par la pluie en bordure des routes du pays : les routes DIORBEL-KAOLACK (1978) et LOUGA-NGNITH (1978) - L'achèvement des travaux de construction de ces deux routes (en bitume) est récente. Pour l'instant, on ne peut parler d'érosion pluviale. Mais pour l'usager qui circulerait sur ces routes après une, deux ou trois saisons des pluies, l'occasion lui serait offerte de constater l'attaque hydrique en bordure de celles-ci.

L'eau de pluie est le principal ennemi de la route au Sénégal .

Le "Vent" est également un agent d'érosion en bordure des routes - Au Sénégal , c'est l'"harmattan", vent soufflant NE-W à des vitesses parfois très grandes, et sur des surfaces très étendues, qui est à l'origine de l'érosion éolienne en bordure des routes situées dans les régions ou zones sableuses ( régions côtières )

#### A- LE FACTEUR CAUSAL DE L'ÉROSION PLUVIALE AU SENEGAL: LA PLUIE

Au Sénégal, la pluviométrie est relativement importante ( 600 mm en moyenne ) ( réf. (1) ) . Cette pluviométrie est variable suivant les régions. Ainsi du Sud ( région de la Casamance ) au Nord ( région du Fleuve ) il y a une décroissance générale de la pluviométrie ; ce qui fait de la région Sud, la zone de la savane arborée, et de la région Nord, celle de la steppe désertique .

C'est, région dans laquelle nous avons observé le phénomène de l'érosion par la pluie en bordure des routes constitue une zone centre pouvant définir une moyenne plu-

6  
viométrique assez représentative pour l'ensemble du ter-  
ritoire Sénégalais ( réf. Appendice - 1 - )

L'étude de l'action des précipitations atmosphé-  
riques nécessite celle des relations entre leurs caractères  
( hauteur, intensité, fréquence, etc... ), le ruissel-  
lement et l'érosion. Cette étude n'a pas été  
réalisée spécifiquement dans le domaine routier,  
mais elle l'a été déjà dans le cas plus général rela-  
tif à l'érosion du sol par l'eau de pluie ( réf. (2) )  
Elle n'a pas été négligée en Afrique Francophone  
( donc y compris le Sénégal, à la station Séfa ).  
Sur ce, les recherches les plus poussées ont été  
celles de Hudson ( Rhodésie du Sud ) auxquelles  
on peut toujours se référer en la matière

## I - INFLUENCE DE LA "hauteur" DES PLOIES

Le Sénégal présente une gamme de pluviosi-  
tés étendue, et l'on peut s'interroger sur l'exis-  
tence de liaisons entre hauteur des pluies et éro-  
sion en bordure des routes.

Une réponse peut être apportée à la question en

procédant par "Analogie" avec les expériences effectués sur sols de culture. Ces expériences ont montré que ces liaisons sont fréquemment inexistantes ou, tout au moins, que la hauteur des pluies considérée isolément n'est pas le caractère qui explique l'érosivité pluviale.

Hudson l'a démontré à l'échelle annuelle (voir Appendice -II- ). Il n'existe aucune relation entre les valeurs annuelles de hauteur de pluie, d'érosion et de ruissellement, aussi bien exprimé en pourcentage (%) qu'en hauteur d'eau.

D'autre part, la hauteur des pluies individuelles étant un des facteurs de la saturation du sol, donc de la naissance de ruissellement, on peut supposer, en l'absence de relations pour de longues périodes, l'existence de relations à ce niveau. Une expérience conduite au Centre de Recherche d'Adiopodoume' (côte d'Ivoire) a démontré le contraire (voir Appendice -III- )

Pour une même classe de pluies individuelles : 32 à 36 mm, en six conditions de milieu naturel, les pertes en terre et les ruissellements

sont extrêmement variables.

L'analogie supposée entre "sols de culture" et sols ou matériaux en bordure des routes conduit à tirer les conclusions suivantes :

En effet, les matériaux routiers sont des sols "sélectionnés" ayant des propriétés caractéristiques bien meilleures à celles des sols de culture. Ainsi les sols constitutifs du bord de chaussée ou de l'accotement présentent certaines performances quant à leurs propriétés de résistance à l'action de l'eau. Il est bien évident qu'un sol de culture résiste moins à la saturation qu'un sol d'accotement se soumis à la même hauteur de pluie - le facteur saturation de la hauteur des pluies n'expliquant pas le phénomène de l'érosion pluviale des sols de culture (réf. (2)), il le sera alors moins pour l'érosion pluviale des sols en bordure des routes : d'où la conclusion générale :

" la hauteur des pluies, considérée isolément, n'est pas le caractère qui explique l'érosion par la pluie en bordure des routes au Sénégal "

Cependant, si la hauteur des pluies, par suite de l'analogie faite - n'explique pas le phé-

nomine, elle n'en demeure pas pour autant non significative, sans effet appréciable. Déterminant le degré de saturation des matériaux, elle favorise en effet les accumulations d'eau prolongées en bordure de routes en déblai et les ruissellements intenses en bordure des routes en remblai à forte pente. L'influence n'est pas directe, mais elle contribue à l'influence du caractère intensité dans le battage du sol.

## II - INFLUENCE DE L' "intensité" des pluies

### 1- Action des gouttes de pluie : le battage du sol

Lorsqu'on considère le mécanisme de l'érosion hydrique, on constate que l'une des actions essentielles exercées par les précipitations atmosphériques consiste en la formation des éléments fins qui deviendront susceptibles d'être entraînés par l'eau - les agrégats routiers contiennent souvent des fines pour assurer la cohésion des gros éléments (voir Appendice V - graphique - 1) sont soumis à ce phénomène -

Les grosses gouttes de pluie des mois d'août et de

Septembre sont doués d'une énergie cinétique ( $\frac{1}{2} m v^2$ ) très intense ; et en tombant, elles exercent à leur point d'impact sur les agrégats préalablement humectés un effet mécanique. Cet effet mécanique ne passe pas sans laisser de dégradation, car souvent prolongé (sur une durée d'environ 2 heures) il exprime un degré de détachabilité de particules transportables par le ruissellement au cours du phénomène d'érosion.

Le battage du sol par la pluie peut provoquer, en certaines conditions texturales (absence de couverture végétale par exemple) une obturation de la porosité en surface, et de ce fait un accroissement de la hauteur d'eau ruisselée ; ce qui se manifeste par des écoulements qui se concentrent en canaux ou en ruisseaux provoquant des ravinelements importants.

## 2. Primauté de l'influence de l'intensité des gouttes de pluie.

Il est bien évident que, compte tenu de la détachabilité des matériaux constitutifs du bord de chaussée, le détachement sera plus (grand) d'autant plus considérable que l'énergie cinétique des gouttes de pluie sera elle-même <sup>plus</sup> élevée.

Celle-ci dépend de la taille et de la vitesse de chute des gouttes. Or cette taille et cette vitesse sont d'autant plus grandes que les pluies sont <sup>plus</sup> intenses. L'intensité des précipitations doit donc constituer un facteur plus important que leur hauteur.

L'on sait aussi que la principale force d'érosion réside dans la chute des gouttes de pluie, lorsque les précipitations dépassent 25 mm à l'heure (réf. (3) p. 99 § 3.2). Cette intensité est parfois dépassée (et même très souvent) durant lesaverses du mois d'août, d'où l'importance de l'érosion en bordure des routes au Sévignat et la mi-hiver nage.

La primauté de l'influence de l'intensité des gouttes de pluie est significative; en effet l'érosion est un phénomène dont l'énergie est fournie par la nature sous forme de pluie et de vent. L'énergie pluviale est celle fournie par les gouttes d'eau douées d'une énergie cinétique - Plus la pluie est intense, plus l'énergie cinétique des gouttes d'eau est grande, plus l'érosivité pluviale est élevée.



### III - INFLUENCE DE LA "FRÉQUENCE" DES PLUIES

Un caractère des précipitations au Sénégal est leur répétition à court terme pendant la saison des pluies : une répétition journalière est un fait courant.

Intuitivement, on conçoit quels phénomènes peuvent alors se produire en bordure des routes - les sols d'accotement n'ont pas le temps de se ressuyer entre deux averses, leur saturation est vite atteinte, et les dernières pluies, quels que soient leurs caractères ruissellent plus qu'ils ne s'infiltrent.

Ainsi la grande fréquence des pluies durant la saison (Août - Septembre) (voir Appendice - IV) fait que certaines d'entre ces pluies, bien que moins hautes ou moins intenses, peuvent présider à des ruissellements et à des érosions plus élevées.

Cet aspect des pluies répétitives à court terme trouve son explication dans le fait que les dernières pluies tombent sur des sols d'accotement rendus plus susceptibles à l'attaque hydrique par les premières pluies ; et ainsi ces dernières deviennent plus érosives.

## IV - VARIATIONS CHRONOLOGIQUES DE L'EROSIVITE PLUVIALE

### 1- Variations Saisonnières

Il est important de noter que la dégradation subie annuellement par les matériaux constitutifs du bord de la route au Sénégal se produit en un laps de temps relativement court.

D'une manière générale, le phénomène se produit à la mi-saison caractérisée par des averses nombreuses et agressives. Le mois le plus dangereux est le mois d'août dont l'érosivité pluviale est très supérieure à celle des autres mois de la saison des pluies. On peut supposer une répartition en moyenne du nombre de pluies érosives, de la manière suivante, en se référant au nombre de jours de précipitations (voir Appendice - IV -)

#### TABLEAU

| Mois :                   | Juin | Juillet | Août | Septembre | Octobre |
|--------------------------|------|---------|------|-----------|---------|
| Nbre de pluies érosives: | 1    | 7       | 12   | 10        | 1       |

Utilisant les valeurs de ce tableau, on peut tracer un graphique (courbe), donnant en moyenne la répartition des nombre de pluies érosives durant la période d'hivernage (saison pluvieuse) (voir figure 1)

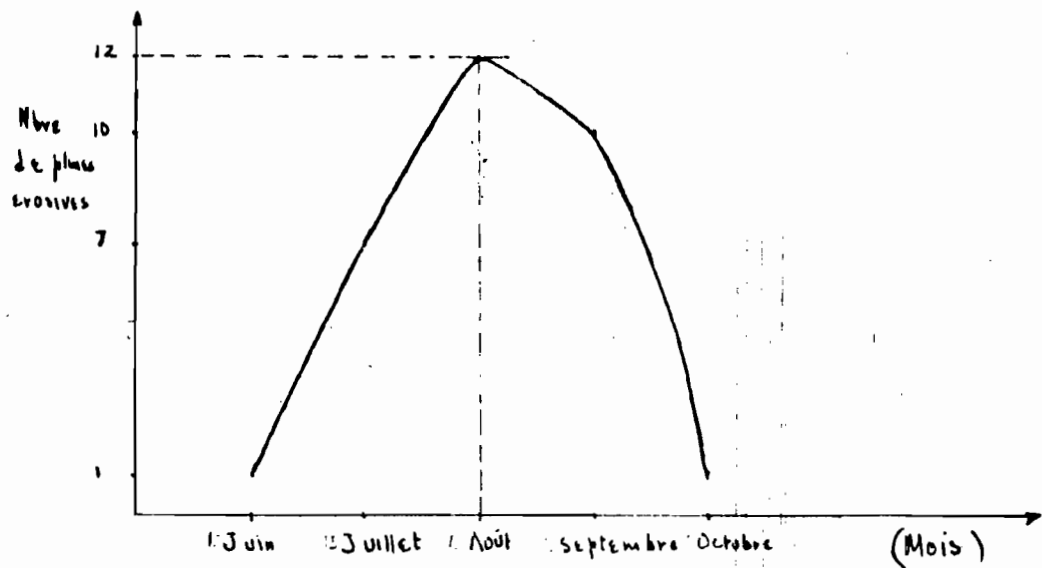


figure 1

Cette courbe "Nombre de pluies érosives" vs "Mois" indique l'augmentation progressive du nombre de pluies érosives du début de la période saisonnière jusqu'à la mi-saison correspondant au maximum, ensuite il y a une (décroissance générale) diminution jusqu'à la fin de la saison.

## 2. Variations Annuelles

Le ruissellement et les pertes en terre varient avec les années. Au Sénégal, il y a eu en huit ans (années de sécheresse 1968-1976) un déficit pluviométrique de 60% qui situait une moyenne pluviométrique entre 100 et 400 mm.

Ce déficit pluviométrique a certes causé une variation du coefficient de ruissellement, surtout durant les années particulièrement sèches 1970-1971-1972. Cette variation est estimée

de l'ordre de 100 à 60, soit de 10 à 6, ce qui donne un rapport d'environ 2/1 diminuant ainsi de moitié la quantité d'eau ruisselée.

On peut donc noter qu'il ya des années plus dangereuses que d'autres, comme il ya des mois plus dangereux au cours d'une même année, avec cette différence que les mois dangereux sont presque toujours les mêmes (Aout et Septembre) tandis que pour les années, il n'est pas possible de dégager une loi, la pluviométrie elle-même étant différente d'une année à l'autre.

## B - LE FACTEUR CAUSAL DE L'ÉROSION ÉOLIENNE AU SÉNÉGAL : L'HARMATTAN

Étant donné l'importance de l'érosion pluviale, l'érosion éolienne est relativement moins dangereuse en général; cela ne veut pas dire qu'elle est peu à craindre. Au contraire dans certaines régions ou zones du Sénégal, le vent peut entraîner une dégradation en bordure des routes contre laquelle il faut se défendre. Parmi les agents causant l'érosion éolienne en

bordure des routes, il convient de distinguer :

- l'élément actif : l' "harmattan", vent continental chaud et très sec venant de l'Est et du Nord-Est.
- deux éléments passifs :
  - végétation existante sur l'accotement,
  - sol d'accotement meuble et sec.

La vitesse du vent représente le principal moteur de l'érosion éolienne puisque c'est d'elle que dépend la force avec laquelle les particules sont entraînées. L'harmattan peut atteindre une vitesse moyenne de 3 m/s (réf. A) - Il souffle pendant la saison sèche, ce qui le rend très dangereux car à cette époque, le bord de chaussée ensablée, est soumis à l'effet d'avalanche qui gagne progressivement les bords de la surface de roulement de la route.

## CHAPITRE II

### EROSION EN BORDURE DES ROUTES AU SENEGAL : CATALOGUE DES DEGRADATIONS

Une description précise des dégradations existantes en bordure des routes au Sénégal sous l'effet de l'énergie fournie par la pluie et le vent est incontestablement un des éléments qui doit entrer en ligne de compte pour l'établissement d'un diagnostic portant sur la nécessité d'étudier les remèdes ou moyens de lutte contre le phénomène de l'érosion.

L'inspection visuelle effectuée sur le terrain est indispensable - les photos d'érosion prises sur différentes routes et à différents endroits en bordure de ces routes où le phénomène est nettement apparent permettent de constituer un catalogue des dégradations - ce catalogue doit aider à l'interprétation du phénomène

et s'efforcer :

- de donner une explication aussi précise que possible aux différentes dégradations,
- d'illustrer cette explication par des exemples photographiques types.
- d'amorcer une tentative d'analyse des causes de ces dégradations
- d'amorcer une tentative de caractérisation de la dégradation

Il comporte deux parties :

- A- LES DEGRADATIONS
- B- LES FICHES (M PHOTOS  
D'EROSION)

## A- LES DEGRADATIONS

### I- QUELQUES DEFINITIONS

Pour essayer de situer et de caractériser l'érosion en bordure des routes et rattacher le type de dégradation à un type de structure de bord de chaussée, il apparaît utile de rappeler les trois catégories de routes rencontrées au Sénégal (et dans la plupart des pays en voie de développement) - Ces trois catégories sont :

- la route en terre non aménagée (voir Annexe : Photos 12, 13, 14, 15)

- La route en terre aménagée ( Ex. : voir Annexe - Photos 7 - 8 - 9 - 10 - 11 )
- La route revêtue ( Ex. : voir Annexe - Photos 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 16 - 17 - 18 )

Dans un premier temps, il s'agit de définir parallèlement à ces trois catégories de route des catégories de bord de chaussée caractéristiques étant donné que l'érosivité pluviale et/ou éolienne est fonction des conditions existantes. Ces conditions, fonctions du niveau d'aménagement de l'ensemble formé par la route et ses abords sont différentes selon qu'il s'agisse d'une simple piste en terre ou d'une route nationale.

A l'origine, la route en terre non aménagée est une piste rudimentaire ouverte par simple débroussaillage. Elle ne convient qu'à de faibles circulations ( une douzaine de véhicules au plus par jour ). Son degré d'aménagement dépendra du volume de circulation qui l'emprunte. Cette catégorie de route assez importante ( au point de vue nombre ) dans le pays, ( présente ) a souvent des défauts de tracé et de construction. Ainsi les accotements mal exécutés, et mal définis, sont très souvent



existants, et les bords de la piste sont formés de sols naturels, non compactés; d'où une première classe de bord de route qu'on peut dénommer: bord de route non aménagée.

- Lorsque la circulation augmente, il ou doit aménager la route. Le premier stade de l'aménagement d'une piste en terre comprend en général des terrassements pour remblayer les zones mal drainées - ou pour surélever les remblais existants - et la construction des ouvrages permanents (ponts, ponceaux, buses, dalots, etc...) sur les rivières - En même temps, on améliore le tracé et le profil en long - Des recommandations relatives au tracé en plan et au profil en travers sont à respecter (réf. (3) ch. 3 pp. 50-55)

Parmi ces recommandations, on retiendra celle qui définit la largeur de la plate-forme (chaussée + accotements) (voir fig. 2)

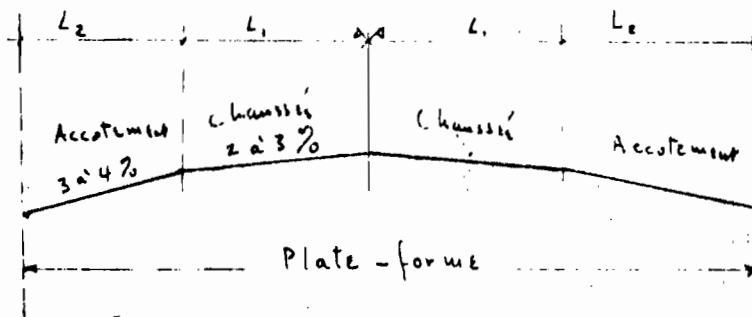


fig. 2

si la route est construite conformément aux recommandations ci-dessus, et que les sols ou matériaux de l'accotement répondent aux exigences de technique routière (bonne compaction, bon drainage sous-couche, etc...), on peut parler d'une deuxième classe de bord de route qu'on peut dénommer : bord de chaussée goudronné.

## II - FACTEURS CONDITIONNANT L'ÉROSION EN BORDURE DES ROUTES

En bordure de beaucoup de routes au Sénégal, des conditions existent et rendent les accotements susceptibles à l'attaque par les eaux de pluie et, ou, le vent. Ces conditions sont créées par les <sup>trois</sup> facteurs conditionnant l'érosion, à savoir :

- la médiocrité des sols ou matériaux constitutifs des accotements
- la déficience du drainage
- le manque de végétation

Nous allons examiner l'érosion en bordure des routes au Sénégal à travers une étude successive de chacun de ces facteurs.

## 1. Médiocrité des Sols d'accotement

Les matériaux constitutifs du bord de la route non aménagée sont généralement ceux rencontrés aux abords immédiats. Ce sont pour la plupart, des matériaux roulés, c'est-à-dire des mélanges naturels de sables, graviers, limons, argiles provenant de dépôts après érosion et transports naturels. Ce sont des matériaux bruts, non lavés (non débarrassés des fines argileuses qui les polluent). En règle générale, ils sont sales avec une forte proportion de fines dangereuses qui font qu'ils sont particulièrement sensibles à l'action des eaux de ruissellement ( Voir Annexe - PHOTOS 12 - 13 - 14 - 15 : bords de route en mélange de sables, argiles ou limons, )

S'agissant des routes en terre aménagées et des routes revêtues, elles présentent souvent des bords de chaussée mal en sable, ou en graviers latéritiques. ( Annexe = PHOTOS 7 - 8 - 9 - 10 - 11 : accotements latéritiques. ) - Les latérites en bordure des routes au Sénégal sont généralement soumis au phénomène suivant :

L'agrégat se fragmente indéfiniment au cours du temps sous l'effet du trafic lourd qui a toujours tendance à

circuler sur le bord de chaussée ou l'accotement, à cause de la largeur réduite de la route - Cette fragmentation produit des fines avec le risque éventuel de transformer petit à petit un gravier ou une latérite en sable beaucoup moins stable. Ainsi le bord de la route constitue un point faible et le processus d'arrachement de particules s'amorce et s'amplifie avec la force d'érosion par le ruissellement des mois d'Août et de Septembre.

Les accotements en sols sableux sont sensibles à la force érosive de l'harmattan (Ex. : voir Annexe - PHOTOS 17-18) - Ces sols sont généralement meubles, secs, finement émiettés. Du point de vue de leur composition, il s'agit de sols très riches en sable fin, sans traces d'argile. Ils manquent de cohésion, ce qui favorise l'action du vent.

L'érosion éolienne et son évolution en bordure des routes s'interprètent brièvement comme suit :

La sensibilité à l'érosion par le vent de ces matériaux lâches fait que l'harmattan qui souffle à des vitesses de l'ordre de 3 m/s en moyenne, entraîne en premier lieu les éléments les plus fins, la structure

superficielle du sol se dégrade, les agrégats s'émiettent, le sol devient de plus en plus sensible à l'érosion, la couche supérieure du bord de chaussée est progressivement troué - Ce qui finalement laisse apparaître une "dégradation qui, avec le temps, atteint une forte intensité surfacique" (voir Annexe - PHOTO-18)

## 2- Déficience du drainage

L'érosion pluviale est favorisée par un drainage mal assuré. L'inefficacité de l'assainissement des accotements des routes au Sénégal est certainement le résultat d'une non prise en considération lors de la phase "design", de certains facteurs importants conditionnant le drainage à savoir : la nature de la pente, la largeur des accotements, le drainage des couches de la chaussée et des accotements, les caractéristiques du bassin de drainage et des ouvrages (épaveuses), etc...

Nous allons examiner successivement ces quelques facteurs et leurs effets sur l'érosion en bordure de routes.

### a- Nature de la pente

L'influence de la pente n'est pas à ignorer dans la

définition des facteurs conditionnant l'érosion du sol par l'eau. D'ailleurs, dans le monde entier, pour tout ce qui est bassin versant, la pente conditionne l'érosion du sol; et des études réalisées en Afrique Tropicale sur parcelles expérimentales ont conduit à fournir deux précisions (réf. (2) p. 17) :

La première est qu'une érosion intense survient en toutes inclinaisons, même les plus faibles, quand le sol est mal protégé. Cette précision demeure significative si on considère toujours l'analogie déjà définie au Chapitre I - FA entre "sols de culture" et sols d'accotement mal protégés -

La seconde précision se rapporte à l'influence marquante que la pente exerce sur le développement de l'érosion - Un accroissement de pente implique un accroissement de la vitesse de ruissellement, et par suite une augmentation du taux de transport de particules.

Ces deux précisions nous amènent à conclure sur l'effet de la pente dans le processus d'érosion en bordure des routes au Sénégal :

la pente <sup>très forte</sup> de la plupart des accotements, de l'ordre de 4 à 5%, conditionne puissamment l'importance de l'érosion par la pluie en bordure des routes.

## b. drainage des couches de la chaussée et de l'accotement

Certaines routes sont constituées de couches de base et de fondation en matériaux perméables et poreux (de la pierre cassée ou du blocage) et présentent très souvent des structures incorrectes (voir figure 3.)

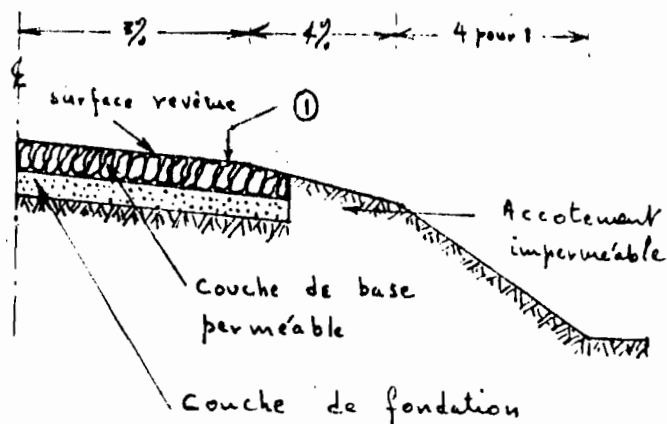


figure 3

La flèche ① de la figure 3 indique que l'eau peut pénétrer et affaiblir la chaussée et le sol de fondation.

Les inondations des mois d'août et de septembre font que la plate-forme est inondée sous la chaussée - l'eau de surface a la possibilité de s'accumuler dans les couches de base et de fondation non munies d'exutoires menant

aux fossés latéraux - Ce qui implique une détérioration du bord de chaussée .

### c- Caractéristiques du bassin de drainage

Au Sénégal, très souvent le bassin de drainage n'assure pas l'évacuation adéquate des eaux de pluie. L'eau qui ne s'infiltré pas sur un versant, se met en mouvement vers l'aval - Dans son mouvement, cette eau ruissellante débouche en bordure de la route, acquiert une vitesse plus importante et s'écoule dans le sens de la plus grande pente - L'on distingue un certain processus dans le développement de l'action de cette eau ruissellante au bord de chaussée :

Tout d'abord, l'eau s'écoule en un réseau serré de filets creusant de fines rigoles de quelques centimètres de largeur et profondeur. Il se crée un ruissellement "diffus ou en nappe", responsable de l'érosion en feuillet (SHEET EROSION) - Les éléments entraînés peuvent aller jusqu'aux sables de 0.2 mm de diamètre (réf. (2) p.34)



Ensuite, le réseau de fines rigoles peut se regrouper pour donner un réseau de rigoles plus larges et plus profondes (dimensions pouvant aller jusqu'à 20cm) en forme de V ou quelquefois de U. Il se crée un ruissellement "en rigoles", responsable de l'érosion en griffes (RILL EROSION) (EX. : voir Annexe - PHOTO-15 )

Enfin, au-delà des griffes se manifeste l'érosion en ravines (GULLY EROSION) - Elle résulte de la formation permanente sur bord de chaussée de circuits d'écoulement localisés : les ravines (EX. : voir Annexe - PHOTOS-5-6 ) -

Les ravines sont très marquées au niveau des ponceaux - Ceci est dû au fait que les pilerons de ces ponceaux ont des dimensions trop réduites qui ne permettent pas d'assurer un drainage adéquat. Il se produit alors des écoulements en forme de tourbillons dotés d'une force d'érosion importante (voir Annexe - PHOTO-6 )

### 3- Manque de Végétation

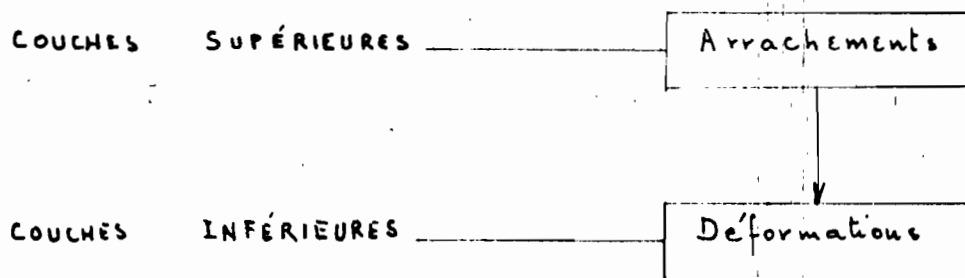
L'absence de végétation en bordure des routes au Sénégal favorise l'action des gouttes de pluie. L'effet de battage du sol est très marqué. La structure des matériaux d'accotement en surface est progressivement détruite (diminution progressive de la cohésion des particules), ce qui diminue la stabilité. Le ruissellement est intense. Il s'en suit alors des pertes importantes en matériaux.

### III - CLASSEMENT DES DEGRADATIONS

Les dégradations en bordure des routes au Sénégal causées par la pluie ou le vent peuvent se classer en deux grandes familles :

- les Arrachements
- les déformations

La représentation schématisique suivante aide à mieux distinguer ces deux familles de dégradations :



Les arrachements affectent les couches supérieures, du bord de chaussée ou de l'accotement. Ils sont la manifestation permanente de l'érosion oblique dans la mesure où ils décrivent l'évolution du phénomène en surface ; ils ne constituent qu'une phase première de l'érosion pluviale. Leur développement engendre des dégradations en profondeur (20 cm) qui affectent les couches inférieures ; ainsi apparaissent les déformations.

A l'intérieur de chaque famille se constituent des groupes déterminés par la forme, les dimensions, etc..., des dégradations. Citons-en quelques-uns :

#### Arrachements :

- détachement (partiels)
- érosion en feuillets,
- érosion en rigoles,
- etc...

#### Déformations :

- décollement (gros blocs)
- érosion en ravins
- etc, ...

## IV - EVOLUTION DES DEGRADATIONS - NOTIONS D'INTENSITE

L'évolution des dégradations en bordure des routes au Sénégal peut se dérouler de deux façons différentes :

- l'évolution d'une dégradation unique

(voir Annexe . PHOTOS - 3 & 16 )

- l'évolution d'une dégradation, cause de l'apparition d'autres dégradations,

( voir Annexe . PHOTO - 15 & 4 )

### 1. L'évolution d'une dégradation unique

L'évolution d'une dégradation seule est la moins fréquente - l'évolution en surface se déroule plus ou moins rapidement, mais peut être suivie quantitativement : par exemple, dans le cas de décollement de blocs de latérite, il est aisé de connaître la dimension moyenne de ces blocs, et la surface du bord de la couche de roulement atteinte. Il est très difficile, à moins de détruire le bord de chaussée de connaître la profondeur à laquelle s'arrête la dégradation et les conséquences qu'elle

à entraînés.

Dans ce cas, il n'est possible de prendre en compte que l'intensité " surfacique "

## 2. L'évolution d'une dégradation, cause de l'apparition d'autres dégradations

Ce cas, le plus fréquemment rencontré, reste le plus complexe. Les évolutions sont très difficiles à suivre car elles ne sont pas toujours constantes. Une dégradation en bordure des routes au Sénégal, qui a rapidement évolué, peut rester dans un état stationnaire ou évoluer lentement tandis qu'une autre prend naissance.

Il est à remarquer toutefois que dans de nombreux cas, il existe des " chaînes " de dégradations types  
 ( Erosion en feuillettes → Erosion en griffes → Erosion en ravines ) ( Voir Annexe PHOTO-15 )

## B. FICHES DE DEGRADATIONS

( PHOTOS D'EROSION )

- Voir Annexe

DEUXIEME PARTIE :

MOYENS DE LUTTE CONTRE L'EROSION  
PAR LA PLUIE ET LE VENT EN BORDURE  
DES ROUTES AU SENEGAL

## DEUXIEME PARTIE

Dans la première partie, nous avons fait l'étude assez générale de l'érosion par la pluie et le vent en bordure des routes au Sénégal. Cette étude nous a situés le phénomène à travers ses causes et ses effets.

L'approche théorique de l'étude de l'érosion pluviale et éolienne conduit donc à poser une autre étude ; celle de moyens de lutte contre l'action de l'eau et du vent.

Dans cette deuxième partie, nous passons en revue, trop succinctement sans doute, l'arsenal des remèdes pour maintenir le bon état des bord de chaussée. Nous allons examiner successivement ces remèdes dans les trois chapitres qui suivront, à savoir :

- I - La STABILISATION DES Accotements
- II - Le RENFORCEMENT DES Caractéristiques de Drainage
- III - L'ENTRETIEN EN bordure des routes

## CHAPITRE I

# STABILISATION DES ACCOTEMENTS

Le premier facteur qui conditionne la sensibilité à l'érosion du bord de chaussée, et que nous avons examiné dans la première partie (CHAPITRE II - § A-0-1) est l'état et la nature des sols et matériaux constitutifs de l'accotement. La prise en considération de ce facteur lors du "design" de la route est essentielle pour une lutte efficace contre l'érosion. Un choix préalable doit être fait en fonction des possibilités locales en matériaux. A défaut de matériaux résistants à l'érosion par la pluie ou le vent, on peut recourir aux différents techniques et procédés de stabilisation.

## A- TECHNIQUES DE STABILISATION

### I - SOL - CIMENT

#### 1- Considérations générales

La stabilisation au ciment est l'adjonction de ciment à des matériaux destinés à la confection de couches



de base ou de fondation. La technique répond à des objectifs variés. Parmi ces objectifs, retenons celui-là qui rend insensibles à l'eau les matériaux stabilisés.

Dans certains cas, on peut aller jusqu'à traiter le sol de plate-forme pour constituer une assise de fondation de qualité, moins sensible à l'eau.

La technique du sol-ciment est multiforme. Dans tous les cas, il est indispensable que les matériaux traités aient à l'état brut, une granulométrie assez étalée, permettant d'obtenir après compactage, une bonne compacité. Les matériaux ayant  $E.S. < 20$  et  $5 \leq IP \leq 10$  peuvent donner d'excellents résultats (réf. (5) p. ).

## 2. Choix du type de mélange de sol et de ciment

Il y a deux méthodes de construction du sol-ciment:

- le mélange in situ
- le mélange en centrale

### a.) Mélange in situ

Il s'agit d'un traitement du sol en place. L'opération consiste à disposer des sacs de ciment ~~sur~~ de place en place sur les couches de sol à traiter, à les

ouvrir et à répartir à la main leur contenu sur toute la surface. Les sacs seront disposés de façon à se trouver au centre d'un espace aussi carré que possible.

La solution de mélange in situ est applicable aux accotements constitués de sables limoneux, de graviers latéritiques et tout autre matériau à granulométrie étalée.

EX.: Annexe - PHOTO - 2 : accotements latéritiques

b. / Mélange en Centrale

Il s'agit d'un traitement du sol en centrale - les latérites - ciments et les gravés - ciments réalisés en usine peuvent être utilisés avec succès pour stabiliser les accotements des routes revêtues de grande importance.

EX.: Annexe - PHOTO - 16 : bords de chaussée en latérite.

Avec ce procédé, le dosage du matériau à stabiliser est généralement fait en poids. Le ciment est fourni en sacs de poids connu. Il est essentiel de surveiller de près les quantités de ciment utilisées en vérifiant régulièrement les ordres de livraison et les stocks pour éviter de laisser passer toute erreur grossière de dosage.

3- Mécanisme de la stabilisation au ciment

Le mécanisme de la stabilisation au ciment est

complexe .

Tout d'abord la chaux libérée par l'hydratation du ciment réduit la plasticité des fines du matériau traité. Des échanges ioniques ont lieu avec les particules argilleuses dont les charges électriques sont alors modifiées.

D'autre part, la cimentation des grains entre eux intervient comme dans les bétons hydrauliques, pour conférer de la cohésion et augmenter le frottement interne du matériau traité. On pense que dans le cas des sols fins (silt, limons) il se crée un réseau de ciment entourant les particules du sol. C'est ce réseau qui donne une certaine cohésion et confère une résistance à l'érosion.

#### 4- Etudes de laboratoire

Les sols-ciments possèdent des propriétés très importantes. Celles-ci sont bien décrites dans (réf. (5) pp. 38-45). Cette même référence fournit également des spécifications relatives à l'utilisation des sols-ciments.

Dans toute recherche de solution de sol-ciment, il est nécessaire d'adapter le choix de la technique aux conditions locales ; d'où la nécessité avant toute application de la méthode de faire des études de laboratoire.

La teneur en ciment et la teneur en eau doivent être étudiées ; les études doivent porter à la fois sur le matériau avant traitement et sur le matériau traité ; elle ont pour objet de juger de l'efficacité du traitement, de déterminer les dosages convenables ainsi que la sensibilité aux écarts de dosage.

Dans la plupart des cas, le résultat est extrêmement sensible à la teneur en eau. L'eau doit d'ailleurs être potable (réf. Norme CSA A23.1-1973), certaines impuretés (huile, acide, matière organique, sédiment, etc...) pouvant contrarier l'opération.

Les expériences de laboratoire relatives aux sols-ciments se font en général sur des éprouvettes compactées dans des conditions analogues à celles de l'essai Proctor, qu'on soumet à l'écrasement, d'abord à sec, puis après immersion ; on recherche un minimum de  $(12 \text{ kg/cm}^2)$  et un maximum  $(25 \text{ kg/cm}^2)$  (pour éviter la fragilité) de la résistance à la compression simple à 7 jours ; en outre

la résistance subsistant après un essai d'immersion de 7 jours ne doit pas être inférieure à 80% de la résistance mesurée à sec (réf. (6) p. 134)

## II. SOL - BITUME

Comme dans la solution des stabilisations au ciment, l'objectif poursuivi dans les stabilisations au bitume des accotements de chaussée est le même - sans entrer dans le détail des divers cas possibles, d'ailleurs fort nombreux, nous nous limitons aux deux types suivants pouvant bien s'adapter aux accotements des routes revêtus à grande circulation :

- les sols d'accotement stabilisés au bitume
- les sables " " " "

Dans ces deux cas le climat de la région ou de la zone (degré d'évaporation des parties volatiles des liants, teneur en eau naturelle des matériaux, etc...), la proximité des gisements de matériaux convenables, la distance de transport sont autant de facteurs qui doivent intervenir dans le choix de la solution.

## 1. Sols stabilisés au bitume

### a. Considérations générales

Il s'agit de sols plastiques, cohérents à sec, auxquels on cherche à conférer une insensibilité à l'eau par adjonction de bitume. La technique s'applique aux sols pouvant être facilement pulvérisés. En général la limite de liquidité ( $W_L$ ) doit être inférieure à 30 et l'indice de plasticité (IP) inférieure à 12, sinon le sol est trop plastique pour être stabilisé. Les conditions granulométriques ne sont pas impératives, mais il ne doit pas y avoir plus de 50% passant au tamis 200.

Le liant utilisé sera un cut-back SC ou MC, le SC étant réservé aux sols plastiques, le MC convenant dans la plupart des cas.

Les émulsions peuvent être utilisées (~~60/70~~ ou ~~80/100~~) à condition que leur rupture soit étudiée pour permettre une diffusion correcte du liant.

### b. Etudes de laboratoire

- Le problème essentiel consiste à déterminer la teneur en liant convenable et à juger de l'aptitude du sol à être stabilisé avec un liant hydrocarboné.

Il n'existe pas de méthode normalisée et la meilleure méthode généralement adoptée est celle qui utilise l'essai Hubbard - Field (H.F) - C'est le processus ASTM D-915-47T qui divise les sols-bitume en deux groupes selon qu'ils sont stabilisés avec un goudron ou un cut-back ou bien avec une émulsion.

Dans le premier cas, le mélange est réalisé sans séchage préalable. Il peut être séché ou non avant essai mécanique.

Dans le cas des émulsions le mélange est réalisé après séchage du sol, et l'éprouvette est séchée ensuite jusqu'à disparition de 80 à 90% de l'eau.

Dans tous les cas la moitié des échantillons est soumise à une immersion partielle durant 7 jours afin de déterminer le gonflement et le pourcentage d'absorption d'eau.

Tous les échantillons sont écrasés selon le processus Hubbard - Field (réf. (5) p. 231)

Il est recommandé de s'en tenir aux performances minimales suivantes (réf. (5) p. 46) :

- résistance H.F. avant immersion ... 500 kg minimum;
- résistance H.F. après immersion ... 200 kg minimum;

|   |                      |
|---|----------------------|
| Gonflement durant l'immersion . . . . . | 5% maximum . . . . . |
| Absorption d'eau . . . . .              | 7% maximum . . . . . |

c. Recommandations relatives à la mise en œuvre par le compactage

Un des points délicats de ces techniques de stabilisation par bitume reste le compactage. Il faut que la teneur en eau du matériau soit convenable et seule l'expérience permet de voir quel est l'état le meilleur pour une bonne pulvérisation et une bonne dispersion du liant. Généralement il correspond à un matériau clair et maniable.

Après mélange avec le liant, il faut, avant de compacter, laisser s'évaporer les parties volatiles (fluxant des cut-backs, eau de l'émulsion) - si on compacte trop tôt la stabilité sera médiocre. Si on compacte trop tard la densité sera faible, il y aura des vides où l'eau entrera et le sol sera sensible à l'eau. Il doit s'évacuer environ 40% d'eau et de fluxant avant compactage et le passage des rouleaux à pneus ne doit pas laisser d'ornières.



## 2- Sables stabilisés au bitume

Les sables constituent évidemment un cas particulier des sols mais avec certaines différences lorsqu'il s'agit de sables propres.

En effet dans le cas des sols on cherche à rendre le matériau insensible à l'eau et on disperse le liant ; dans le cas des sables on cherche à donner une cohésion à sec et on enrobe les grains - La solution de sables stabilisés au bitume intéresse surtout les accotements en sols sableux soumis pour la plupart au phénomène de l'érosion éolienne.

La granulométrie ne joue pas un rôle capital, si ce n'est parfois par le manque de fines (passant au  $\frac{1}{10}$  mm) - On peut être amené dans le cas des sables ronds, lisses, sans fines, à ajouter un sable de concassage qui améliore la stabilité et permet de réduire la teneur en liant. On peut aussi ajouter un filler (chaux, ciment) -

Les liants utilisables au Sénégal peuvent être, soit du bitume pur (80/100), soit des cut-backs, de préférence des R.C., soit des émulsions de bitume.

- Dans le cas où on utilise du bitume pur, le mélange s'étudie le plus souvent avec l'essai Hubbard-Field (moule  $5 \times 2,5$  cm) - Après séchage les échantillons sont immergés dans l'eau à  $60^{\circ}\text{C}$ . On demande en général une stabilité H.F. supérieure à 400 kg

- Dans le cas des cut-backs, les procédés seront les mêmes, mais l'essai se fera à  $18^{\circ}\text{C}$ . Le mélange est en général déposé en couche non compactée de 2 à 3 cm d'épaisseur à  $30^{\circ}\text{C}$ , et on le laisse sévaporer durant 16 heures avant de mouler l'éprouvette à  $18^{\circ}\text{C}$ .

La stabilité H.F. minimum recommandée est de 600 kg

- Lorsqu'on utilise une émulsion de bitume comme agent stabilisant, l'essai Hubbard-Field peut également être employé dans les mêmes conditions que précédemment. Toutefois, on procédera sur un sable humidifié.

### III - STABILISATION MECANIQUE

(Mélange de sols)

Il s'agit d'améliorer la stabilité de la couche

de base de l'accotement. La technique consiste à compacter des mélanges de sols en graviers ou sables grossiers avec quelques éléments fins pour remplir les vides et comprenant une faible proportion d'argile jouant le rôle de liant. Ces sols peuvent être soit naturels, soit en provenance de différents gîtes.

Dans la pratique le choix de la solution est limité par la disponibilité des matériaux. Les régions dans lesquelles on trouve du gravier latéritique sont favorisées, car ce matériau assure en général une bonne stabilité. La latérite rencontrée au Sénégal renferme souvent trop de fines. Ce qui limite le choix de la technique de la stabilisation mécanique pour lutter contre l'érosion, le sol-ciment demeurant prioritaire car étant plus efficace.

IV. REMARQUES GÉNÉRALES SUR LES DIFFÉRENTES TECHNIQUES DE STABILISATION

D'autres techniques peuvent être utilisées pour stabiliser les matériaux d'accotement (chaux, cendres volantes, les laitiers granulés, certains dérivés de l'industrie du papier, etc...) Mais leur emploi reste assez limité pour des raisons diverses (techniques, financières, mode, etc...)

Les facteurs les plus importants qui conditionnent les caractéristiques des sols stabilisés sont :

- la teneur en agent stabilisant (ciment, bitume, etc...)
- la teneur en eau
- l'homogénéité du mélange
- l'énergie de compactage

Un des facteurs, souvent difficile à contrôler sur le chantier est le malaxage (voir "méthodes de mélange" ou de malaxage : réf. (5) pp. 61-72)

## B- REVETEMENTS : VEGETATION & PERRES

La mise en place sur les accotements de revêtements pouvant être, soit naturels (végétation), soit artificiels (perres) est susceptible de donner d'excellents résultats. La couverture végétale et les perres constituent deux procédés de stabilisation des talus, applicables aux accotements. Nous allons<sup>6</sup> examiner successivement.

## I. COUVERTURE VEGETALE

La couverture végétale est un facteur important qui conditionne la sensibilité à l'érosion parce que c'est elle qui dissipe l'énergie de l'eau et du vent : d'où l'importance de son rôle modérateur de l'érosion.

Disposer d'accotements gazonnés pour les routes revêtues à forte intensité de trafic et soumis au phénomène constitue un remède efficace.

L'effet majeur de couverture du sol d'accotement par la végétation réside dans le contrôle de l'énergie cinétique des gouttes de pluie par les parties aériennes et la réduction du battage du sol avec toutes les conséquences qui peuvent en découler : maintien de la structure du sol en surface, meilleure infiltration, ruissellement moindre, etc...

La végétation intervient également par ses racines qui contourrent le sol et diminuent l'effet d'érosion due au ruissellement de surface.

D'autre part, la végétation, en maintenant la cohésion de la couche superficielle du sol et en retenant les particules, s'oppose à l'effet d'avalanche

et constitue la meilleure protection contre l'érosion éolienne.

## II - PERRES

### 1- Définitions

Les perrés sont des revêtements artificiels constitués par des blocs de pierre, plus ou moins équarris, disposés au contact les uns des autres sur la surface du talus. Le poids des pierres s'oppose au glissement de la terre et stabilise ainsi le talus.

Si les pierres sont posées à même la terre et bloquées par les seuls contacts qu'elles ont entre elles, on dit que le perré est à "pierres sèches" (figure 1)

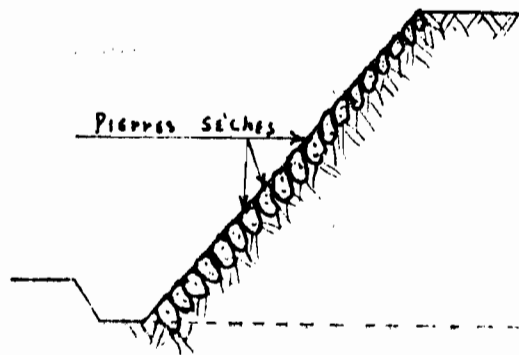


figure 1

Si les pierres sont posées à bain de mortier et en quelque sorte maçonnées, on dit que le perre est "maçonné" (figure 2)

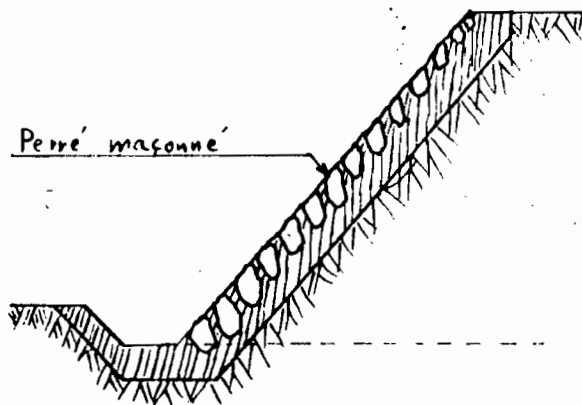


figure 2.

## 2. Accotements perreyés

Pour la lutte anti-érosion en bordure des routes au Sénégal, on peut utiliser l'un ou l'autre type de perre, dépendamment de la pente de l'accotement, de la sensibilité à l'eau des matériaux, de l'importance de la route, etc...

↓ l'utilisation du perre à pierres sèches peut

résoudre le problème de l'érosion pluviale sur les accotements à faible pente, aux matériaux très sensibles à l'action de l'eau.

Par contre le pavé maçonné trouve son utilisation importante sur les accotements des routes en remblai à forte pente transversale

L'eau peut être l'ennemi des pavés ; aussi faut-il s'efforcer de faciliter au maximum l'évacuation de l'eau qui peut éventuellement imprégner la terre de l'accotement. Les pavés à pierres sèches ne posent, à ce point de vue, aucun problème, l'eau trouvant facilement son passage dans les interstices des pierres. Par contre, les pavés maçonnés peuvent s'opposer dangereusement à l'évacuation de l'eau imprégnant les terres si on ne prévoit pas des ouvertures, appelés "barbacanes" pratiqués dans la maçonnerie à la base du pavé (figure 3.)

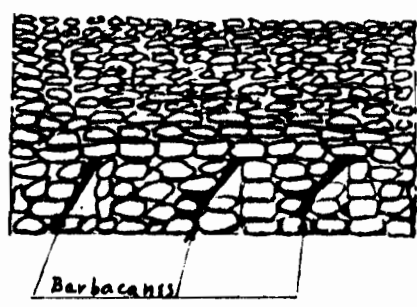


figure 3



Quelle que soit la nature du perré, un fossé maçonné doit toujours être prévu à sa base pour recevoir et évacuer les eaux (figure 4.)

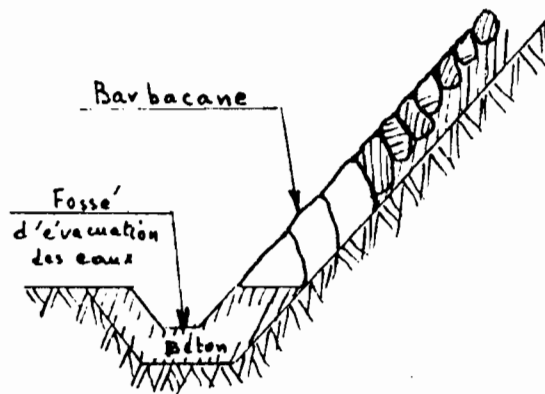


Figure 4.

La présence de ce fossé ne doit jamais avoir pour effet de diminuer la résistance de la fondation du perré, qui doit être particulièrement soignée puisqu'elle supporte tout le poids du revêtement.

Les perrés, lorsqu'ils sont bien coupés et correctement construits, sont très efficaces; ils assurent en effet une parfaite stabilité aux accotements qu'ils revêtent; ils présentent par contre l'inconvénient d'être

assez coûteux ; surtout les perrés maçonnés, et de nécessiter des travaux d'entretien. On les utilisera donc pour stabiliser certains trous de tassement bien localisés (marqués par le phénomène de l'érosion pluviale) de ponts à grande importance (routes nationales).

## CHAPITRE II

# RÉNFORCEMENT DES CARACTERISTIQUES DE DRAINAGE

Pour éviter l'action de l'eau ruissellante sur le bord de chaussée, il faut dès qu'elle entre en contact avec celui-ci l'évacuer d'une manière adéquate. L'assainissement de la chaussée étant assuré par le profil en toit maintenu de celle-ci, il en sera de même pour l'accotement si on améliore les caractéristiques de drainage, à savoir :

- la pente et la largeur des accotements
- le drainage des couches de la chaussée
- le dimensionnement des ouvrages de protection

### I - CORRECTIONS DE LA PENTE ET DE LA LARGEUR DES ACCOTEMENTS

Il s'agit :

- de réduire la pente trop forte : maximum 4%
  - d'augmenter la largeur trop réduite : minimum 1m
- le tout se fera par la technique du rechargement suivi d'un reprofilage.

## II - DRAINAGE DES COUCHES DE LA CHAUSSÉE

Lorsqu'il s'agit de couche de base imperméable à indice de vide faible, par exemple un sol-ciment ou un matériau concassé de bonne granulométrie, son drainage n'est pas nécessaire.

Lorsqu'on a au contraire des matériaux perméables et poreux par exemple du blocage ou une pierre cassée, il faut soigner particulièrement le drainage de la couche de base -

Les matériaux de la couche de base doivent recouvrir sur toute la largeur de la plate-forme, jusqu'au fossé, et la surface de la couche de fondation doit avoir une pente transversale convenable pour faciliter le drainage (figure 5).

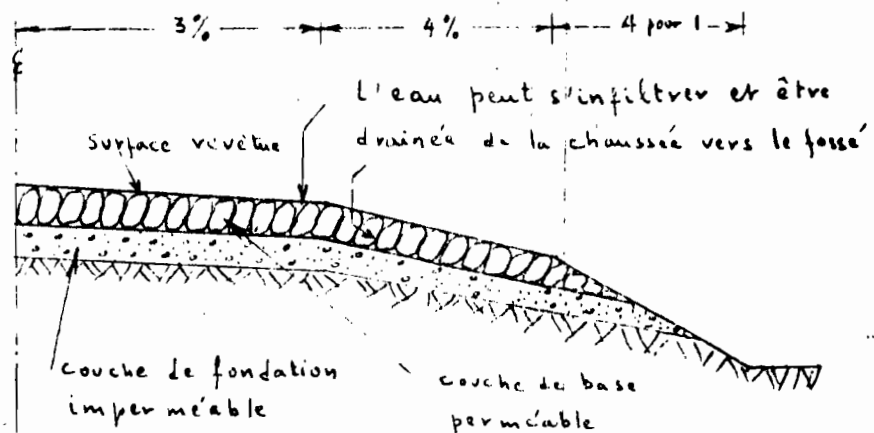


figure 5

### III - OUVRAGES DE PROTECTION

Le renforcement des ouvrages de protection (ponceaux, buses, dalots, etc...) est nécessaire pour assurer le bon drainage de l'ensemble formé par la route et ses abords.

L'on sait que toute route doit couper les cours d'eau secondaires de la région traversée; d'un autre côté le ruissellement sur la chaussée doit être conduit finalement dans un cours d'eau naturel. Tous ces écoulements doivent passer sous la route au moyen de buses, dalots ou ponceaux. Il va de soi que ces ouvrages sont nécessaires au franchissement des ruisseaux et autres voies naturelles de drainage, mais il ne faut pas oublier les ouvrages permettant à l'eau des fossés latéraux de passer sous la route; leur espacement dépend du terrain et de l'intensité des précipitations. Dans les cas extrêmes, il faudra jusqu'à six passages de buses par kilomètre.

Une amélioration dans l'exécution des ailerons des ponceaux est nécessaire pour mieux diriger l'écoulement et éviter les tourbillons (écoulements agressifs qui sont la cause de profondes dégradations)

## CHAPITRE III

# ENTRETIEN

Il est souhaitable de remédier totalement au phénomène de l'érosion en bordure des routes en conservant à l'accotement le caractère anti-érosif que doit lui donner en général son constructeur. Cet objectif est atteint grâce à un service "Entretien" qui doit veiller au bon état de la route, et ceci dans les limites acceptables qu'offre les moyens des services d'entretien du pays.

Le chapitre fait une distinction entre l'entretien courant, largement manuel, et l'entretien périodique comportant des interventions discontinues et moins fréquents, et généralement mécanisé.

### I - ENTRETIEN COURANT

L'entretien courant (comprend) comprend toute

les opérations au jour le jour effectuées par une équipe affectée en permanence à ces activités, et faisant surtout appel à des procédés manuels utilisant des outils simples.

### 1. Entretien des accotements

L'entretien des accotements des routes revêtues est un problème semblable à celui de l'entretien des accotements des routes en terre; l'un et l'autre sont traités dans le présent paragraphe.

Quelque soit le type de route, il est important que l'écoulement de l'eau provenant de la chaussée ne soit pas gêné. Ce point est particulièrement important sur les routes en terre ou en gravier (alcalinité) où des dégâts se produiraient si l'eau peut s'y accumuler en surface.

Il ne faut pas laisser les dépôts ou autres matières s'accumuler sur les bords de la route au point d'obstruer les évacuations d'eau. L'entretien manuel des accotements peut être combiné avec celui de la chaussée.

- Lorsque les accotements sont dépourvus de

revêtement protecteur (végétation, pierres, etc.) il est plus facile de les entretenir à la niveleuse - Sur les routes en terre il y a intérêt à effectuer cette opération en même temps que le reprofilage de la chaussée, car les matériaux de surface qui ont été transportés sur les accotements sont aussitôt récupérés et répandus - Toutefois l'évacuation d'eau doit être nettoyée à la main.

## 2. Accotements gazonnés

Si la couverture végétale demeure un remède très efficace pour la lutte anti-érosion, il ne faut pas ignorer <sup>toutefois</sup> qu'elle nécessite un entretien courant. Nous allons en examiner les points importants :

- Il ne faut jamais laisser l'herbe croître au point de gêner la visibilité ou de cacher des obstacles tels que blocs de pierre ou branches d'arbres qui pourraient endommager les véhicules empruntant les accotements.

- Sur les routes à grande circulation et au voisinage des villes, il faut donner la préférence



aux variétés d'herbes basses. Il peut aussi être intéressant de faire appel à des produits retardateurs de croissance tels que l'hydruzide maléique et à des engrais permettant de favoriser un développement sélectionné des variétés d'herbes les plus appropriées.

- L'herbe doit être coupée régulièrement, à raison de quelques fois dans l'année, davantage dans les zones suburbaines.

- Il existe un grand nombre) mois de tondeuses ou faucheuses dont quelques-unes spécialement conçues pour le fauchage des accotements.

- Il convient de s'assurer que les produits végétaux coupés ne risquent pas d'obstruer le système de drainage. Quelques types de faucheuses industrielles comportent un appareil permettant de les ramasser.

## II - ENTRETIEN PÉRIODIQUE

La présente section traite des remises en état et des réparations importantes. Il sera traité successivement des deux opérations suivantes :

- Rechargement des accotements
- Entretien des ponceaux (et autres ouvrages de drainage)

### 1. Rechargement des accotements

Les accotements mal protégés donnent souvent lieu à une perte importante en matériaux. Une forte proportion de ces matériaux est constituée par de fines particules argileuses ou silteuses, éléments essentiels pour assurer la cohésion des sables et des graviers constitutifs de l'accotement.

Le rechargement a pour but d'apporter des matériaux sélectionnés capables d'offrir le maximum de résistance à l'action de l'eau.

Il doit être effectué dès qu'il apparaît nécessaire sur les tronçons d'accotement impliqués. Si on retarde l'opération on risque d'assister à une déperdition totale des éléments fins de cohésion. Il peut être nécessaire de recharger les accotements tous les deux à cinq ans, la pério-

dicité dépendant de la subsistance du phénomène de l'érosion.

Dans l'opération de rechargement, les irrégularités de surface doivent d'abord être complètement supprimées, ce qu'on peut obtenir à la niveleuse. On obtient de meilleurs résultats en scarifiant la couche de base jusqu'au plus profond des irrégularités, et en mélangeant, avant profilage et compactage, le matériau nouvellement apporté avec le matériau scarifié; en même temps on peut augmenter la largeur de l'accotement (minimum 1 m) si celle-ci est trop réduite.

Après avoir répandu et éventuellement mélangé le matériau, la mise au profil doit être réalisée avec soin et précision, pour s'assurer que l'eau de pluie sera évacuée de façon adéquate.

L'entretien courant ne doit pas être négligé après le rechargement, mais doit continuer selon un programme d'entretien bien établi à l'avance.

## 2. Entretien des ponceaux

Tous les ponceaux et autres ouvrages de drainage ou de protection (ponts, buses, dalots, etc...) doivent être régulièrement inspectés en vue de détecter les signes avant-coureurs de dommages causés par les eaux ruissellantes ou les matériaux charriés par les rivières (ou cours d'eau) ; de même les problèmes de débouchés des ouvrages doivent être identifiés afin de permettre l'établissement d'un programme portant sur les interventions nécessaires :

c'est le cas des ponceaux par exemple, qui ont besoin d'une intervention du genre "renforcement" (élargissement) de leurs ailerons pour <sup>assurer</sup> un meilleur débouché.

## CONCLUSIONS

Nous avons essayé de traiter le sujet dans son aspect théorique le plus général, et nous en tirons les conclusions suivantes :

Concernant la première partie, on peut dire que le catalogue de dégradations établi ne constitue en fait qu'une approche du problème assez complexe de l'érosion en bordure des routes. L'interprétation du phénomène faite assez succinctement ne l'est pas de façon complète et définitive.

Nous rappelons, en outre, que l'étude s'est limitée aux dégradations visibles apparues en surface.

A notre sens, ce catalogue, dans sa forme actuelle doit être en mesure de rendre les services suivants :

- mettre à notre disposition des éléments d'approche du phénomène de l'érosion par la pluie (ou le vent) en bordure des routes au Sénégal;
- permettre ultérieurement l'archivage, sous une

forme aisément compréhensible, des constatations visuelles effectuées lors des mesures ou lors mesures sur l'état du réseau. La notion d'intensité doit permettre de quantifier la dégradation.

Quant à la deuxième partie, elle constitue une ébauche de solutions susceptible de porter remède à l'érosion en bordure des routes. Toutefois, elle est utile dans la mesure où elle peut inspirer recherche et étude de solutions adaptées à la lutte anti-érosion en bordure des routes.

On y retiendra surtout la solution de la stabilisation au ciment qui peut être économique dans un Sénégal où l'industrie du ciment se développe (prochaine implantation à Port d'une nouvelle cimenterie qui viendra secourir celle très importante de la Sococim à Rufisque). A l'occasion, on peut envisager d'utiliser, au lieu du ciment, du cliker broyé modérément qui est sans doute susceptible de donner de bons résultats (confirmation par études de laboratoire).

Pour concrétiser l'ensemble des deux études faites (l'Etude du phénomène et l'Etude des moyens d'y remédier), le sujet ne doit point se terminer là. Elle doit inclure nécessairement une troisième partie finale qu'on peut intituler : "Etablissement d'un projet de lutte anti-érosion en bordure des routes au Sénégal".

Le but de cette troisième partie est d'étudier les aspects techniques et économiques d'un tel projet (Programme d'exécution, estimations, etc...)

Cette étude ne pouvant être réalisée à cause de la contrainte "temps", elle pourra faire l'objet d'une consultation ultérieure pour la poursuite du présent PROJET DE FIN D'ETUDES et la mise en pratique des solutions qui y sont traitées.

# APPENDICES



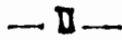
Service Météorologique

## NORMALES 1931-1960

T H I E S

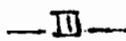
PRECIPITATIONS : Hauteurs en millimètres et dixièmes

|      | JANVIER | FÉVRIER | MARS | AVRIL | MAI  | JUIN | JUILLET | AOÛT  | SEPTEMBRE | OCTOBRE | NOVEMBRE | DÉCEMBRE | ANNÉE  |
|------|---------|---------|------|-------|------|------|---------|-------|-----------|---------|----------|----------|--------|
| 1931 | 0       | 5.2     | 0    | 0     | 0    | 17.8 | 185.5   | 30.0  | 226.7     | 10.6    |          | 0        |        |
| 32   | 0       | 0       | 0    | 0     | 3.3  | 38.2 | 108.0   | 364.4 | 64.9      | 0.5     |          |          |        |
| 33   | 2.0     | 0       | 0    | 0     | 0    | 77.3 | 242.1   | 343.2 | 205.5     | 8.2     | 41.5     | 0        | 919.8  |
| 34   | 0       | 0       | 0    | 0     | 0    | 9.0  | 40.7    | 186.4 | 162.5     | 51.8    | 2.2      | 0        | 452.6  |
| 35   | 1.0     | 0       | 0    | 0     | 0    | 52.6 | 280.5   | 583.5 | 244.3     | 62.6    | 0        | 0        | 1224.5 |
| 1936 | 0       | 0       | 0    | 0     | 1.0  | 53.7 | 110.5   | 215.8 | 265.3     | 34.6    | 3.9      | 0        | 684.8  |
| 37   | 0       | 0       | 0    |       |      | 7.7  | 47.9    | 167.2 | 164.7     | 54.8    |          | 0        |        |
| 38   | 0       | 0       | 0    | 0     | 0    | 0    | 100.2   | 156.4 | 201.8     | 47.6    | 0        | 0        | 506.0  |
| 39   | 0       | 0       | 2.0  | 0     | 0    | 7.0  | 42.0    | 348.0 | 131.6     | 34.7    | 0        | 0        | 615.3  |
| 40   | 0       | 0       | 0    | 0     | 0    | 79.6 | 32.3    | 310.3 | 117.6     | 70.2    | 0        | 0        | 610.0  |
| 1941 | 0       | 1.4     | 0    | 0     | 0    |      | 52.4    | 46.3  |           |         | 0        | 0        |        |
| 42   | 0       | 6.4     | 0    | 0     | 0    | 0    | 62.9    | 374.0 | 109.4     | 1.8     | 11.2     | 0        | 565.7  |
| 43   | 0       | 7.8     | 0    | 0.4   | 11.1 | 14.6 | 113.4   | 321.9 | 253.0     | 51.9    | 0        | 101.7    | 855.8  |
| 44   | 0       | 0       | 0    | 2.7   | 0    | 0.3  | 75.9    | 173.1 | 286.6     | 91.8    | 0        | 1.0      | 601.4  |
| 45   | 0       | 0       | 1.8  | 0     | 0    | 2.5  | 206.0   | 145.6 | 262.3     | 81.6    | 0        | 0        | 699.8  |
| 1946 | 0       | 0       | 0    | 0     | 0    | 1.5  | 56.3    | 493.1 | 188.9     | 39.7    | 0        | 0        | 784.5  |
| 47   | 0       | 0       | 0    | 0     | 0    | 4.0  | 44.0    | 231.6 | 262.7     | 81.4    | 9.6      | 0        | 633.3  |
| 48   | 0       | 3.2     | 0    | 0     | 0    | 74.6 | 79.0    | 291.2 | 48.1      | 37.2    | 0        | 0        | 533.3  |
| 49   | 0       | 0       | 0    | 0     | 0.2  | 0.5  | 151.2   | 235.2 | 55.8      | 16.5    | 0        | 0.6      | 460.0  |
| 50   | 0       | 0       | 0    | 0     | 3.9  | 29.5 | 179.0   | 409.1 | 344.6     | 72.5    | 0.6      | 0        | 1039.2 |
| 1951 | 0       | 0       | 0    | 0     | 4.0  | 3.0  | 120.2   | 343.5 | 195.3     | 298.6   | 11.7     | 0.8      | 977.1  |
| 52   | 0       | 1.2     | 0    | 0.5   | 14.4 | 10.2 | 196.6   | 223.5 | 388.2     | 52.0    | 0.1      | 0        | 886.7  |
| 53   | 0       | 0       | 0    | 0     | 0    | 13.8 | 197.7   | 125.1 | 217.8     | 39.2    | 0        | 0        | 593.6  |
| 54   | 0.6     | 27.8    | 0    | 0     | 0    | 35.8 | 237.0   | 352.5 | 164.7     | 34.1    | 2.2      | 0        | 854.7  |
| 55   | 0       | 0       | 0    | 0     | 6.6  | 39.1 | 201.5   | 445.8 | 192.1     | 8.4     | 0        | 0        | 893.5  |
| 1956 | 0       | 0       | 0    | 0     | 0    | 20.4 | 109.5   | 133.1 | 231.1     | 73.2    | 0        | 28.9     | 596.2  |
| 57   | 1.3     | 0.4     | 0    | 0     | 0    | 52.6 | 87.5    | 168.3 | 510.7     | 149.7   | 2.9      | 15.2     | 988.6  |
| 58   | 0.5     | 0       | 0    | 0     | 0    | 19.9 | 83.3    | 480.7 | 90.0      | 95.0    | 2.3      | 0        | 771.7  |



**TABEAU N° 8 - PLUVIOSITES, RUISSELLEMENTS ET EROSIONS ENREGISTRÉS PENDANT 5 ANS SOUS CULTURE DE MAIS ET "NAPIER" EN PENTE DE 3 : 4,5 : 6 : VALEURS MOYENNES POUR 6 PARCELLES.**  
(Henderson Research Institute, Mazoe, Rhodésie du Sud).

| Saison des pluies | P (mm)  | Erosion (t/ha) | Ruisselement |      |
|-------------------|---------|----------------|--------------|------|
|                   |         |                | (mm)         | (%)  |
| 1953/54           | 917,2   | 5,12           | 91,18        | 9,94 |
| 1954/55           | 1.129,8 | 1,23           | 56,86        | 5,03 |
| 1955/56           | 907,8   | 3,44           | 49,53        | 5,46 |
| 1956/57           | 962,2   | 5,72           | 71,37        | 7,42 |
| 1957/58           | 696,5   | 3,16           | 51,56        | 7,41 |



**TABEAU N° 9 - PERTES DE TERRE ET RUISSELLEMENTS ENREGISTRÉS POUR UNE MEME CLASSE DE PLUIES EN 1956 A ADIOPODOUME. CENTRE ORSTOM (COTE D'IVOIRE).**

| DATE  | P (mm) | p 1     |      | p 2     |      | p 3     |      | p 4     |      | p 5     |      | p 6     |     |
|-------|--------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|-----|
|       |        | E       | R    | E       | R    | E       | R    | E       | R    | E       | R    | E       | R   |
|       |        | (kg/ha) | (%)  | (kg/ha) | (%)  | (kg/ha) | (%)  | (kg/ha) | (%)  | (kg/ha) | (%)  | (kg/ha) | (%) |
| 12/ 6 | 33     | 789     | 36,5 | 1.188   | 31,7 | 940     | 35,8 | 808     | 26,9 | 17,8    | 20,9 | 14      | 2,2 |
| 23/ 6 | 32,1   | 2.197   | 44,9 | 3.751   | 47,9 | 4.189   | 44,2 | 1.782   | 41,2 | 890     | 35,1 | 33      | 1,6 |
| 3/ 7  | 33,6   | 448     | 33,4 | 1.022   | 32,8 | 927     | 38,1 | 552     | 31,7 | 200     | 26,4 | 19      | 3,8 |
| 5/ 7  | 33,1   | 411     | -8,4 | 458     | 7,9  | 437     | 7,9  | 169     | 6,8  | 137     | 5,6  | 6       | 1,7 |
| 23/10 | 35,9   | 1       | 0    | 118     | 9,9  | 332     | 9,3  | 33      | 0    | 2       | 0    | 2       | 0   |
| 6/12  | 32,8   | 3       | 0    | 182     | 22,5 | 3.694   | 40,3 | 20      | 0    | 73      | 0    | 22      | 0   |

p 1 = semis de *Crotalaria Usaramensis*, à plat le 7 mai,  
 p 2 = bouturage de manioc sur buttes, le 7 mai,  
 p 3 = parcelle maintenue dénudée par desherbage,  
 p 4 = semis de *Flemingia Congesta*, à plat le 7 mai,  
 p 5 = culture d'ananas en lignes isohypses, à plat,  
 p 6 = forêt secondaire.

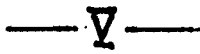
Service Météorologique

## NORMALES 1931-1960

THIES

PRÉCIPITATIONS : Nombre de jours

|      | JANVIER | FÉVRIER | MARS | AVRIL | MAI | JUIN | JUILLET | AOÛT | SEPTEMBRE | OCTOBRE | NOVEMBRE | DÉCEMBRE | ANNÉE |
|------|---------|---------|------|-------|-----|------|---------|------|-----------|---------|----------|----------|-------|
| 1931 | 0       | 2       | 0    | 0     | 0   | 4    | 12      | 2    | 10        | 1       |          | 0        |       |
| 32   | 0       | 0       | 0    | 0     | 1   | 7    | 8       | 15   | 10        | 1       |          |          |       |
| 33   | 1       | 0       | 0    | 0     | 0   | 5    | 11      | 13   | 10        | 1       | 4        | 0        | 45    |
| 34   | 0       | 0       | 0    | 0     | 0   | 2    | 7       | 12   | 14        | 2       | 1        | 0        | 38    |
| 35   | 1       | 0       | 0    | 0     | 0   | 4    | 10      | 21   | 11        | 3       | 0        | 0        | 50    |
| 1936 | 0       | 0       | 0    | 0     | 1   | 9    | 7       | 12   | 11        | 3       | 2        | 0        | 45    |
| 37   | 0       | 0       | 0    |       |     | 2    | 5       | 10   | 9         | 4       |          | 0        |       |
| 38   | 0       | 0       | 0    | 0     | 0   | 0    | 8       | 13   | 13        | 7       | 0        | 0        | 41    |
| 39   | 0       | 0       | 1    | 0     | 0   | 1    | 5       | 11   | 8         | 4       | 0        | 0        | 30    |
| 40   | 0       | 0       | 0    | 0     | 0   | 3    | 5       | 8    | 9         | 7       | 0        | 0        | 32    |
| 1941 | 0       | 1       | 0    | 0     | 0   |      | 3       | 7    |           |         | 0        | 0        |       |
| 42   | 0       | 1       | 0    | 0     | 0   | 0    | 6       | 18   | 8         | 1       | 2        | 0        | 36    |
| 43   | 0       | 1       | 0    | 1     | 1   | 2    | 14      | 19   | 18        | 6       | 0        | 5        | 67    |
| 44   | 0       | 0       | 0    | 1     | 0   | 1    | 9       | 19   | 20        | 7       | 0        | 1        | 58    |
| 45   | 0       | 0       | 1    | 0     | 0   | 1    | 13      | 15   | 16        | 5       | 0        | 0        | 51    |
| 1946 | 0       | 0       | 0    | 0     | 0   | 1    | 9       | 15   | 17        | 6       | 0        | 0        | 48    |
| 47   | 0       | 0       | 0    | 0     | 0   | 1    | 6       | 14   | 13        | 3       | 3        | 0        | 40    |
| 48   | 0       | 1       | 0    | 0     | 0   | 4    | 7       | 18   | 8         | 2       | 0        | 0        | 40    |
| 49   | 0       | 0       | 0    | 0     | 1   | 1    | 13      | 15   | 8         | 3       | 0        | 1        | 42    |
| 50   | 0       | 0       | 0    | 0     | 3   | 3    | 11      | 23   | 23        | 6       | 1        | 0        | 70    |
| 1951 | 0       | 0       | 0    | 0     | 1   | 1    | 9       | 19   | 13        | 16      | 2        | 1        | 62    |
| 52   | 0       | 1       | 0    | 1     | 1   | 4    | 11      | 17   | 22        | 5       | 1        | 0        | 66    |
| 53   | 0       | 0       | 0    | 0     | 0   | 5    | 15      | 12   | 20        | 5       | 0        | 0        | 57    |
| 54   | 1       | 3       | 0    | 0     | 0   | 3    | 14      | 23   | 14        | 4       | 3        | 0        | 65    |
| 55   | 0       | 0       | 0    | 0     | 3   | 6    | 15      | 21   | 17        | 2       | 0        | 0        | 64    |
| 1956 | 0       | 0       | 0    | 0     | 0   | 4    | 9       | 16   | 19        | 5       | 0        | 8        | 61    |
| 57   | 4       | 1       | 0    | 0     | 0   | 7    | 8       | 18   | 20        | 13      | 2        | 2        | 75    |
| 58   | 1       | 0       | 0    | 0     | 0   | 7    | 12      | 26   | 10        | 5       | 1        | 0        | 62    |
| 59   | 1       | 0       | 0    | 0     | 1   | 4    | 11      | 15   | 11        | 0       | 1        | 0        | 45    |

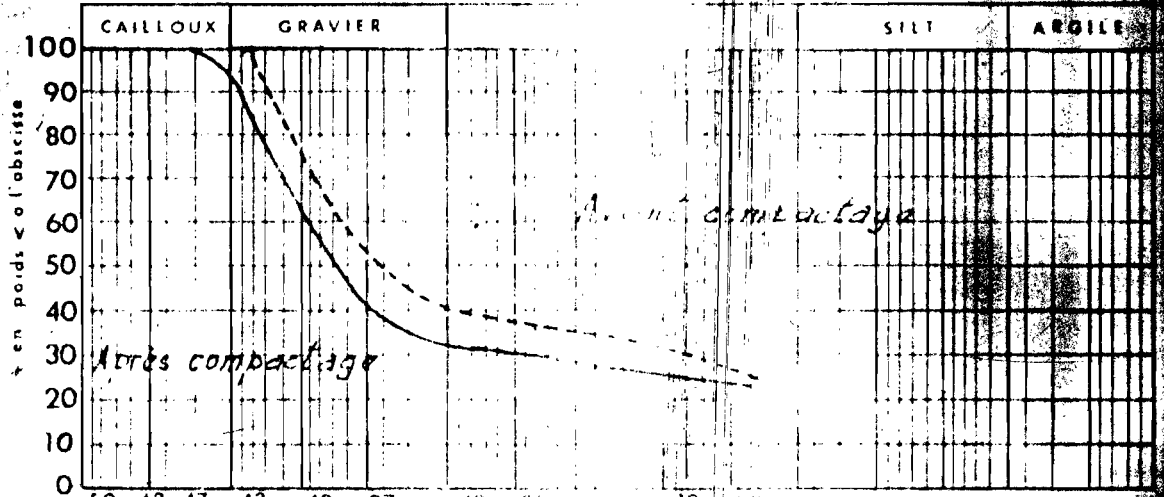


ROUTE BRETELLE DE PODOR  
 TRONÇON BRETELLE DQUE  
 P.K. PROFIL N° 150

ESSAIS D'IDENTIFICATION

| Ech. | Couche étudiée   | Limites de Sherg | ES | Classification |
|------|------------------|------------------|----|----------------|
| 1    | Avant compactage | 33,0             |    |                |
| 2    | Après compactage | 30,0             |    |                |

GRAPHIQUE N° 1  
 GRANULOMETRIE



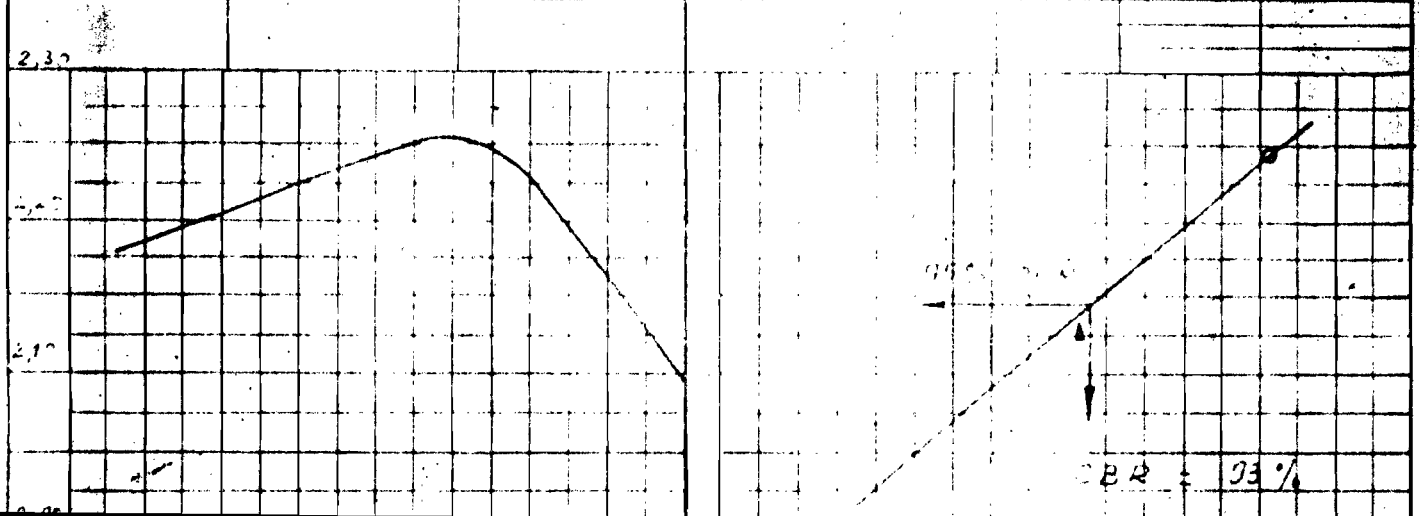
module A.F.N.O.R

dimensions en mm

désignation tamis A.S.T.M.

|     |    |    |    |    |   |      |       |       |         |         |         |
|-----|----|----|----|----|---|------|-------|-------|---------|---------|---------|
| 100 | 50 | 20 | 10 | 5  | 2 | 0,75 | 0,075 | 0,015 | 5 $\mu$ | 2 $\mu$ |         |
| 100 | 60 | 50 | 20 | 10 | 5 | 2    | 0,75  | 0,075 | 0,015   | 5 $\mu$ | 2 $\mu$ |

| ESSAI PROCTOR  |                        |                        | ESSAI PROCTOR (après 24 heures d'imbibition) |                  |                  |
|----------------|------------------------|------------------------|--|------------------|------------------|
| Couche étudiée | Densité sèche maximale | Teneur en eau optimale | W <sub>opt</sub>                             | W <sub>max</sub> | W <sub>sat</sub> |
| Couche de base | 2,255                  | 7,9                    | 2,277  | 2,128            | 2,300            |



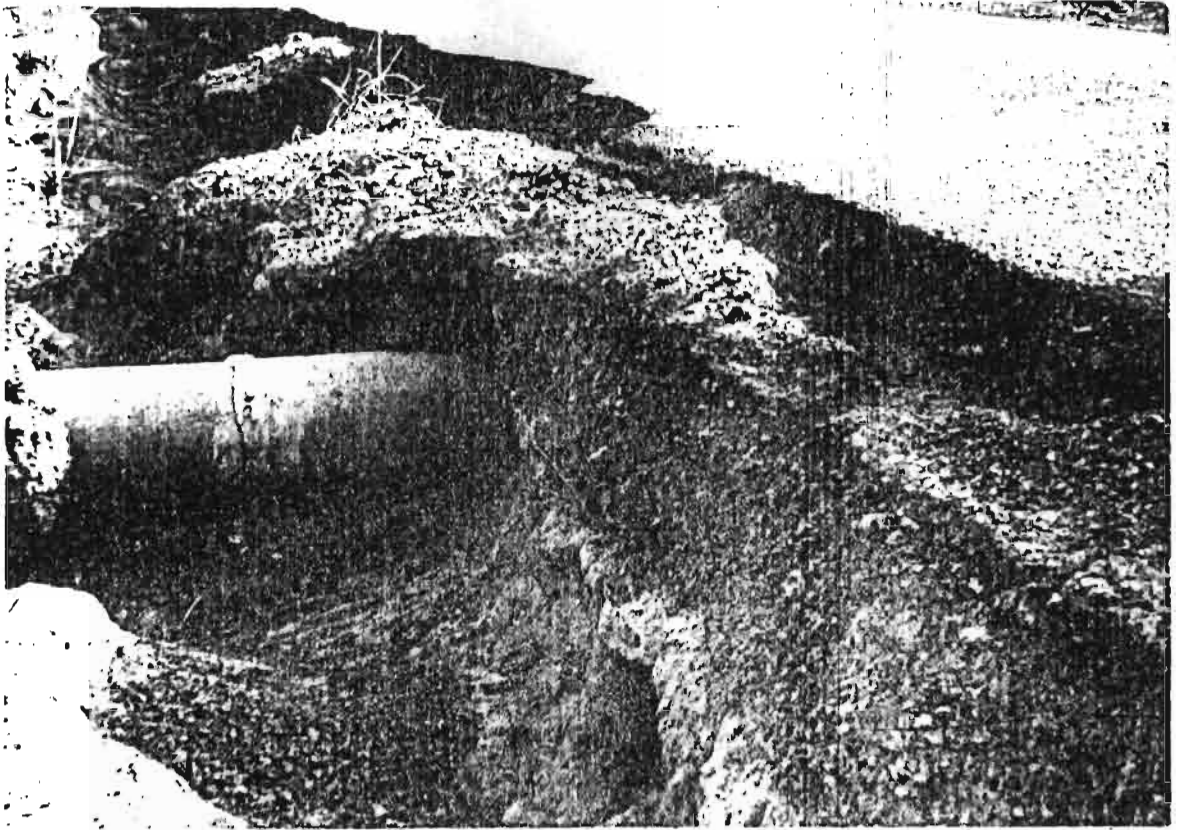
ANNEXE

— PHOTOS D'EROSION —

---

— EROSION PLUVIALE —

---



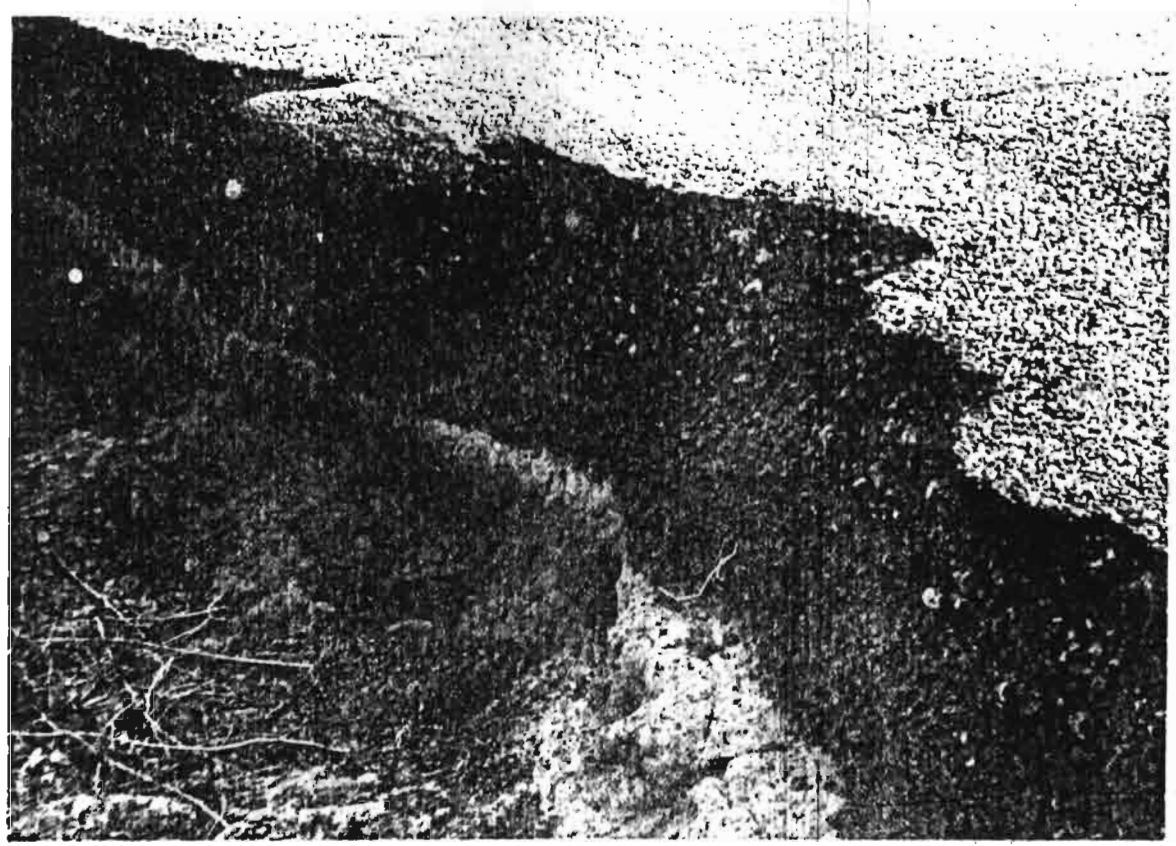
1- ROUTE ASPHALTEE - P. 1 - MAGASIN MILITAIRE

LOCALISATION : ponceau

DEFINITION : ravinement transversal

CAUSE PROBABLE : défaut d'entretien du ponceau  
 directement non basé en forme  
 de deux billons des eaux ruisselettes.

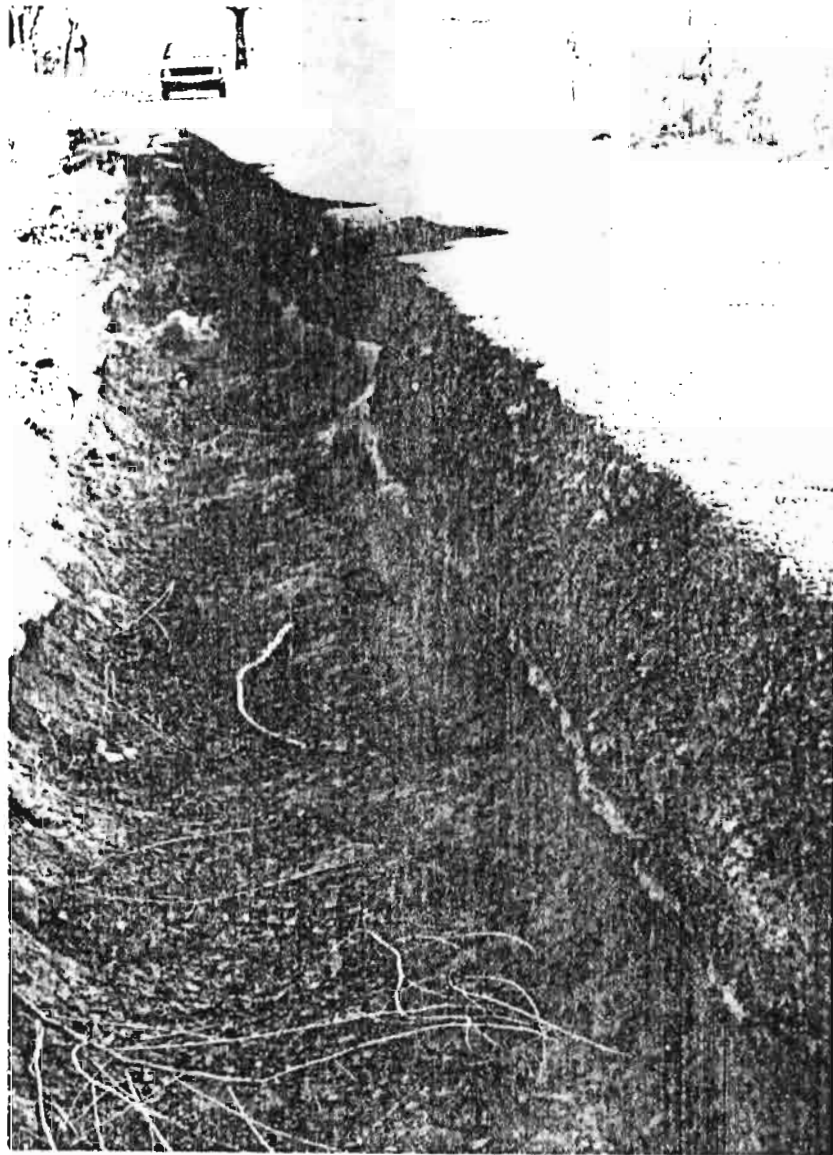
STRUCTURE : accidentement latéral  
 ( Epaisseur à 20 cm )



2 - ROUTE ASPHALTEE L.P.S. - MAGASIN MILITAIRE

- LOCALISATION : bord de chaussée
- DEFINITION : décollement de la couche d'usure (asphalte) dans les deux sens (transversal et longitudinal); Cavités rétrécies
- CAUSE PROBABLE : forte pente ; bassin de drainage déficient
- STRUCTURE : accidentement latéral





### 3- ROUTE ASPHALTEE E.P.T - MAGASIN MILITAIRE

LOCALISATION : bord de chaussée et chaussée

DEFINITION : détachement progressif de blocs de chaussée engendrant une dénivellation en forme de jassac (Vranovici)

CAUSE PROBABLE : forte pente, bassin de drainage déficient, largeur d'accotement réduite

STRUCTURE : accotement de terre/rochers



4 - ROUTE ASPHALTEE E.P.T. - MAGASIN MILITAIRE

LOCALISATION : de part et d'autre du ponceau

DEFINITION : ravinement dans l'accotement  
et érosion en forme de griffes  
du bord de chaussée

CAUSE PROBABLE ( voir 1-2 & 3 )

STRUCTURE : accotement latéral



5 - ROUTE ASPHALTEE CAMPUS (EPI) VERS TILES (à environ 300m du Campus)

LOCALISATION : ravin

DEFINITION : affouillement dans les couches de la chaussée : creux en profondeur (240cm)

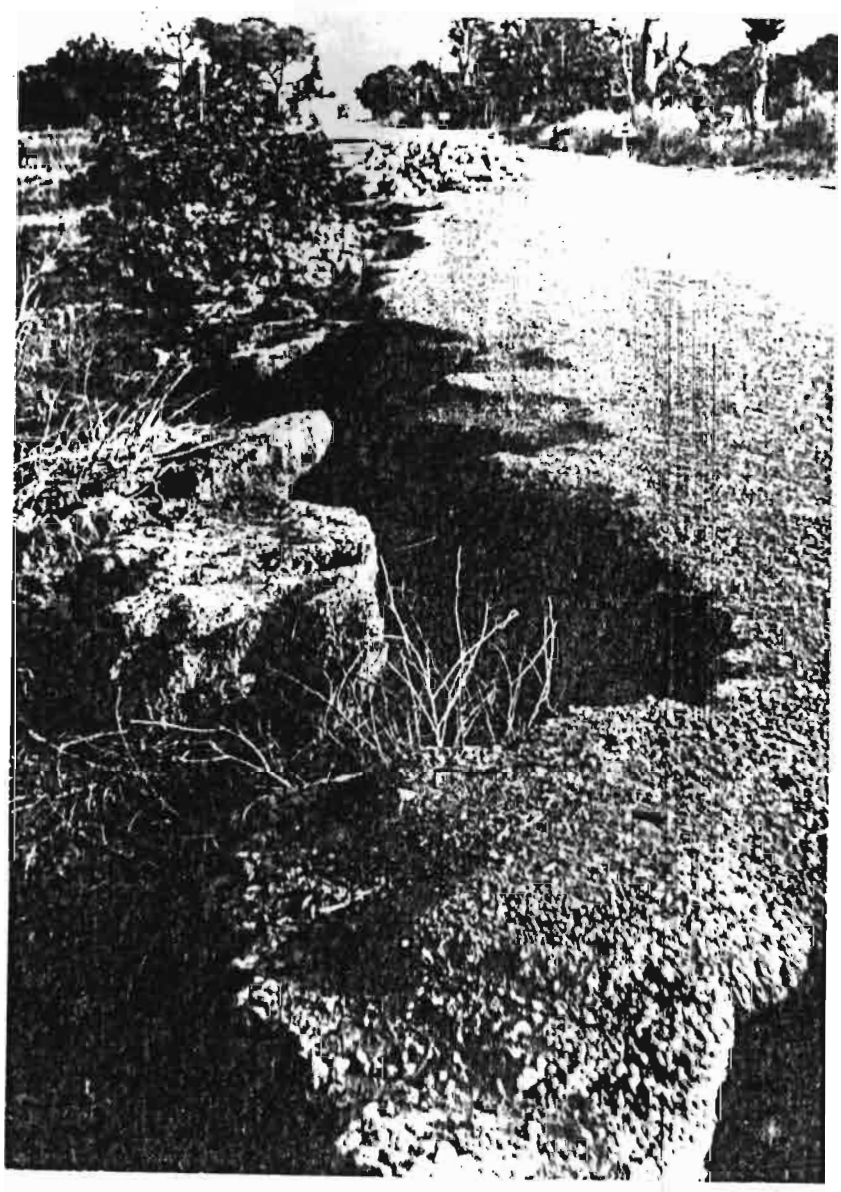
CAUSE PROBABLE : chd chaussée mal assurée  
accidentellement instantané déviation topog-  
bassin de drainage différent

STRUCTURE : Roue complètement en remblai (dans un ravin) bords en matériaux recyclés



6 - ROUTE ASPHALTEE CAMPUS (E.P.T.) VERS THIES

- LOCALISATION : ponceau
- DEFINITION : ravinement transversal
- CAUSE PROBABLE : défauts d'exécution des ailerons  
du ponceau
- STRUCTURE : sol d'assise (pilob forme en  
matériaux recuits



7- ROUTE EN TERRE (LATERITE) CAMPUS (EPT) VERS RN2 (devant la voie ferrée)

LOCALISATION : bord de chaussée

DEFINITION : cavités rentrantes, dans la chaussée

CAUSE PROBABLE : forte pluie

STRUCTURE : exclusivement latéritique



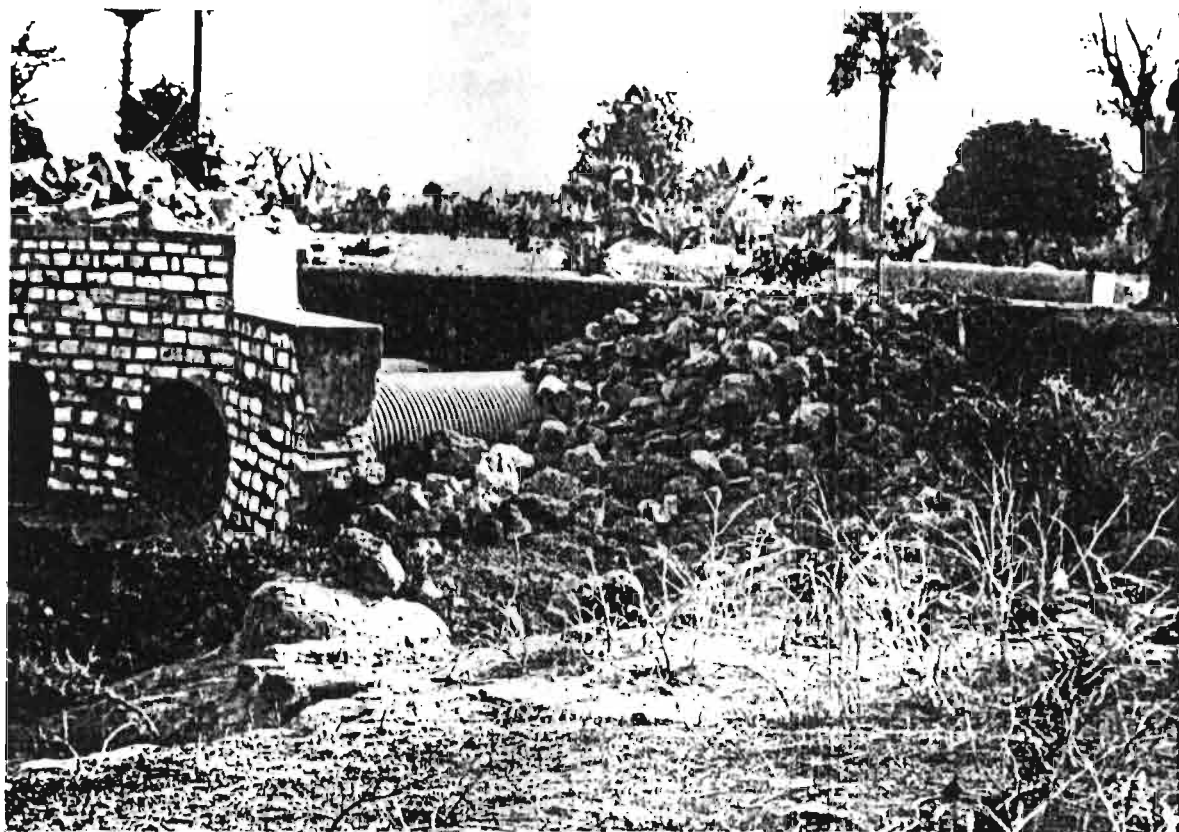
8. ROUTE EN TERRE (LATERITE) CAMPUS (EPT) VERS RN2

LOCALISATION : bord de chaussée

DEFINITION : destruction de la structure englobants  
réseau de pierres sèche près le bord  
de la route

CAUSE PROBABLE couches perméables  
forte pente

STRUCTURE accidentant en gradins avec une  
couche superficielle latéritique



9 - ROUTE EN TERRE (LATERITE) CAMPOUS (L.P.T) vers RN2 (pres d'un ruiss)

LOCALISATION : pontceau

DEFINITION : enlèvement de la couche en gabions recouvrant  
le pontceau au bord de la route

CAUSE PROBABLE : pent abrupte ; largeur d'accotement  
réduite ; gabions mal stabilisés

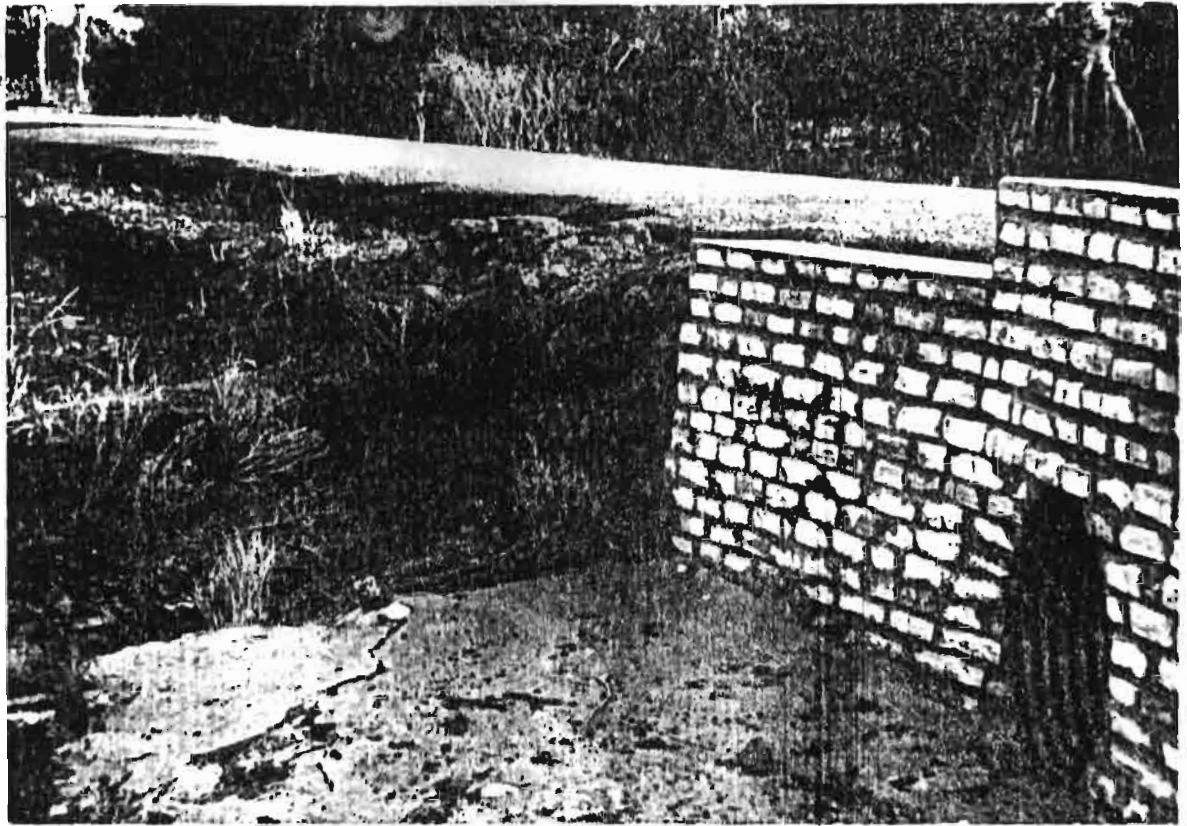
STRUCTURE : couche fabriqué en gabions



16. ROUTE EN TERRE (LATÉRITE) CAMPUS (LPT) VERS RN12

- LOCALISATION bord de chaussée
- DÉFINITION cavités plus ou moins rentrantes créées par enlèvement de blocs de latérite
- CAUSE PROBABLE forte pente, largeur d'accotement réduite ; déficit de cohésion de sol d'accotement
- STRUCTURE couches latéritiques





II - ROUTE EN TERRE (LATERITE) CAMPOS (L PIT) vers RN2 (près de la voie ferrée)

LOCALISATION

ponalvaux

DEFINITION

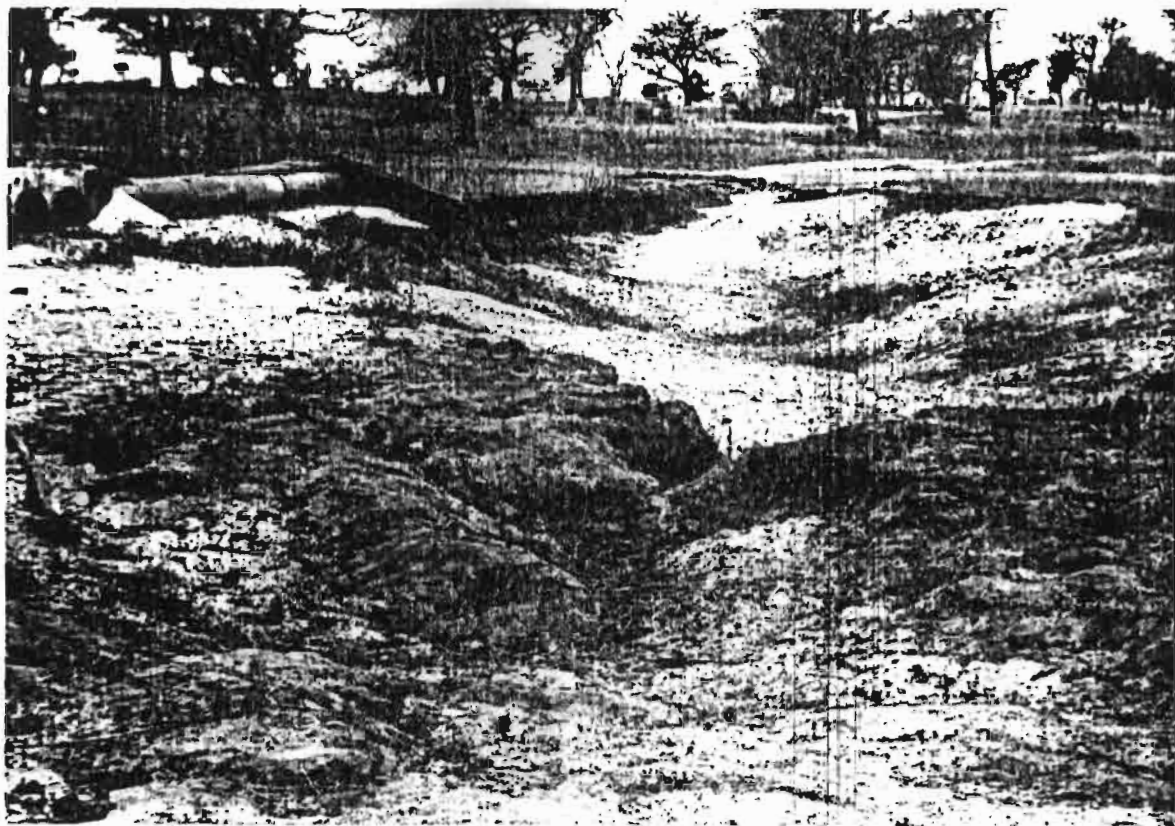
érosion, niches dues à la venue  
 la forte charge de versant  
 qui se crée sous

CAUSE PROBABLE

peute trop forte, largeur d'accélération  
 réduite gabions, bords

STRUCTURE

gabions + revêtement Sabotique



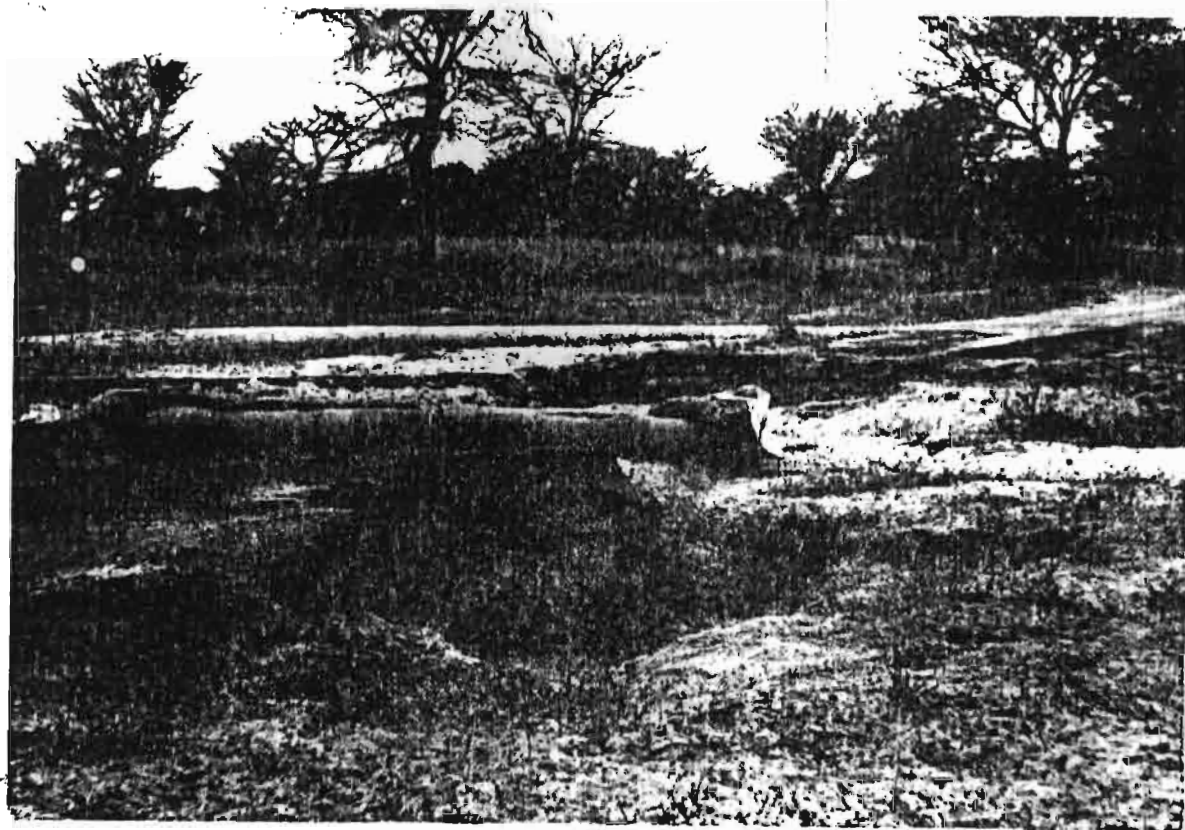
## 12- ROUTE EN TERRE DE BAIKAK

LOCALISATION : ponceau dans un ravin (cours de la rivière)

DEFINITION : remblai complètement transporté, ravine-ment en profondeur ; ponceau à ciel ouvert

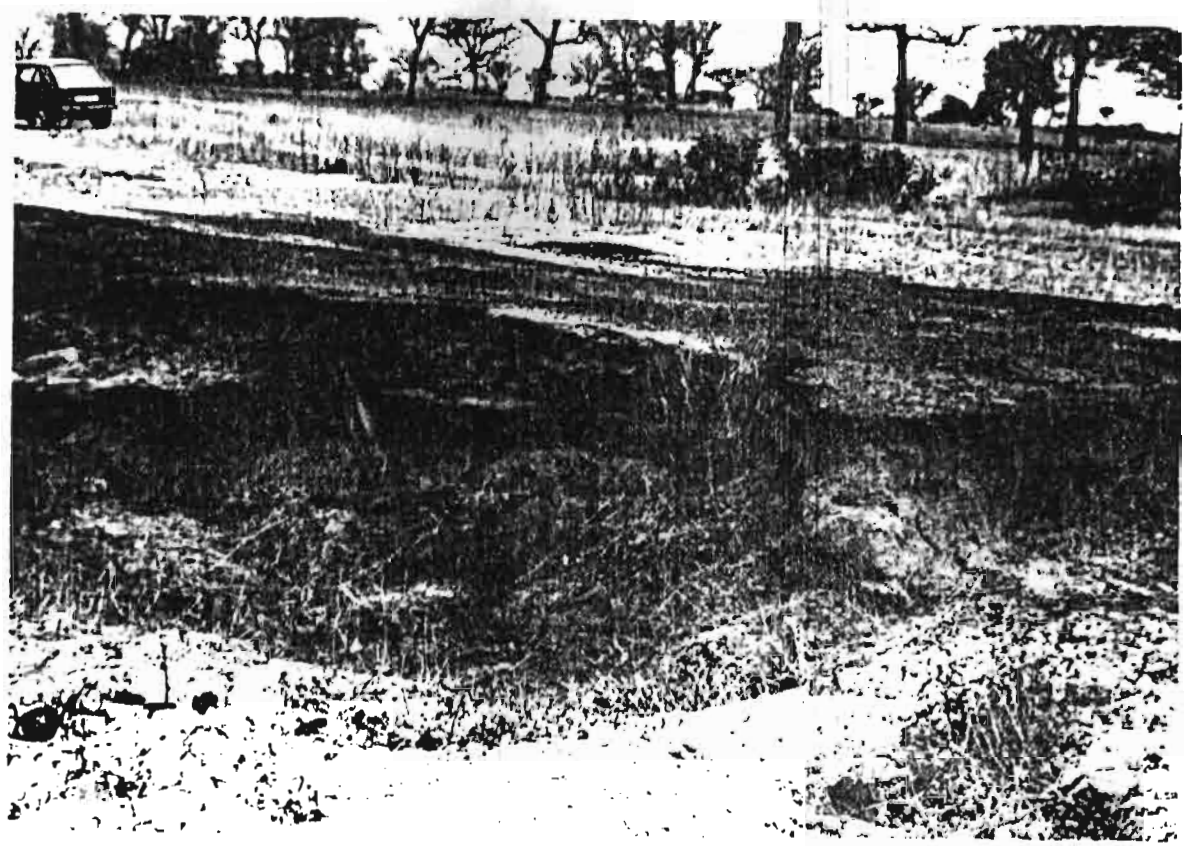
CAUSE PROBABLE : forte charge diversifiée du bassin de drainage ; matériaux très sensibles à l'érosion.

STRUCTURE : Couches non compactées, en matériaux vides (sable, limon) ; (accrétions incessantes, fait de pluie - forme naturel)



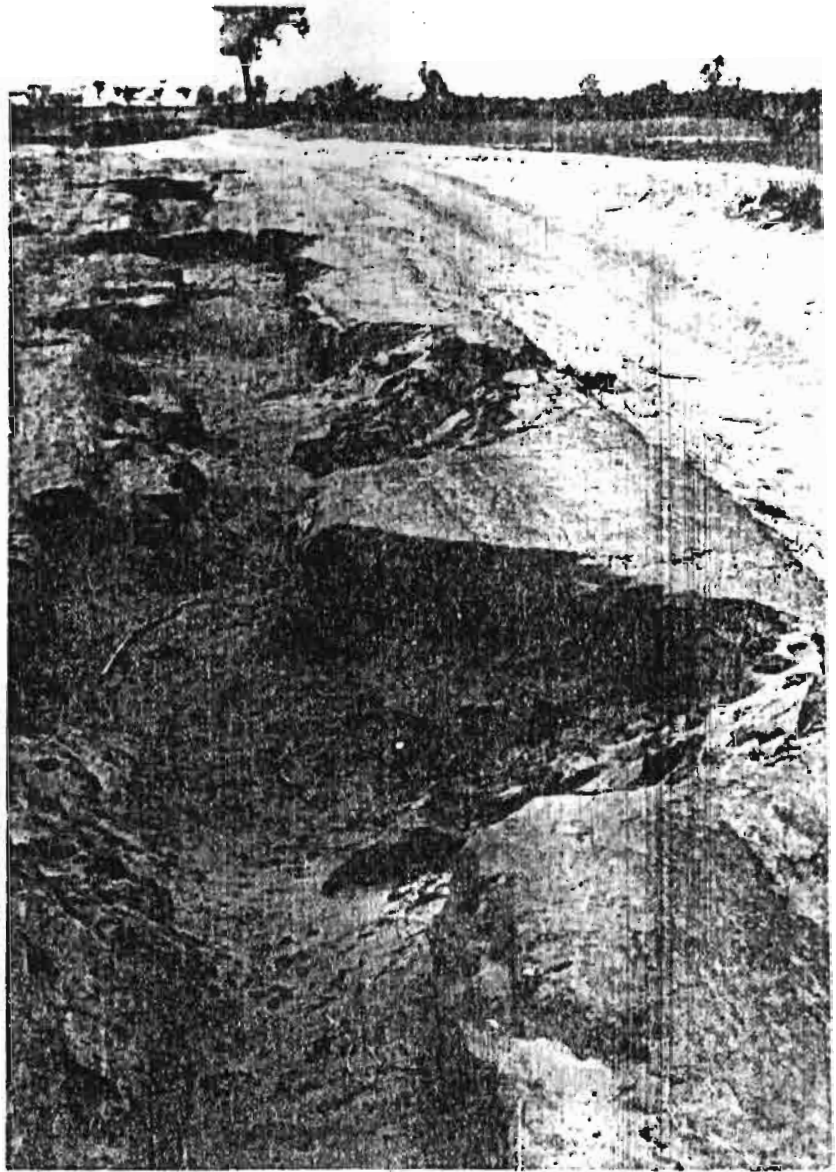
13- ROUTE EN TERRE DE BABRAK

Reprise de la photo 12. - montrant l'érosion complète  
de la route et le ponton en bois au-dessus.



14 - ROUTE EN TERRE DE BABAK

- LOCALISATION : bord de la route (chaussée)
- DEFINITION : érosion suivant la pente  
ravinement en profondeur
- CAUSE PROBABLE : forte pente longitudinale,  
accéléments inexistants  
matériaux très sensibles à l'érosion
- STRUCTURE : couches non compactées en sable siliceux,  
limons et argiles



15 - ROUTE EN TERRE DE BARAK

LOCALISATION bord de chaussée

DEFINITION : regroupement de fines régulières érosion en griffes

CAUSE PROBABLE accélérations inattendues, bords en matériaux non compacts et sable à l'érosion

STRUCTURE Couches en sable limoneux, siltées et argileux non compacts



16 - ROUTE BITUMEE TIVAOUANE - M'BORO (dans une pente)

LOCALISATION : bord de chaussée

DEFINITION : détériorations caractéristiques sur toute la longueur de la pente

CAUSE PROBABLE : pente longitudinale, absence de drains de chaussée, largeur d'accotement réduite

STRUCTURE : circulairement hémisphérique

EROSION EOLIENNE



17- ROUTE BITUMEE RUFISQUE - DAKAR (aux environs de THIROYE)

LOCALISATION . bord de chaussée

DEFINITION . phénomène d'arrachement par érosion éolienne  
à forte intensité superficielle.

CAUSE PROBABLE . accotement mal défini - bord de chaussée  
en sable meuble - stabilité insuffisante.

STRUCTURE . Sable d'accotement non compact





18 - ROUTE BITUMEE RUFISQUE - DAKAR (THIARROYE)

LOCALISATION bord de chaussée

DEFINITION érosion transversale en forme de  
faisceau évoluant vers l'axe de la  
chaussée

CAUSE PROBABLE (idem 17) - zone localisée\* sensible à

STRUCTURE ( " " ) l'action de l'harmattan

## BIBLIOGRAPHIE

- (1) A.S.E.C.N.A. - SERVICE METEOROLOGIQUE - REP. DU SENEGAL.  
 . — Normales climatologiques du Sénégal  
 Dakar, Juillet 1963
- (2) REPUBLIQUE FRANÇAISE - SECRETARIAT D'ETAT AUX  
 AFFAIRES ETRANGERES . — Techniques rurales  
en Afrique . 12. Conservation des sols au Sud  
 du Sahara . — Centre Technique Forestier  
 Tropical, 1969, réimpression 1970  
 Distribué par Eyrolles, Editeur PARIS
- (3) L. ODIER, R.S. MILLARD, PIMENTEL dos SANTOS, S.R.  
 MEHRA . — Routes dans les pays en voie de dé-  
veloppement . Conception - Construction - Entretien  
 2<sup>e</sup> édition, Editions Eyrolles, 61 bd Saint-  
 Germain - PARIS 6<sup>e</sup>, 1968

- (4) REPUBLIQUE DU SENEGAL - MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS, DES TRANSPORTS ET DES MINES - SERVICE METEOROLOGIQUE . — Le Climat du Sénégal - Données statistiques C.O.U. 551. 582. 2 (663) - Juillet 1960 - DAKAR  
BNIDA - 670-07-70
- (5) G. JEUFFROY . — Conception et Construction des Chaussées , Tome II 2<sup>e</sup> édition , Editions Eyrolles 1970 .
- (6) R. COQUAND . — Routes - Livre II , 5<sup>e</sup> édition , Editions Eyrolles , 1970
- (7) R. ALLARD et G. KIENERT . — Notions de Travaux Publics , 8<sup>e</sup> édition revue et corrigée . Editions Eyrolles , 1974 .
- (8) M. SIFFERT . — Catalogue de dégradations des Chaussées , 2<sup>e</sup> édition , SETRA - L.C.P.C. , Février 1972 .

- (9) LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSEES  
 . — Ciments et Chaux dans les Assises de Chaussées, édité sous le patronage du Syndicat National des fabricants de Ciments et de Chaux, 1968  
 Diffusion Eyrolles
- (10) SECRETARIAT D'ETAT AUX AFFAIRES ETRANGERES  
 . — Emploi des sols fins dans les Travaux routiers, C. I. B. T. P., distribué par Eyrolles, Juillet 1972
- (11) PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA) . — Soil - Cement Construction Handbook, 1969
- (12) A. CESAREO . — Entretien Mécanique des routes en terre en Côte d'Ivoire  
 Secrétariat d'état aux affaires étrangères, distribué par Eyrolles, 1970