

RAPPORTS DES LABORATOIRES

SÉRIE : *CONSTRUCTION ROUTIÈRE*
CR-12

Routes dans des régions en développement

Paul AUTRET

Octobre 1989

MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT, DU LOGEMENT, DES TRANSPORTS ET DE LA MER,
LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES

Conformément à la note du 04/07/2014 de la direction générale de l'Ifsttar précisant la politique de diffusion des ouvrages parus dans les collections éditées par l'Institut, la reproduction de cet ouvrage est autorisée selon les termes de la licence CC BY-NC-ND. Cette licence autorise la redistribution non commerciale de copies identiques à l'original. Dans ce cadre, cet ouvrage peut être copié, distribué et communiqué par tous moyens et sous tous formats.



(CC BY-NC-ND 4.0)



Attribution — Vous devez créditer l'Oeuvre et intégrer un lien vers la licence. Vous devez indiquer ces informations par tous les moyens possibles mais vous ne pouvez pas suggérer que l'Ifsttar vous soutient ou soutient la façon dont vous avez utilisé son Oeuvre.



Pas d'Utilisation Commerciale — Vous n'êtes pas autorisé à faire un usage commercial de cette Oeuvre, tout ou partie du matériel la composant.



Pas de modifications — Dans le cas où vous effectuez une adaptation, que vous transformez, ou créez à partir du matériel composant l'Oeuvre originale (par exemple, une traduction, etc.), vous n'êtes pas autorisé à distribuer ou mettre à disposition l'Oeuvre modifiée.

Le patrimoine scientifique de l'Ifsttar

Le libre accès à l'information scientifique est aujourd'hui devenu essentiel pour favoriser la circulation du savoir et pour contribuer à l'innovation et au développement socio-économique. Pour que les résultats des recherches soient plus largement diffusés, lus et utilisés pour de nouveaux travaux, l'Ifsttar a entrepris la numérisation et la mise en ligne de son fonds documentaire. Ainsi, en complément des ouvrages disponibles à la vente, certaines références des collections de l'INRETS et du LCPC sont dès à présent mises à disposition en téléchargement gratuit selon les termes de la licence Creative Commons CC BY-NC-ND.

Le service Politique éditoriale scientifique et technique de l'Ifsttar diffuse différentes collections qui sont le reflet des recherches menées par l'institut :

- Les collections de l'INRETS, Actes
- Les collections de l'INRETS, Outils et Méthodes
- Les collections de l'INRETS, Recherches
- Les collections de l'INRETS, Synthèses
- Les collections du LCPC, Actes
- Les collections du LCPC, Etudes et recherches des laboratoires des ponts et chaussées
- Les collections du LCPC, Rapport de recherche des laboratoires des ponts et chaussées
- Les collections du LCPC, Techniques et méthodes des laboratoires des ponts et chaussées, Guide technique
- Les collections du LCPC, Techniques et méthodes des laboratoires des ponts et chaussées, Méthode d'essai



Institut Français des Sciences et Techniques des Réseaux,
de l'Aménagement et des Transports
14-20 Boulevard Newton, Cité Descartes, Champs sur Marne
F-77447 Marne la Vallée Cedex 2

Contact : diffusion-publications@ifsttar.fr

www.ifsttar.fr



RAPPORTS DES LABORATOIRES

SÉRIE : *CONSTRUCTION ROUTIÈRE*
CR-12

Routes dans des régions en développement

Paul AUTRET

Octobre 1989

MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT, DU LOGEMENT, DES TRANSPORTS ET DE LA MER,
LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES

ROUTES DANS DES REGIONS

EN DEVELOPPEMENT

Avertissement au lecteur	4
Introduction	5
Pourquoi distinguer les routes dans les pays en développement ?	5
La route économique	6
La route non revêtue	11
Présentation	11
Classification administrative	13
Nature et texture de la chaussée	16
Dégradations	19
Entretien	30
Les ouvrages d'art	37
La route revêtue	41
Géométrie	41
L'usager	41
Le caractère tropical	45
Le revêtement	45
Les dégradations	47
L'entretien	51
Matériaux et techniques locales	51
Bibliographie	61

ROUTES DANS DES REGIONS EN DEVELOPPEMENT

Avertissement au lecteur

Le titre "*Routes dans des régions en développement*" indique que ce rapport n'a pas la prétention de traiter de tous les problèmes qui concernent **la** route dans **les** régions en développement. Initialement destiné à servir de support aux auditeurs du *Cours de Route de l'ENPC* ainsi qu'à ceux de l'ENTPE qui suivent la filière "*Infrastructures des transports*", dont une partie est consacrée aux pays en développement, il présente des routes dans des pays en développement dans le cadre très limité d'un exposé de quelques heures, en s'attachant aux différences qu'entraîne la notion de pays en développement par rapport à la route en France, telle qu'elle est enseignée dans d'autres cours.

Pour planter le décor, quoi de plus naturel que de se limiter à quelques thèmes ciblés et de s'appuyer sur des photographies prises au gré des voyages. Cependant, l'impression ainsi donnée peut être faussée par l'accumulation de mauvaises routes. Puissent cependant ces photographies inciter le lecteur à se rendre sur place où il pourra constater que, contrairement à un bon catalogue de voyages, il lui est présenté ici un tableau beaucoup plus sombre que nature.

ROUTES DANS DES REGIONS EN DEVELOPPEMENT

RESUME

Ce rapport, destiné à servir de support à des cours ou séminaires sur les routes dans les régions en développement, ne recouvre évidemment que très partiellement ce vaste problème ; il s'attache à souligner les différences de ces routes par rapport aux routes de la métropole française, par des éclairages particuliers sur quelques cibles jugées par l'auteur caractéristiques des pays en développement. Il traite successivement de la route économique, la route non revêtue, la route revêtue, et enfin des matériaux et techniques locales. Il comporte 200 photographies et illustrations empruntées aux nombreuses études réalisées par le SERI, Service International du LCPC, dans une quarantaine de pays étrangers, et est complété par une abondante bibliographie.

INTRODUCTION

Pourquoi distinguer les routes dans les pays en développement ?

Même en se limitant au seul concept routier, il n'existe pas plus de modèle unique de pays en développement qu'il n'existe de modèle unique de pays industrialisé. Nous ne nous risquons donc pas à définir pays en développement, pays industrialisé ou région en développement.

Quelques grandes particularités, différenciant la route en pays en développement et en pays industrialisés, viennent cependant immédiatement à l'esprit et sans rentrer dans les détails, on peut en évoquer quelques unes :

♦ **L'environnement géographique** : la zone intertropicale contient une majorité de pays en développement, ce qui fait que l'on assimile souvent l'un à l'autre. Si tous les pays en développement ne sont pas situés dans cette zone, il n'en demeure pas moins que ceux qui s'y trouvent sont marqués par ces climats équatoriaux et tropicaux qui connaissent des régimes hydriques particuliers, bien souvent extrêmes, avec des pluviométries surabondantes ou au contraire, des sécheresses dramatiques. Ces climats ont également engendré des matériaux particuliers, résultats de processus d'altération typés : les graveleux latéritiques, les tufs et encroûtements calcaires par exemple.

♦ **L'environnement administratif et physique** : La plupart des pays en développement ont calqué leur administration des Travaux Publics sur un modèle de pays industrialisé - celle de leur ancien colonisateur ou celle du pays qui a le plus contribué à leur développement dans ce secteur. Ces administrations se caractérisent souvent par une forte présence de cadres supérieurs compétents formés dans les pays industrialisés et une insuffisance des échelons intermédiaires de cadres de maîtrise.

La réglementation est, elle-même, issue de situations historiques ; tel est le cas du choix de l'essieu légal de référence de 13T dans des pays africains francophones ou de 18 kips (8,2 T) dans d'autres pays africains anglophones ; de ce fait, elle n'est pas toujours bien adaptée notamment dans le choix de normes de matériaux.

Dans de nombreux pays en développement, entreprises et bureaux d'études sont étrangers, tout comme les financements qui proviennent, pour l'essentiel, des bailleurs de fonds internationaux, qui impriment leurs marques sur les travaux. Parmi ceux-ci, on peut citer le **FAC** (Fond d'Aide à la Coopération Paris - France), le **FED** (Fonds Européen de Développement dont le siège est à Bruxelles), la **BAD** (Banque Africaine de Développement dont le siège est à Abidjan), **ADB**

(Banque Asiatique de Développement dont le siège est à Manille) et bien sûr, **la Banque Mondiale** (BIRD dont le siège est à Washington) qui a un volume de prêts routiers annuels de l'ordre de 1,5 milliard de dollars.

Cette situation, même si elle est aujourd'hui en évolution, a eu et a encore des conséquences dans de nombreux domaines : structure des études, choix des techniques, passation des marchés, sous-traitance, absence de politique ou de technique routières personnalisées et enfin et peut-être surtout, absence du suivi du comportement des chaussées et des techniques, car dans un pays démunie de cadres, d'une part le temps de séjour dans un poste est faible, d'autre part l'analyse et le suivi du comportement des techniques ne sont pas prioritaires.

S'il fallait définir les dix commandements d'une administration des Travaux Publics d'un pays en développement, les quatre premiers seraient sans doute : **savoir organiser** (et donc s'organiser); **savoir choisir** ce qui est déléguable de ce qui ne l'est pas; **savoir définir** les objectifs (et donc savoir rédiger les termes de référence des études et des marchés) enfin , **savoir thésauriser et exploiter** l'expérience (et donc définir ses propres normes).

♦ **La fonction de la route** : une route dans un pays en développement a une fonction de désenclavement et constitue bien souvent l'itinéraire unique pour joindre deux pôles car la densité du réseau est plus faible que celle d'un pays industrialisé. Chaque itinéraire est donc un élément vital du développement et chaque ouvrage de franchissement est indissociable de l'itinéraire. Le trafic est marqué par un déséquilibre au profit des poids lourds (parfois plus de 50 % du total) et des transports en commun, ainsi que par l'évacuation saisonnière des produits.

Quiconque est appelé à travailler dans un pays en développement découvre très vite les particularités qui viennent d'être esquissées ici, et apprend à s'y

accommoder. Sans doute ne convient-il pas de trop s'y attarder, d'autant, comme cela a été dit en préambule, qu'il n'y a pas de profil type de pays en développement. Il est par contre un concept de route en pays en développement, assez tenacement ancré dans les esprits, sur lequel il convient de s'arrêter quelque instant : on a associé souvent route en pays en développement et route économique, route économique et route pas chère ou plus exactement route à faible investissement initial.

Route économique

S'il est vrai qu'un niveau faible des ressources, associé à une très grande diversité des besoins ainsi qu'à un trafic faible ou modéré, conduit à réaliser des routes à faible investissement dans un pays en développement, il serait faux de réduire le concept de route économique au seul niveau de l'investissement initial , c'est-à-dire, au coût de construction. Il serait tout aussi erroné de croire que les routes économiques sont l'apanage des pays en développement et il est difficile d'imaginer un Directeur des Routes d'un pays industrialisé choisissant de construire des routes chères qui durent peu de temps.

On peut considérer que le prix d'une route sur une période donnée (10 ans, 15 ans...) se décompose en $P_t = P_i + P_e + P_u$; **P_t** étant le prix total, **P_i** l'ensemble des investissements nécessaires à la construction, **P_e** le prix de l'entretien sur la période considérée et **P_u** la dépense des usagers sur cette même période. Le **SERI** (Service des Etudes et Recherches Internationales du LCPC) a coordonné, en 1985, une étude de travail de fin d'année d'élèves ingénieurs portant sur une quinzaine de projets routiers réalisés en France et à l'étranger, d'où sont issus les exemples qui illustrent ce propos.

Le trafic supporté par une route de pays en développement est souvent faible. Le coût d'investissement (**P_i**) est une fonction croissante du

trafic comme cela apparaît sur le graphique 1. Quand le trafic est faible, l'investissement est faible d'où l'idée fausse qui consiste à assimiler route économique et faible investissement alors que, entre deux variantes d'un même projet, ce n'est pas forcément celle qui présente le plus faible investissement qui est la plus économique.

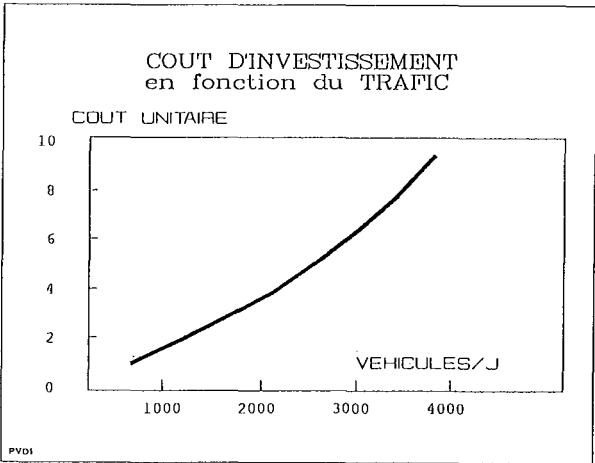


Figure 1 : Coût d'investissement en fonction du trafic - ETUDE SERI 1985.

Rechercher la solution la plus économique reviendra à minimiser le prix total (Pt) en notant toutefois que ses trois composantes (Pi, Pe et Pu) ne sont pas des variables indépendantes: diminuer l'une entraîne une augmentation d'une autre ou des deux autres, tandis que , par ailleurs, elles peuvent également être tributaires de facteurs dont la maîtrise échappe au projet.

La solution à la recherche d'un faible coût total, dépendra d'hypothèses plus ou moins bien cernées et l'essentiel est donc de connaître leur influence et leur degré de sensibilité afin de savoir sur quel poste faire des économies à bon escient. La tendance naturelle consiste, par exemple, à accorder plus d'importance

au dimensionnement d'une chaussée d'autoroute qu'à celui d'une chaussée à faible trafic, et pourtant, comme le montre la figure 2, la part relative du coût de la chaussée par rapport au coût total de l'investissement est plus importante pour les chaussées en pays en développement. S'il est normal , compte tenu des risques encourus et des enjeux financiers, d'attacher une grande importance à la première (et pourquoi pas, de la surdimensionner) , il est tout aussi important de faire la chasse aux centimètres superflus dans le second.

Si l'on rajoute que dans le second exemple, le coût du revêtement, composé d'un enduit superficiel, représente environ la moitié du coût de la chaussée ou le quart de l'investissement total, on voit combien il peut être tout aussi important de s'attacher à soigner la qualité de cet enduit que celle d'un enrobé d'autoroute.

Type	Zone	Trafic	Coût d'investissement	
			Chaussée	Reste
Route PED	ASIE	20/2000 j	61 %	39 %
Route PED	AFRIQUE	1000 j	57 %	43 %
CD	FRANCE	20000	38 %	62 %
Autoroute	FRANCE		23 %	77 %
Aut. urb.	FRANCE		10 %	90 %

Figure 2 : Part de la chaussée dans le coût d'investissement - Etude SERI 1985.

En ce qui concerne le coût à l'usager, **Pu**, il est toujours plus faible sur les routes à faible trafic d'autant que l'on adopte de surcroît des périodes de calcul plus courtes pour la durée de vie de l'ouvrage. Il représente, cependant dans tous les cas de figure, une part non négligeable du coût total comme on peut le voir sur la figure 3. Toutefois, les niveaux de service

ne sont pas identiques : le coût unitaire de fonctionnement d'un véhicule varie dans le sens inverse des prix indiqués dans ce tableau.

Type	Zone	Trafic	Coût total		
			Pi	Pe	Pu
Route PED non revêtue	AMERIQUE du Sud	50 u/j	29 %	9 %	62 %
Route PED revêtue	AFRIQUE	70 u/j	13 %	11%	76%
Moy. 6 cas de CD et RN	FRANCE	2.000	9,5 %	5,5 %	85 %

Figure 3 : Répartition relative des coûts - calcul fait sur dix ans, étude LCPC-SERI 1985.

Le coût à l'utilisateur (Pu) est composé d'un terme fixe lié aux caractéristiques du projet et donc au prix d'investissement dont on notera, sur la figure 4, à titre d'illustration, l'influence du tracé sur la vitesse de base qui ressort d'une étude faite au Kenya dans le cadre de la mise au point du modèle HDM de la Banque Mondiale.

Figure 4 : Influence des caractéristiques géométriques sur la vitesse des véhicules. Source TRRL

Incidence du Tracé	Vitesse de base	
	PL	VL
25 m/km de pente supplémentaire	- 22 %	- 14 %
100° /km de courbure	- 7km/h	- 13 km/h

Il est également composé d'un terme variable lié à l'état de surface de la chaussée et donc à l'entretien . On donne, dans la figure 5, à titre d'exemple, l'influence de la qualité du revêtement sur le coût d'exploitation d'un Poids lourd ; cet exemple est issu du rapport français au Congrès de l'AIPCR à Bruxelles en 1987 et a été fourni par RVI (Renault Véhicules Industriels).

Camion modèle TLM 13	Avant	Après
Pièces détachées au km	1,75	1
Coût annuel vidange /Graissage	2	1
Durée des pneumatiques	0,75	1
Espérance de vie du véhicule	0,5-0,6	0,7-1
Durée de rotation	2	1
Charge utile	0,88	1
Consommation Gazole	1,2	1

Figure 5 : Coût d'exploitation d'un camion TLM 13 avant et après bitumage Route Tahua-Arlit et bretelle In Gall (Niger) Source RVI 1986.

Le phénomène est sans doute moins sensible sur les revêtements en bon état ; néanmoins il existe, comme on peut le voir sur le graphique de la figure 6, qui récapitule les résultats d'une étude effectuée sur des routes de la région parisienne :

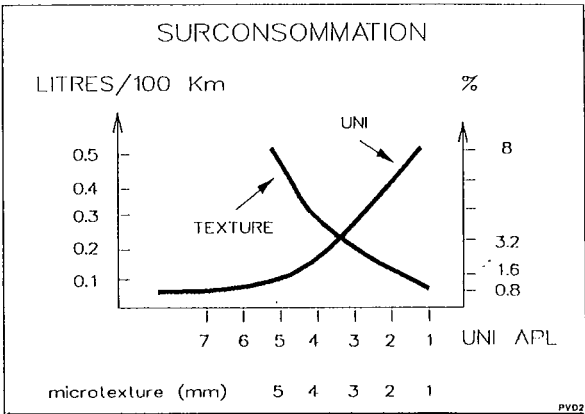


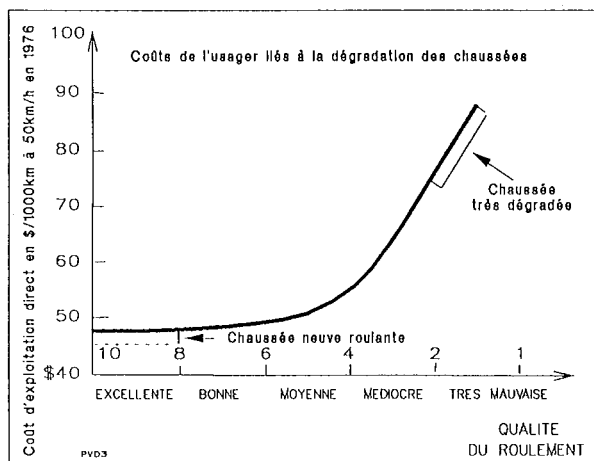
Figure 6 : On constate que des défauts d'uni, diminuant la note APL de 6 à 1 (il s'agit d'une moyenne des notes obtenues à l'APL 72 dans le domaine des courbes et moyennes longueurs d'ondes) engendrent une surconsommation de carburant de l'ordre de 0,5 l/100 km, soit environ 8 % de plus dans le cas du véhicule testé. (Toutes choses égales par ailleurs). Source LCPC - 1986

On voit donc apparaître deux sources d'économies pour réduire le coût total d'une chaussée :

♦ **Réduction des investissements** : dans un pays en développement, le coût de la chaussée occupe une part majoritaire du coût total. Ce coût est lui-même lié de manière significative aux prix des matériaux, dans lesquels les coûts de transport sont prépondérants. L'objectif est donc de diminuer les coûts de transport en faisant largement appel aux matériaux disponibles le long du tracé (au besoin en étudiant le tracé en conséquence) et en veillant à ne pas s'enfermer dans des normes par trop sévères qui ne seraient pas indiscutablement nécessaires.

♦ **Réduction du coût de fonctionnement des véhicules** : le terme fixe est lié aux investissements initiaux; pour le réduire il faudra augmenter ces derniers. Le terme variable qui est lié à l'état de surface, peut être réduit à condition d'effectuer correctement les opérations d'entretien.

Figure 7 : Exemple de variation du coût de fonctionnement d'un véhicule en fonction de l'état de surface de la chaussée.
(OCDE - 1987 - Système de gestion des chaussées)



Statistiques routières de la Banque Mondiale issues du document de 1988 "La détérioration des routes dans les pays en développement - Causes et remèdes".

LEGENDE LISTE DES PAYS DANS CHAQUE REGION

1. Afrique orientale et australe

19 pays : Botswana
Burundi
Comores
Djibouti
Ethiopie
Kenya
Lesotho
Madagascar
Malawi
Maurice
Rwanda
Somalie
Soudan
Swaziland
Tanzanie
Ouganda
Zaïre
Eambie
Zimbabwe

2. Afrique de l'Ouest

a) Tous pays (20) :
Bénin
Burkina Faso
Cameroun
République centrafricaine
Tchad
Congo
Côte d'Ivoire
Guinée Equatoriale
Gambie
Ghana
Guinée
Guinée-Bissau
Libéria
Mali
Mauritanie
Niger
Nigéria
Sénégal
Sierra Leone
Togo
b) Sauf le Nigéria (19 pays)

3. Asie de l'Est et Pacifique

a) Tous pays (7)
Chine
Indonésie
Corée, Rép. de
Malaisie
Papouasie - Nouvelle Guinée
Philippines
Thaïlande
b) Sauf la Chine (6 pays)

4. Asie du Sud

a) Tous pays (6)
Bangladesh
Birmanie
Inde (réseau national)
Népal
Pakistan
Sri Lanka
b) Sauf l'Inde (5 pays)

5. Moyen-Orient et Afrique du Nord (9 pays)

Algérie
Chypre
Egypte, Rép. arabe d'
Maroc
Oman
Syrie
Tunisie
Yémen, Rép. arabe du
Yémen, Rép. dém. pop. du

6. Amérique latine et Caraïbes

a) Tous pays (19)
Argentine
Barbade
Belize
Bolivie
Brésil (réseau fédéral)
Chili
Colombie
Costa Rica
Rép. dominicaine
Equateur
Guatemala
Haïti
Honduras
Jamaïque
Mexique (réseau fédéral)
Panama
Paraguay
Pérou
Uruguay
b) Sauf le Brésil et le Mexique (17 pays)

REGIONS	1	2	3	
	a	b	a	b
Nombre de pays	19	20	19	7
Longueur du réseau routier 10 ³ km	589,5	430,9	322,9	1539,6
dont revêtu 10 ³ km	46,6	53,5	32,4	276,9
% du réseau revêtu	7,9	12,4	10,0	18,0
Routes principales				
Long. totale 10 ³ km	190,5	144,5	115,4	451,0
% par rapport au total du réseau	32,3	33,5	35,7	29,3
Longueur revêtue 10 ³ km	46,6	53,5	32,4	276,9
% revêtu	24,5	37,0	28,1	61,4
Longueur non revêtue 10 ³ km	143,9	91,0	83,0	174,1
% non revêtu	75,5	63,0	71,9	38,6
Routes principales revêtues				
Etat (%) bon	42	52	45	20
Etat (%) passable	32	23	28	59
Etat (%) mauvais	26	25	27	21
Routes principales non revêtues				
Etat (%) bon	42	20	22	41
Etat (%) passable	30	36	38	34
Etat (%) mauvais	28	44	40	25
Valeur de remplacement du réseau principal 10 ⁹ dollars				
Routes revêtues	11,9	13,1	7,9	83,0
Routes non revêtues	5,8	3,6	3,3	7,0
Total	17,7	16,7	11,2	90,0
% du PNB	34,4	16,0	32,8	15,0

4		5	6		total	
a	b		a	b	a	b
6	5	9	19	17	80	75
1683,3	183,3	286,5	2218,1	689,1	6747,9	2695,9
523,5	50,2	93,1	251,6	85,7	1245,2	412,0
31,1	27,4	32,5	11,3	12,4	18,5	15,3
217,1	89,6	136,2	511,7	193,7	1650,9	922,0
12,9	48,9	47,5	23,1	28,1	24,5	34,2
173,0	50,2	93,1	251,6	85,7	894,8	412,0
79,7	56,0	68,4	49,2	44,3	54,2	44,7
44,1	39,4	43,0	260,0	107,9	756,2	510,0
20,3	44,0	31,6	50,8	55,7	45,8	55,3
19	14	39	44	33	31	36
45	46	35	32	36	43	36
36	40	26	24	31	26	28
6	4	28	24	22	30	29
39	39	44	43	43	37	38
55	57	28	33	35	33	33
31,1	9,0	26,1	65,4	22,3	230,6	108,4
1,8	1,6	1,7	10,4	4,3	30,3	20,4
32,9	10,6	27,8	75,8	26,6	260,9	128,8
12,8	16,9	20,0	13,0	13,4	15,1	16,8

LA ROUTE NON REVETUE

PRESENTATION

Le revêtement est l'un des tous premiers paramètres auquel on pense pour différencier les routes entre elles. **Route revêtue, route non revêtue**, dans l'esprit de beaucoup, cela correspond à un niveau de service. Toutefois, chacune de ces deux catégories est trop large ou trop vague pour définir un niveau de service. Route non revêtue, cela peut aller de la piste naturelle à peine carrossable, à la route élaborée à vitesse de base très élevée : des aménagements de diverses sortes font que l'on maîtrise ou non la possibilité de circuler. Il est donc nécessaire de pousser plus avant la classification et ce concept de maîtrise ou de non maîtrise de la circulation permet de distinguer trois niveaux dans la hiérarchie des routes non revêtues.

◊ **La piste naturelle** : comme son nom l'indique, il s'agit d'une piste qui n'a fait l'objet d'aucun traitement particulier ; la circulation se fait à même le sol, en empruntant le tracé le moins mauvais parmi ceux qui ont été tracés par les véhicules précédents ; elle est entièrement dépendante des conditions naturelles du site. La piste naturelle existe et rend des services, comme on le montre sur les photographies 1 et 2, mais on en voit immédiatement les limites : l'absence de chaussée et l'absence d'aménagement tels que les fossés font que l'on maîtrise ni la possibilité de circuler, ni le temps de parcours.

◊ **La route en terre** : le refus d'être entièrement dépendant des conditions naturelles conduit à améliorer la piste en lui donnant un tracé et en traitant les points difficiles, par exemple en réalisant quelques travaux d'assainissement ou quelques ouvrages de franchissement. Cependant, point de chaussée, sauf peut-être sur quelques points singuliers infranchissables sur le terrain naturel : d'où le nom de route en terre. Sur ce type de route, la circulation est le plus souvent temporaire : elle correspond à une activité agricole liée au cycle de production et d'évacuation des récoltes, donc saisonnière.

Sur ce type de route, il est préférable d'utiliser des véhicules tous terrains. Pour l'usager, l'aspect est parfois peu différent du cas précédent. Dans certains cas, l'absence d'entretien peut devenir dangereux : sur l'exemple de la photographie 3, il était préférable de rouler sur le terrain naturel plutôt que sur la route, en raison de la présence de tranchées transversales assassines créées par des buses effondrées.

◊ **La route élaborée non revêtue** : plusieurs noms ont été donnés à ce type de route. En Français, elle pourrait s'appeler "la route en matériaux sélectionnés", en Anglais, la "Gravel Road". Son objectif est d'assurer une circulation permanente dans des conditions décentes. Permanente, cela veut dire que la route est accessible quotidiennement aux véhicules ordinaires et que la circulation n'est qu'exceptionnellement coupée (crues d'oued ou de coris, qui peuvent être traitées par des passages submersibles ..., averses d'orage tropicaux, etc ...). Dans des conditions décentes, cela veut dire que circuler sur cette route, n'est pas une expédition dans laquelle on ignore le temps que l'on mettra et le nombre de véhicules qui succomberont.

Les exemples illustrés sur les photographies 4 (Asie) 5 (Amérique du Sud) et 6 (Afrique) montrent des chaussées construites selon des normes tout-à-fait équivalentes à celles de beaucoup de route revêtues.

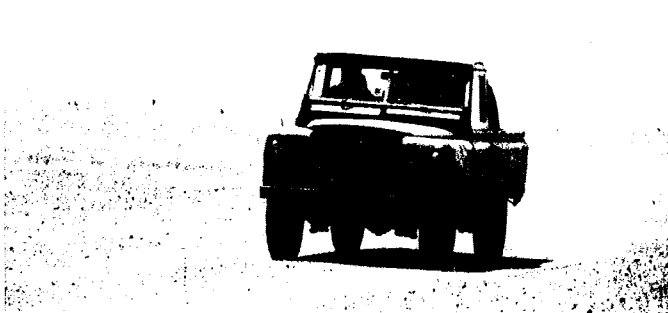
Cette première classification, à l'intérieur des routes non revêtues, correspond tout juste à une clarification de langage de nature à éclairer l'usager sur ce qui l'attend. Elle est insuffisante pour le gestionnaire du réseau à qui elle n'apporte guère d'éléments chiffrés lui permettant d'en faire la gestion. La gestion d'un réseau et en particulier la gestion de l'entretien répond à la fois à des critères administratifs et techniques, et ceci a donc tout-à-fait naturellement conduit à rechercher une classification administrative et technique.



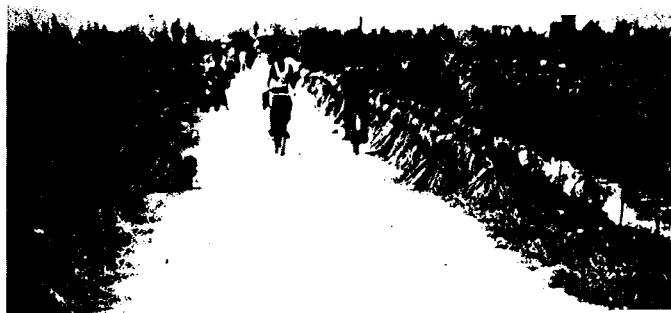
1. piste naturelle en sable dans un Emirat du Golfe Persique



2. piste militaire sur cailloutis de piémont au Sahara



3. route en terre au Niger - l'ancienne route Agadez-Zinder



4. route rurale élaborée à Tai Ping en Chine (province de Guangzu) chaussée en macadam fermé à l'arène

5. route élaborée en Colombie (région de Popayan) - chaussée en grave alluvionnaire de la Cordillère



route élaborée au Gabon .6 (forêt des abeilles) chaussée en graveleux latéritique



CLASSIFICATION ADMINISTRATIVE

La quasi-totalité des pays, qu'ils soient industrialisés ou en développement, possède sa propre classification de son réseau routier, toutes routes confondues, qui découle généralement du rattachement de la route à l'unité administrative qui la gère. Par exemple, à la notion d'Etat, de Province ou de Département correspondra la Route Nationale ou Fédérale, Provinciale ou Départementale, etc.... Arrêtée à ce seul principe, cette classification n'apporte que peu de renseignements quantifiant l'importance de la route et c'est pour cela qu'elle est le plus souvent complétée par d'autres facteurs tels la largeur ou le nombre de voies dans le cas des chaussées revêtues par exemple.

Dans le cas des chaussées non revêtues, la hiérarchie s'établit autour de quelques classes (catégories A, B, C par exemple) qui découlent d'un mixage entre plusieurs facteurs, tels :

- . *la fonction et l'importance de la route* : hiérarchie par le volume ou le type de trafic,
- . *les normes d'aménagement concernant le tracé et la géométrie, les ouvrages et l'assainissement, la chaussée* : hiérarchie par le coût de construction, la vitesse de base,
- . *le niveau de service offert à l'usager* : hiérarchie par le coût et la fréquence de l'entretien.

Cette classification est la base de la gestion d'un réseau non revêtu qui peut dans un pays en développement englober plusieurs milliers de km et drainer un très fort pourcentage du trafic engendrant le développement économique de ce pays.

Chacun des facteurs utilisés dans ce genre de classification peut varier dans de larges proportions. Par exemple :

Trafic : de quelques véhicules par jour à quelques centaines.
Vitesse : de 25 à 100 km/h
Entretien : de 1 fois par an à 1 fois par semaine
Fonction : de la piste saisonnière à l'axe national vital.

Les photographies suivantes illustrent différents niveaux de la hiérarchie de ce type de classification, en allant du plus faible vers le plus élevé. Les premières (7 et 8) correspondent à des routes en terre supportant moins de dix véhicules par jour avec une vitesse de base de 25 km/h et un entretien biannuel (avant et après la période de cueillette ou la saison des pluies par exemple). Les suivantes (9 et 10) sont situées à un niveau intermédiaire : la chaussée et les fossés existent en continu et elles sont circulables dans de bonnes conditions en toute saison, cependant la vitesse de base reste faible en raison de la largeur de la chaussée et de la texture du revêtement. Encore un cran au-dessus et l'on atteint la catégorie des très grandes routes (photographies 11 à 16). Même si leur conception reste marquée par leur situation géographique, climatique et historique, elles conservent de grandes similitudes : caractéristiques géométriques permettant une vitesse de base élevée (supérieure à 100 km/h), ce qui veut dire de grandes largeurs de plateforme (10-12 mètres) et éventuellement de grands terrassements, chaussées régulièrement entretenues pouvant supporter plusieurs centaines de véhicules par jour.

Les trois niveaux présentés ci-dessus sont suffisamment différenciés par le niveau de service offert à l'usager pour pouvoir apparaître distinctement sur une carte par exemple. Cependant, malgré l'intérêt que présentent ces classifications, il n'en demeure pas moins qu'il n'en existe pas d'unique à l'échelon international ; ceci est peut-être la conséquence de la diversité des cas rencontrés, peut-être plus simplement est-ce dû à l'absence d'effort entrepris pour cela.

Quoiqu'il en soit, une classification est nécessaire pour établir un système de gestion de l'entretien. Cette classification doit prendre en compte les facteurs précédemment indiqués mais ceci est insuffisant pour l'entretien qui dépend également de la nature et de la texture de la chaussée.



7. route en terre en savane soudanaise - Piste de catégorie C à caractère saisonnier (une à deux séquences d'entretien par an)



8. route en terre - région de Biankouma (Côte d'Ivoire) - exemple d'aménagement d'un point bas



9. route agricole en Corée du Sud, avec fossés, accotement et chaussée constituée d'une grave alluvionnaire recouverte d'arène granitique (route de gun)



10. scène d'autrefois au Folk village de Suweon (Corée du Sud) - la chaussée est en grave alluvionnaire propre fermée au sable argileux



11. route élaborée de catégorie A (Mali - région de Bamako) - chaussée en graveleux latéritique et plateforme de plus de 10 m.



12. route Nationale n° 1 au Niger - DIFFA (région du lac Tchad) chaussée en sable (50 à 100u/j)



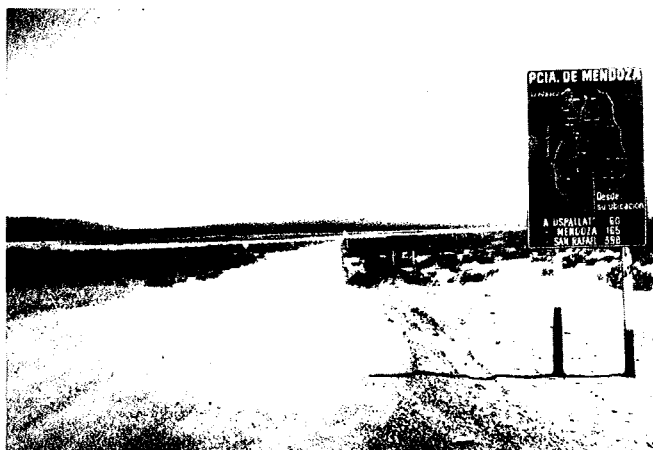
13. route de catégorie A au Sahel (ancienne route Agadez-Zinder au Niger) – chaussée en graveleux et plateforme de plus de 10 m avec fossés (50 à 100 véhicules/jour)



14. route de catégorie A en Savane (boucle du Cacao-DIMBOKRO-RCI) chaussée en graveleux latéritique – plateforme de plus de 10m 100 véhicules/jour

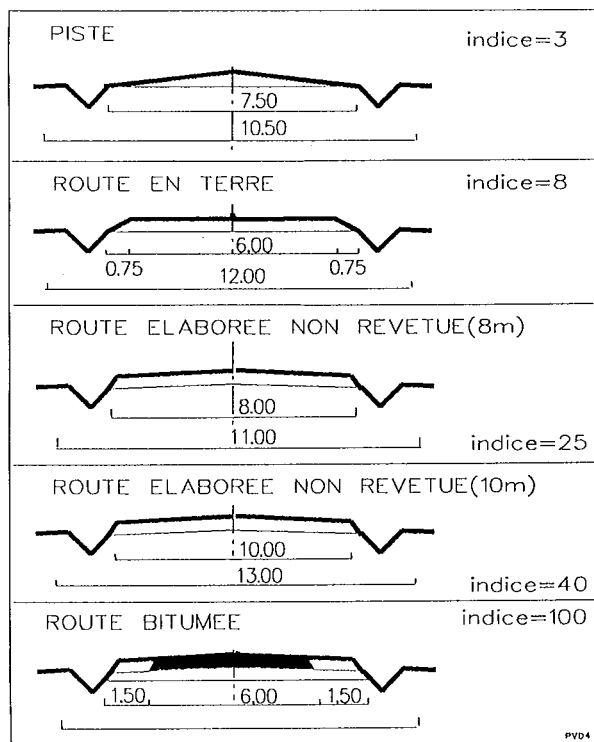


15. route de catégorie A en forêt équatoriale (Franceville-Okondja, Gabon) chaussée en graveleux latéritique plateforme de 12m déforestation sur 50 m – 50 véhicules/jour



16. route interprovinciale en Argentine (province de Mendoza) – plaine connue pour ses courses de chars à voile

Figure 8 - Profils en travers de différentes routes -
L'indice donne un rapport des coûts d'investissement
par rapport à la route bitumée
(hors acquisition de terrain)



NATURE ET TEXTURE DE LA CHAUSSEE

Deux chaussées identiques du point de vue de l'aménagement, de la géométrie, de la largeur de plateforme ... peuvent avoir des coûts d'investissement très variables en fonction de la nature des matériaux de chaussée puisque généralement plus de 50 % de ce coût d'investissement sont dus à la seule chaussée. A titre indicatif, les matériaux en place de la route Tahoua Arlit varient dans une fourchette de 1,5 à 11, les moins onéreux étant les graveleux latéritiques et les plus coûteux, les grès 0/30 concassés (figure 18).

La nature et la texture des matériaux de chaussée ont une influence sur la pérennité de la chaussée et sur ses qualités de roulement ; par voie de conséquence , les matériaux ont également une influence sur les coûts d'entretien et sur les coûts générés à l'usager. Il n'existe pas cependant de classification internationale des matériaux ou des couches de roulement, prenant en compte la nature et la texture ; les quatre groupes qui sont décrits ci-dessous ont été proposés par le LCPC dans le cadre d'une étude de calage du modèle HDM en Afrique de l'Ouest (1971).

Groupe 1 Nature : Graveleux latéritique Texture : Graveleux roulant

Dans certains cas, les pisolithes contenues dans les graveleux latéritiques se séparent de leur matrice argileuse pour devenir des graveleux de surface, roulant, à la mode de billes (photo 17 et 18). Ceci peut provenir de la dessiccation de la matrice argileuse en saison sèche, ou encore de l'insuffisance de cohésion de cette dernière ou encore sous l'effet mécanique du trafic et des opérations de reprofilage (photos 19 et 20). Les graveleux roulants ne constituent pas une couche de roulement idéale et l'usager peut quitter la route par manque d'adhérence (photo 21). C'est par ailleurs un facteur important dans l'appauvrissement de la chaussée connu sous le nom de "Gravel loss" ou perte de graviers (photo 22).

Groupe 2 Nature : Graveleux latéritique Texture : Argileuse

Un graveleux latéritique très riche en éléments fins argileux donne une couche de roulement en apparence dépourvue de pisolithes, appelée texture argileuse (photo 23) , qui présente des fissures de retrait en saison sèche. L'uni (ou la qualité de roulement) peut être en saison sèche très bon ou très mauvais, s'il garde la mémoire des déformations reçues en saison humide (photos 24 et 25). En saison des pluies, la route peut être glissante et dangereuse (photo 26) ou même impraticable (photo 27). Les dégradations comme les pavés d'argile ou les frayées (photo 28) peuvent nécessiter de très gros travaux d'entretien (entretien lourd et non reprofilage léger).



17. texture en graveleux roulant - Savane - région de Dialakoro (Mali)



18. graveleux roulant en surface - séparation des pisolithes de leur matrice d'éléments fins d'origine



19. ségrégation sous trafic - les bandes de roulement sont dépourvues de graveleux libres chassés sur les bords



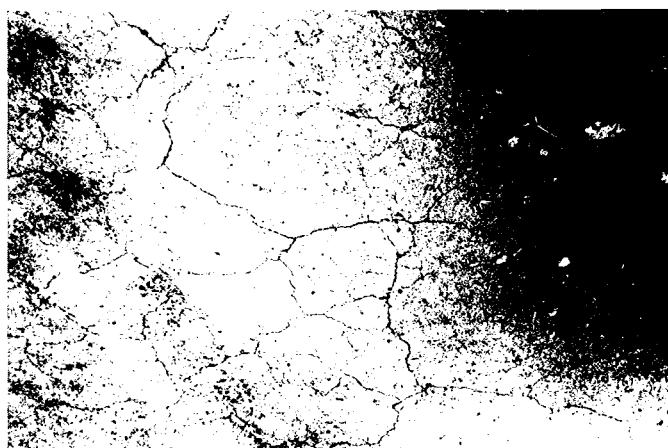
20. graveleux roulant dans un virage dû au rejet provoqué par le nivellement du petit entretien



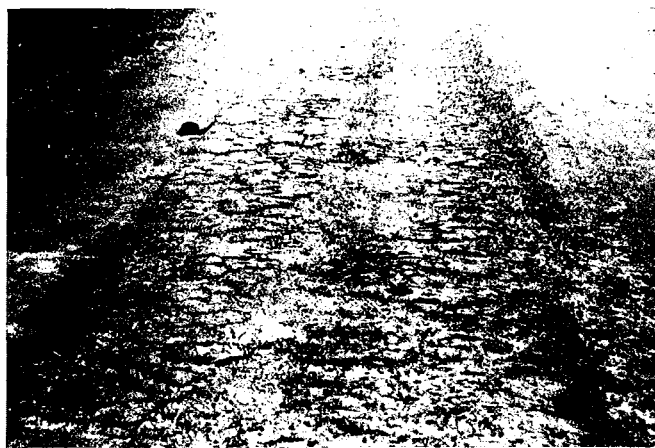
21. conséquence de l'état précédent ! - Cherchez la voiture ! (agrandissement de la photo 20)



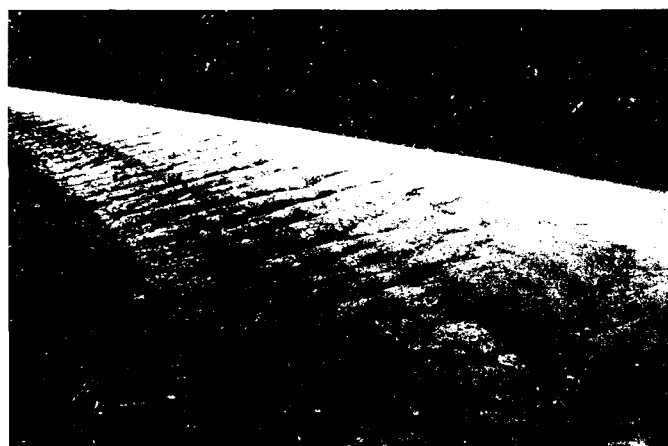
22. épaisseur résiduelle d'une chaussée - coupe d'un délaissé - Niger région de Maradi



23. texture argileuse en raison sèche ; couche de roulement lisse présentant un bon uni et des fissures de retrait - région de Man (RCI)



24. texture argileuse en période sèche présentant des pavés d'argile à l'uni très mauvais - Gabon



25. texture argileuse avec tôle ondulée; la tôle s'est d'abord formée dans le graveleux de surface qui a disparu depuis - Gabon



26. conséquence d'une texture argileuse glissante



27. texture argileuse après un orage, un véhicule deux ponts est nécessaire pour franchir cette zone - Gabon région de Bitam



28. texture argileuse; frayée centrale qui n'a pas pu être réparée durablement par le reprofilage léger

Groupe 3 *Nature : Sable*
 Texture : Sableuse

Le comportement de la structure dépend de la qualité du sable et du climat qui affecte sa cohésion, sa portance, sa stabilité sous trafic et sa résistance à l'érosion. On note, de ce point de vue, la différence entre les sables du plateau terminal continental africain, en climat tropical, (photographie 29) , les sables sahariens en climat désertique (photo 30) ou les sables redoutés du plateau Batéké (photo 31).

Le sable est un matériau facile à reprofiler mais la stabilité de la surface est souvent incertaine , ce qui augmente la résistance au roulement et provoque parfois des enlacements désagréables (photo 32).

Groupe 4 *Nature : Grave naturelle ou concassée*
 Texture : Pierreuse

La texture pierreuse présente des points durs en surface, parfois appelés "tête de chat", qui sont accentués sous le trafic. Les causes en sont multiples mais voisines : matériau possédant des éléments de trop grosse dimension, discontinuité des courbes granulométriques ou gros éléments déchaussés par le trafic de leur matrice qui manque de cohésion (photos 33 à 37). Le principal défaut de cette texture est la mauvaise qualité du roulement qui réduit la vitesse, augmente l'usure des véhicules et le coût généré à l'usager. Cette texture est également difficile à reprofiler et elle ne se prête pas facilement aux opérations d'entretien léger. A titre anecdotique, dans le type de nature et de texture, il faut se souvenir du hérisson (photos 38 et 39) et du macadam à l'eau, technique utilisant la pierre et l'argile pour donner d'excellentes couches de roulement. A titre historique, cette fois, la pierre a également été à l'origine des routes romaines et gauloises (photo 40).

En raison de ses conséquences sur l'entretien des routes non revêtues et sur les coûts de l'usager, la texture devrait être prise en compte dans les classifications qualitatives de ces routes. C'est également un facteur qui explique la nature des dégradations de ces chaussées, que l'on retrouvera dans le chapitre suivant.

DEGRADATIONS

Les chaussées des routes non revêtues sont calculées au premier chargement, compte tenu du faible niveau du trafic et de la fréquence d'entretien. Elles se dégradent par conséquent très vite d'autant qu'il n'y a pas de véritable couche de roulement pour protéger la surface. Cette absence de couche de roulement distincte de la structure fait que l'on ne distingue pas véritablement les dégradations structurelles des dégradations de surface . L'entretien a pour but de maintenir la surface de roulement, la nature et la fréquence des travaux vont dépendre du type et de la gravité de la dégradation qui pourra conduire à des réfections structurelles. C'est donc par l'étude des dégradations qu'il convient d'aborder l'entretien.

Les chaussées non revêtues se dégradent sous l'action du trafic bien sûr , mais également et parfois même d'avantage, sous l'action d'agents naturels comme l'eau et la végétation. On distinguera donc les dégradations à partir de leur géniteur.

Dégradation par le trafic

Le trafic génère deux types de dégradation caractéristiques des chaussées non revêtues : **la perte de matériau et la tôle ondulée.**

La perte de matériau, également connue sous le nom anglais de "*Gravel loss*", est due au dégagement de poussière et au rejet de matériau provoqués par les véhicules (photos 41 et 42); elle concerne indistinctement les 4 groupes de texture précédents. Le dégagement de poussière est très gênant pour les riverains d'où les tranchées coupe vitesse, installées aux entrées de village ; il peut constituer également un danger pour la circulation (photo 43). Cette perte de matériau est, avec les travaux de reprofilage, une cause importante de l'amenuisement de l'épaisseur de la chaussée (photo 44). Cette perte a été chiffrée à 25 tonnes par an et par km pour un trafic de 100 véhicules/jour. Elle est plus simplement exprimée en cm par an et elle atteint de 2 à 4 cm par an pour des trafics de 150 à 500 véhicules/jour.



29. texture sableuse; mauvaise tenue de la surface et forte résistance au roulement - Côte d'Ivoire Plateau continental terminal



30. texture sableuse; dessiccation et perte de cohésion en surface - Sahara Tunisien - route Nefta-Azoua



31. texture sableuse; sables extrêmement érodables plateaux Bateké- piste Leconi-Souba (Gabon)



32. ensablement



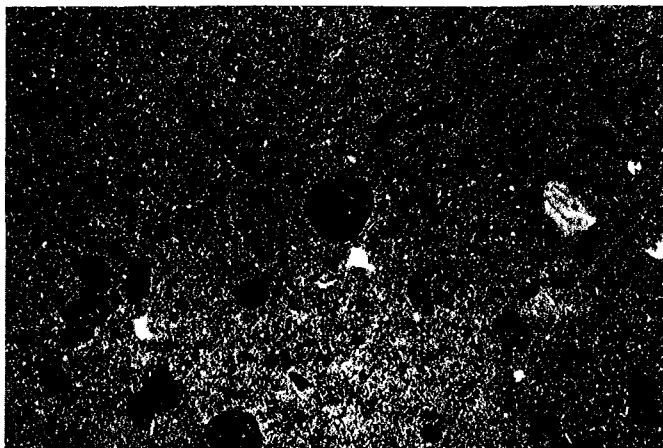
33. texture pierreuse; blocs de cuirasse latéritique belle planche d'essai pour amortisseur - l'ancienne route Sikasso-Koutiala (Mali)



34. texture pierreuse; grave latéritique de trop forte dimension qui aurait nécessité un criblage avant mise en oeuvre - têtes de chat Gabon



35. texture pierreuse, galets roulants ou enchassés dans une matrice argileuse Colombie



36. agrandissement de la photo 35 - la grave alluvionnaire pourrait être criblée à une dimension plus faible, les gros éléments pouvant être concassés pour faire des enduits



37. texture pierreuse, grave concassée sans cohésion Vénézuéla



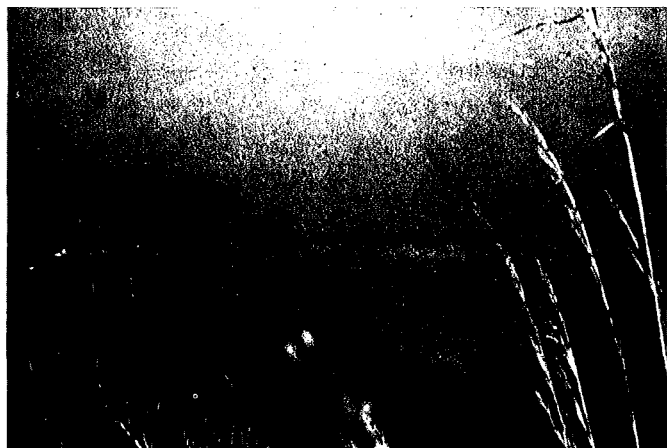
38. la technique du hérisson a encore ses adeptes Viêt-nam (région de Hanoï)



39. pose du hérisson sur lit de sable



40. texture pierreuse en pleine masse - cette technique aurait été abandonnée parce qu'elle ornierait ! (voie romaine de Dougga - Tunisie)



41. perte de matériau dû au dégagement de poussière région de Korhogo (RCI)



42. distance de visibilité du cycliste après le passage d'une voiture ? route de Vientiane à la rivière Nam Nung (Laos)



43. dégagement de poussière par un grumier; le doubler s'appelle "laroulette gabonaise"



44. ornièrage dû au rejet des gravillons sur les côtés et au centre (Gabon)



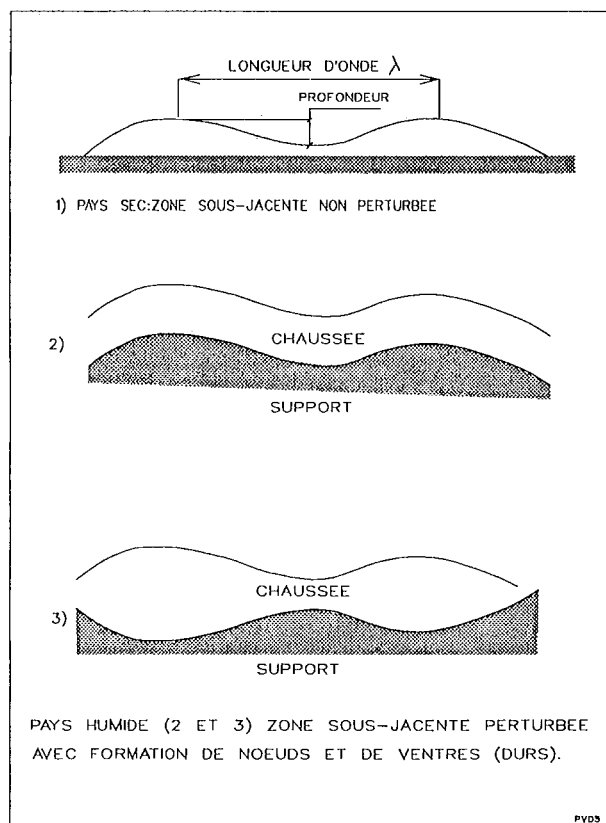
45. tôle ondulée; deux voies de circulation différenciées - forêt région de Man (RCI)



46. la même de nuit montrant la longueur d'onde et l'amplitude

La **tôle ondulée** est une dégradation spectaculaire bien connue des amateurs de rallye. C'est une déformation du profil en long pseudo sinusoïdale de longueur d'onde voisine de 60 cm à 1 m sur les graveleux et de 30 à 50 cm sur les sables (photos 45, 46, 47). Elle a donné lieu à de nombreux développements mathématiques pour expliquer sa formation à partir des équations caractérisant le fonctionnement mécanique d'un véhicule : le phénomène est engendré par les arrachements produits par les pneumatiques, modulé au rythme de la fréquence propre de la vibration des masses non suspendues des véhicules.

Figure 9 - Tôle ondulée en pays sec ou humide



La tôle ondulée a été également étudiée sur le terrain et sur modèle réduit. Les principales conclusions de ces études sont les suivantes :

- ◇ Le phénomène est dû aux oscillations des roues.
- ◇ L'influence de l'état hygrométrique de l'air est prépondérante.
- ◇ La rapidité de formation dépend directement de l'intensité de la circulation, de la vitesse des véhicules et de la pression des pneus, la partie suspendue des véhicules et l'importance de leur charge n'intervenant pas (une 2 CV peut créer de la tôle ondulée!).
- ◇ Les stries des ondulations sont parallèles entre elles, avec souvent une très légère inclinaison sur la normale à l'axe de la route. La longueur d'onde la plus fréquente est de l'ordre de 60 à 70 cm, l'amplitude peut atteindre 10 à 15 cm sur les chaussées où l'entretien est négligé. Enfin, la tôle ondulée n'est pas fixe : elle recule par rapport au sens de la circulation.

Pour ce qui concerne l'entretien, il faut savoir que la tôle ondulée en pays sec présente une forte différence avec celle que l'on rencontre en pays humide. Au Sahel, seule la couche de chaussée est touchée par le phénomène (photo 47). Dans les pays tropicaux humides, présentant une saison sèche, c'est aux périodes sèches que se forme la tôle mais elle affecte alors également le support sous-jacent (photos 25 et 48). La tôle ondulée apparaît sur les textures graveleuses et argileuses, moins souvent sur les textures argileuses et pratiquement jamais sur les textures pierreuses.

Insupportable à petite vitesse (20 km/h), elle se fait beaucoup moins sensible vers des vitesses de 80 à 100 km/h mais elle devient alors un danger pour la circulation ; elle est éprouvante pour les mécaniques et les conducteurs et il faut donc la supprimer (photos 49 et 50).



47. tôle ondulée en climat sahélien



48. tôle ondulée en forêt - 1 voie de circulation



49. roue arrière du véhicule sur la tôle



50. roue avant du véhicule sur la tôle; notez le déphasage des roues



51. ornièrage dû à l'action combinée du trafic (canalisé sur 1 voie) et de l'eau (décohésion du sable)



52. chapelet de nids de poule qui ne pourra pas être repris de manière durable par un simple nivellement

Bien entendu le trafic est également responsable de dégradations plus classiques : orniérage aidé ou amplifié par l'eau (photo 51) ou chapelets de "nids de poule" (photo 52), décohésion de la couche de roulement dans le cas de sable sec (photos 53 et 54) qui donne des frayées sous un camion impraticables pour un véhicule de tourisme. Bien souvent, ces dégradations atteignent très rapidement des taux de gravité qui mettent en cause la structure, lorsque le nivellement léger ne peut plus les reprendre de manière durable.

Dégradation par l'eau et le trafic

L'eau comme toujours est un facteur aggravant. Sous l'action combinée de l'eau et du trafic, le matériau perd sa cohésion et sa portance et cela se traduit par des boursiers qui marquent pendant longtemps un itinéraire (photos 55 et 56). Ceci est normal, un matériau pour chaussée non revêtue sera d'autant meilleur qu'il contiendra des fines plastiques susceptibles de lui donner de la cohésion lui permettant de faire une couche de roulement de qualité. Evidemment, à l'inverse, cela le rend sensible à l'eau.

Les barrières de pluie sont destinées à protéger la chaussée pendant la période où elles est vulnérable du fait de son humidité de surface (photo 57). Elles sont là pour protéger un capital qui peut être détruit par un seul passage de camion (photo 58 - 59) et non pour indiquer aux usagers l'existence momentanée de passages d'eau comme on le croit parfois. Elles s'apparentent aux barrières de dégel dans leur principe.

Dégradation par l'eau

L'eau est malheureusement assez grande fille pour détruire une chaussée toute seule, sans l'aide du trafic. Ceci lui est facilité du fait que les aménagements d'une route non revêtue sont souvent insuffisants.

L'eau aura deux effets importants : elle **coupe** la route et la circulation en cas d'erreur de conception de la ligne rouge, elle **érode** la chaussée et les fossés en cas de déficience du système d'évacuation des eaux de ruissellement. Parmi les défauts de conception de la ligne rouge : la route creusée dans le terrain naturel au lieu d'être en remblai et qui sert donc d'exutoire en période des pluies (photo 60) ; le point bas du profil en long qui est également le point bas du marigot voisin (photo 61).

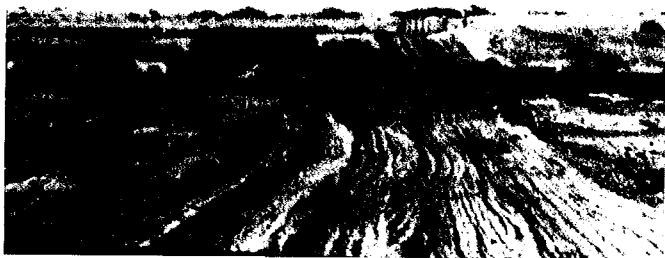
Parmi les défauts du système d'évacuation des eaux de ruissellement : le point bas du profil en long où les eaux doivent changer de côté sans qu'il n'y ait de passage busé (photo 62), l'exutoire latéral du fossé creusé en sens inverse si bien qu'il remplit le fossé au lieu de le vider (photo 63).

Très souvent, l'eau se fraye un chemin au milieu de la chaussée au lieu d'emprunter les fossés (photo 64) ; elle provoque, de cette manière, des ravines (photo 65) qui finissent par attaquer le support et qui atteignent des profondeurs telles qu'il devient impossible de les reprendre uniquement par le reprofilage léger ; toute la chaussée doit être reprise en profondeur, avec un atelier lourd.

A l'inverse, si l'eau emprunte le fossé, encore faut-il que les pentes soient réduites naturellement ou artificiellement afin d'éviter l'érosion (photo 66) qui peut atteindre des niveaux considérables dans les pays tropicaux (photos 67, 68, 69) et qui peut bien entendu affecter également les talus où aucune descente d'eau n'est prévue (photos 70 et 71).

Dégradation par la nature

En dehors de l'eau, il existe toutes sortes d'éléments naturels susceptibles de dégrader les chaussées en l'absence du trafic et parmi ceux-ci, on peut citer en premier lieu le transport du sable par le vent.



53. décohésion de la surface du sable sous le trafic
création de frayées très gênantes pour les VL.

sable sec sans cohésion (Tchad) .54



55. bournier - ancienne route Douala-Yaoundé
(Cameroun)



56. bournier rendant périlleux ou acrobatique l'accès
du pont en bois - route Tchibanga-Mayumba (Gabon)



57. barrière de pluie - devinette : quel est le
césame qui ouvre la barrière ?



58. non respect de la barrière de pluie; notez les
dégats provoqués par un seul camion. La route
sera coupée après notre passage



59. borbier : on passe avec un 4x4 ou un tire-fort; il y avait 15 borbiers de ce type sur les 109km de la route Tchibanga-Mayumba



60. ce qui arrive quand la route est creusée au-dessous du TN - ancienne route Sikasso-Koutiala (Mali)



61. point bas pour la route: point bas pour le marigot - la route est coupée pour plusieurs jours - route Tchibanga-Voungou (Gabon)



62. point bas non busé : l'eau traverse quand même



63. exutoire latéral destiné à évacuer l'eau des fossés - réalisé à l'envers il alimente la chaussée



64. fossés absents ou inefficients : l'eau circule sur la chaussée



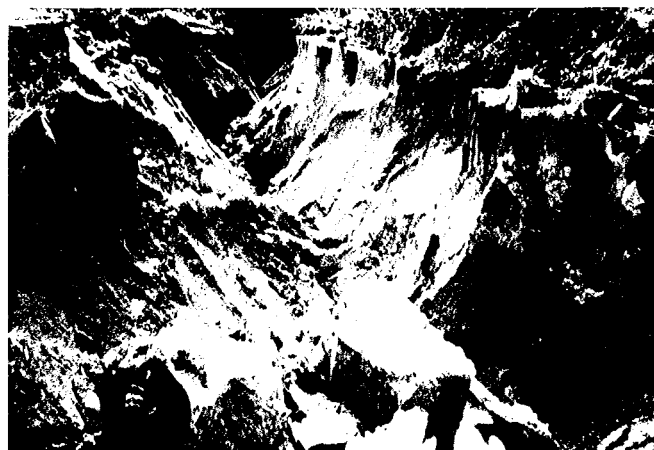
65. où elle peut creuser des ravines de plus de 20cm de profondeur, jusqu'au sol support - comment les réparer ?



fossé trop long sans ouvrage .66 pour réduire la vitesse de l'eau



67. même phénomène à un stade plus avancé concernant une route revêtue



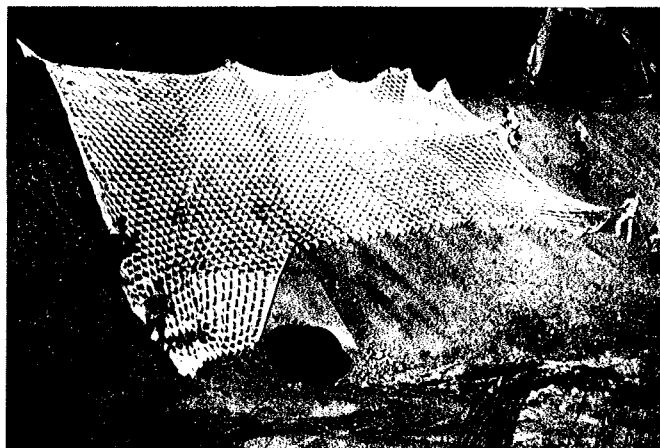
68. érosion régressive d'un fossé



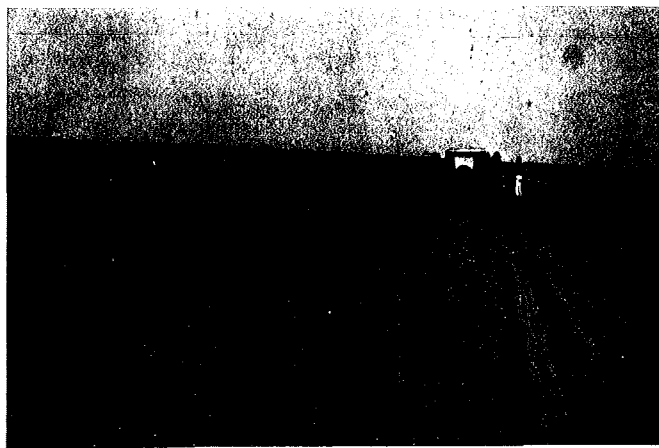
69. même phénomène à un stade très poussé compromettant la pérennité de la route.



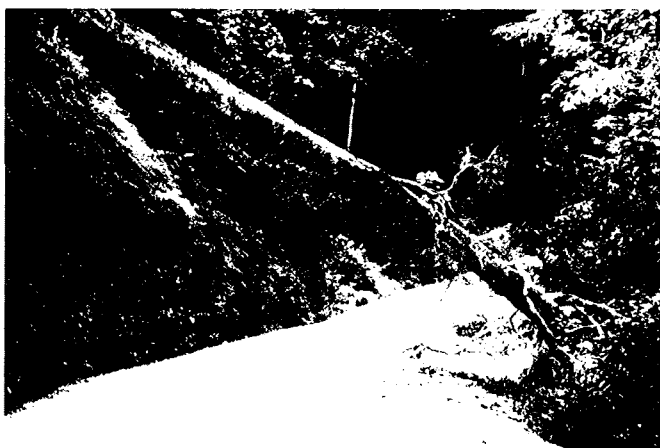
70. ravinement d'un talus où aucune descente d'eau (bétonnée) n'a été prévue



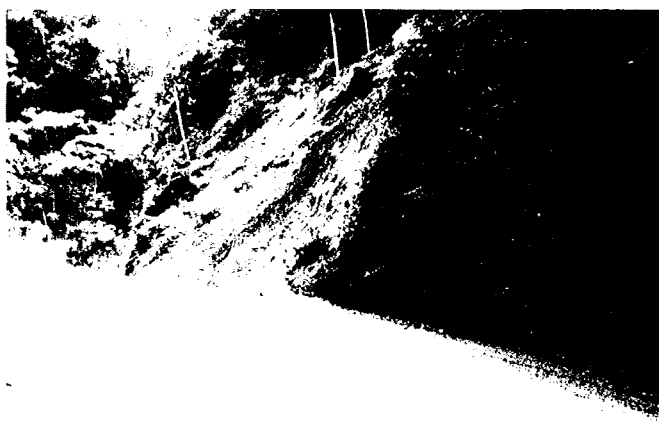
71. Armater. sur le Transgabonnais - un moyen de stabiliser les pentes des talus



72. ensablement par vent de sable



73. chute d'arbre obstruant la chaussée



74. éboulement de talus sur une route sans fossé



75. accotements envahissants (et colonne de magnans qui traverse la chaussée)



76. la végétation reprend ses droits malgré le déforestation

L'ensablement (photo 72), le déplacement des dunes, etc sont des calamités naturelles : encore qu'elles ne soient pas seulement le lot des routes non revêtues, elles peuvent les marquer davantage du fait que les investissements modestes propres à ces routes ne permettent généralement pas la construction de dispositifs pour les éviter . Les routes du Sud Tunisien (Kebili-Matmata) sont, par exemple, impraticables pendant la période des vents de sable.

Parmi ces "prédateurs", il faut inclure la végétation qui est d'autant plus agressive que le type de trafic est faible et que le climat est humide. La végétation entraîne des dégradations accidentelles : chute d'arbres (photo 73) et glissement de talus (photo 74) qui obstruent la chaussée ; elle entraîne également des dégradations permanentes et progressives : la nature reprend ses droits et avale la chaussée en quelques mois si l'on n'y prend pas garde. Cela commence par les accotements qui, peu à peu, sont envahis et finalement , la route est complètement phagocitée (photos 75-80).

Le déforestation est un moyen d'y remédier (50 mètres de part et d'autre de l'axe) ; il a en outre l'avantage de permettre l'ensoleillement et donc le séchage rapide après les averses.

ENTRETIEN

♦ **Prise de conscience** : les bailleurs de fonds et la Banque Mondiale en particulier, ont très longtemps, refusé de financer l'entretien des routes revêtues et ce n'est que tout récemment qu'ils ont pris conscience de la nécessité de cet entretien , de la carence des pays en développement dans ce domaine et de l'intérêt qu'il y avait à mettre en place les structures et les moyens *ad hoc*. Pour les

routes non revêtues, il en a toujours été autrement sans doute parce qu'il existe une forte différence entre les deux types de route : **dans le premier cas**, il faut quelques années pour s'apercevoir des méfaits de la carence de l'entretien, alors que **dans le second** , il suffit de quelques mois , voire de quelques semaines. Quoiqu'il en soit, l'entretien des routes non revêtues a toujours été pris en considération : *les parcs, les matériels, les centres de formation etc ...* sont là pour en témoigner. Mais ceci ne veut pas dire cependant que tout se passe toujours très bien.

♦ **Matériel et opérations d'entretien** : le matériel de base est la niveleuse, utilisée dans les opérations suivantes :

Profilage

Amélioration de la couche de roulement par reprofilage léger sans apport de matériau. Cette tâche est généralement faite par une niveleuse (photos 81 et 82) ou deux niveleuses travaillant en tandem (photo 83). Elle englobe également le passage de grappe tôle (photo 84).

Reprofilage

Reprofilage lourd, ou opération qui consiste à refaire partiellement le profil de la chaussée sans apport de matériau, en scarifiant et en remettant en place la chaussée existante. Cette tâche nécessite une niveleuse de forte puissance, un compacteur et une citerne à eau.



77. tunnel de bambous : absence de soleil sur ce point particulier



78. végétation envahissante



79. végétation très envahissante



"Ainsi meurent les routes" .80

Rechargement

Tâche analogue à la précédente accompagnée d'apport de matériau et qui nécessite chargeur et camion en plus du matériel précédent, pour l'exploitation et le transport du matériau d'apport (photo 85 et 86).

Certaines textures ou certaines dégradations de chaussée peuvent engendrer des travaux particuliers : c'est le cas de la tôle ondulée qui a conduit de nombreux inventeurs de grattes tôle à phosphorer avec plus ou moins de bonheur sur le sujet (exemple du gratte tôle à câble qui gratte la tôle, mais qui parsème la chaussée de clous métalliques).

La mécanisation, si elle est nécessaire, ne peut pas remplacer cependant les brigades manuelles dont l'intervention est nécessaire pour reboucher les "nids de poule" (photo 87) traiter les points singuliers et éliminer les bourbiers par exemple (photos 88 et 89). Chutes d'arbres, éboulement de talus, sont des dégradations ératiques qui nécessitent de faire appel à des brigades d'intervention ponctuelles disposant de l'équipement adéquat (photo 90).

Enfin, et comme il est permis de sourire, il faut souligner le grand rôle de l'ingéniosité dans le choix du matériel adéquat des brigades d'intervention manuelle, comme par exemple, le répandage de la couche de roulement au panier (photo 91).

Figure 10 quelques exemples de rendement en Afrique de l'Ouest.

Opération	Matériel	Cadence journalière
Profilage	1 tracteur 60 CV + 1 gratte tôle	20 à 30 km
Reprofilage léger	1 niveleuse 120 CV	15 à 20 km
Reprofilage lourd	1 niveleuse 120 CV 1 compacteur 15 T 1 citerne à eau 10 m3	3 à 5 km
Rechargement	2 niveleuses 120 CV + 1 compacteur 15 T 2 citernes de 10 m3 + chargeur et camions sur l'emprunt	0,5 à 1 km

Dégradation et entretien

Les séquences de travaux d'entretien, pour ce qui est de leur relation avec l'état de surface des chaussées, dépendront du facteur qui génère la dégradation et de la vitesse d'évolution de celle-ci; elles sous-tendent que les seuils d'intervention soient reliés à un niveau de gravité de la dégradation.

Dans le cas d'une dégradation créée par le trafic seul comme le sont la tôle ondulée (figure 11) ou l'orniérage dû à la perte de matériau, le niveau de service offert par la chaussée décroît avec le trafic cumulé. On peut donc déterminer des seuils de qualité : Q1; Q2 ... reliés au trafic (figure 12).



81. profilage léger avec une niveleuse sans compactage



82. entretien léger - reprofilage à la niveleuse
(personnel de l'Ecole des Conducteurs de
Fougamou - Gabon)



83. profilage avec deux niveleuses en tandem, sans
apport de matériau ni de compactage



84. profilage léger : gratte tôle tiré par tracteur
agricole



85. entretien lourd : rechargement d'une route dans
les émirats arabes - opération d'humidification
des matériaux



86. entretien lourd : réglage du matériau humidifié
avant compactage



87. entretien lourd - rechargement des nids de poule et compactage (Corée)



88. entretien lourd - brigade d'intervention pour réparer un bournier au Cameroun



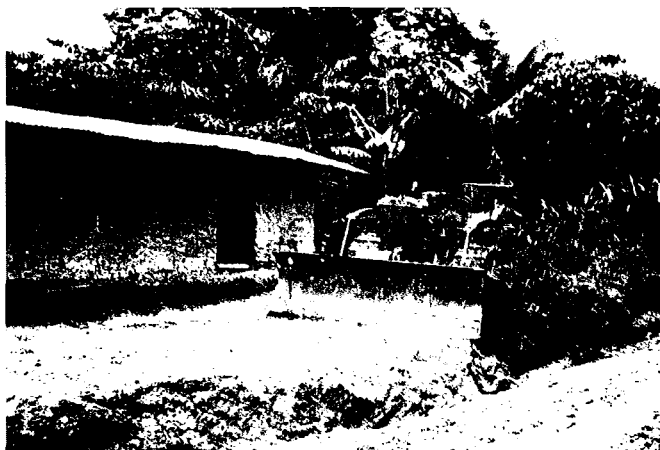
89. le travail terminé - la route attendra la fin de la saison des pluies pour une reprise locale



90. brigade d'intervention légère pour dégager les arbres abattus



91. ré pandage très particulier d'une couche de base



92. matériel d'entretien en panne et déjà victime de la végétation

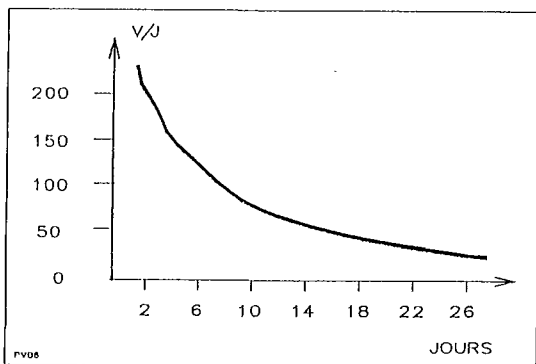


Figure 11 - Courbe d'apparition de la tôle ondulée

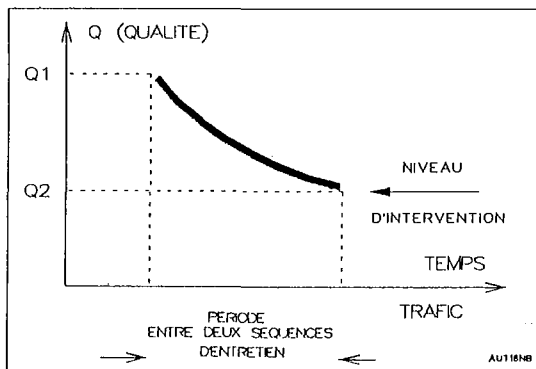


Figure 12 - Dégradation liée au trafic

Si de plus, ces seuils de qualité sont correctement quantifiés, il devient alors possible de fixer des règles d'intervention, qui peuvent, en outre, être modulées en fonction de l'importance de la route (figure 13).

On peut, en effet, admettre, pour certaines chaussées, des interventions fréquentes pour réduire les coûts à l'usager (par exemple, fréquence bimensuelle) alors que sur d'autres itinéraires, on n'interviendra qu'en dernière limite (par exemple fréquence biannuelle).

Seuil	Profondeur	Travaux	Observations
Q1	1,5 cm	Profilage	Opérations à retenir ou à écarter selon le niveau de trafic et l'importance de la route.
Q2	< 4 cm	Reprofilage lourd ou re-chargement	
Q3	< 8 cm		

Figure 13 - Choix du type de travaux en fonction de la profondeur de l'ornièr ou de la tôle.

Dans le cas de dégradations créées par d'autres facteurs que le trafic, comme par exemple, les ravines ou l'érosion des fossés dues à l'eau, le principe sera identique et c'est la saison qui remplacera le trafic cumulé pour fixer les périodes d'intervention (figure 14).

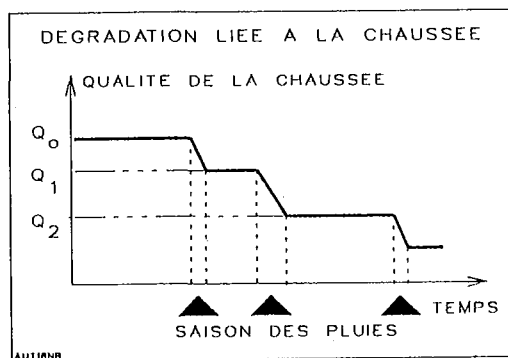


Figure 14 - Dégradation à la saison

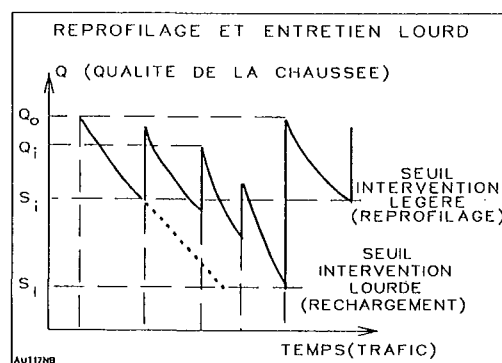
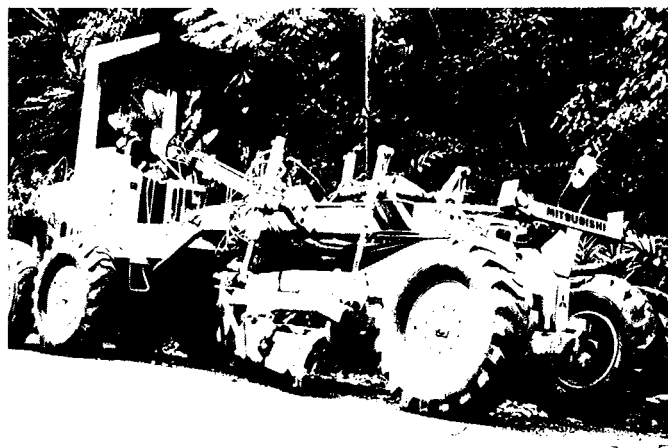


Figure 15 - Choix entre intervention lourde et intervention légère



93. ... le temps d'aller chercher une dépanneuse



94. matériel momentanément abandonné pour des raisons peu avouables...



95. matériel confié à un jeune chauffeur - un tel équipement nécessite des personnels expérimentés !

Ce principe est séduisant mais il est sans doute moins simple à appliquer qu'il ne paraît : avec un peu d'expérience, il est assez facile de relier la gravité du défaut à la manière de le reprendre ; il est sans doute plus difficile de déterminer les seuils d'intervention , même en prenant en compte les catégories administratives des routes ou les classes de trafic, tout comme il est difficile de faire un choix entre plusieurs interventions légères ou une intervention lourde (figure 15). C'est ici qu'interviennent les systèmes d'aide à la gestion de l'entretien routier.

Le premier commandement

La qualité de l'entretien de la route dépend de la motivation du personnel d'entretien, de l'entretien des matériels et de la qualité de l'organisation.

La formation du personnel est une nécessité reconnue par tous : les bailleurs de fonds lui ont

toujours apporté leur soutien. Des progrès peuvent encore être accomplis; notamment il pourrait être utile de faire des catalogues de dégradations comportant des quantifiants expérimentaux sur les lois d'évolution, les seuils d'intervention, le type d'atelier adapté à chaque réparation ...

Ce n'est pas là sans doute l'essentiel . L'essentiel est le premier commandement dont il était question en introduction : **savoir organiser, savoir s'organiser**. Aujourd'hui, il est encore trop fréquent de voir du matériel immobilisé dans un parc pour des motifs véniels, du matériel en panne dans la nature et dévoré par la végétation (photos 92 et 93), ou encore du matériel détourné de sa fonction d'origine, par exemple, pour servir au ramassage de bois (photos 94 et 95) ou à des travaux plus rémunérateurs.

LES OUVRAGES D'ART

Une route dans un pays en développement a très souvent une fonction de désenclavement et, de ce fait, chaque ouvrage de franchissement est indissociable de l'itinéraire ; généralement, ceci n'est pas oublié lors de la construction d'une nouvelle liaison mais il en est parfois autrement dans les programmes d'entretien. En soulignant ici leur existence, peut-être verra-t-on s'infléchir la situation.

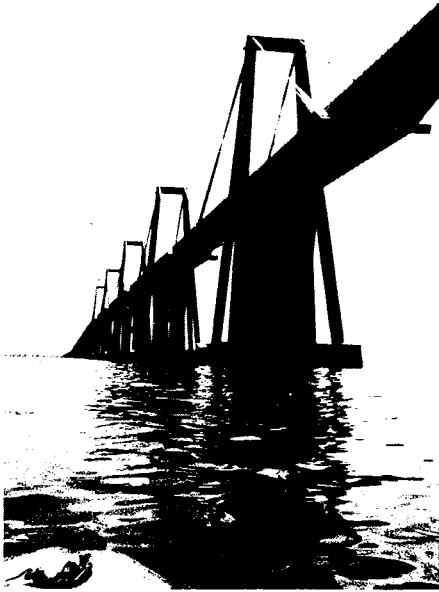
L'éventail des ouvrages d'art construits dans les pays en développement est très large ; mais en quoi ce magnifique ouvrage qui barre la Baie de Maracaïbo (photo 96) est-il différent des ouvrages en béton construits dans les pays industrialisés ? Ce n'est donc pas ce type de pont, qui ne présente pas de particularité propre aux pays en développement, qui retiendra notre attention.

Comment, pour la beauté des yeux, ne pas avoir un regard sur ce magnifique pont de bambou en Colombie (photo 97) ou sur ces ponts de liane au

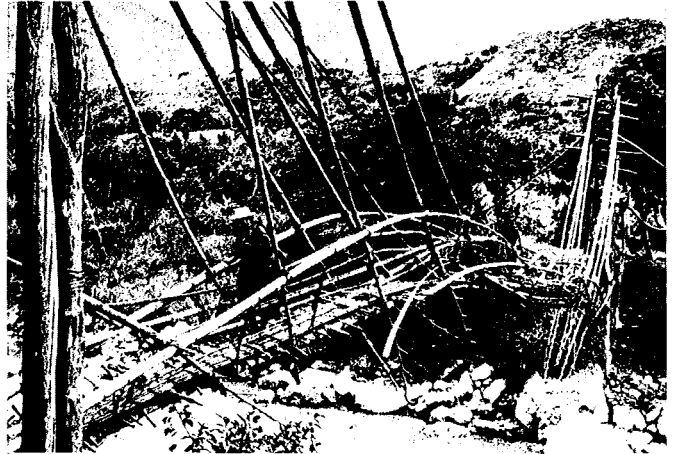
Gabon (photo 98) ou en Guinée (photo 99). Toutefois, si ces ouvrages présentent un intérêt technique et touristique très marqué, il ne sont pas destinés à supporter les véhicules. S'ils sont propres aux pays en développement, ils n'intéressent par contre que très peu la route.

Impossible par contre d'oublier radiers (photo 100) et ponts submersibles (photo 101), ainsi que les bacs (photos 102 et 103) qui sont des solutions économiques dans de nombreux cas de franchissement sans être cependant réservés aux pays en développement.

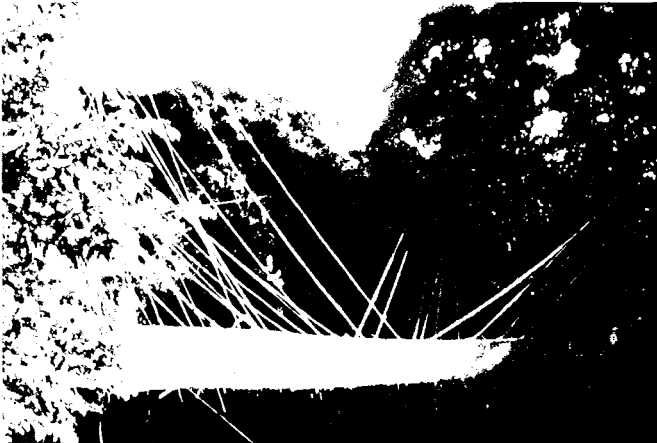
Originaux par rapport aux pratiques des pays industrialisés sont , par contre, les ponts constitués de troncs d'arbres. Certains sont faits pour les piétons (photo 104) d'autres pour les voitures (photo 105). Certains sont recouverts de grave argileuse en guise de tablier, d'autres possèdent un platelage élaboré (photos 106 et 107). Enfin, certains allient le béton et la maçonnerie pour les culées et les piles et le bois pour les travées, ce qui permet alors d'atteindre des portées assez grandes (photos 108 et 109).



96. le pont de
Maracaïbo



97. un magnifique ouvrage d'art en Colombie



98. pont de liane au Gabon - région de Franceville



99. pont de liane en Guinée - rivière Diani-Nzebela



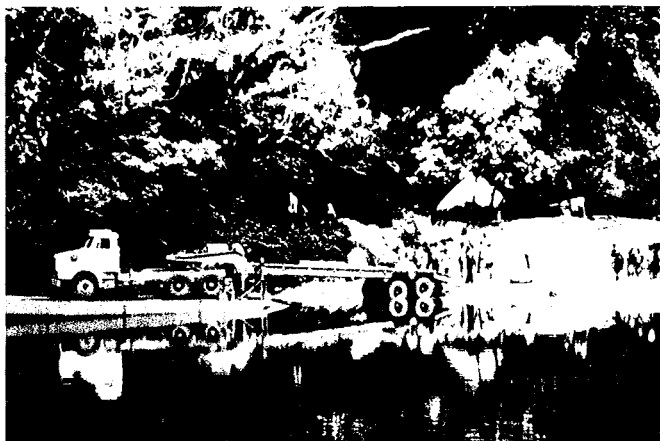
100. route submersible au Mali - région de Mopti



101. pont submersible en Chine - région de Pékin



102. autre moyen de franchissement : le bac de la rivière Diani (Guinée)



103. et ce qui peut arriver avec des transports exceptionnels



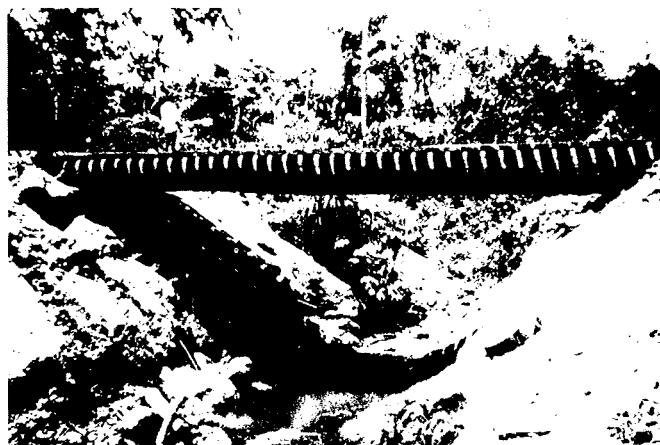
104. pont de bois pour piétons



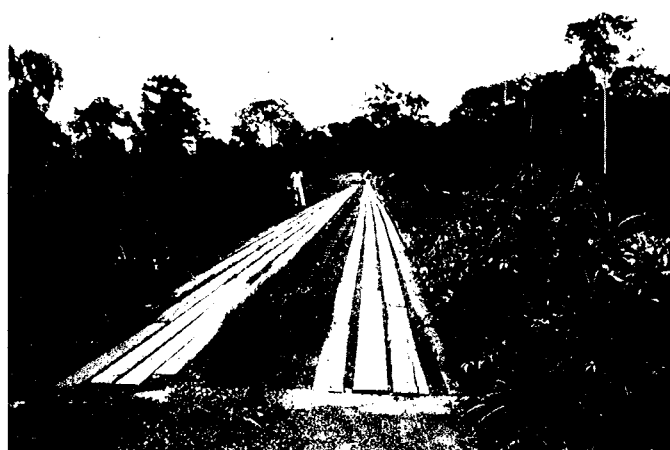
105. le même pour voiture



106. pont de troncs d'arbres avec platelage en planches et chemin de roulement



107. ce type de pont est encore réalisé - route Bitam-Ebor (Gabon)



108. ouvrage en bois de 120 m de long sur la
Moukalaba - région de Tchibanga (Gabon)



109. la Moukalaba (Gabon)



110. un accident sur un ouvrage et la circulation
est interrompu pour longtemps parfois...



111. effet de la surcharge d'un poids lourd

Buses de marigot, dallot de ruisseau ou pont sur rivière, qu'ils soient de bois, de béton ou de métal, ils présentent toujours deux particularités :

. l'ouvrage de franchissement est un verrou pour l'itinéraire : qu'il soit détruit et c'est tout l'itinéraire qui est coupé (photos 110 et 111).

. leur entretien est tout aussi mal traité que celui des routes et c'est un problème sur lequel il conviendra de se pencher dans les années à venir.

LA ROUTE REVETUE

Il est malaisé de caractériser ce qu'est la route revêtue dans un pays en développement : dans certains cas, hormis le revêtement, elle ne présente guère de différence avec la route non revêtue de haut de gamme ; dans d'autre cas, sa conception n'est pas extraordinairement différente de celle d'un pays industrialisé, d'autant que la palette d'aujourd'hui va de la route de campagne, de quelques centaines de véhicules par jour, jusqu'à l'autoroute urbaine tandis que par ailleurs, les constructions sont dans les deux cas le fait d'entreprises identiques dotées de matériel semblable.

LA GEOMETRIE

Dans le domaine du tracé, la recherche d'économies sur les investissements a pu conduire à des tracés tourmentés comme les routes de crête par exemple (photo 112). Mais ceci n'est pas non plus l'apanage des pays en développement et n'est pas vrai dans tous les pays : soit comme les routes trans-sahariennes, qu'il ne soit pas nécessaire de rechercher des tracés sinueux (photo 113), soit comme pour les projets les plus récents, que l'on n'hésite pas à réaliser de grands terrassements (photos 114-115-116).

Dans le domaine de la largeur, il se fait de moins en moins de route à une seule voie. La règle étant deux

voies et la largeur variant de 6 à 7,50 m (ou plus) comme dans les pays industrialisés. Il existe encore aujourd'hui dans les rangs des bailleurs de fonds, de chauds défenseurs de l'aménagement progressif de la largeur revêtue : 6 m aujourd'hui, 7,50 m demain quand le trafic aura atteint un certain niveau. Peut-on véritablement trancher un tel débat à grand renfort de bénéfices actualisés et de taux de rentabilité interne sans prendre en compte la technique ?

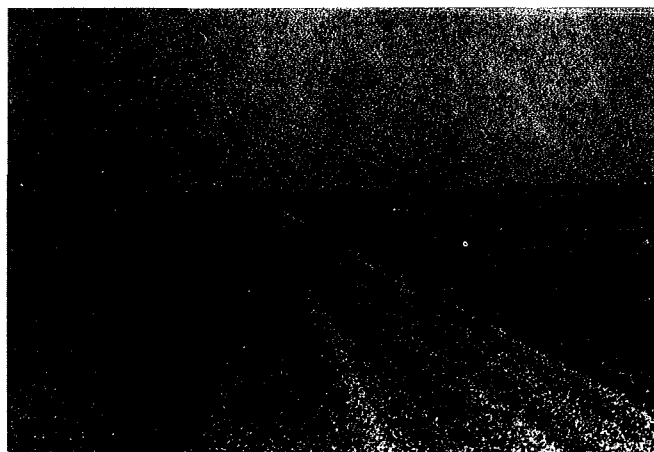
La réponse n'est sans doute pas la même lorsque la chaussée proprement dite est distincte des accotements ou lorsque, comme dans le cas des graveleux latéritiques, la chaussée est traitée en pleine largeur sans distinction au niveau de la couche de base, outre la partie circulée et les accotements (photo 117).

L'USAGER

La route revêtue dans un pays en développement peut être amenée à supporter toutes sortes de moyens de transport et dans certains cas, vélos, vélomoteurs, took-took ou pousses pousses motorisés peuvent être plus nombreux que les voitures (photos 118 à 120). Toutefois, ils n'ont guère d'incidence sur les caractéristiques de la route sauf lorsqu'ils atteignent



112. route de crête en Côte d'Ivoire



113. la nouvelle transaharienne Tahoua-Arlit au Niger



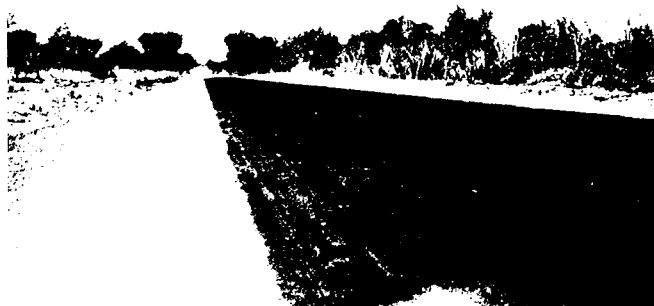
114. tracé moderne à comparer à la photo 111 - la route Abengourou -Aguibelekrou en Côte d'Ivoire



115. tracé moderne et talus à redans Madagascar RN1 région de Tsiraononandiby



116. projet moderne avec grands terrassements - route Guékédou-Sérédou (Guinée)



117. couche de base de 10 m servant également d'accotement. La partie revêtue est limitée à 6 ou 7 m.



118. took took aux Philippines - région de Batangas
(Ile de Luzon)



119. piste cyclable délimitée sur une route nationale
région de Beijing (Chine)



120. pousse pousse motorisé - Vientiane (Laos)



121. convoi de dromadaires - région de Nguigmi
(lac Tchad - Niger)



122. zébus attelés à Madagascar



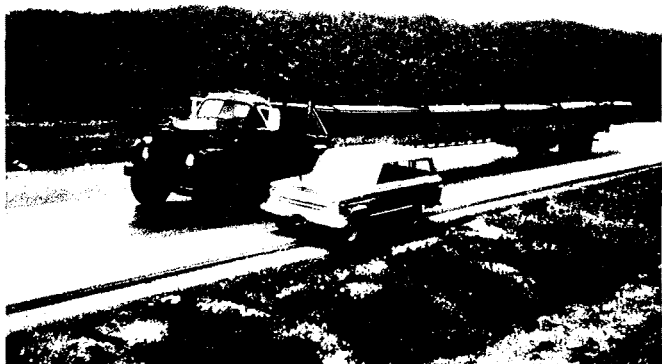
123. bâtee - en Tunisie



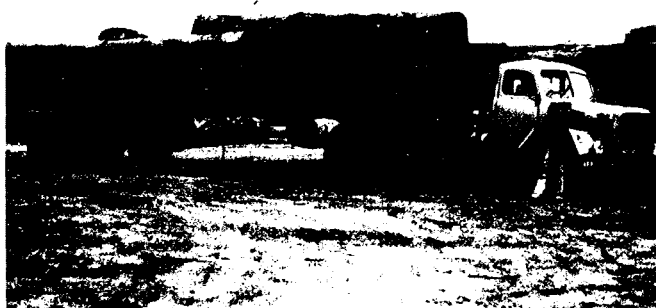
124. caravane sur les bords du Tchad



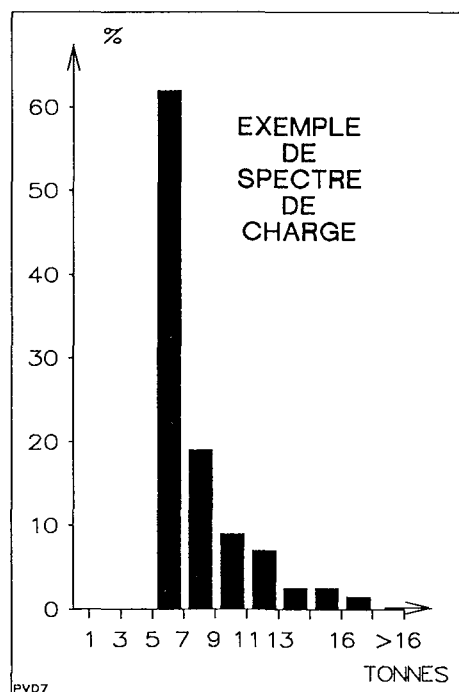
125. caravane à la sortie de Téhéran (en 1974)



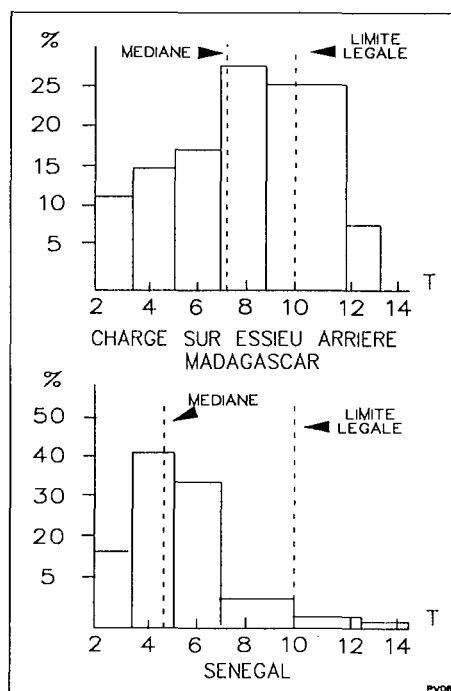
126. transport exceptionnel



127. transport exceptionnel



128. spectre de trafic - France -



129. spectre de trafic - Madagascar
Sénégal

des proportions énormes dans des sites particuliers comme cela est le cas à Pékin où il existe des voies et des échangeurs pour vélos. (A Pékin, les vélos sont immatriculés avec des numéros à 7 chiffres ! Le coefficient d'équivalence, qui n'a rien à voir avec l'agressivité pour le dimensionnement , mais qui a trait à l'encombrement, est de deux vélos pour un camion).

Piétons, animaux, véhicules à traction animale, peuvent également emprunter ces routes (photos 121 - 122). Il peut alors devenir nécessaire de prévoir des voies spécialisées ou tout au moins des accotements suffisamment larges (photo 123) comme cela s'est fait en France à l'époque de Louis XIV où certaines routes à vocation militaire, comportaient une voie carrossable et deux voies latérales pour l'infanterie.

On notera également que le trafic supporté par les routes en rase campagne est souvent caractérisé par un très fort pourcentage de poids lourds dont certains sont des véhicules très spéciaux (photos 124 à 127). Pour dimensionner correctement ces chaussées, il faut donc s'attacher à déterminer avec précision le spectre du trafic (photos 128 et 129) et son taux d'accroissement qui peut être spectaculaire comme celui de Corée du Sud ces dernières années: 14 % .

Enfin, contrairement à une idée assez largement répandue, la sécurité routière dans les pays en développement est désormais un problème auquel il faut s'attacher, même si elle ne se présente pas exactement de la même manière que dans les pays industrialisés (photos 130 et 131).

LE CARACTERE TROPICAL

Comme pour les routes non revêtues, le caractère tropical se retrouve dans les matériaux et l'environnement. Au gré du tracé, il peut exister de très grands déblais dans des formations d'altération

tropicale ; qui ne se comportent pas forcément comme leurs homologues des climats tempérés, ou des remblais sur sols mous qui ne sont pas obligatoirement très faciles non plus. Mais ces questions sont suffisamment importantes et complexes pour avoir fait l'objet de traités spécialisés qui leur donnent une place meilleure que celle qui pourrait leur être faite ici.

Plus proches de la chaussée, les dispositifs de construction destinés à endiguer les pluies tropicales, il en existe de toutes sortes dont les fossés bétonnés et l'imperméabilisation des accotements. Dans certains cas, seuls les accotements sont imperméabilisés (photo 132); dans d'autres cas, c'est la couche de base , elle-même traitée, qui sert d'accotement (photos 133 et 134). Cette protection est très efficace; est-elle économique ? Certains le pensent quand ils se réfèrent au gain sur la réduction de l'entretien des accotements, du moins, tant que le problème de renforcement de la chaussée ne se pose pas.

LE REVETEMENT

Dans le domaine des revêtements , on pourrait penser que la recherche d'un faible investissement conduirait à une utilisation intensive des enduits superficiels puisque ceux-ci sont nettement moins chers à la mise en oeuvre, comme cela ressort d'une enquête AIPCR de 1989 :

Rapport des coûts au m2		dans 6 PED	dans 6 pays industrialisés
rapport entre			
4 cm enrobés	mini	1,7	1,9
et un enduit	moyen	2,6	2,3
bicouche	maxi	3,4	3,2

Figure 16 : Comparaison des prix des revêtements

Quoique l'on puisse faire de belles chaussées en enduit superficiel (photo 135) et malgré cet avantage financier, il existe des pays en développement



130. roulette ivoirienne



131. roulette gabonaise



132. imperméabilisation des accotements - La côtière
Abidjan-Grand Bassam Côte d'Ivoire



133. protection contre les pluies tropicales : la
couche de base bitumineuse est prolongée
jusqu'au fossé bétonné - Vénézuéla



134. couche de base élargie servant d'accotement et
supportant éventuellement le trafic Viêt-nam
route Hochiminvill-Bien Hoa



135. une belle chaussée en enduit superficiel au
Laos

farouchement opposés à cette technique. Sans rentrer dans le détail de la conception et de la réalisation des enduits, qui sont exposés dans un manuel du LCPC intitulé "Les enduits superficiels dans le contexte des routes économiques", on peut cependant faire quelques remarques :

L'enduit superficiel n'est pas une technique mineure (technique au rabais) et n'est pas l'apanage des pays en développement . La France, par exemple, en réalise 4 millions de m² par an.

L'avantage financier n'est sans doute pas exactement celui de l'investissement ; il faut considérer d'autres facteurs comme la durée de service. Par exemple, dans un département français, on a constaté que l'enduit bicouche coûtait 2,7 fois moins que 5 cm d'enrobés à la mise en oeuvre, que les deux types de revêtements étaient renouvelés en moyenne tous les huit à dix ans, pour des trafics compris entre 1000 et 5000 véhicules par jour; mais que pendant cette période, les enrobés supportaient un trafic cumulé double de celui des enduits.

La durée de service d'un enduit peut être très élevée et il existe de nombreuses routes ayant dépassé 20 ans d'existence avec le même revêtement (photo 136). Cette durée de service dépend, pour un enduit correctement réalisé, de la qualité des granulats. Au Niger, par exemple, elle varie dans les rapports 7, 5, 2 pour des granulats granitiques concassés, des alluvionnaires siliceux du Niger et des pisolithes latéritiques.

La technique des enduits superficiels n'est pas forcément facile et dans tous les cas , elle ne peut pas être faite n'importe comment avec n'importe quoi. Elle ne supporte pas les malfaçons ni le mauvais usage ou le mauvais état du matériel (photos 137, 138, 139).

Plus qu'avec un matériau enrobé, il faut être vigilant à l'approche des premiers désordres et intervenir à temps avant que ne se produisent "nids de poule" ou d'"autruche" (photos 140-141). Rien n'est pire que de circuler sur une route revêtue en mauvais état : les chauffeurs le savent bien et préfèrent créer une piste sur l'accotement (photos 142-143).

LES DEGRADATIONS

Les chaussées revêtues offrent deux types de dégradations : d'une part, des dégradations tout-à-fait identiques par leur genèse à celles que l'on trouve dans les pays industrialisés, même si elles atteignent des sommets inégalés (photos 139 à 142), d'autre part des dégradations plus caractéristiques de pays en développement .

Parmi celles-ci , on en rencontre qui s'apparentent à celles déjà vues pour les routes non revêtues comme les défauts d'écoulement d'eau (photo 144), l'envahissement de la chaussée par la végétation (photos 145 et 146) ou les couches de chaussée instables (photo 147). Il en existe d'autres liées au revêtement que l'on appelle "dentelle de rives" (photos 148 et 149). Elles ont plusieurs causes, comme le ruissellement des eaux pluviométriques par exemple ; mais la cause principale est l'utilisation des accotements comme piste de circulation, soit pour s'arrêter ("Taxis brousse"), soit pour éviter les "nids de poules" de la chaussée (photo 143). La "dentelle de rive" est difficile à réparer et certains la prennent en compte pour justifier le revêtement des accotements.



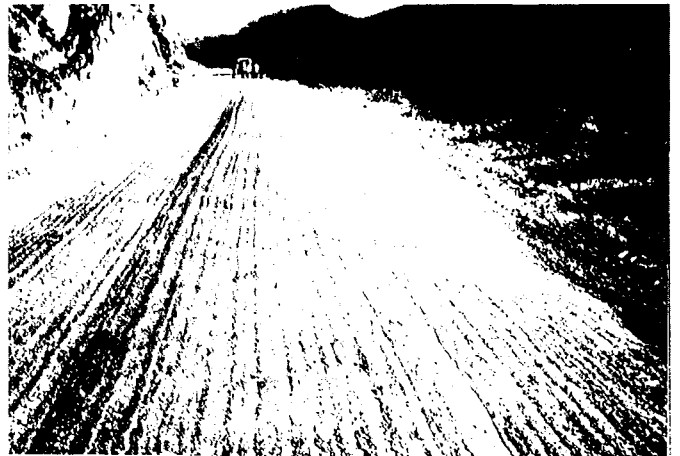
136. enduit de 25 ans – fissuré mais encore vaillant



137. peignage généralisé d'un enduit (Madagascar)



138. peignage généralisé d'un enduit
(Mali)



139. peignage généralisé d'un enduit (Chine)



140. une ancienne RC (route coloniale) quelque part en Asie



141. peut-on encore parler de nids de poule ?



142. chapelet de dégradations

Les véhicules préfèrent .143
emprunter l'accotement



144. fossés obstrués - un philippin astucieux a trans-
formé le fossé en piscine pour son carabao



145. accotements "revêtus"



146. végétation envahissante



147. base instable et sans cohésion
"le revêtement ne fait pas la route à lui seul !"

L'ENTRETIEN

Dans ce domaine, il est certain que l'entretien curatif l'emporte sur l'entretien préventif : la chaussée est réparée tant bien que mal quand les dégradations se présentent avec les moyens du moment (photos 150 - 151).

Sans que cela ne soit la seule raison, ceci est évidemment en grande partie lié au fait que les bailleurs de fonds ont très longtemps refusé de financer l'entretien des routes revêtues, laissant à chaque pays, le soin de réaliser ses travaux avec ses propres ressources.

Cette situation a engendré le développement de petits ateliers de réparation qui relèvent souvent du bricolage sympathique duquel il ressort cependant deux idées fortes :

Même si parfois ce genre d'atelier prête à sourire, il ne faut pas sous-estimer son rôle : il est vital pour la survie de bien des chaussées de pouvoir réparer les dégradations dès qu'elles apparaissent , même avec des moyens rudimentaires.

Quoique ce genre d'atelier relève de l'artisanat, ce n'est pas une raison pour soutenir la gabegie . Il est paradoxal de voir les pays les plus démunis gaspiller le bitume.

Une organisation rentable et efficace peut être mise en place (mais cela demande des efforts).

Les photographies 152 à 161 sont bien entendu des montages : toute ressemblance avec des situations existantes ou ayant existé ne serait que fortuite coïncidence.

MATERIAUX ET TECHNIQUES LOCALES

Il existe de nombreuses raisons de s'intéresser aux matériaux locaux dans les pays en développement parmi lesquelles :

◇ L'existence de très grandes formations de matériaux particuliers qui sont à l'échelle d'un continent : les latérites, les tufs et les encroûtements calcaires, les sables, les granulats de Reg ... (photo 162). Ils sont parfois d'excellente qualité, voire même la providence de l'ingénieur routier car il est beaucoup plus facile par exemple de construire et d'entretenir une route non revêtue avec un graveleux latéritique qu'avec une grave propre de rivière ou une grave concassée. Ils ont parfois des performances plus faibles que celles qui figurent dans les spécifications des pays industrialisés mais les conditions locales (les climats secs, les faibles trafics par exemple autorisent bien souvent des tolérances assez larges).

◇ Il n'est pas usuel d'importer du matériau de viabilité dans un pays en développement même si l'on peut citer le contre exemple du ballast de chemin de fer. Compte tenu des qualités demandées au matériau et de la spécificité de la mise en oeuvre, l'importation peut être économiquement rentable : c'est ainsi que l'on a vu importer du ballast pour un chemin de fer partant d'un port vers l'intérieur du pays, jusqu'à ce que la voie soit arrivée à proximité des premières carrières. Mais ce contre exemple anecdotique ne change pas la règle : dans un pays calcaire, les enduits seront calcaires. Lors de constructions, on utilisera au mieux ce qui existe sur l'itinéraire car les coûts de chaussée imposent de réduire les distances de transport.



148 - 149. dentelles de rives



150. reprofilage des rives par du graveleux pour éliminer la dentelle - route Sikasso-Zégoua (Mali)



151. rebouchage des nids de poule par du graveleux



152. atelier de réparation au Sri Lanka



153. vue rapprochée de l'atelier de point à temps



154. signalisation de chantier et poste d'enrobage mobile (Philippines)

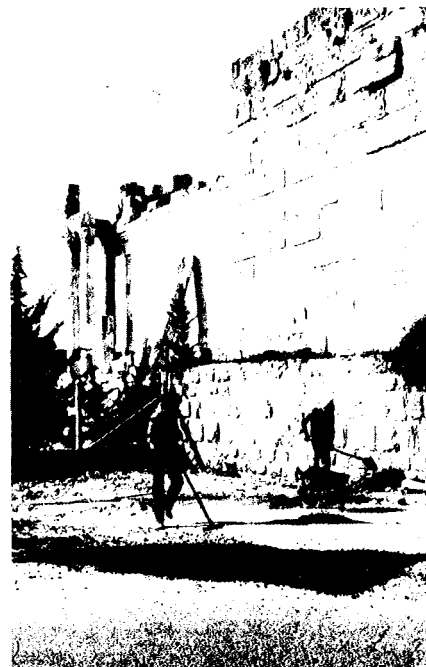


155. rebouchage des nids de poule



156. le compactage est une opération qu'il faut soigner

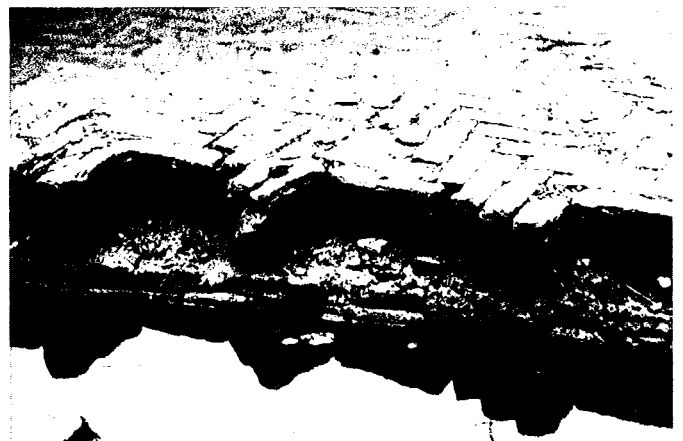
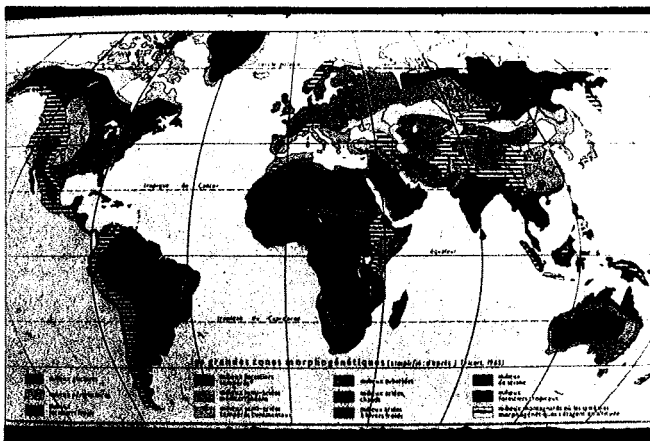
enrobés à la .157
brouette (Baalbeck - Liban)



158. poste fixe d'enrobage de faible tonnage (Mali)



159. enrobés à froid de grande surface



Mais utiliser les matériaux locaux, élargir les spécifications, réduire les distances de transport, en un mot optimiser les coûts, cela est aussi une préoccupation des pays industrialisés. C'est donc plus dans la solution que dans l'objectif que réside l'originalité pays en développement.

Faire appel à des matériaux locaux ou à des techniques locales, ce n'est pas seulement choisir la solution la plus économique d'une alternative ; c'est parfois aussi la seule façon de construire la route d'où le développement de techniques originales et parfois surprenantes, dans des pays pauvres ou dépourvus de granulats : enrobés de coquillage (photo 163), sable stabilisé au lignosulfite, route en briques (photos 164 à 172) encore que cette technique soit également utilisée en Europe (on rapporte que la brique ayant trois dimensions inégales, elle est adaptée au dimensionnement de trois classes de trafic à condition de choisir judicieusement la face posée au sol !). Il est également important d'avoir présent à l'esprit que la rareté ou le prix du matériau peut parfois conduire à une conclusion inverse et justifier économiquement l'importation de techniques de pointe comme cela est le cas pour les géotextiles sous enduit en Colombie, par exemple (solution plus économique que celle qui consiste à réempierrier la route en terre avant l'enduisage) (photo 173).

La main d'oeuvre en pays en développement est abondante bien souvent et toujours bon marché. Ceci a donné lieu à des recherches de méthodes de construction à main d'oeuvre intensive et également à des modes de production des granulats impensables dans un pays industrialisé. On imagine mal aujourd'hui, la population d'un village français arrondissant ses fins de mois en préparant des petits tas de cailloux qu'une entreprise viendrait ramasser et payer à l'unité. Cela existe pourtant dans les pays en développement où l'on peut citer le ramassage de pisolithes latéritiques ou de boules de dolérites pour la

fabrication des enduits, l'exploitation de gravier au bufile doseur (photo 174) ou par plongeur sous marin interposé (photo 175) ou encore le concassage manuel (photos 176 et 177). Certes, la production individuelle est faible mais le rendement d'ensemble peut satisfaire au planning de chantier.

C'est une lapalissade de dire qu'il n'y a pas de spécifications pour les matériaux hors spécification. Il faut donc faire des expériences et les suivre pour en tirer parti. La construction de la route Tahoua Arlit (Niger) en est un exemple. Le projet avait mis en évidence une carence en matériaux usuels sur environ 250 km d'un tracé long de 650 km, exceptée la présence de roches massives permettant la production de concassé.

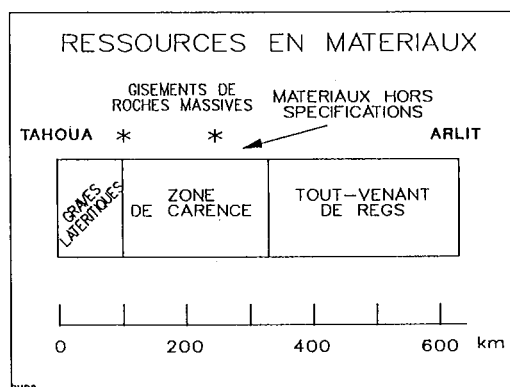


Figure 17 : ressources en matériau le long du tracé, existence d'une zone de 250 km dépourvue de matériau conventionnel.



166. une route en brique revêtue



167. route non revêtue en brique concassée



168. route en brique concassée revêtue



169. l'atelier de concassage



170. l'atelier de transport



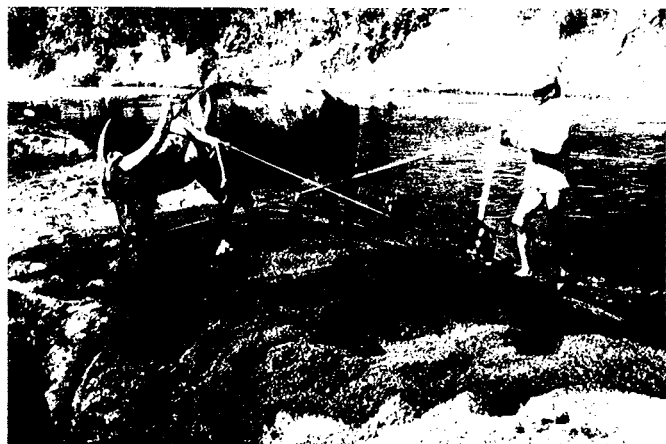
171. l'atelier de séchage



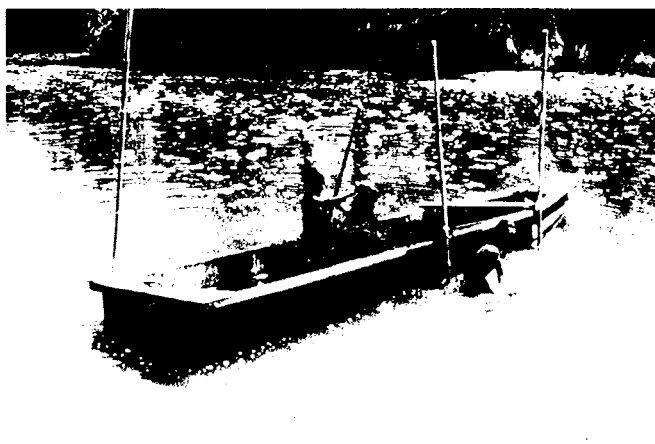
172. l'atelier d'enrobage



173. enduits sur géotextiles en Colombie



174. ramassage du gravier au buffle doseur aux Philippines

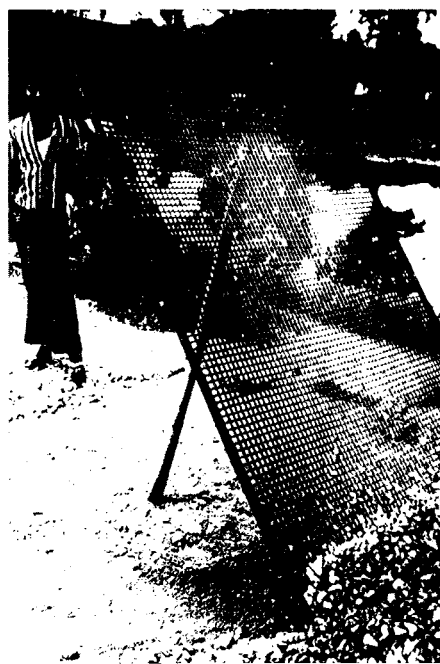


175. collecte de gravier par plongeur aux Philippines



176. concassage manuel
(Pakistan)

criblage- .177



La comparaison du prix des matériaux en place , transport neutralisé, et l'importance prépondérante du corps de chaussée dans le coût de l'ouvrage conduisait à éliminer concassés et distances de transport prohibitives d'où l'obligation de rechercher des solutions reposant sur l'utilisation de matériaux hors spécification, qui dérogeaient par leurs petites dimensions, leur fragilité ou leur sensibilité à l'eau.

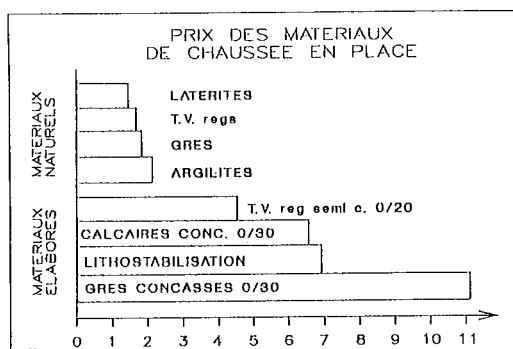


Figure 18 - Prix comparatifs des différentes solutions

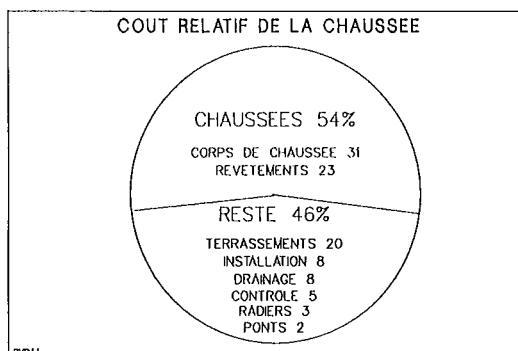


Figure 19 - Coût relatif de la chaussée

Ces matériaux ont été mis en oeuvre et leur comportement a été suivi pendant quatre ans. Certains n'ont pas été à la hauteur des espérances mais d'autres se sont révélés valables et ces conclusions ont été immédiatement mises à profit lors de la réalisation de l'itinéraire Agadez Zinder, qui présentait des caractéristiques semblables à celles du premier projet. Cet exemple montre l'intérêt d'organiser le suivi du comportement des routes et des techniques.

Techniques de pays en développement, c'est parfois, le système D mais cela peut être aussi l'opportunité de recherches dont les aboutissements peuvent intéresser pays en développement et pays industrialisés. Les termites en donnent un exemple. Les colonies de petites termitières fournissent un matériau utilisé au CONGO, au BURKINA FASO et ailleurs, pour reboucher les "nids de poule" : on ramasse les termitières, on les place dans les "nids de poule" et on cylindre (photos 178 à 182). Il paraît que la réparation est durable : c'est un système D. Les grosses termitières sont très très dures. (photo 183). Certains se sont donc demandé comment les termites avaient pu transformer le sol meuble ou tendre en ce matériau si dur. D'où l'idée de recueillir le suc salivaire du termite bâtisseur, de l'analyser et d'essayer de le reproduire par voie industrielle, pour créer un produit de stabilisation des sols : ouverture sur des travaux de recherche.

Recherche et innovation dans le domaine routier, cela concerne aussi les pays en développement ! **Le SERI est le service des Etudes et des Recherches Internationales**, de même qu'il existe un projet national sur ce sujet, le projet PORTE de la DAEI (projet national d'optimisation des routes économiques).



178. termitière champignon



179. brûlis de culture dans un champs de termitières champignon



180. ce matériau résiste au feu et il est également excellent pour reboucher les nids de poule



181. au village, récolte des termitières



182. approvisionnement le long de la route à traiter



termitière "mahousse" .183

BIBLIOGRAPHIE

1. *"Manuel sur les routes dans les zones tropicales et désertiques"* - **Secrétariat d'Etat aux Affaires Etrangères**, chargé de la coopération. BCEOM - CEBTP - 1975
2. **C. TOUBAS** - *"Les pistes et routes rurales en Afrique francophone"* - BCEOM - 1979 - Mémoire de diplôme d'ingénieur.
3. **G. MELLIER** - *"La route en Terre"* - Eyrolles 1968.
4. **BONNEY - JACOBS - LEGER - AUTRET** - *"Choix des normes pour les routes africaines"* - Symposium CEA à Addis Abeba - 1974.
5. **KORSAGA - SANGARE** - *"Quelques aspects des modèles de gestion routière"* - Travail de fin d'études ENTPE - LCPC - 1985.
6. **P. BLET** - *"L'évaluation économique des projets routiers"* - Ministère des TP. de Côte d'Ivoire - 1977.
7. *"Système de gestion des chaussées"* - OCDE 1987
8. *"The road maintenance problem"* Banque Mondiale 1981.
9. *"La détérioration des routes dans les pays en développement - causes et remèdes"* - Banque Mondiale - 1988.
10. *"Les métiers de l'entretien routier dans les pays africains"* - Ministère de la Coopération - SMUH - BCEOM - 1977.
11. *"Manuel d'entretien des routes"* - Nations Unies - CEA (Commission Economique pour l'Afrique) - 1982.
12. **CESAREO** - *"L'entretien des routes en terre en Côte d'Ivoire"* Eyrolles - 1970.
13. *"Entretien des routes non revêtues dans les pays en développement"* - OCDE 1985 .
14. *"Manuel de suivi des routes pour la gestion de l'entretien dans les pays en développement"* - OCDE 1989.
15. *"Guide pratique de l'entretien des chaussées"* - MELAT-SETRA - 1987.
16. *"Le savoir-faire français en matière d'entretien routier : l'expérience française et ses possibilités d'adaptation"* - BCEOM - CEBTP - LCPC-SETRA - Publication ISTED 1983.
17. **G. JEUFFROY** - *"Le phénomène de la tôle ondulée"* - Revue générale du caoutchouc - 1954.
18. **M. FENZY** - *"Etude sur la tôle ondulée"* - Séminaire de Beni Abbes - 1965.
19. **M. DAVIN** - *"Etudes théoriques sur l'amorçage de la tôle ondulée des chaussées"* - Annales P et C , V et VI, 1966.
20. **D. BONI** - *"L'entretien des routes en Côte d'Ivoire"* - CEA symposium d'Addis Abeba. - 1974.
21. **M. BAKO** - *"L'entretien des routes au Niger"* CEA Symposium d'Addis Abeba - 1984.
22. **P. BERTRAND** - *"Lutte contre la tôle ondulée des routes en terre non revêtues"* - Ministère des T.P. du Burkina Faso - 1975.

22. **P. BERTRAND** - *"Lutte contre la tôle ondulée des routes en terre non revêtues"* - Ministère des T.P. du Burkina Faso - 1975.
23. **GRESILLON** - *"La tôle ondulée"* - EIER DE OUAGADOUGOU Burkina - Faso - RGRA n° 539 - 1978.

Liste des ouvrages à consulter qui traitent de problèmes évoqués et non développés dans le rapport

24. *"Manuel d'exécution des petits ouvrages routiers en Afrique"* Ministère de la Coopération - BCEOM - 1975.
25. **R. JONEAUX** - *"Possibilités comparées des routes non revêtues et des routes revêtues dans les pays africains"* - Ministère de la Coopération - 1975.
26. *"Manuel sur les comptages routiers et les enquêtes de trafic"* Ministère de la Coopération - BCEOM - 1976.
27. **E. ROOSE** - *"Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest"* ORSTOM - 1977.
28. **G. PILOT - D. CHAPUT - D. QUEROI** - *"Remblais routiers sur sols compressibles"* Ministère de la Coopération et du Développement - 1988.
29. **P. AUTRET - R. REQUIRAND** - *"Les enduits superficiels dans les pays en développement"* - Comité technique "Routes dans les régions en développement" - AIPCR - 1989.
30. **AUTRET - BAUER - BORDES - GRIMAU - LE DUFF - REQUIRAND - RETOUR - VANISCOTTE - VECOVEN** - *"Les enduits superficiels dans le contexte des routes économiques - guide technique de conception et de réalisation"* - DEAI - LCPC - 1989.

Le **SERI**, Service des Etudes et Recherches Internationales du LCPC, a effectué un grand nombre d'études de routes et de réseaux routiers à l'étranger, soit dans le cadre de projets, en association avec des bureaux d'études, tels que *BCEOM - CEBTP - INGEROUTE - SETEC - TRANSROUTE*, soit dans le cadre de coopération bilatérale. Ceci a été réalisé depuis 1968 dans des contextes aussi variés que ceux de :

Afrique du Nord : Algérie - Maroc - Tunisie

Afrique de l'Ouest : Benin, Cameroun, Congo, Côte d'Ivoire, Gabon, Guinée, Mali, Mauritanie, Niger, Nigeria, Sénégal, Tchad, Togo.

Afrique Orientale et Australe : Burundi, Comores, Djibouti, Ethiopie, Kenya, Madagascar, Maurice, Swaziland, Zaïre.

Amérique du Sud : Argentine, Brésil, Colombie, République Dominicaine, Mexique, Vénézuëla.

Asie du Sud Est : Chine, Corée du Sud, Indonésie, Laos, Philippines, Viet-Nam.

Moyen Orient : Abu Dhabi, Arabie Saoudite, Barhein, Iran, Jordanie, Liban, Syrie, Yemen.

Les rapports qui ont suivi ces études ou ces missions de coopération ne font pas partie du domaine public et il faut l'autorisation du pays concerné pour y avoir accès. Le **SERI** par contre, a publié ou participé à la publication des documents suivants qui font également partie de son expérience concernant les routes dans des régions en développement.

31. **M. CHAGNAS - JC TIJOU** - "*Les problèmes posés par la construction des chaussées au Gabon*" - LCPC - BL n°84.1976.
32. **P. AUTRET** - "*Le réseau routier du Mali - Détermination des besoins en entretien et en renforcement du réseau revêtu*" - LCPC Série Etudes 1980.
33. **P. AUTRET** - "*Contribution à l'étude des graveleux latéritiques traités au ciment*" - Thèse de Doctorat ENPC - LCPC 1980.
34. **MAIGA SALIHA** - "*Classification des principales formations de sols du Mali*" - DEA Paris VI - LCPC - 1980.
35. **A. CISSE** - "*Compactage à sec des remblais et assises de chaussée*" - Thèse de Doctorat ENPC - LCPC 1980.
36. **P.A. DIENG** - "*Recherche d'un paramétrage d'uni des chaussées et méthodologie d'utilisation en vue de la programmation de l'entretien routier préventif dans les pays en développement*" - Thèse de Doctorat ENPC - LCPC 1980.
37. **M. CHAGNAS - JC TIJOU - R. BELLANGER** - "*Les latérites du Gabon dans le domaine routier*" - LCPC Série Etudes - 1981.
38. **A. LAWAL** - "*Etude des graveleux latéritiques du Mali*" - Travail de fin d'études de l'ENTPE - LCPC 1981.
39. **M.H. BEN DHIA** - "*Les tufs et encroutements calcaires dans la construction routière*" - Thèse de Doctorat - Université Paris VI - LCPC - 1983.
40. **P. AUTRET** - "*Latérites et graveleux latéritiques*" - Publication LCPC - ISTED Série Etudes 1983.
41. **R. REQUIRAND, M. TILLOUX** - "*La route Tahoua Arlit au Niger - Les matériaux de chaussées*" - Publication LCPC-ISTED Série Etudes 1983.
42. **POLO NOELAKI** - "*Méthodes pratiques de dimensionnement dans les pays tropicaux*" - Travail de fin d'études de l'ENTPE - LCPC-1983
43. **S. ALINCHAR - M. NDOUMBE** - "*Application du modèle HDM à un itinéraire de 1100 km à Madagascar*" - Travail de fin d'études de l'ENTPE - LCPC 1983.
44. **P. AUTRET** - "*L'action internationale du LCPC et du réseau des Laboratoires des Ponts et Chaussées*" - Revue Travaux n° 594 -1984
45. **TOTO EPANGUE** - "*Analyse d'une chaussée dégradée en graveleux latéritique ciment au Cameroun*" - Travail de fin d'études ENTPE - LCPC 1984.
46. **Paul ENANGA** - "*Etude des latérites - approche géologique et géotechnique*" - Travail de fin d'études ENTPE - LCPC 1984.
47. **P. AUTRET** - "*Le réseau LCPC - LR et l'exportation : le SERI, service des études et recherches internationales du LCPC*" - RGRA n° 609 - 1984.
48. **AUTRET - BROUSSE - DUCROS - GRIMAU**
- REQUIRAND - "*Comportement et entretien des routes revêtues en zone sahélienne : l'exemple du Niger*" - Publication LCPC-ISTED Série Etudes - 1984.

49. **P. AUTRET** - *"Atelier latérite - rapport général"* - Colloque ISTED - Routes et développement - 1984.
50. **R. REQUIRAND** - *"Applications du manuel de conception des chaussées neuves à faible trafic à la route Agadez Zinder au Niger"* - Colloque ISTED - Routes et Développement - 1984.
51. **P. AUTRET** - *"Etude en laboratoire d'un graveleux latéritique ciment"* - Colloque ISTED - Routes et Développement - 1984.
52. **AUTRET - KOBISCH** - *"Schéma itinéraire pour étude d'entretien et de renforcement appliquant le modèle HDM"* - Colloque ISTED - Routes et Développement - 1984.
53. **R. REQUIRAND** - *"La route Tahoua - Arlit (Niger) - Comportement des matériaux de chaussées après 4 années de service"* - Publication LCPC-ISTED Série Etudes - 1985.
54. **P. RETOUR** - *"Entretien routier en Colombie"* - Publication LCPC-ISTED Série Etudes - 1985.
55. **J.C. BOUDIONGO** - *"Ebauche d'un catalogue de dégradation de chaussées non revêtues au Gabon"* - Travail de fin d'études ENTPE - LCPC 1986.
56. **AUTRET - REQUIRAND** - *"Il existe des matériaux locaux qui se comportent bien"* - Conférence IRF du Caire - 1986.
57. **J.J. CHAUVIN** - *"Les sables - guide pratique d'utilisation routière"* - ISTED - LCPC - Série Synthèse 1987.
58. **E. BAGARRE** - *"Les matériaux volcaniques : utilisation en technique routière"* - ISTED - CEBTP - Série Synthèse - 1987.
59. **MONTANE Sylvie** - *"Entretien routier dans les pays du Tiers Monde - Réflexion sur la possibilité de développement de micro entreprises privées pour pallier la défaillance du système étatique public"* - Travail de fin d'études de l'ENPC - LCPC 1988.
60. **G. COLOMBIER** - *"Tufs et encroutements calcaires - utilisations routières"* - ISTED - LCPC - Série Synthèse - 1988.
61. **ALLAM - KHELIFA** - *"Construction des routes dans les zones désertiques - Lutte contre l'ensablement"* - Travail de fin d'études - ENTPE - LCPC 1988.
62. **EVRARD - GESTIN - LEDUC** - *"Les récifs coralliens et leur exploitation"* - ISTED - LCPC - Série Synthèse - 1988.
63. **AUTRET - CHOO SANG DEOK** - *"Mise en place d'un système d'aide à la gestion de l'entretien routier en Corée"* - Conférence IRF Séoul 1989- LCPC BL 160 - 1989.

Référence des documents photographiques

Toutes les photographies contenues dans ce rapport appartiennent à la collection de l'auteur, à l'exception des photographies suivantes qu'il a empruntées à des amis à qui il adresse ses remerciements :

P. BERTRAND	n° 83 - 180 - 181
JL. BROUSSE	n° 62 - 138
P. CARIO	n° 54 - 81 - 85 - 114 - 136
G. FETROT	n° 163 à 171 et 175 - 176
J.P. GRIMAU	n° 1 et 2.

Le travail de laboratoire photographique ainsi que la présentation des graphiques sur papier ou sur diapositive, obtenus par DAO, sont l'oeuvre de Claude MASSONPIERRE. Qu'il veuille bien trouver ici les marques de mon profond remerciement.