

PRESENTATION DU MANUEL DE RENFORCEMENT DES CHAUSSEES REVETUES

M. MANAL

Centre d'Etudes et de Recherches des Infrastructures de Transport - LPÉE

Le précieux patrimoine que constitue le réseau routier marocain, correspond à un coût global de premier investissement considérable justifié par son grand intérêt social et économique. Il doit donc par conséquent, par des actions d'entretien et d'amélioration d'une part et d'extension d'autre part, bénéficier d'une gestion adaptée. En effet même en ayant été bien conçues, toutes les chaussées se dégradent sous l'action du trafic, avec des phases saisonnières et avec une évolution plus ou moins rapide qui dépend de plusieurs facteurs.

Devant cette évolution inévitable, il a été donc jugé nécessaire de prévoir des programmes de renforcement sur l'ensemble du réseau routier marocain.

Les dépenses de renforcements sont déjà considérables et elles continueront à s'accroître par suite de l'augmentation prévisible du trafic et du fait qu'une forte proportion des routes atteindra prochainement la fin de sa durée de vie.

Des programmes généraux de renforcements ont été donc réalisés par la Direction des Routes et de la Circulation Routière et ces programmes ont nécessité, l'exécution au préalable, d'études techniques détaillées pour chaque itinéraire, afin de choisir les solutions de remise en état. Les méthodes antérieures utilisées pour ces études techniques étaient d'origines étrangères et posaient par conséquent quelques difficultés d'adaptation au contexte marocain.

La présente note se propose de présenter une nouvelle méthode actuellement utilisée au Maroc pour la définition des travaux de renforcement. La méthodologie retenue pour cette nouvelle méthode permet d'effectuer une synthèse et d'aboutir à un dimensionnement, prenant en compte l'influence des divers paramètres, qui déterminent la solution de renforcement dont les plus importants sont :

- La chaussée à renforcer*
- Le matériau de renforcement*
- Le niveau du trafic*
- Le sol de plateforme et son drainage et plus généralement l'environnement géotechnique global*
- La nature et la fréquence des opérations ultérieures d'entretien.*

I/ EVOLUTION DES METHODES DE RENFORCEMENTS AU MAROC

Pour toute méthode utilisée, les données nécessaires à la définition d'un renforcement sont :

- a) La connaissance du trafic et de sa croissance dans le temps
- b) La connaissance de l'environnement géotechnique et climatique permettant de définir les caractéristiques des sols supports (au sens large).
- c) L'auscultation de la chaussée existante et cette auscultation doit être **impérativement associée** à un examen visuel et à des sondages de la chaussée existante en vue de connaître sa **valeur résiduelle** et d'estimer le rôle qu'elle peut encore jouer efficacement dans la structure renforcée.
- d) Le dimensionnement et le choix de la structure de renforcement avec la définition des matériaux à utiliser.
- e) Le traitement des annexes pour préserver la chaussée de toute agression secondaire (érosion des accôtments, assainissement, instabilité du sol, instabilité des pentes naturelles ou des terrassements, etc...).

Avant la mise au point du Manuel de Renforcement, plusieurs méthodes étaient utilisées pour l'étude technique des renforcements, ces méthodes se classent dans deux catégories :

- La première catégorie qui utilise la notion de chaussée résiduelle, dans laquelle on trouve la méthode américaine AASHTO et la méthode anglaise ROAD NOTE 29.
- La deuxième catégorie utilise les données de déflexion et dans laquelle on trouve : la méthode française SETRA/LCPC et la méthode anglaise T.R.R.L.

A/ Méthodes par valeur résiduelle.

Ces méthodes consistent à définir la portance du sol dans les conditions les plus défavorables in-situ sous la chaussée existante puis à estimer par sondage la valeur résiduelle de la chaussée en épaisseur équivalente (le matériau de référence étant constitué par un tout-venant concassé excellent pour couche de base).

L'épaisseur totale équivalente de chaussée neuve nécessaire, étant définie par les abaques de dimensionnement suivant la portance et le trafic (abaques A.A.S.H.T.O. - abaques ROAD NOTE 29). On obtient par différence l'épaisseur équivalente de

renforcement que l'on compose par le jeu de coefficients d'équivalence. La difficulté de ces méthodes réside donc dans l'évaluation de l'état des couches et donc de la valeur résiduelle de la chaussée. Cette évaluation exige un observateur expérimenté. Ces méthodes donnent souvent des résultats peu proches les uns des autres.

B/ Méthodes par déflexion.

Le principal paramètre de dimensionnement est la déflexion. Ces méthodes donnent des épaisseurs de renforcements en matériaux traités au bitume, il s'agit du "Rollet Asphalt" pour la T.R.R.L et de grave-bitume et/ou béton bitumineux pour la méthode SETRA/L.C.P.C.

L'utilisation de ces méthodes dans le contexte marocain, pose certaines difficultés à savoir :

Pour la T.R.T.L.

- C'est une méthode applicable dans le cas de sols de plateforme ayant un indice C.B.R. de 2,5 à 10. Dans le cas de sols de plateforme très peu portants, la méthode conduit à un surdimensionnement. Dans le cas des sols de plateforme de bonne portance, c'est le contraire qui se produit.
- L'utilisation au Maroc nécessite un certain nombre d'ajustements sur les valeurs de déflexion.

Pour SETRA/LCPC

- Le guide de dimensionnement français est fondé sur la détermination de la déflexion limite admissible en fonction du nombre cumulé d'essieux par observation du comportement des chaussées existantes en France.

Les solutions de renforcement indiquées par le guide Français ne peuvent être utilisés directement que lorsque les conditions du pays concerné sont très semblables à celles de la France, du point de vue du climat, des matériaux, de l'agressivité du trafic et de la durée de vie des projets de renforcement; sur l'ensemble de ces points, les contextes français et marocains diffèrent. Il s'ensuit donc que les épaisseurs de renforcement sont généralement surestimées.

C/ Conclusion.

Les difficultés de transposition des méthodes ci-dessus mentionnées au contexte marocain et le souhait d'élaborer une méthode marocaine qui s'adapte parfaitement aux particularités du réseau National, ont amené la Direction des Routes et de la

Circulation Routière à demander au Laboratoire d'Essais et d'Etudes de mettre sur pied un manuel des renforcements des chaussées.

II/ PRESENTATION DU MANUEL DE RENFORCEMENT

A/ Généralités.

La méthodologie générale de renforcement adoptée par le nouveau Manuel de Renforcement, est restée la même que celles des autres méthodes étrangères déjà mentionnées; cette méthodologie consiste comme il a été déjà mentionné en :

- un recueil des données qui déterminent le comportement de la chaussée
- un choix des structures et des matériaux à mettre en place.

Cependant, par rapport aux autres méthodes, ces points ont été bien détaillés et complétés.

Le recueil des données à pour objectif de réunir le maximum d'informations concernant les points suivants :

- Trafic
- Données géotechniques et d'auscultation
- Données générales (climat, etc...)

Les classes de trafic à prendre en compte sont celles qui ont été adoptées par le catalogue marocain des structures de chaussées neuves. Certaines classes ont été scindées en sous-classes qui permettent un choix plus large pour les matériaux de renforcement et celui de la couche de surface.

Les données géotechniques à recueillir et à adopter comme entrées pour la détermination des épaisseurs, ainsi que pour la définition des actions sur les accotements, restent conformes avec celles déjà adoptées par le catalogue marocain des structures de chaussées neuves.

L'auscultation de l'itinéraire à renforcer est effectuée de deux manières :

- D'abord une auscultation par des appareils à grands rendements que sont le déflectographe Lacroix pour la mesure des déflexions et le Bump Integrator (ou l'analyseur de profil en long) pour l'estimation de l'uni.
- Ensuite un relevé visuel des dégradations effectué par l'ingénieur chargé de l'étude. Ce relevé visuel est complété par une campagne de sondages et de reconnaissance ou de carottage pour connaître les structures en place.

Les données générales concernent l'histoire de la chaussée ainsi que le contexte géologique, hydrogéologique et climatique qui caractérisent l'environnement de la chaussée.

L'ensemble de ces données permet de déterminer des zones homogènes qui présentent les mêmes caractéristiques et sur lesquels seront définies les actions à entreprendre.

En ce qui concerne le choix des structures à mettre en place, celui-ci est précédé d'abord par un choix des actions de remise en état de la chaussée qui constitue la clé de l'étude et une sorte de diagnostic de la chaussée.

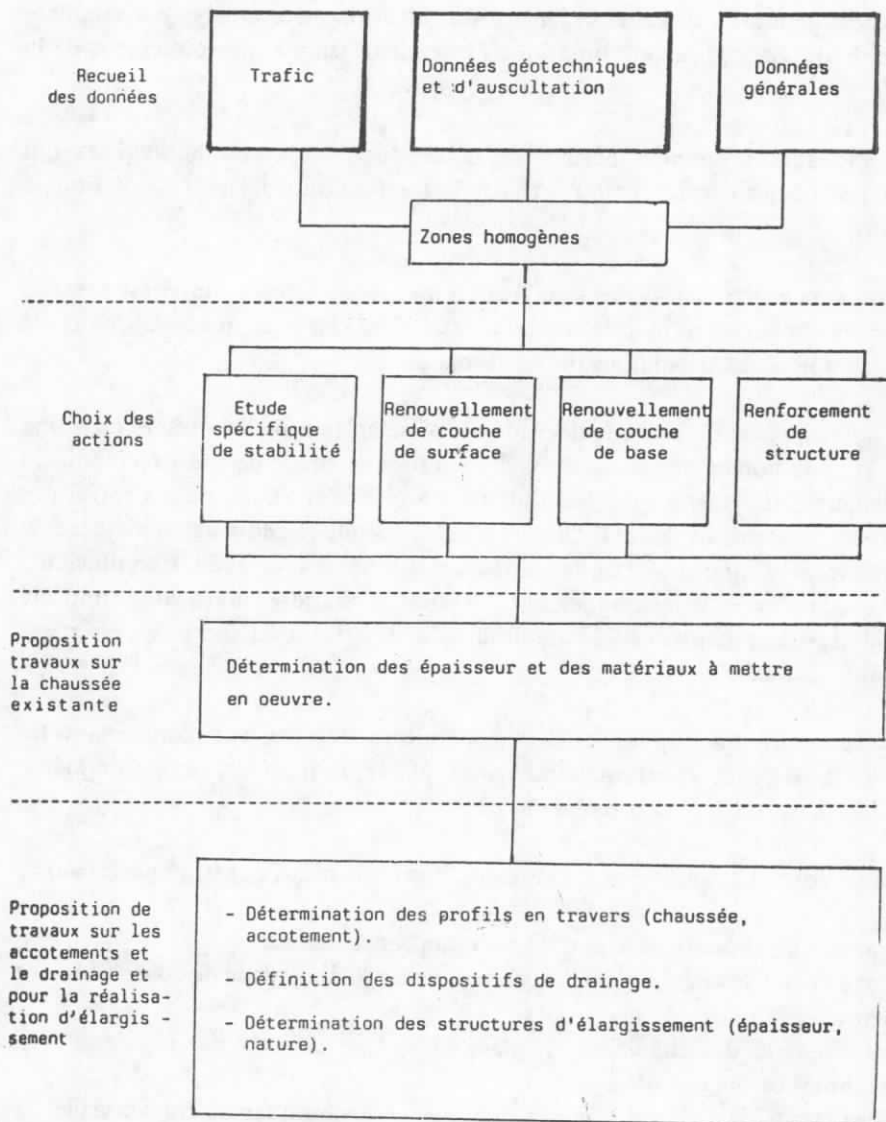
Il est à noter qu'à ce niveau une décision est prise en ce qui concerne le maintien ou non de la zone homogène, dans le cas d'une étude normale de renforcement. En effet, plusieurs itinéraires se dégradent uniquement par des contraintes d'environnement (versants instables, etc...). C'est alors que le choix des structures est effectué sur le plan quantitatif et qualitatif. IL est à noter à ce sujet, que plusieurs types de matériaux non classiques en technique routière marocaine ont été introduits dans le but de profiter au maximum des possibilités d'approvisionnement en matériaux locaux.

Le manuel a eu aussi pour objet la définition des travaux concernant les accotements et les éventuels élargissements qui peuvent être programmés en même temps que l'opération de renforcement.

Le manuel contient également, en annexes, plusieurs notes qui traitent des sujets suivants :

- L'organisation d'une campagne de reconnaissance in-situ
- Le relevé visuel de dégradations, leurs origines et le diagnostic de comportement
- Les caractéristiques des matériaux
- Le retraitement des chaussées en place
- Les techniques de reprofilage
- Les documents de présentation des données géotechniques de relevé visuel et d'auscultation.

L'organigramme présenté ci-contre, résume les étapes de la méthodologie adoptée.



Dans la suite de la note on traitera des points suivants :

- Le recueil des données
- Le choix des actions
- La proposition des travaux sur la chaussée existante
- Les travaux concernant les accotements et les élargissements.

B/ Le recueil des données.

a) Le trafic :

Les données de trafic à recueillir se composent des éléments suivants :

N_i = Nombre de véhicules journaliers dans les deux sens à l'année i
(trafic global)

X = Pourcentage des poids lourds dans le trafic global

tg = Taux d'accroissement du trafic global

tp = Taux d'accroissement du trafic poids lourds.

Ces données sont généralement rencontrées dans les recueils des données numériques sur les comptages routiers (édités par la DRCR) ou par enquête locale sur le trafic.

Le trafic à prendre en compte pour l'évaluation du renforcement est calculé à partir des données ci-dessus recueillies après plusieurs corrections tenant compte de :

- L'actualisation du trafic global à l'année p de renforcement
- La largeur de la chaussée (nombre de voies)
- L'agressivité du trafic
- Le pourcentage de poids lourds
- Le taux d'accroissement des poids lourds

Le trafic ainsi corrigé est classé dans le tableau suivant :

Classe T_i	T5	T4	T3-	T3+	T2	T1-	T1+	T0-	T0+
Trafic corrigé	0	50	200	350	750	2000	3500	4500	> 6500
	50	200	350	750	2000	3500	4500	6500	

Il est à remarquer que des modifications ont été introduites par rapport aux

classes classiques de trafic qui figurent dans le catalogue marocain des structures de chaussées neuves; en effet :

- Une classe T₅ a été introduite pour prendre en compte les très faibles trafics. Cette classe a été également introduite dans le nouveau catalogue du dimensionnement des chaussées à faible trafic.

- La classe T₃ a été scindée en deux sous classes T₃₋ et T₃₊.

Le trafic T₃₋ étant considérée comme étant le maximum pour lequel on admet l'existence en couche de base d'une pierre cassée (Macadam) et d'une grave non traitée type D (matériaux de qualité moindre que la G.N.B.)

- La classe T₁ a été également scindée en deux sous classe T₁₋ et T₁₊. La classe T₁ est le maximum pour laquelle on peut admettre une couche de base en grave non traitée type G.N.A. (matériaux propres, entièrement concassé et à courbe pleine).

- La classe T₀₊ nécessite une étude spéciale de renforcement par utilisation de concepts de mécanique des chaussées (Programme Alizé III, essais de fatigue sur les matériaux prévus, etc...).

b) Les données générales :

Les données générales concernent :

- Le climat et le régime hydraulique de la zone

- L'historique de l'itinéraire étudié

- Les normes relatives aux matériaux de corps de chaussée.

En ce qui concerne le climat, l'exploitation des données météo sur une quarantaine d'année permet de classer la zone en :

- Zone aride pour une pluviométrie annuelle inférieure à 250 mm

- Zone non aride pour une pluviométrie annuelle supérieure à 250 mm.

Actuellement, une étude est en cours à la DRCR pour affiner ce classement et tenir compte des paramètres d'évapotranspiration.

Il est aussi tenu compte pour le classement de la présence ou non de nappes et des zones d'irrigation.

Les données concernant l'historique font ressortir :

- La fréquence et l'importance des entretiens dans le passé

- La date du dernier renouvellement de surface (qui peut influencer le relevé visuel des dégradations)

- Les dates des différentes interventions lourdes : renforcements, rectifications de tracé, surélévations de ligne route, etc...).

Les normes relatives aux matériaux de corps de chaussée sont à rappeler. Un inventaire est effectué en général en parallèle à l'étude de renforcement pour connaître les potentialités en matériaux, cette investigation aura des répercussions sur les solutions finales proposées.

c) Les données géotechniques et d'auscultation :

Cette phase constitue l'étape la plus importante du recueil des données, elle nécessite le déplacement sur le terrain pour une reconnaissance visuelle de l'itinéraire, afin de faire un relevé très détaillé des dégradations, ainsi que l'exécution d'une campagne de sondages dans la chaussée sur les zones homogènes pour reconnaître les structures en place. L'accent est mis aussi sur une bonne reconnaissance des sols en place (en surface et en plateforme support de chaussée), sur un bon relevé des caractéristiques géométriques du tracé, sur la qualité du drainage superficiel et interne et également sur les ouvrages de rétablissement des écoulements. Un relevé géologique est également effectué le long du tracé pour affiner les données des cartes géologiques et géotechniques quand celles-ci existent.

Il est à noter qu'en parallèle une campagne d'auscultation par appareils à grand rendement est effectuée par la Direction des Routes et de la Circulation Routière et qui permet de fournir :

- Les données de déflexion au déflectographe Lacroix
- Les données d'uni à l'A.P.L. ou au Bump Integrator.

Les premières données (de déflexion) constituent des entrées pour la proposition des matériaux traités au bitume.

1°) L'environnement :

L'observation visuelle amène à porter un jugement sur la stabilité géotechnique de l'environnement, on aboutit à 3 cas de figure :

1^{er} cas.

Aucune instabilité d'environnement n'est décelée, dans ce cas l'étude de renforcement de la chaussée se poursuit normalement.

2^{ème} cas.

Des points particuliers limités d'instabilité sont observés et dans ce cas l'étude se poursuit en dehors de ces points. Toutefois des études spéciales sont recommandées pour stabiliser ces points.

3ème cas.

L'état de la chaussée est conditionné par une instabilité dominante de l'environnement et dans ce cas une étude spéciale de stabilisation des versants naturels et des terrassements est à programmer avant d'étudier le renforcement de la chaussée, s'il y a lieu.

2°) La structure de la chaussée :

L'évaluation de la structure de la chaussée s'effectue sur les plans quantitatifs et qualitatifs.

Sur le plan quantitatif.

On s'intéresse au type du profil en travers, en effet la chaussée peut-être :

- sans élargissement ni épaulement
- avec élargissement et sans épaulement
- avec élargissement et avec épaulement
- sans élargissement et avec épaulement.

Ceci est dû au fait qu'en général les chaussées marocaines ont été construites de manière progressive et que des travaux d'élargissement et d'épaulement ont été effectués plus ou moins bien et constituent dans la plupart des cas des points faibles de la chaussée qui influence le type de la solution de renforcement à adopter.

L'épaisseur de chaque couche figurant dans le corps de chaussée est relevé et ce sur tout le profil en travers.

Sur le plan qualitatif.

Chaque nature de matériau rencontrée dans la structure est jugée soit visuellement, soit par l'exécution des essais adéquats.

Une attention très particulière est portée au jugement de la qualité du matériau figurant en couche de base et à celui du matériau de couche de surface si ce dernier est aux enrobés bitumineux.

A titre indicatif, des tableaux ont été proposés à l'ingénieur responsable de l'étude pour lui servir de guide pour le jugement de la couche de base et de la structure en entier.

Evaluation de la qualité de la couche de base

Nature de la couche de base	Conformité aux prescriptions ou état	T R A F I C							
		T ₅	T ₄	T ₃ ⁻	T ₃ ⁺	T ₂	T ₁ ⁻	T ₁ ⁺	T ₀
G.B.B	bon état								
	décohésionnée								
G.N.A	C. P. C								
G.N.B	C. P. C								
G.N.C	Ic ≥ 30 LA + MDE ≤ 65								
G.N.D LA+MDE < 75	Ic ≥ 30								
	Ic < 30								
M.H.N	Voir note 3								
Pierre cassée	Roche dure et * non polluée								
	Tendre et /ou polluée								

: suivant estimation L.P.E.E



: couche de base conforme



: couche de base non conforme (non satisfaisante)

Evaluation des structures en place

Trafic	Zone climatique	Epaisseur de chaussée granulaire (cm)						
		<20	21 à 30	31 à 40	41 à 50	51 à 60	61 à 70	>70
T1-	non aride	1	2	3	4	5	6	7
	aride	2	3	4	5	6	7	7
T2	non aride	3	4	5	6	7	7	7
	aride	4	5	6	7	7	7	7
T3	non aride	4	5	6	7	7	7	7
	aride	5	6	7	7	7	7	7
T4 et T5	non aride	8	9	10	11	11	11	11
	aride	9	10	11	11	11	11	11

3°) Les données de déflexion et d'uni :

- Les déflexions sont mesurées au déflectographe Lacroix sous essieux de 13 T et permettent d'obtenir par sections homogènes :

- La déflexion moyenne D_m en 1/100 mm

- L'écart type σ autour de D_m

On détermine alors : - $D_{90} : D_m + 1,3$

- Un coefficient d'homogénéité σ/D_m

Les sections sont alors classées comme suit :

D_{90} en 1/100 mm sur le trace la plus élevée	< 100	100 à 150	150 à 200	> 200
Classe D_i	D_1	D_2	D_3	D_4

- Les données d'uni sont également recueillies et permettent de juger sur l'opportunité ou non d'améliorer l'uni dans le cas où un renforcement lourd ne s'impose pas.

4°) Evaluation des sols de plateforme :

Cette évaluation est effectuée à partir du relevé visuel effectué et également à partir des essais de Laboratoire effectués sur les matériaux de sol de plateforme dans les sondages de reconnaissance. Cette évaluation tient compte des données climatiques et du régime hydraulique. Le sol est classé dans l'une des cinq classes de portance croissante : S_0 - S_1 - S_2 - S_3 et S_4 .

5°) Détermination des zones homogènes :

A partir de l'ensemble des données recueillies, l'itinéraire à l'étude est découpé en plusieurs sections homogènes pour lesquelles les éléments évoqués ci-dessus sont homogènes. Il est nécessaire que toutes les informations recueillies soient conformes entre elles.

C/ Choix des solutions de remise en état de la chaussée.

Les sections homogènes qui sont retenues dans le cadre d'une étude normale de renforcement, font l'objet d'un choix de ou des actions de remise en état. Ce choix est effectué à partir de l'évaluation de la couche de base. Deux cas se présentent :

1^{er} cas.

La couche de base est jugée non satisfaisante pour le niveau de trafic prévu, dans ce cas il va falloir la renouveler et pour chaque type de trafic des types de couche de base sont proposées en tenant compte évidemment des possibilités en matériaux dans la région où se développe l'itinéraire étudié. Cependant, il arrive que le renouvellement de couche de base s'avère insuffisant pour résorber le déficit structurel existant; dans ce dernier cas une épaisseur plus importante doit être proposée.

2^{ème} cas.

La couche de base est jugée satisfaisante, dans ce cas l'action de remise en état consistera à un renouvellement de la couche de surface uniquement si le déficit structurel est inexistant, soit à un renforcement de la structure si le déficit structurel est important (cas de renforcement préventif).

1°) Cas d'un renouvellement de couche de surface :

La technique de renouvellement de la couche de surface dépend de la nature du trafic. Pour les trafics $T_5 - T_4 - T_3$ et T_2 , la couche de surface à mettre en service est de type revêtement superficiel. Pour le trafic T_1 , la couche de surface peut être renouvelée soit en revêtement superficiel, soit aux enrobés bitumineux. Pour le trafic T_0 - le renouvellement de la couche de surface se fait uniquement aux enrobés bitumineux. Des travaux préalables de reprofilage peuvent être prévus avant le renouvellement de la couche de surface. Le Manuel précise les conditions dans lesquelles un reprofilage est nécessaire, et la technique de reprofilage adéquate.

Le tableau ci-dessous, résume les solutions à adopter pour renouveler la couche de surface.

TRAFFIC	TECHNIQUE UTILISABLE
T_5 et T_4	Enduit superficiel' monocouche
T_3^-	Enduit superficiel monocouche ou bicouche suivant l'état d'usure du revêtement en place
T_3^+ et T_2	Enduit superficiel bicouche
T_1	1) Enduit superficiel bicouche (durée de vie limitée : 5 à 7 ans)
	2) Enrobés bitumineux (durée de vie : 10 ans) . 5 cm si D1 . 7 cm si D2
T_0^-	Enrobés bitumineux (durée de vie : 10 ans) . 7 cm si D1 . 10 cm si D2

2°) Cas d'un renouvellement de couche de base :

La technique de renouvellement de la couche de base dépend également de la nature de trafic. Le tableau ci-après résume les épaisseurs à mettre en oeuvre, ainsi que le revêtement à prévoir. Il est à noter que l'utilisation de la grave non traitée en couche de base est admise jusqu'au trafic T_1 - (3500 V/j) et ceci conformément aux recommandations de la Direction des Routes et de la Circulation Routière (DRCR). Les couches de base en technique routière marocaine sont soit de type :

- à éléments granulaires non liés : grave non traitée ou pierre cassée
- grave avec ciment
- grave bitume et grave émulsion.

Le vocable grave non traitée englobe en plus des graves type G.N.A. et G.N.B, dont les spécifications sont bien définies par le Cahier des Prescriptions Communes des Travaux Routiers, les graves G.N.D. et G.N.C. ainsi que les matériaux hors normes M.H.N. dont l'utilisation en couche de base est proposée pour les faibles trafics, ces propositions tiennent compte des expérimentations déjà menées au Maroc dans le domaine de la valorisation des matériaux locaux et également des expérimentations menées à l'étranger pour les routes à faibles trafics.

La grave avec ciment ne désigne pas un matériau type grave ciment du S.E.T.R.A. - L.C.P.C. (France) mais tout simplement des matériaux améliorés au ciment pour pallier un déficit de dureté de propreté ou d'angularité. Deux types de graves ont été ainsi proposées :

- la G.A.C : grave améliorée au ciment
- la G.V.C : grave valorisée au ciment

La grave améliorée au ciment (G.A.C.) est définie dans les chaussées expérimentales du catalogue des structures de chaussées neuves. Cette technique est abordée par l'analyse des caractéristiques (R_t , E) (Résistance à la traction et module de déformation) cette technique peut être développée avec profit dans le cas :

- Des graves légèrement polluées
- Des graves de dureté inférieures à celles de sG.N.A ($LA < 35$ ou 40)
- Des graves d'angularité faible provenant de ballastières.

La grave valorisée au ciment (G.V.C) est prévue pour les trafics faibles (T_5 à T_3). Il s'agit d'un traitement de graves plastiques, roulées assez tendres qui permet dans le cas des faibles trafics d'utiliser les matériaux naturels hors normes.

Les graves-bitumes sont bien définies dans le C.P.C. marocain et figurent en

couche de base dans un grand nombre d'itinéraires neufs ou déjà renforcés et qui supportent un fort trafic (T_1 et T_0).

La grave émulsion est du type S.E.T.R.A. - L.C.P.C. Des expérimentations avec ce matériaux sont en cours.

Notons que pour les faibles trafics T_5 - T_4 - T_3 et T_2 des solutions de retraitement des matériaux en place peuvent être adoptées, si certaines conditions favorables sont réunies. Des expérimentations sont prévues dans ce domaine. Le Manuel des renforcements présente en annexe une note qui traite de ce sujet et permet de guider le responsable du projet sur l'opportunité de choix de ce type de solution.

Les solutions sont résumées sur le tableau suivant :

classe de couche de base	T ₅	T ₄ et T ₃ -	T ₃ +	T ₂	T ₁ -	T ₁ +	T ₀
à éléments granulaires non liés	RS (monocouche) + 15 M H N ou G.N.D.	RS(bicouche) + 15 GNB ou G.N.D	RS(bicou- che) + 15 GNB ou G.N.C	RS(bicou- che) + 15 cm GNA	RS (bicouche) + 5 EB souple après 6 mois à 2 ans s u r 20 G.N.A	20 GNR (ou GRH)	
	- 12 pierre cassée + bicouche						
retraitement en place							
grave avec ciment	RS (bicouche) + 15 G.V.C		RS (bicouche) + 20 G.A.C				
grave émulsion			RS (bicouche) + 12 G.E				
enrobé et grave bitume ou grave bitume enrichie					10 GBB + RS	10 GBB + 5 EB	12 GBB+5EB
					10 G.B.E	12 G.B.E	

 ne convient pas

 convient

3°) Cas d'un renforcement de structure :

Dans le cas où les sollicitations du trafic engendrent au niveau des sols de plateforme des contraintes élevées, la structure en place est mise en cause soit par manque d'épaisseur suffisante, soit par mauvaise diffusion des contraintes des matériaux constituant cette structure. Les solutions proposées par le manuel prennent en compte la classe du sol, l'épaisseur de la chaussée existante et la nature du trafic.

Pour les faibles trafics (T_5 et T_4) le renforcement est prévu uniquement en matériaux granulaires qui peuvent être des matériaux hors normes (cas T_5).

Pour les trafics T_3 - T_2 et T_1 - des renforcements en structures granulaires non liés avec ciment ou émulsion sont proposées. Le degré d'élaboration de la grave non traitée augmente de la G.N.D. jusqu'à la G.N.A (voir GRH) au fur et à mesure que le niveau du trafic augmente. Les couches de surface sont prévues soit en revêtement superficiel bicouche, soit dans certains cas aux enrobés bitumineux; toutefois, dans le cas où le tapis d'enrobés est prévu, sa pose doit être différée d'une année au moins pour permettre les premières adaptations de la structure granulaire.

Pour les forts trafics des propositions de structures de renforcements en matériaux liés au bitume sont données, ces structures peuvent être de l'un des types suivants :

- Enrobés bitumineux (E.B)
- Grave bitume (GBB) + enrobés bitumineux (E.B)
- Grave bitume (GBB) + revêtement superficiel (R.S)

Les propositions des structures traitées au bitume prennent en compte les niveaux de déflexion de la chaussée existante et le niveau de trafic.

Les différentes solutions proposées pour tous les niveaux de trafic, sont résumées dans les trois tableaux suivants :

Renforcement de structure R.F.S. pour trafic T₅, T₄

Sol Structure en place	S0	S1-S2	S3-S4
8	a	b	c
9	b	c	
10	c retraitement en place et renouvel- lement de couche de surface		
11			

Trafic Travaux	T5	T4
a	25 GNC ou GND GVC ou MNH + RS	20 GNB + RS 25 GNC ou GND ou GVC + RS
b	20 GNC ou GND ou MNH ou GVC + RS	15 GNB + RS 20 GNC ou GND ou GVC + RS
c	15 GNC ou GND MNH ou GVC + RS	15 GNB ou GNC GND ou GVC + RS
	Retraitement en place sur 20cm	

RS = monocouche généralement, mais éventuellement bicouche si la surface de la couche de base est trop ouverte (MNH ou GVC)

**Tableau 6 : Renforcement de structure R.F.S. pour trafic T₃, T₂ et T₁
couche granulaire et grave + ciment avec bicouche**

structure place	Classe de sol				
	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄
1	Etude de redimensionnement avec aménagement de la plateforme et du drainage interne			20 GAC + RS 20 GNA + RS 25 GNA + RS (2)	20 GAC + RS 20 GNA + RS
2				20 GAC + RS 20 GNA + RS 25 GNA + RS (+ 5 EB) (2)	20 GAC + RS 20 GNA + RS 15 GNA + RS
3	30 GNA + RS ou 20 GNF+15 GNA+RS	25 GNA+RS 20 GNA+RS ou (2) (+5 EB)	20 GNA + RS 20 GAC + RS	15 GNA + RS 20 GAC + RS	
4	25 GN + RS (1)	20 GN +RS (1)	15 GN + RS (1) 20 GAC + RS		
5	20 GN + RS (1)	15 GN +RS (1) 20 GAC+RS	- pour trafic T ₃ : RS après reprofilage (voir tableau 9) - pour trafic T ₂ et T ₁ : voir tableau 7 (EB et GBB)		
6	15 GN + RS (1) 20 GAC + RS				
7					

(1) choix de GN

Trafic	T ₃ ⁻	T ₃ ⁺	T ₂ et T ₁ ⁻
GN	GNB-GNC + GVC	GNB _{GN} GNC	G. N. A

(2)(+5 EB) - pour trafic T₁, il est conseillé de différer la pose de la couche d'enrobé de 5 cm nécessaire pour combler le déficit structurel;

à 1 ou 2 ans pour permettre les premières adaptations de la structure ou à 5 à 7 ans lors du renouvellement de la couche de surface.

Tableau 7 : Renforcement de structure R.F.S. pour trafic T₂, T₁ et T₀- avec enrobé (E.B. et grave bitume (G.B.B.) ou grave bitume enrichie (G.B.E)).

Trafic Déflexion Lacroix D90 (1/100 mm)		T2	T1-	T1+	T0-
D1	< 100	5 EB	6 EB	10 GBB + RS 10 GBE	7 EB 10 EB
D2	100 à 150	6 EB	7 EB 10 GBB+RS	10 EB 12 GBB+RS 12 GBE	12 GBB + 5 EB
D3	150 à 200	7 EB	10 EB 12 GBB+RS	10 GBB+5 EB 12 GBB+RS	12 GBB+7 EB
D4	> 200	Structure granulaire (voir Tab 6)		12 GBB+5EB 15 GBE	15 GBB+7 EB

La valeur de la déflexion prise en compte pour le dimensionnement doit avoir fait l'objet d'une analyse comparative avec les autres données concernant la structure de la chaussée et la nature et l'état du sol de plateforme. Doivent aussi être prises en considération les informations concernant les effets de bord et le profil en travers.

D/ Choix des actions concernant les accotements et les élargissements.

Le manuel de renforcement propose un ensemble de dispositions constructives pour la remise en état des accotements et la réalisation d'éventuels élargissements qui seraient programmés en même temps que le renforcement. L'objectif de ces dispositions constructives est de :

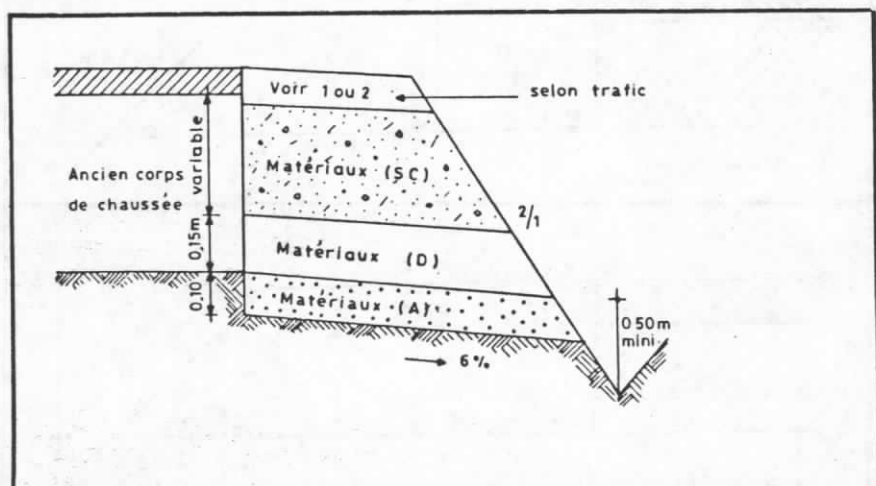
- Permettre aux accotements d'assurer pleinement leurs rôles de drainage et d'épaulement de la chaussée, ainsi que de permettre sans trop de dommage la circulation occasionnelle des véhicules;
- Permettre de réaliser des élargissements qui ne se déforment pas et qui ne forment pas un écran pour le drainage interne du corps de chaussée et de la plateforme de la partie centrale. La structure de la chaussée dans les élargissements est donnée par le catalogue marocain des chaussées neuves.

Des profils en travers types pour les accotements sont donc proposés, dans lesquels les structures des accotements varient suivant le type de remise en état qui a été retenu pour la chaussée et également en fonction du trafic, de l'existence ou non d'un ancien élargissement. Dans le cas où le sol de plateforme présente une faible portance (cas des sols S_0 et S_1) des solutions ont été proposées pour drainer le sol de plateforme en même temps que le corps de chaussée (ancien et de renforcement), ces solutions nécessitent cependant un décapage et une reprise de l'ancien accotement existant.

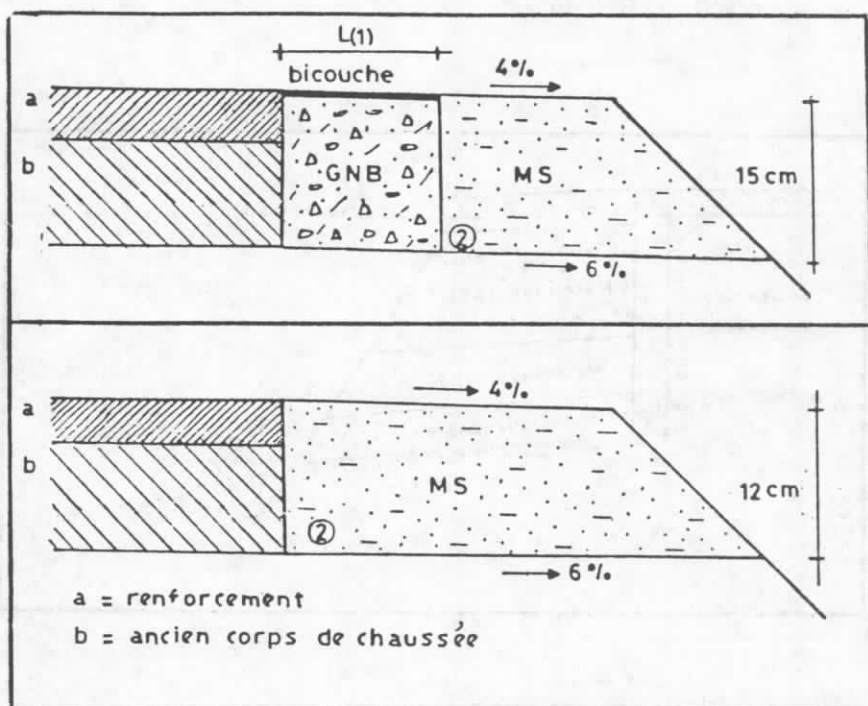
Au total 19 profils en travers types ont été proposés pour les accotements pour résoudre la plupart des cas de figure.

On trouvera ci-après quelques uns qui ont fait partie d'une recommandation de la Direction des Routes et de la Circulation Routière (DRCR) sur les accotements.

PROFIL RECOMMANDE

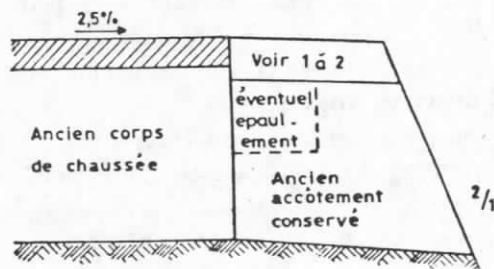
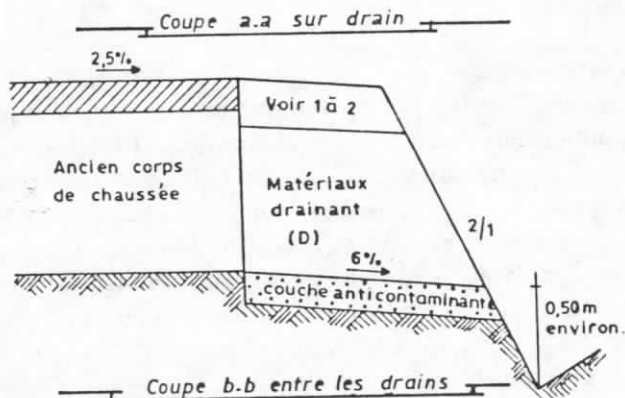
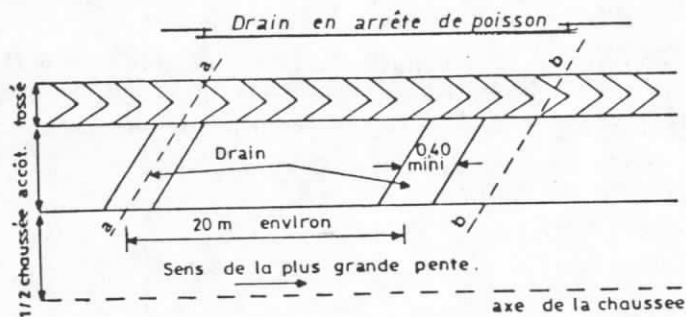


- SC : matériau de sous-couche
- D : matériau drainant
- A : matériau anticontaminant



MS : matériau sélectionné

PROFIL ECONOMIQUE



III/ ASPECT DES CHAUSSEES MAROCAINES

Dans ce chapitre on présentera divers aspects liés au contexte géotechnique Marocain, aux caractéristiques du trafic et aux types de chaussées, ainsi qu'aux annexes de la chaussée. Ces aspects influencent dans une large mesure, la tenue de la chaussée dans le temps.

A/ Contexte géotechnique et géomorphologique marocain.

La géologie marocaine est très variée, on se contentera seulement d'évoquer succinctement les grands traits géomorphologiques indispensables à une évolution rapide des caractéristiques essentielles de l'environnement routier. Seront abordés successivement :

- Les grandes unités montagneuses
- Les régions de petit relief
- Les plateaux
- Les plaines alluviales
- Les régions sahariennes

1) Les grandes unités montagneuses :

Elles constituent toutes des barrières de communications franchies par la route au prix de longs cheminements dans de profondes vallées et d'ascensions souvent difficiles pour atteindre des cols aux altitudes élevées. Dans ces régions où les supports rocheux ou quasi-rocheux, ne posent en principe pas de problème sur le plan de la portance routière, les difficultés concernent surtout les terrassements importants et très onéreux, la géométrie du tracé et les problèmes hydrologiques jouent un rôle essentiel dans la stabilité des talus et dans les phénomènes d'érosion. En effet, même dans les vallées, les dépôts alluvionnaires restent généralement riches en éléments à granularité moyenne et grossière, qui assurent de bonnes qualités de plateforme. Les itinéraires dans ces grandes unités montagneuses sont assez peu nombreux et surtout peu fréquentes. les caractères pétrographiques dominants sont :

- Roches magmatiques, calcaires, calschistes et schistes primaires dans l'Anti-Atlas et dans la partie Sud du Haut-Atlas
- Calcaires secondaires dans la partie Nord-Est du Haut-Atlas
- Calcaires secondaires, grès argileux et éruptifs associés au Permo-Trias dans la partie centrale du Haut-Atlas
- Calcaires secondaires et roches éruptives dans le Moyen Atlas et les Monts de l'Oriental
- Calcaires, marno-calcaires secondaires, schistes argileux dans le Rif.

2) Les régions de petit relief :

Le matériel géologique y est en majorité antérieur à l'étage miocène, âge de formation des unités montagneuses. Les caractères pétrographiques dominants sont de deux types.

Le premier type englobe.

Les schistes, calschistes, calcaires, grès et quartzites du primaire avec quelques épanchements d'éruptifs associés dans les Djebilet (El Kelaa des Sraghnas), les Rhamnas et le Zaer et Zaiane.

Le second type englobe.

Les calcaires, marno-calcaires et marnes du secondaire et de l'Eocène, dans les Haha - Chiadma, les franges Atlassiques et le Prérif.

Les régions du premier type sont sur le plan routier, très comparables aux hautes montagnes, en effet le relief y est en général très dur. Les régions du second type définissent des reliefs tabulaires quand les calcaires ou marno-calcaires dominent (pays des Haba) et donc un contexte géotechnique favorable et définissent des reliefs nous quand les marnes dominent (Prérif). Ce dernier cas conjugue des conditions défavorables où des matériaux fins souvent plastiques déterminent à la fois des portances faibles et des graves instabilités de pentes.

3) Les plateaux :

Ces régions présentent des difficultés géométriques très réduites. Les matériaux de surface sont souvent graveleux, encroûtés et parfois masqués par des épaisseurs faibles (20 à 30 cm décapables) d'argiles de décalcification. Il s'agit :

- Des plateaux de la Meseta : encroutement sur marno-calcaire ou socle
- Des hauts plateaux présahariens (Oriental et Rekkam)

Par la similitude routière qu'elle entraîne, les régions côtières sont à ajouter à ce groupe, à savoir :

- Doukkala - Chaouia : où un contexte géotechnique favorable est défini par la présence de calcarénite sur marno-calcaire du Cénomanién (El Jadida) ou des calcarénites sur un socle primaire (Casablanca).
- Mamora et cordon dunaire Kénitra - Larache : où le contexte géotechnique est défini par les sables éoliens répandus ou en dunes et est par conséquent favorable.

4) Les plaines alluviales :

Sur le plan géométrique, ces régions ne représentent pas de difficulté, il n'en est pas de même de point de vue géotechnique. Ces plaines sont généralement constituées de dépôts épais de matériaux fins, ces derniers sont peu favorables à la portance et à la stabilité volumétrique saisonnière. On distingue les plaines à alluvions atlassiques et celles à alluvions d'origine rifaine.

Les premières sont à tendance sablo-limoneuse (Haouz, Souss, Tadla), les secondes à tendances limono-argileuse (Gharb). Des cas mixtes existent (Guercif, Berkane).

5) Les régions sahariennes :

L'histoire du réseau routier n'a vraiment débuté qu'à partir de 1969 où les premières routes modernes ont été construites.

Ce réseau a connu un très grand essor à partir de 1975. Le réseau saharien est donc un réseau neuf pour lequel les opérations de renforcement sont à présent très limitées.

Les formations et les sols rencontrés dans les vastes étendues sahariennes sont de nature et de qualité très diverses. Cette diversité bien qu'elle ne pose pas de problèmes au point de vue portance, pose néanmoins un problème de viabilité de matériaux de construction. Le profil géologique de la zone saharienne peut être schématisé de la manière suivante :

- De l'Anti-Atlas au Nord-Est de Assa : la morphologie est de type appalachienne, où des crêtes rocheuses s'opposent à de vastes dépressions alluviales où les sols en place sont très anciens et souvent couverts d'épaisses formations quaternaires meubles de bonne portance.
- Au sud de l'Ouarkiz : les formations superficielles sont limoneuses ou sablo-graveleuses de bonne portance. Les régions côtières sont caractérisées par la présence de terrains déprimés à fond silto-rocheux et caillouteux et terrains à surfaces constitués de dalles grés-silicieuses très encroûtées en surface ou grésocalcaires riches en coquillages. Ces sols ne posent pas de problèmes géotechniques.

La régularité de l'orientation des vents dominants (NNE et NNW) entraîne d'importants problèmes d'ensablement et une grande mobilité des dunes.