

ETUDE COMPARATIVE DES METHODES DE DIMENSIONNEMENT DES RENFORCEMENTS UTILISES EN ALGERIE

Par :

A. HAOUCHINE

Ingénieur au C.T.T.P. (Alger).

1 INTRODUCTION

Est-il plus facile de dimensionner une chaussée neuve ou de renforcer une ancienne ?

Souvent, le dimensionnement d'un renforcement est très complexe. En effet, les problèmes de fatigue dans la conception et l'évolution de la chaussée se trouvent renforcés par un substratum encore plus complexe comportant toutes les couches parfois hétéroclites de l'ancienne chaussée.

Le renforcement consistera à rendre la chaussée capable de supporter ou de résister à un trafic supplémentaire par une augmentation structurelle ; en d'autres termes, les contraintes et les déformations dans ces couches apportées et au sol support seront inférieures à des limites admissibles, limites estimées par des essais mécaniques sur les matériaux de renforcement et par les mesures et constatations sur le comportement de la structure résiduelle et du sol support.

Plusieurs méthodes sont utilisées de par le monde ; ce travail a porté sur l'étude comparative des méthodes utilisées en Algérie, le but étant de mettre en valeur le comportement mécanique (ornièrage, fissuration et défaut d'uni) et l'évaluation économique pour chacune, des structures données par ces méthodes par le biais du modèle HDM III de la Banque Mondiale.

C'est ainsi que nous avons étudié les quatre (04) méthodes suivantes :

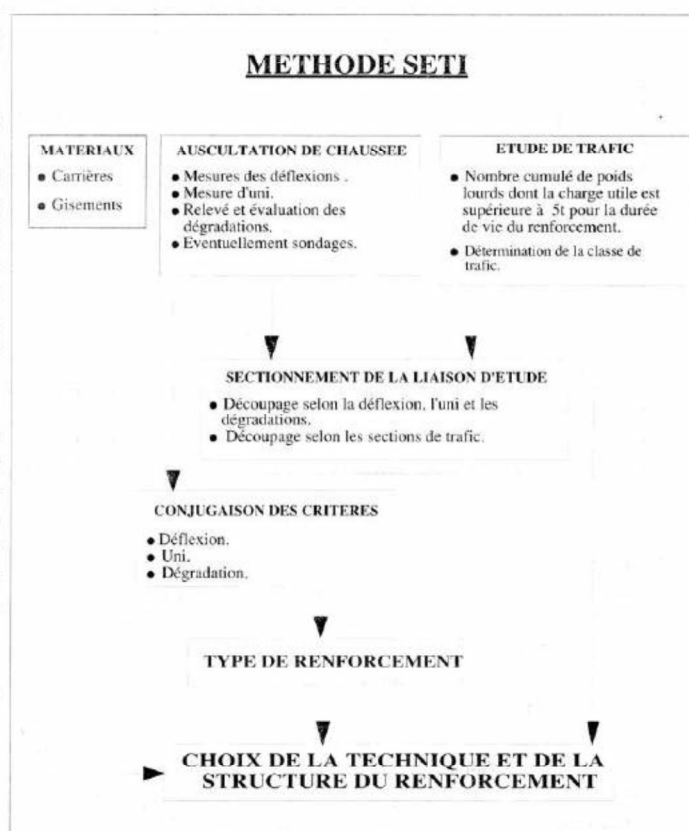
- Méthode SETI (utilisée au C.T.T.P)
- Méthode SETRA - LCPC

- Méthode CEBTP

- Norme Espagnole 6.3IC

2 PRESENTATION DES METHODES

La présentation de ces méthodes est illustrée par les organigrammes suivants :



(tableaux I et II) : pour un dosage de 450 kg/m³, le ciment n° 2 apporte 1,26 kg d'alcalin - équivalent en plus que le ciment n°1.

Composition chimique pondérale en %		
Constituants	Ciment n°1	Ciment n°2
Silice soluble	22.00	20.84
Alumine	3.04	5081
Oxyde de titane	0.23	0.28
Oxyde ferrique	3.88	2.80
Oxyde de calcium	64.51	63.09
Oxyde de magnésium	0.66	1.04
Oxyde de sodium	0.36	0.33
Oxyde de potassium	0.48	0.95
Anhydride sulfurique	1.95	3.32
Chlore des chlorures	0.01	0.01
Soufre des sulfures	.000	0.00
Oxyde de manganèse	0.11	0.08
Perte au feu	2.54	1.53
total	99.77	100.08
Résidu insoluble	0.55	0.34
Indice d'hydraulicité	0.38	0.42
Anhydride carbonique	1.63	1.10
Chaux libre	0.63	0.86
Teneur en % Na ₂ O équivalent = % Na ₂ O + 0.658 % K ₂ O	0.67	0.95

Tableau 1 : Composition chimique centésimale des deux ciments utilisés.

Composition minéralogique			
Nom minéralogique	Formule abrégée	Ciment n°1	Ciment n°2
Alite	C ₃ S	53.03	36..88
Bélite	C ₂ S	23.04	31.92
Célit	C ₃ A	1.50	10.66
Brownmillérite	C ₄ AF	11.74	8.50
Carbonates		3.70	2.50
Gypse		4.19	7.13
Chaux libre		0.63	0.86

Tableau 2 : Composition minéralogique potentielles des ciment utilisés.

2.2 Les granulats

Trois types de sables ont été associés aux deux ciments décrits plus haut. Il s'agit de :

2.2.1 Sable roulé siliceux :

il est d'origine marine, d'âge stampien. Il affleure dans le Sud du Bassin Parisien. Ses grains, constitués principalement de quartz, sont lisses émoussés. Sa granularité, très serrée, est comprise entre 160 et 315 micromètres. La composition chimique déterminée par fluorescence X, donne 99,85% de silice et une teneur en K₂O inférieur 0,023 %.

2.2.2 Sable quartzitique :

Il tient son origine d'un grès armoricain d'âge ordovicien. L'examen pétrographique révèle une teneur en quartz comprise ente 90 et 95 %.

En lames minces, les cristaux se présentent les caractéristiques des roches métamorphisées :

extinction roulant, limites de cristaux en forme de dendrites et de signes de recristallisation diagénétique. Dans les zones altérées, on observe parfois des granules d'opale.

2.2.3. Sable calcaire noir :

il provient du niveau inférieur des assises du Tournais (premier étage du Carbonifère).

C'est une roche noire, massive et très compacte. On y a observé de la silice diffuse en fin réseau.

3 PREPARATION DES EPROUVETTES

Les éprouvettes de dimensions 20x20x160 mm sont équipées en leur extrémités de plots permettant le mesurage de l'expansion linéaire enregistrée sur le rétractomètre LCPC nor alisé sous la référence AFNOR P 15-433.

Les couples liants-granulats testés ont été mis en œuvre dans les conditions reportées dans le tableau III ci- dessous.

Granulats			
nature du sable	Siliceux roulé	Calcaire noir concassé	Quartzitique concassé
granularité	0.16/0.315 mm	Reconstitué selon fuseau AFNOR (0.80/2 mm)	Reconstitué selon fuseau AFNOR (0.80/2 mm)
rapport eau/ciment	0.55	0.50	0.50
Composition du mortier	Ciment : 450 g Sable : 1350 g Eau : 225 g		
Mise en œuvre	Selon norme Afnor P 15-402		
% Na ₂ O équivalent des ciments utilisés	Ciment n° 1 : 0.67 %		Ciment n°2 : 0.95%

Tableau 3 : Caractéristiques et conditions de mise en œuvre des éprouvettes testées au moyen de la cure hydrothermale

On a élaboré six mortiers, résultats de la combinaison des trois sables et deux ciments pour chaque mortier on a confectionné trois éprouvettes dont l'une d'elle sert comme témoin (conservation sous l'eau à 20°C). les deux autres sont soumises aux conditions de la cure hydrothermale (80°C et 100% d'humidité relative).

4. METHODES DE SUIVI ET D'OBSERVATION DES EPROUVETTES

4.1. Variations dimensionnelles

C'est l'un des critères les plus utilisés pour la détection des réactions alcali-granulats.

On mesure l'expansion linéaire prise entre les extrémités des éprouvettes. Elle est enregistrée par

NORME ESPAGNOLE

MATERIAUX

- Carrières
- Gisements

AUSCULTATION DE CHAUSSEE

- Mesures des déflexions par la poutre de BENKELMAN.

ETUDE DE TRAFIC

- Détermination du trafic en nombre cumulé d'essieux équivalents de 13t sur la durée de vie du renforcement.
- Détermination de la classe de trafic.

- Détermination de la déflexion caractéristique.
- Corrections apportées par l'influence de la température et de l'humidité.

SECTIONNEMENT DE LA LIAISON D'ETUDE

- Découpage selon la déflexion.
- Découpage selon les sections de trafic.

CHOIX DE LA TECHNIQUE ET DE LA STRUCTURE DE RENFORCEMENT

3 CAS PRATIQUE DE DIMENSIONNEMENT

L'itinéraire d'application est un tronçon de la RN01 dans la wilaya de Médéa (Algérie).

Le tronçon est d'un linéaire de 8 500m situé dans une région caractérisée par :

- pluviométrie faible,
- altitude moyenne,
- relief peu accidenté.

Les mesures d'auscultation, le relevé visuel de l'état, les sondages ainsi que les données de trafic nous ont permis de sectionner le tronçon en cinq (5) sections homogènes.

Les structures de renforcement obtenues par les méthodes décrites précédemment sont récapitulées dans le tableau suivant :

4 SIMULATION DES COMPORTEMENTS PAR LE MODELE HDM III

Le modèle HDM III est utilisé pour comparer entre elles les estimations des coûts et les évaluations économiques des variantes qui résultent des différentes stratégies.

Dans notre cas, on s'est intéressé au côté mécanique, c'est-à-dire, aux comportements (ornièrage, fissuration et défaut d'uni) prédits par les relations empiriques définies dans le modèle et à l'évaluation économique pour chacune des structures données par les différentes méthodes.

Données nécessaires au modèle :

Il a été récapitulé dans les tableaux suivants (N°2 et 3) les données nécessaires pour les cinq (05) sections homogènes du tronçon d'étude.

Tableau 1 :

STRUCTURES DU RENFORCEMENT					
METHODE	SECTION1	SECTION2	SECTION3	SECTION4	SECTION5
SETI	5 BB 20 GB	5 BB 16 GB	5 BB 16 GB	5 BB 16 GB	5 BB 16 GB
CEBTP	5 BB 25 GB	5 BB 25 GB	5 BB 25 GB	5 BB 21 GB	5 BB 21 GB
SETRA-LCPC	6 BB 18 GB	6 BB 18 GB	6 BB 15 GB	6 BB 15 GB	8 BB 15 GB
NORME ESP. 6.3 IC	4 BB 12 GB	4 BB 15 GB	4 BB 12 GB	15 BB	15 BB

Tableau 2 : Tableau récapitulatif des données HDM

	Section 1	Section 2	Section 3	Section 4	Section 5
Longueur	0,6 km	1,5km	1,8 km	3,3 km	1,3 km
Dénivelée cumulée	5 %	8	4,73	0,83	0,65
Largeur de chaussée	9m	10,7	12 m	11,5	11
Sinuosité	150°	100	150	120	75
Devers en courbe	2 %	2	3	2	2
Largeur d'accotements	2 m				
Nombre de voies	2				
CBR du sol	3 %	3	3	5	5
Déflexion	2,25 mm	2,7	2,6	2,2	1,9
Zone "toutes fissures"	10 %	10	5	3	8
Zone "fissures larges"	1 %	1	1	1	1
Zone Arrachée	2 %	2	2	2	2
Zone de nids de poule	2 %	2	2	2	2
Prof.moy.des ornières	2 cm	2	1,5	0,5	0,5
Défaut d'uni	3,6 m/km	3,0	3,5	2,7	3,0
Age du dernier revêt.	8 ans				
Age de construction	8 ans				
Trafic en véh. part.	1346			1907	
Véhicules utilitaires	1286			1286	
Bus	70			136	
Camions légers	511			996	
Camions lourds	48			49	
Ensemble articulé	166			283	

Tableau 3 :

GUIDE SETI

Tableau récapitulatif des données HDM (Suite)

	Section 1	Section 2	Section 3	Section 4	Section 5
Code	S 520	S 516	S 516	S 516	S 516
Renforcement	5BB+20GB	5BB+16GB	5BB+16GB	5BB+16GB	5BB+16GB
Indice structurel	3,86	3,35	3,35	3,75	3,75

GUIDE LCPC-SETRA

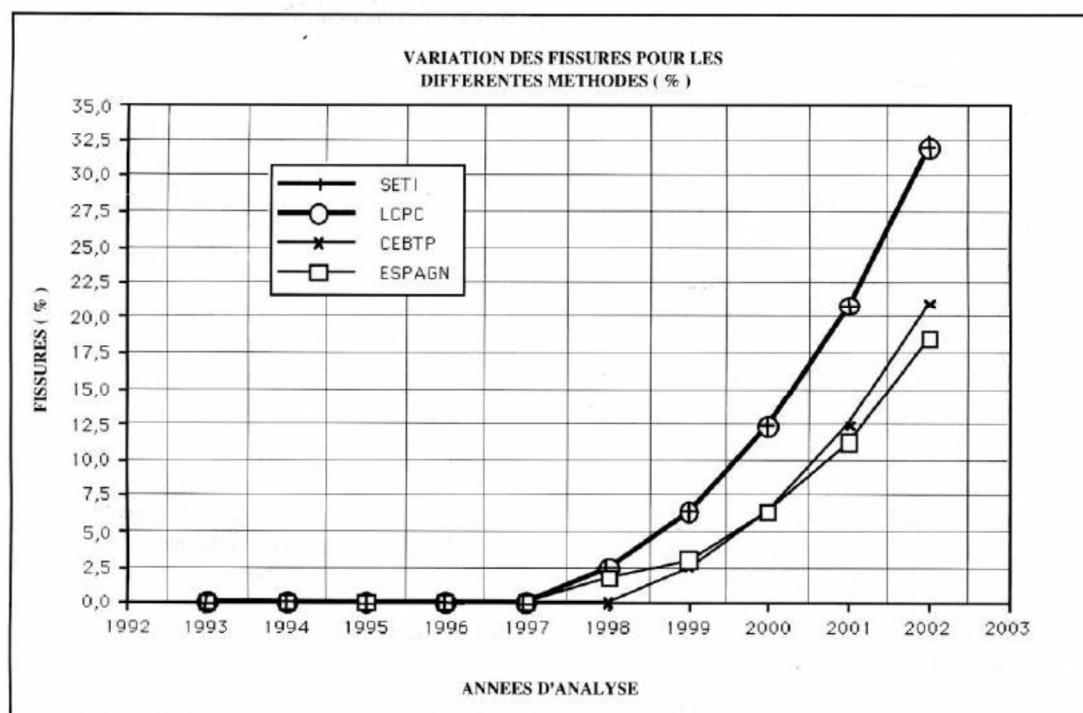
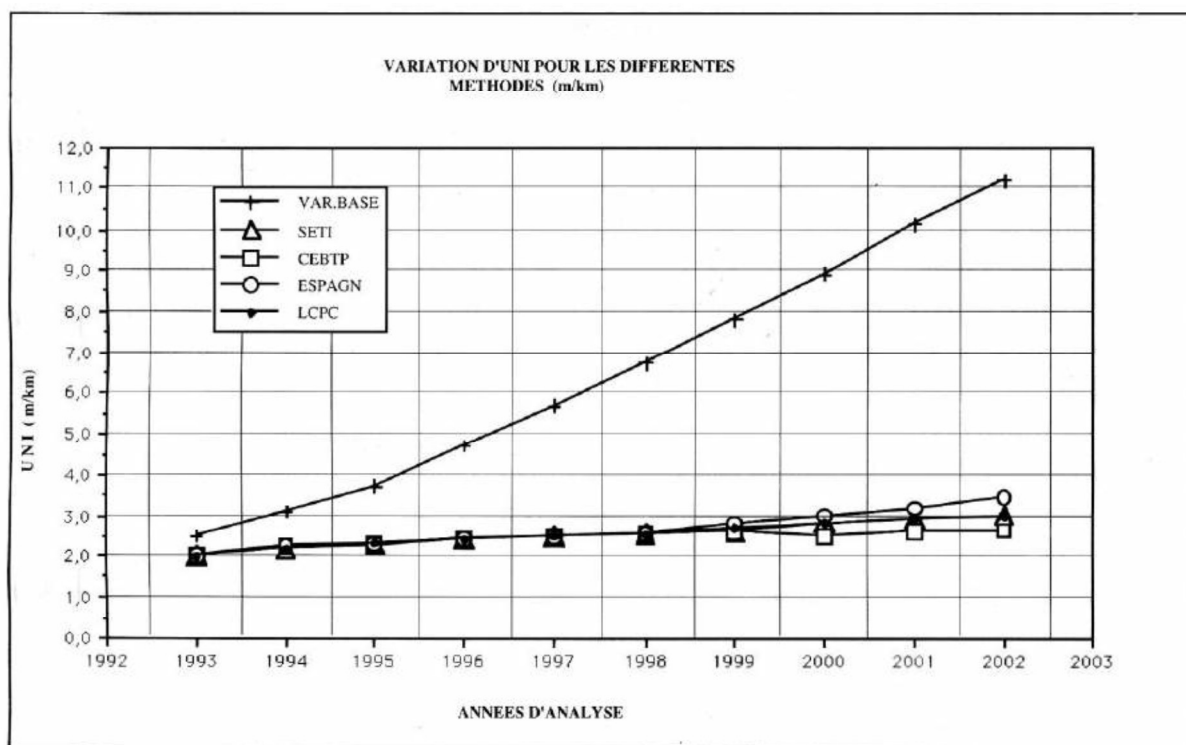
	Section 1	Section 2	Section 3	Section 4	Section 5
Code	L 618	L 618	L 615	L 615	L 818
Renforcement	6BB + 18GB	6BB + 18GB	6BB + 15GB	6BB + 15GB	8BB + 18GB
Indice structurel	3,76	3,76	3,38	3,77	4,15

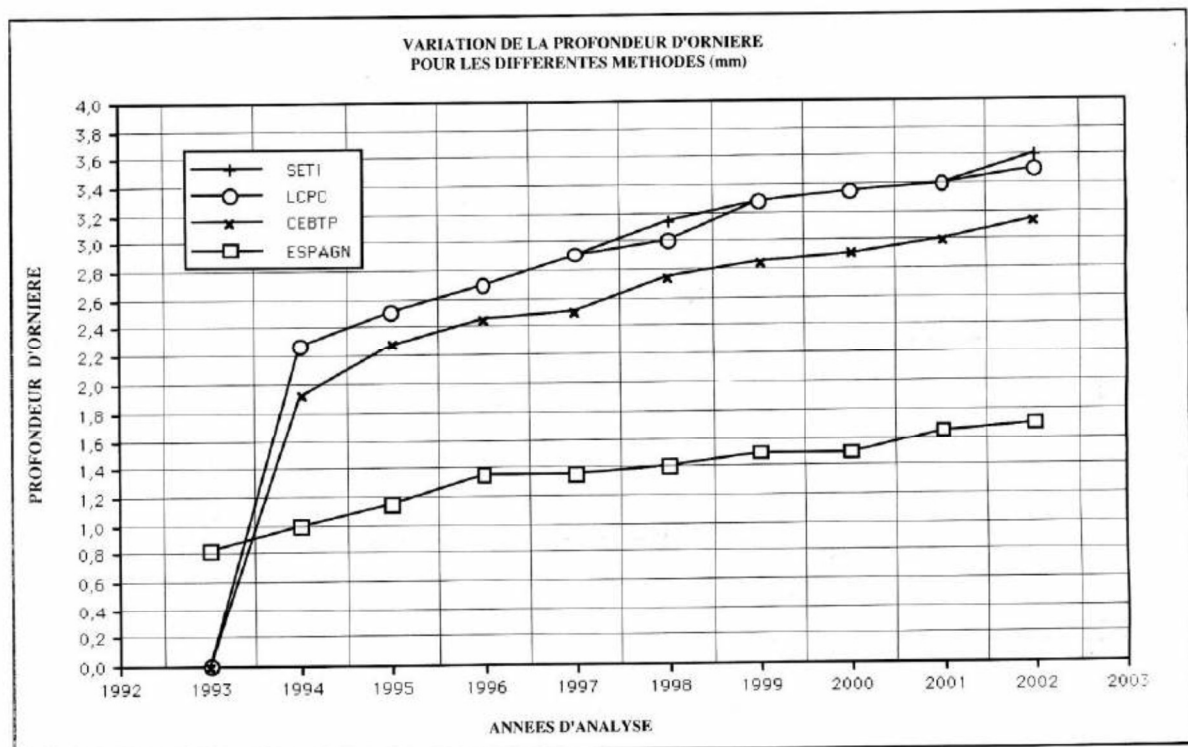
GUIDE CEBTP

	Section 1	Section 2	Section 3	Section 4	Section 5
Code	C 525	C 525	C 525	C 521	C 521
Renforcement	5BB+25GB	5BB+25GB	5BB+25GB	5BB+21GB	5BB+ 21GB
Indice structurel	4,49	4,49	4,49	4,38	4,38

NORME ESPAGNOLE 6.3 IC.

	Section 1	Section 2	Section 3	Section 4	Section 5
Code	E 412	E 415	E 412	E 150	E 150
Renforcement	4BB+12GB	4BB + 15GB	4BB + 12GB	15BB	15BB
Indice structurel	2,69	3,07	2,69	3,08	3,30





5 RESULTATS ET COMMENTAIRES

En raison du volume important des résultats obtenus, on a été amené à présenter uniquement les courbes d'évolution des dégradations d'une seule section (4) (voir figures 1, 2 et 3) ; pour les autres sections, les résultats sont présentés dans le tableau récapitulatif ci-après (tableau N°4).

Commentaires :

▲ Ornièrage

Les revêtements bitumineux enregistrent une variation rapide de la profondeur d'ornière lors de la première année de service atteignant 2,30 mm pour SETI et LCPC et 1,90 mm pour CEBTP pour se stabiliser par la suite et progresser lentement pour atteindre 3,10 à 3,60 mm au terme de la dixième année d'analyse.

Cette croissance initiale de la profondeur d'ornière est liée directement au degré de compactage qui joue un rôle prépondérant. En effet, à la première année de service, le renforcement génère un flux important de trafic qui compacte encore la structure.

On remarque un net avantage pour la norme espagnole qui enregistre une valeur résiduelle de 0,8 mm au début de l'année d'analyse conséquence du compactage d'une couche unique d'enrobé pour évoluer lentement par la suite pour atteindre 1,8 mm au bout de la dixième année d'analyse.

▲ Fissuration

C'est un paramètre très important du fait de son influence directe sur l'endommagement du corps de chaussée. Son évolution est caractérisée par trois phases :

- phase d'apparition,
- phase d'évolution,
- état final.

Dans la phase d'apparition, la solution du CEBTP se présente mieux vu que les fissures ne se manifestent qu'au bout de la 6ème année de service, ce qui est considérable pour le maintien en état d'une route. Tandis que pour les autres méthodes, l'apparition est à la 5ème année.

Au cours de la phase évolution, les courbes CEBTP et norme espagnole sont rabattues et atteignent des valeurs finales faibles (de l'ordre de 18 à 22 % de surface affectée).

Quant aux courbes SETI et LCPC, elles sont pratiquement confondues avec une évolution moyenne atteignant 31% de surface affectée au bout de la dixième année.

▲ Défaut d'uni

Pour l'ensemble des structures, l'uni évolue presque de la même manière. Il est illustré par les graphiques donnant l'évolution de l'uni dans le temps, où les quatre courbes sont presque confondues avec une légère amélioration pour la structure de CEBTP qui est due à l'indice structurel de cette dernière relativement grand (4,38) par rapport aux trois autres (de 3,08 à 3,77).

Tableau 4:

TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS HDM

NOTA : Année d'app. = Année d'apparition

Vf = Valeur au terme de la durée de vie

Vi = Valeur à l'année de la mise en service
TRI = taux de rentabilité interne

	FISSURES			DEFAULT D'UNI			ORNIERAGE		TRI	
	Année d'app	Evolution	Vf(%)	Evolution	Vf(mm/km)	Vi-Vf	Evolution	Vf(mm)	(%)	
SECTION1	SETI	5	moyenne	26	lente	3,0	1,0	moyenne	3,8	31,6
	CEBTP	6	lente	17	lente	2,9	0,9	moyenne	3,2	24,5
	N.ESPAGNOLE	3	rapide	52	moyenne	3,9	1,9	rapide	6,1	41,8
	LCPC	5	moyenne	29	lente	3,0	1,0	moyenne	3,9	30,1
SECTION2	SETI	4	assez rapide	35	lente	3,2	1,2	rapide	4,5	27,7
	CEBTP	6	lente	17	lente	2,8	0,8	lente	3,2	24,5
	N.ESPAGNOLE	4	rapide	44	lente	3,5	1,5	rapide	5,0	33,4
	LCPC	5	assez rapide	29	lente	3,0	1,0	moyenne	3,9	30,1
SECTION3	SETI	4	moyenne	35	lente	3,2	1,2	moyenne	4,5	27,7
	CEBTP	6	lente	17	lente	2,8	0,8	lente	3,2	24,5
	N.ESPAGNOLE	3	rapide	52	moyenne	3,9	1,9	rapide	6,1	37,6
	LCPC	4	moyenne	32	lente	3,2	1,2	moyenne	4,2	30,6
SECTION4	SETI	5	rapide	31,5	lente	3,0	1,0	rapide	3,6	37,6
	CEBTP	6	lente	21	lente	2,8	0,8	rapide	3,1	32,9
	N.ESPAGNOLE	5	lente	18	lente	3,4	1,4	lente	1,75	44,0
	LCPC	5	rapide	31,5	lente	3,0	1,0	rapide	3,5	38,0
SECTIONS	SETI	7	rapide	22,0	lente	3,0	1,0	assez lente	3,6	37,6
	CEBTP	5	rapide	22,0	lente	2,8	0,8	lente	3,1	32,9
	N.ESPAGNOLE	5	assez lente	18,0	lente	3,0	1,0	très lente	1,6	43,1
	LCPC	5	rapide	24,0	lente	3,0	1,0	lente	3,2	33,4

Les valeurs finales obtenues au bout de la dixième année d'analyse sont acceptables (de l'ordre de 3 m/ km) sauf pour la norme espagnole qui donne 3,5 m/ km) valeur au-delà de laquelle l'uni est préjudiciable au confort.

▲ Economie

En se basant principalement sur le taux de rentabilité, la solution la plus rentable est celle donnée par la norme espagnole (TRI = 44%) contrairement à la solution CEBTP où le taux est relativement diminué (TRI = 32,9%). C'est au gestionnaire routier de décider d'opter pour l'une ou l'autre en faisant un compromis "*comportement-Economie*".

6 CONCLUSION

L'application indiscriminée des méthodes de renforcement serait déraisonnable et anti-économique.

L'ensemble des méthodes de renforcement décrites précédemment font appel à la mesure de déflexion sur la chaussée existante, (mesure qui doit être faite nécessairement en saison humide), ou au CBR (imbibé à 4 jours). Comme l'agressivité d'un essieu en saison sèche est dif-

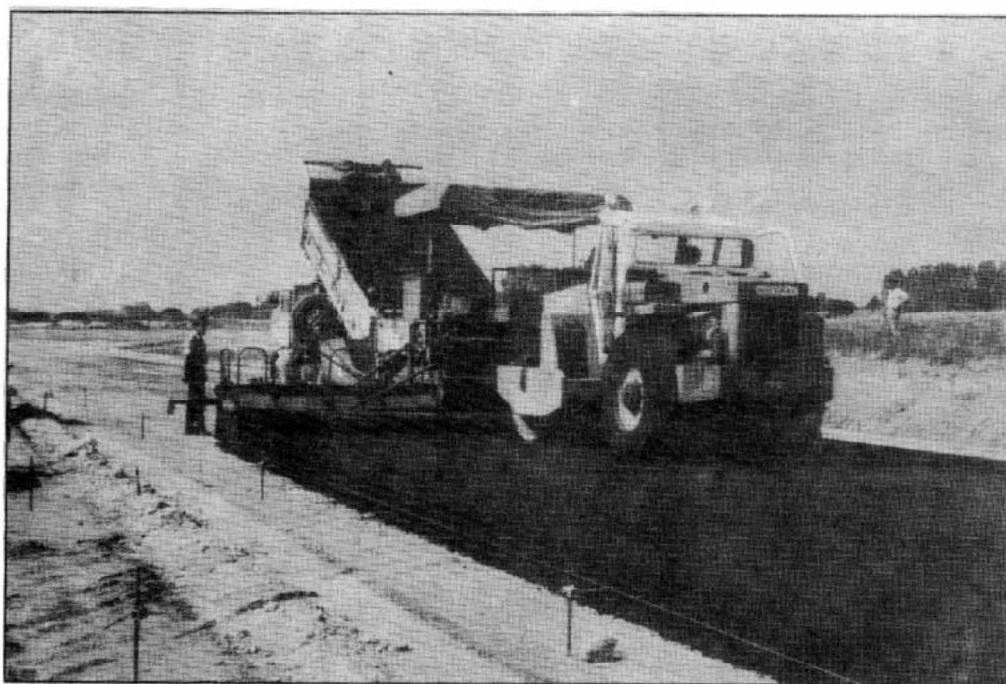
férente de celle en saison humide, ce qui pénalisera l'Algérie, pays à saisons contrastées.

Se référant aux comportements des structures des ces méthodes prédits par le modèle HDM III, les méthodes SETI et SETRA-LCPC pourraient être raisonnablement et économiquement appliquées en Algérie en introduisant des grilles de choix convenables et des coefficients correcteurs adaptés à l'environnement algérien.

Sans perdre de vue la nécessité d'évaluer la transférabilité des formes générales du modèle HDM III, et d'élargir la validation empirique à l'environnement physique et économique algérien.

En attendant d'établir un modèle théorique de mécanique des chaussées se basant sur les lois de comportement des matériaux locaux et obéissant aux lois d'évolution des chaussées algériennes.

NOTA : Ce thème a fait l'objet d'un travail de fin d'études à l'Ecole Nationale des Travaux Publics de Kouba proposé par le CTTTP, dirigé par moi-même et Mr Ourad Akli (Ingénieur au CTTTP) et étudié par Messieurs Benmelat Djamel et Hadjali Idriss ②



Equipement & développement ISTED Sept 91